

Письма

в

**ВАВИЛОВСКИЙ ЖУРНАЛ
ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ**

Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding

2023
СЕНТЯБРЬ

Труды VI Хвостовских чтений • Биоразнообразие •
Селекция растений • Генетика растений

ИЦД
Том 9
№3

Труды VI Хвостовских чтений

(Новосибирск, Россия, 28 апреля 2023 г.)

Под ред. академика Н.П. Гончарова



VI Хвостовские чтения посвящены 120-летию со дня рождения профессора, д-ра биол. наук Веры Вениаминовны Хвостовой – одного из крупнейших советских генетиков и цитогенетиков, ведущего ученого в области теории и практики экспериментального мутагенеза и отдаленной гибридизации

Сетевое издание
Листья

6

ВАВИЛОВСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

Основан в 2015 году
Периодичность четыре выпуска в год
DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-13

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН), Новосибирск, Россия

Главный редактор

А.В. Кочетов – академик РАН, д-р биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Заместители главного редактора

Н.П. Гончаров – академик РАН, д-р биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Е.А. Салина – д-р биол. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Ответственный секретарь

О.Ю. Шоева – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Редакционная коллегия

О.С. Афанасенко – академик РАН, д-р биол. наук, профессор (Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия)

О.В. Ваулин – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

М.А. Вишнякова – д-р биол. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)

Т.А. Гавриленко – д-р биол. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)

Ю.Э. Гербек – канд. биол. наук (Еврейский университет в Иерусалиме, Реховот, Израиль)

И.М. Горобей – д-р с.-х. наук, профессор РАН (СО РАН, Новосибирск, Россия)

Е.И. Гулятьева – д-р биол. наук (Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия)

Н.И. Дубовец – чл.-кор. НАН Беларуси, д-р биол. наук, доцент (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь)

И.К. Захаров – д-р биол. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

К.В. Крутовский – канд. биол. наук, профессор (Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия)

А.М. Кудрявцев – чл.-кор. РАН, д-р биол. наук (Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия)

С.А. Лашин – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

А.Ю. Летягин – д-р мед. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

П.Н. Мальчиков – д-р с.-х. наук (Самарский НИИ сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова, пос. Безенчук, Россия)

Е.А. Орлова – канд. с.-х. наук (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

А.С. Пилипенко – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Ю.И. Рагино – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, профессор (НИИТПМ – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

И.Д. Рашаль – академик АН Латвии, д-р биол. наук, профессор (Институт биологии Латвийского университета, Саласпилс, Латвия)

Р.Р. Садоян – д-р биол. наук, профессор (Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна, Ереван, Армения)

А.А. Соловьев – д-р биол. наук, профессор РАН, профессор (Всероссийский центр карантина растений, Москва, Россия)

Н.А. Сурин – академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН – обособленное подразделение Красноярский НИИ сельского хозяйства, Красноярск, Россия)

В.А. Трифонов – д-р биол. наук, профессор (Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, Новосибирск, Россия)

В.С. Фишман – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

С.В. Шеховцов – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Online edition

Letters

to **VAVILOV JOURNAL
OF GENETICS AND BREEDING**

Founded in 2015
Published four issues per year
DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-13

Founder

Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICG SB RAS), Novosibirsk, Russia

Editor-in-Chief

A.V. Kochetov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Deputy Editors-in-Chief

N.I. Goncharov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

E.A. Salina – Professor, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Executive Secretary

O.Yu. Shoeva – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Editorial board

O.S. Afanassenko – Full Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Biology) (All-Russia Research Institute for Plant Protection, St. Petersburg, Russia)

N.I. Dubovets – Corr. Member of the NAS of Belarus, Associate Professor, Dr. Sci. (Biology) (Institute of Genetics and Cytology, NASB, Minsk, Belarus)

V.S. Fishman – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

T.A. Gavrilenko – Professor, Dr. Sci. (Biology) (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia)

I.M. Gorobei – Dr. Sci. (Biology) (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia)

E.I. Gulyaeva – Dr. Sci. (Biology) (All-Russia Research Institute for Plant Protection, Saint Petersburg, Pushkin, Russia)

Yu.E. Herbeck – Cand. Sci. (Biology) (The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel)

K.V. Krutovskiy – Professor, Cand. Sci. (Biology) (Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany)

A.M. Kudryavtsev – Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Biology) (Vavilov Institute of General Genetics, RAS, Moscow, Russia)

S.A. Lashin – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

A.Y. Letyagin – Professor, Dr. Sci. (Medicine) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

P.N. Malchikov – Dr. Sci. (Agricul.) (Tulaikov Research Institute of Agriculture, Russian Agricultural Academy, Bezenchuk, Samara oblast, Russia)

E.A. Orlova – Cand. Sci. (Agricul.) (Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

A.S. Pilipenko – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Yu.I. Ragino – Corr. Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Medicine) (Research Institute of Internal and Preventive Medicine – Branch of the ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

I.D. Rashal – Full Member of the LAS, Professor, Dr. Sci. (Biology) (University of Latvia, Salaspils, Latvia)

R.R. Sadoyan – Professor, Dr. Sci. (Biology), Dean of the Faculty of Biology, Chemistry and Geography (Kh. Abovyan Armenian State Pedagogical University, Yerevan, Armenia)

S.V. Shekhovtsov – Cand. Sci. (Biology), Head of the Genogeography Sector of the Palearctic (Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia)

A.A. Soloviev – Professor, Dr. Sci. (Biology), Deputy Director (All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow, Russia)

N.A. Surin – Corr. Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agricul.), Professor, Head of Scientific Direction

V.A. Trifonov – Professor, Dr. Sci. (Biology) (Institute of Molecular and Cellular Biology, SB RAS, Novosibirsk, Russia)

O.V. Vaulin – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

M.A. Vishnyakova – Professor, Dr. Sci. (Biology) (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia)

I.K. Zakharov – Professor, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ • 2023 • 9 • 3

- Биоразнообразие**
- 111 **Обзор**
Создание и изучение коллекции интрогрессивных линий мягкой пшеницы, полученных с участием *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk.
И.Н. Леонова, В.К. Шумный
- Селекция растений**
- 117 **Оригинальное исследование**
Характеристика синтетической линии пшеницы – потенциального источника хозяйственно ценных признаков
И.Г. Адонина, М.В. Зорина, С.П. Мехдиева, И.Н. Леонова, Е.Г. Комышев, Е.М. Тимонова, Е.А. Салина
- 126 **Оригинальное исследование**
Некоторые особенности созданных разными способами тритикале
П.И. Стёпочкин
- Генетика растений**
- 132 **Обзор**
От пырейно-пшеничных и горохо-акациевых гибридов до многолетней пшеницы: к юбилею академика Н.В. Цицина
Н.П. Гончаров
- 162 **Обзор**
Систематика рода *Triticum* L.: история изучения и вектор развития
Ю.В. Кручинина
- 172 Пострелиз CRISPR-2023

CONTENTS • 2023 • 9 • 3

- Biodiversity**
- 111 **Review**
Development and study
of the common wheat
introgression lines obtained with the participation
of *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk.
I.N. Leonova, V.K. Shumny
- Plant breeding**
- 117 **Original article**
Characteristics of the synthetic line of wheat –
a potential source of agronomically valuable traits
*I.G. Adonina, M.V. Zorina, S.P. Mehdiyeva, I.N. Leonova,
E.G. Komyshev, E.M. Timonova, E.A. Salina*
- 126 **Original article**
Some peculiarities of triticale
made by different ways
P.I. Stepochkin
- Plant genetics**
- 132 **Review**
From wheatgrass-wheat
and pea-acacia hybrids to perennial wheat:
to the anniversary of Academician Nikolai V. Tsitsin
N.P. Goncharov
- 162 **Review**
Systematics of the genus *Triticum* L.:
history of study and vector of development
Y.V. Kruchinina
- 172 Post-release of CRISPR-2023

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-14

Обзор

Создание и изучение коллекции интрогрессивных линий мягкой пшеницы, полученных с участием *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk.

И.Н. Леонова  , В.К. Шумный

Аннотация: Одним из научных направлений, которые развивались в Институте цитологии и генетики СО РАН во второй половине XX века, было изучение процессов, протекающих при межвидовой гибридизации. Основная цель отдаленной гибридизации заключается в использовании потенциала дикорастущих и культурных родичей мягкой пшеницы для расширения генетического разнообразия по хозяйственно важным признакам. В рамках данного направления созданы интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генетическим материалом тетраплоидного вида *Triticum timopheevii*. Цель создания таких линий состояла в переносе эффективных генов устойчивости к грибным болезням в генофонд культивируемых сортов яровой мягкой пшеницы. В настоящее время коллекция интрогрессивных линий включает 100 образцов, полученных на основе пяти сортов мягкой пшеницы (Саратовская 29, Скала, Иртышанка 10, Целинная 20 и Новосибирская 67). С использованием интрогрессивных линий проведен ряд фундаментальных и прикладных исследований, посвященных изучению процессов стабилизации гибридного генома, характера хромосомных замещений и транслокаций, картированию генов устойчивости к возбудителям бурой и стеблевой ржавчины, созданию доноров локусов устойчивости к бурой ржавчине и анализу линий по признакам качества зерна. В данном обзоре кратко описаны история создания интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii* и основные результаты, полученные с их участием.

Ключевые слова: интрогрессивные линии *T. aestivum*/*T. timopheevii*; цитологическая стабильность; гены устойчивости; грибные болезни; признаки качества; микроэлементы.

Для цитирования: Леонова И.Н., Шумный В.К. Создание и изучение коллекции интрогрессивных линий мягкой пшеницы, полученных с участием *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):111-116. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-14

Благодарности: Статья подготовлена в рамках бюджетного проекта № FWNР-2022-0017. Исследования микроэлементов в зерне интрогрессивных линий проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-16-00041, <https://rscf.ru/project/23-16-00041/>).

Review


Development and study of the common wheat introgression lines obtained with the participation of *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk.

I.N. Leonova  , V.K. Shumny

Abstract: One of the scientific directions at the Institute of Cytology and Genetics in the second half of the 20th century was the study of the processes occurring during interspecific hybridization. The main goal of distant hybridization is to use the potential of wild and cultivated wheat relatives for the widening of genetic diversity of agronomically important traits. Within the framework of this task, introgression lines of common wheat with the genetic material of the tetraploid species *Triticum timopheevii* were created. The purpose of development of these lines was to transfer effective fungal disease resistance genes into the gene pool of cultivated varieties of spring bread wheat. Currently, the collection includes 100 lines obtained on the basis of five varieties of bread wheat (Saratovskaya 29, Skala, Irtyshanka 10, Tcelinnaya 20, and Novosibirskaya 67). Using the lines, a number of fundamental and applied studies were carried out, such as studying the processes of stabilization of the hybrid genome, investigation of the nature of chromosome substitutions and translocations, mapping genes for resistance to leaf and stem rust pathogens, creating donors for leaf rust resistance loci, and studying

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

 leonova@bionet.nsc.ru

 © Леонова И.Н., Шумный В.К., 2023

lines on grain quality traits. This review briefly describes the history of the creation of *T. aestivum*/*T. timopheevii* introgression lines and the main results obtained with their use.

Key words: introgression lines *T. aestivum*/*T. timopheevii*; cytological stability; resistance genes; fungal diseases; quality traits; microelements.

For citation: Leonova I.N., Shumny V.K. Development and study of the common wheat introgression lines obtained with the participation of *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):111-116. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-14 (in Russian)

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the budget project No. FWNR-2022-0017. The study of microelements in the grain of introgression lines was done with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 23-16-00041, <https://rscf.ru/project/23-16-00041/>).

Введение

В Институте цитологии и генетики Сибирского отделения РАН находится уникальная коллекция интрогрессивных линий, созданных на основе скрещивания сортов мягкой пшеницы (*T. aestivum* L., геном AABBDD) с тетраплоидной пшеницей *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk. (геном A⁴A⁴TGG). Работа инициирована в начале семидесятых годов прошлого века В.В. Хвостовой в рамках исследований в области цитогенетики отдаленных гибридов пшеницы. Целью создания гибридных форм с участием *T. timopheevii* было получение нового генетического материала с устойчивостью к грибным болезням, который можно было использовать в селекции в качестве источников признаков резистентности. Известно, что пшеницы группы *Timopheevi* обладают высокой устойчивостью к различным видам грибных патогенов – бурой, стеблевой и желтой ржавчине, мучнистой росе, твердой и пыльной головне (Жуковский, 1985). Ряд данных свидетельствует об устойчивости этого вида к насекомым-вредителям: шведской и гессенской мухам (Дорофеев, 1987). Под руководством Веры Вениаминовны начаты подробные цитогенетические исследования созданных гибридных форм *T. aestivum*/*T. timopheevii*, особенностей протекания мейоза и причин его нарушения. Изучение гибридных форм продолжено в лаборатории молекулярной генетики и цитогенетики растений ИЦиГ СО РАН с привлечением новых методов цитологического и молекулярного анализов. В обзоре кратко приведены основные научные результаты, полученные с использованием коллекции интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii*.

Создание интрогрессивных линий

T. aestivum/*T. timopheevii*

Основная коллекция получена от скрещивания пяти сортов мягкой пшеницы (Саратовская 29, Скала, Иртышанка 10, Целинная 20 и Новосибирская 67) с образцом *T. timopheevii* var. *viticulosum* (рис. 1). Гибридные растения F₁ однократно бэккроссированы на исходный сорт мягкой пшеницы. В течение последующих поколений самоопыления проведен отбор цитологически стабильных форм с устойчивостью к полевой популяции бурой ржавчины (патоген *Puccinia triticina* Erikss.), типичной для западносибирского региона (см. рис. 1).

В процессе отбора на устойчивость создано более 70 интрогрессивных линий, отличающихся как типом реакции по отношению к патогену бурой ржавчины (от иммунного до среднеустойчивого), так и другими фенотипическими признаками (например, длина вегетационного периода, длина стебля и колоса, остистость, компоненты урожайности).

Кроме устойчивости к бурой ржавчине выявлено четыре образца с устойчивостью к стеблевой ржавчине (патоген *Puccinia graminis*), двадцать – с устойчивостью к мучнистой росе (*Blumeria graminis*), пять – к листовостебельным пятнистостям (*Bipolaris sorokiniana*) и 16 – к пыльной головне (*Ustilago tritici*) (Kalinina, Budashkina, 2001; Leonova et al., 2011).

В дальнейшем линии, созданные на основе сортов Скала и Саратовская 29, использованы в дополнительных циклах бэккроссирования для создания генотипов с единичными фрагментами генома *T. timopheevii*, которые содержат гены устойчивости к бурой ржавчине (Timonova et al., 2013). В настоящее время в составе коллекции 100 образцов, отличающихся числом и хромосомной локализацией чужеродных фрагментов.

Цитологическая стабильность и особенность хромосомных замещений и транслокаций у интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii*

К одним из основных требований, которые предъявляют донорам хозяйственно важных признаков, относится цитологическая стабильность новых генотипов. Изучение конъюгации хромосом у гибридов первых поколений от самоопыления показало, что от 40 до 73 % форм были цитологически стабильными уже в поколении BC₁F₄ (Шкутина и др., 1988). При этом отмечено, что на скорость стабилизации гибридного генома существенно влияет сорт мягкой пшеницы. После того как была определена хромосомная локализация интрогрессированных фрагментов у продвинутых поколений гибридов (BC₁F₂₀), установлено, что цитологическая стабильность зависит не только от сорта пшеницы, но и числа чужеродных фрагментов, а также вклада отдельных хромосом (Gordeeva et al., 2009).

Для изучения характера и хромосомной локализации фрагментов генетического материала *T. timopheevii* использован арсенал различных методов, которые включали биохимические маркеры, ДНК-маркеры (SSR и SNP) и цитологический анализ с помощью С-бэндинга и гибридизации *in situ*. Применение в качестве маркеров чужеродного генетического материала изоферментов мягкой пшеницы с известным генетическим контролем оказалось эффективным для выявления ряда замещений у гибридных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii*. Так, оценка активности и электрофоретических спектров малатдегидрогеназы и эстеразы у цитологически стабильных 42-хромосомных гибридов BC₁F₄₋₇ позволила заключить, что у линий произошло замещение хромосом 1А и 3В пшеницы на 1А⁴ и 3Г хромосомы *T. timopheevii* (Калинина и др., 1987а, б).

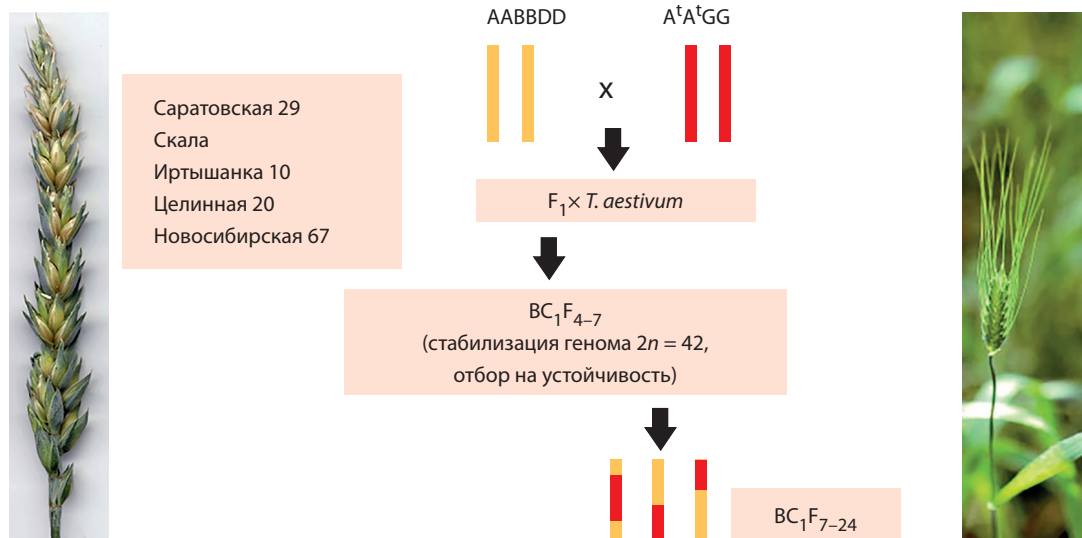


Рис. 1. Схема создания интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii*
Fig. 1. Scheme of *T. aestivum*/*T. timopheevii* introgression lines development

Хромосомная локализация фрагментов *T. timopheevii* в геноме интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii*
 Chromosomal localization of *T. timopheevii* genome fragments in *T. aestivum*/*T. timopheevii* introgression lines

Сорт мягкой пшеницы	Линия	Хромосома/геном																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D
Саратовская 29	742	+L	-	-	+L	+SL	-	-	-	-	-	+L	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
	744	+SL	-	-	+L	-	+S	-	+L	-	-	-	+L	+L	+SL	-	+SL	-	-	-	-	
	747	-	-	-	+L	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
	760	-	+S	-	-	+SL	-	-	+L	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	+S	-	-	-	
	768	+SL	-	-	+SL	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
	811	-	-	-	+SL	-	-	+L	-	-	-	+L	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	
	821	-	-	-	+SL	+SL	-	-	-	-	-	+L	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	
	832-2	+SL	-	-	+L	+SL	-	-	+L	-	-	+L	-	+L	+L	-	-	+L	+L	-	-	
	837	+SL	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
	838	+SL	+S	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
842-1	+SL	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	-		
842-2	+SL	-	-	+L	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
Скала	141	+L	-	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+SL	-	-	-	-	
	157	+L	-	-	+SL	+SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	-	-	
	169	-	-	-	+SL	+SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	-	-	
	175	+L	-	-	+S,L	-	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+SL	-	+L	-	-	
	178	+SL	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	-	-	-	-	-	
	184	+SL	+L	-	+S,L	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+SL	-	-	-	-	
Иртышанка 10	10	-	+S	-	+L	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
	28	-	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
	38	-	+S	-	+L	+SL	-	+L	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
	67	-	-	-	+L	-	-	-	+L	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	+L	-	-		
	73	-	-	-	+L	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
	87	+L	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	+L	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	
	94	-	+S	-	+L	-	-	+S	-	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-	
Целинная 20	114	+SL	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+SL	-	-	-	-		
	140	-	+S	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+SL	-	-	-	-		
	191	-	-	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+L	-	-	-	-	
	199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	+SL	+SL	-	-	-	-	-	-	
	206	+L	-	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+SL	+S	-	-	+SL	
	208	-	+S	-	-	+SL	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+SL	-	-	-	-	
Новосибирская 67	212	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	+L	-	-	+SL	-	-	-	-	
	676	+L	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+SL	-	-	+L	-	-	
	699	-	-	-	+S,L	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	-	-	-	
	728	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+S	+L	-	
	732	-	+SL	-	-	+L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+L	-	-	+S	+L	-	

Примечание. -/+ означает наличие или отсутствие генетического материала *T. timopheevii*; S/L – короткое/длинное плечо хромосомы

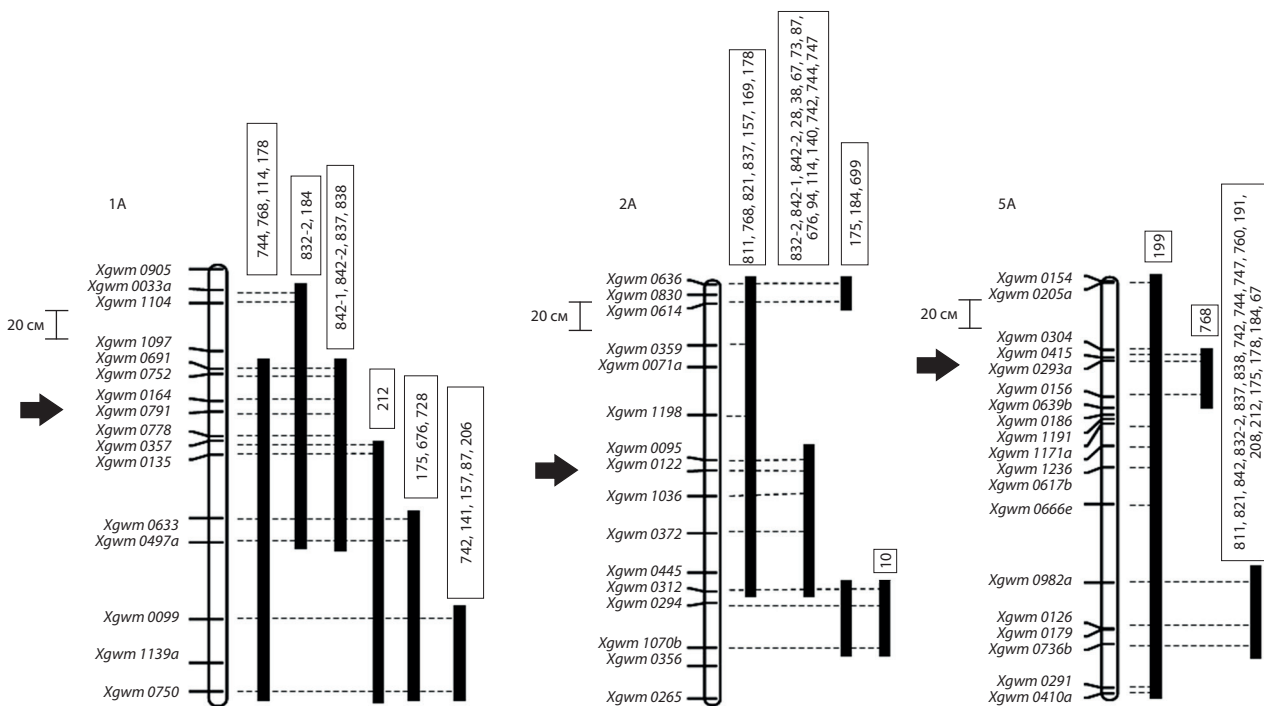


Рис. 2. Схематическая иллюстрация протяженности фрагментов *T. timopheevii* в хромосомах 1А, 2А и 5А. Черные блоки указывают на протяженность фрагментов интрогрессии, номера линий помещены над блоками. Порядок SSR-маркеров соответствует генетическим картам хромосом *T. aestivum* и *T. timopheevii* (Röder et al., 1998; Salina et al., 2006). Стрелками указано вероятное положение центромеры. Линии 742, 744, 747, 760, 768, 811, 821, 832-2, 837, 838, 842-1, 842-2 получены от сорта Саратовская 29, линии 141, 157, 169, 175, 178, 184 – от сорта Скала, линии 28, 38, 67, 73, 87, 94, 140 – от сорта Иртышанка 10, линии 191, 199, 206, 208, 212 – от сорта Целинная 20, линии 676, 728, 699 – от сорта Новосибирская 67

Fig. 2. Schematic illustration of the length of *T. timopheevii* fragments in chromosomes 1A, 2A, and 5A. Black blocks indicate the length of introgression fragments; line numbers are placed above the blocks. The order of SSR markers corresponds to the genetic maps of *T. aestivum* and *T. timopheevii* chromosomes (Röder et al., 1998; Salina et al., 2006). The arrows indicate the position of the centromere. Lines 742, 744, 747, 760, 768, 811, 821, 832-2, 837, 838, 842-1, 842-2 were obtained on the base of cv. Saratovskaya 29, lines 141, 157, 169, 175, 178, 184 from cv. Skala, lines 28, 38, 67, 73, 87, 94, 140 from cv. Irtyshanka 10, lines 191, 199, 206, 208, 212 from Tcelinnaya 20, lines 676, 728, 699 from Novosibirskaya 67

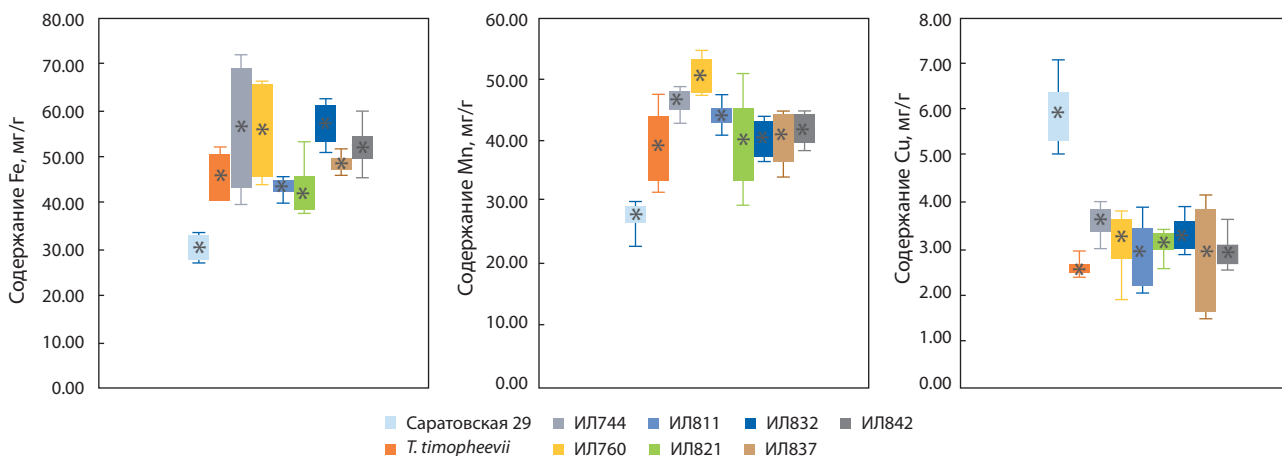


Рис. 3. Распределение интрогрессивных линий и родительских форм (*T. timopheevii* и сорт Саратовская 29) по содержанию микроэлементов в зерне. Приведены результаты, полученные при полевых испытаниях образцов в экологических условиях Новосибирской области

Fig. 3. Distribution of introgression lines and parental forms (*T. timopheevii* and variety Saratovskaya 29) according to the content of grain microelements. The results were obtained during field evaluation of samples in ecological conditions of Novosibirsk region

Детальное изучение хромосомных перестроек, выявленных в геноме гибридных линий поколений BC_1F_{4-7} , проведено с помощью метода С-окрашивания хромосом. Е.Д. Бадаевой с коллегами идентифицированы хромосомы,

для которых показана наиболее высокая частота замещений и транслокаций (Бадаева и др., 1990, 2010; Badaeva et al., 1991). На основании этих данных отмечено, что искусственный отбор на устойчивость к бурой ржавчине приводит к

изменению спектров замещений и транслокаций, а также их числа.

Поскольку метод С-бэндинга недостаточно эффективен в выявлении транслокаций и замещений в геноме А и не позволяет определять мелкие транслокации, коллекция интрогрессивных линий генотипирована маркерами SSR и SNP с известной хромосомной локализацией в геноме мягкой пшеницы и *T. timopheevii*. В настоящее время все линии данной коллекции паспортизированы по числу, хромосомной локализации и протяженности интрогрессированных фрагментов (рис. 2). Некоторые линии охарактеризованы методом флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), что позволило выявить негомеологические транслокации (Timonova et al., 2013). Список линий с указанием хромосомной локализации интрогрессированных фрагментов представлен в таблице и частично опубликован ранее (Leonova et al., 2002, 2011).

Линии *T. aestivum*/*T. timopheevii* как источник генетических факторов для устойчивости к стрессу и повышения качества зерна

Все интрогрессивные линии данной коллекции характеризуются устойчивостью к возбудителю бурой ржавчины *Puccinia triticina*. Несмотря на то что отбор на устойчивость проведен в полевых условиях западносибирского региона, дальнейший скрининг на стадии взрослых растений в полевых условиях других регионов и на ювенильной стадии в лабораторных условиях показал, что линии проявляют устойчивость к различным патотипам патогена. При проведении картирования генов, определяющих устойчивость к бурой ржавчине, выявлено два локуса – *LrTt1* и *LrTt2* – в хромосомах 2А и 5В соответственно, не аллельных известным *Lr*-генам (Leonova et al., 2004, 2010). Полногеномный поиск ассоциаций, проведенный с использованием коллекции интрогрессивных линий, продемонстрировал, что фрагмент интрогрессии от *T. timopheevii* содержит новый локус устойчивости к стеблевой ржавчине в длинном плече хромосомы 5В (Leonova et al., 2020).

Интрогрессивные линии, содержащие единичные интрогрессии в хромосомах 2А и 5В, проверены на засухо- и солеустойчивость. Установлено, что влияние участков интрогрессии на проявление данных признаков зависит как от хромосомной локализации фрагментов генома *T. timopheevii*, так и сорта-реципиента (Юдина и др., 2014, 2015).

Кроме устойчивости к возбудителям грибных заболеваний интерес представляют другие хозяйственно важные признаки, такие как содержание белка в зерне и его минеральный состав. У линий разных поколений от самоопыления изучен состав запасных белков, которые образуют клейковинный комплекс – глиадинов и глютеинов. В работах Н.П. Калининой с коллегами (Калинина и др., 1984) и Л.В. Обуховой и с коллегами (Обухова и др., 2009; Обухова, Шумный, 2016) показано, что некоторые линии содержат аллели запасных белков, характерные для *T. timopheevii*. Содержание белка и клейковины и технологические свойства муки у этих линий были достоверно выше и лучше по сравнению с исходными родительскими формами (Обухова и др., 2008; Обухова, Будашкина, 2014).

Детального исследования минерального состава всей коллекции интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii* до настоящего времени не проводилось. Нами проанализировано содержание цинка (Zn), железа (Fe), марганца (Mn) и меди (Cu) у интрогрессивных линий (BC₁F_{2,4}), полученных на основе сорта Саратовская 29. Так, по содержанию Fe и Mn интрогрессивные линии и вид *T. timopheevii* превосходили сорт Саратовская 29, тогда как содержание Cu было достоверно выше у сорта мягкой пшеницы (рис. 3). В отношении Zn статистически значимых различий между образцами не обнаружено.

Заключение

В статье кратко изложены основные результаты исследований, которые проведены с использованием коллекции интрогрессивных линий *T. aestivum*/*T. timopheevii* в Институте цитологии и генетики СО РАН с момента создания линий и до настоящего времени. Коллекция интрогрессивных линий охарактеризована по комплексу хозяйственно важных фенотипических признаков и генотипирована с помощью маркеров SSR и SNP. Генетическая коллекция является перспективной для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований и для поиска и картирования новых локусов при создании доноров признаков стрессоустойчивости и качества зерна.

Список литературы / References

- Бадаева Е.Д., Будашкина Е.Б., Бадаев Н.С., Калинина Н.П., Шкутина Ф.М. Особенности замещения хромосом в гибридах *Triticum aestivum* × *T. timopheevii*. Докл. АН СССР. 1990;311(6):1472-1475 [Badaeva E.D., Budashkina E.B., Kalinina N.P., Shkutina F.M. Substituted chromosomes in hybrids of *Triticum aestivum* × *T. timopheevii*. Doklady Akademii Nauk SSSR = Proceedings of the USSR Academy of Sciences. 1990;311(6):1472-1475 (in Russian)]
- Бадаева Е.Д., Будашкина Е.Б., Билинская Е.Н., Пухальский В.А. Закономерности межгеномных замещений хромосом у межвидовых гибридов пшеницы и их использование для создания генетической номенклатуры хромосом *Triticum timopheevii*. Генетика. 2010;46(7):869-886 [Badaeva E.D., Budashkina E.B., Bilinskaya E.N., Pukhalskiy V.A. Intergenic chromosome substitutions in wheat interspecific hybrids and their use in the development of a genetic nomenclature of *Triticum timopheevii* chromosomes. Rus. J. Genet. 2010;46(7):769-785]
- Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчаннинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Пшеницы мира. Под ред. В.Ф. Дорофеева. Ленинград: Агропромиздат, 1987 [Dorofeev V.F., Udachin R.A., Semenova L.V., Gradchaninova O.D., Shitova I.P., Merezko A.F., Filatenko A.A. Wheats of the World. V.F. Dorofeev (Ed.). Leningrad: Agropromizdat Publ., 1987 (in Russian)]
- Жуковский П.М. Избранные труды. Ленинград: Агропромиздат, 1985 [Zhukovsky P.M. Selected works. Leningrad: Agropromizdat Publ., 1985 (in Russian)]
- Калинина Н.П., Будашкина Е.Б., Леонтьев Ф.П. Наследование глиадинов, специфических для *T. timopheevii*, интрогрессированных в сорта мягкой пшеницы. Цитология и генетика. 1984;(5):356-360 [Kalinina N.P., Budashkina E.B., Leontiev F.P. Inheritance of *T. timopheevii*-specific gliadins introgressed into common wheat varieties. Cytology and Genetics. 1984;(5):356-360 (in Russian)]
- Калинина Н.П., Черкасова М.В., Будашкина Е.Б. Малатдегидрогеназа как генетический маркер при анализе межвидовых гибридов пшеницы (*Triticum aestivum* L. × *T. timopheevii* Zhuk.). Генетика. 1987a;23(7):1240-1246 [Kalinina N.P., Cherkasova M.V., Budashkina E.B. Malate dehydrogenase as a genetic marker in the analysis of interspecific hybrids of wheat (*Triticum aestivum* L. × *T. timopheevii* Zhuk.). Genetika = Genetics (Moscow). 1987a;23(7):1240-1246 (in Russian)]

- Калинина Н.П., Черкасова М.В., Будашкина Е.Б. Изучение эстеразы зерновки межвидовых гибридов пшеницы (*T. aestivum* × *T. timopheevii* Zhuk.). *Цитология и генетика*. 1987;21(2):122-126
[Kalinina N.P., Cherkasova M.V., Budashkina E.B. Study of grain esterase of interspecific hybrids of wheat (*T. aestivum* × *T. timopheevii* Zhuk.). *Cytology and Genetics*. 1987;21(2):122-126 (in Russian)]
- Обухова Л.В., Будашкина Е.Б. Корреляционный анализ зависимости силы муки от запасных белков пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(4/1):807-811
[Obukhova L.V., Budashkina E.B. Analysis of the correlation between wheat dough strength and storage proteins. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(4/1):807-811 (in Russian)]
- Обухова Л.В., Будашкина Е.Б., Ермакова М.Ф., Калинина Н.П., Шумный В.К. Качество зерна и муки у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами устойчивости к листовой ржавчине от *Triticum timopheevii* Zhuk. С.-х. биология. 2008;5(3):38-42
[Obukhova L.V., Budashkina E.B., Ermakova M.F., Kalinina N.P., Shumny V.K. Grain and flour quality in introgressive spring soft wheat lines with leaf rust resistance genes from *Triticum timopheevii* Zhuk. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2008;5(3):38-42 (in Russian)]
- Обухова Л.В., Будашкина Е.Б., Шумный В.К. Исследование запасных белков у интрогрессивных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L. × *Triticum timopheevii* Zhuk.), устойчивых к бурой листовой ржавчине. *Генетика*. 2009;45(3):360-368
[Obukhova L.V., Budashkina E.B., Shumny V.K. A study of the storage proteins in the introgression lines of common wheat (*Triticum aestivum* L. × *T. timopheevii* Zhuk.) resistant to brown leaf rust. *Rus. J. Genet*. 2009;45(3):313-321]
- Обухова Л.В., Шумный В.К. Анализ наследования запасных белков эндосперма линией сорта мягкой пшеницы Саратовская 29 от ее родительских форм. *Генетика*. 2016;52(1):59-65
[Obukhova L.V., Shumny V.K. The inheritance of endosperm storage proteins by the line of the saratovskaya 29 cultivar of common wheat from its parental forms. *Rus. J. Genet*. 2016;52(1):49-55]
- Шкутина Ф.М., Калинина Н.П., Усова Т.К. Роль сорта мягкой пшеницы в уровне интрогрессии чужеродного генетического материала в ее геноме и в скорости стабилизации гибридной формы. *Генетика*. 1988;24(1):98-109
[Shkutina F.M., Kalinina N.P., Usova T.K. The role of the common wheat variety in the level of introgression of alien genetic material into its genome and in the rate of stabilization of the hybrid form. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1988;24(1):98-109 (in Russian)]
- Юдина Р.С., Леонова И.Н., Салина Е.А., Хлесткина Е.К. Влияние чужеродных интрогрессий в геноме пшеницы на ее устойчивость к осмотическому стрессу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(4/1):643-649
[Yudina R.S., Leonova I.N., Salina E.A., Khlestkina E.K. Effect of alien introgressions in the wheat genome on its resistance to osmotic stress. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(4/1):643-649 (in Russian)]
- Юдина Р.С., Леонова И.Н., Салина Е.А., Хлесткина Е.К. Изменение солеустойчивости мягкой пшеницы в результате интрогрессии генетического материала *Aegilops speltoides* и *Triticum timopheevii*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(2):171-175
[Yudina R.S., Leonova I.N., Salina E.A., Khlestkina E.K. Changes in salt tolerance of common wheat as a result of introgression of the genetic material of *Aegilops speltoides* and *Triticum timopheevii*. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(2):171-175 (in Russian)]
- Badaeva E.D., Budashkina E.B., Badaev N.S., Kalinina N.P., Shkutina F.M. General features of chromosome substitutions in *Triticum aestivum* × *T. timopheevii* hybrids. *Theor. Appl. Genet*. 1991;82(2):227-232. DOI 10.1007/BF00226218
- Gordeeva E.I., Leonova I.N., Kalinina N.P., Salina E.A., Budashkina E.B. Comparative cytological and molecular analysis of common wheat introgression lines containing genetic material of *Triticum timopheevii* Zhuk. *Russ. J. Genet*. 2009;45(12):1428-1437. DOI 10.1134/S1022795409120047
- Kalinina N.P., Budashkina E.B. Development and genetic analysis of common wheat introgressive lines resistant to leaf rust. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica*. 2001;36(1-2):61-65. DOI 10.1556/APhyt.36.2001.1-2.8
- Leonova I., Borner A., Budashkina E., Kalinina N., Unger O., Roder M., Salina E. Identification of microsatellite markers for a leaf rust resistance gene introgressed into common wheat from *Triticum timopheevii*. *Plant Breed*. 2004;123(1):93-95. DOI 10.1046/j.0179-9541.2003.00906.x
- Leonova I., Budashkina E., Flath K., Weidner A., Börner A., Röder M. Microsatellite mapping of a leaf rust resistance gene transferred to common wheat from *Triticum timopheevii*. *Cereal Res. Commun*. 2010;38(2):211-219. DOI 10.1556/CRC.38.2010.2.7
- Leonova I.N., Budashkina E.B., Kalinina N.P., Röder M.S., Börner A., Salina E.A. *Triticum aestivum* × *Triticum timopheevii* introgression lines as a source of pathogen resistance genes. *Czech J. Genet. Plant Breed*. 2011;47(special issue):S49-S55. DOI 10.17221/3254-CJGPB
- Leonova I.N., Röder M.S., Budashkina E.B., Kalinina N.P., Salina E.A. Molecular Analysis of Leaf Rust-Resistant Introgression Lines Obtained by Crossing of Hexaploid Wheat *Triticum aestivum* with Tetraploid Wheat *Triticum timopheevii*. *Russ. J. Genet*. 2002;38(12):1397-1403. DOI 10.1023/A:1021691822962
- Leonova I.N., Skolotneva E.S., Orlova E.A., Orlovskaya O.A., Salina E.A. Detection of genomic regions associated with resistance to stem rust in russian spring wheat varieties and breeding germplasm. *Int. J. Mol. Sci*. 2020;21(13):4706. DOI 10.3390/ijms21134706
- Röder M.S., Korzun V., Wendehake K., Plaschke J., Tixier M.-H., Leroy P., Ganal M.W. A microsatellite map of wheat. *Genetics*. 1998;149(4):2007-2023. DOI 10.1093/genetics/149.4.2007
- Salina E.A., Leonova I.N., Efremova T.T., Röder M.S. Wheat genome structure: translocations during the course of polyploidization. *Funct. Integr. Genomics*. 2006;6(1):71-80. DOI 10.1007/s10142-005-0001-4
- Timonova E.M., Leonova I.N., Röder M.S., Salina E.A. Marker-assisted development and characterization of a set of *Triticum aestivum* lines carrying different introgressions from the *T. timopheevii* genome. *Mol. Breed*. 2013;31(1):123-136. DOI 10.1007/s11032-012-9776-x

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.06.2023. После доработки 17.07.2023. Принята к публикации 17.07.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-15

Обзор

Характеристика синтетической линии пшеницы – потенциального источника хозяйственно ценных признаков

И.Г. Адонина^{1, 2} ✉, М.В. Зорина¹, С.П. Мехдиева³, И.Н. Леонова¹, Е.Г. Комышев¹, Е.М. Тимонова^{1, 2}, Е.А. Салина^{2, 4}

Аннотация: Главная задача селекции мягкой пшеницы – расширение ее разнообразия по генам, определяющим хозяйственно значимые признаки. Важным источником генетического разнообразия служат родственные пшенице культурные и дикие виды злаков. Значительный интерес представляют синтетические амфиплоиды, объединяющие генетический потенциал сразу нескольких видов. В селекции мягкой пшеницы наиболее применимы синтетические гексаплоидные пшеницы, получаемые путем скрещивания различных тетраплоидных пшениц ($2n = 4x = 28$, AABB) с *Aegilops tauschii* ($2n = 2x = 14$, DD) или последовательным скрещиванием диплоидных доноров геномов А, В и D. В данной работе мы исследовали хромосомный состав и фенотипические особенности линии 1102, полученной от скрещивания гексаплоидной тритикале ($2n = 6x = 42$, BBAARR) и синтетической пшеницы ($2n = 6x = 42$, AADDSS). Эксперимент по выращиванию с яровизацией и без, а также анализ аллельного состава гена *VRN-1* позволили установить яровой образ жизни растений линии 1102. Цитогенетический анализ с использованием флуоресцентной гибридизации *in situ* показал, что кариотип линии не отличается от кариотипа мягкой пшеницы (BBAADD). Сравнительный анализ параметров формы зерна у 103 яровых сортов и линий гексаплоидной пшеницы с применением программы SeedCounter.2.3 показал, что линия 1102 существенно отличается от остальных образцов. Помимо округлой формы зерна для линии 1102 характерен компактный и остистый колос. По признаку «высота растения» ее можно отнести к карликовым или даже малорослым формам. Цитологическая стабильность гексаплоидного генома линии 1102 и ряд отличительных фенотипических особенностей позволяют рекомендовать ее в качестве донора признаков «короткостебельность» и «круглозерность» для селекции мягкой пшеницы.

Ключевые слова: синтетическая гексаплоидная пшеница; круглозерная пшеница; короткостебельная пшеница; фенотипирование; кариотипирование; FISH; GISH.

Для цитирования: Адонина И.Г., Зорина М.В., Мехдиева С.П., Леонова И.Н., Комышев Е.Г., Тимонова Е.М., Салина Е.А. Характеристика синтетической линии пшеницы – потенциального источника хозяйственно ценных признаков. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):117-125. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-15

Благодарности: Работа поддержана Курчатовским геномным центром ИЦиГ СО РАН (соглашение № 075-15-2019-1662). Растения выращивали в ЦКП репродукции растений ИЦиГ СО РАН и в полевых условиях при поддержке бюджетного проекта № FWNR-2022-0017.

Review

Characteristics of the synthetic line of wheat – a potential source of agronomically valuable traits

I.G. Adonina^{1, 2} ✉, M.V. Zorina¹, S.P. Mehdiyeva³, I.N. Leonova¹, E.G. Komyshev¹, E.M. Timonova^{1, 2}, E.A. Salina^{2, 4}


Abstract: The main task of common wheat breeding is to expand its diversity in terms of genes that determine agronomically significant traits. Wheat-related cultivated and wild cereals are an important source of genetic diversity. Of considerable interest are synthetic amphiploids, which combine the genetic potential of several species at once. Synthetic hexaploid wheats obtained by crossing various tetraploid wheats ($2n = 4x = 28$, AABB) with *Aegilops tauschii* ($2n = 2x = 14$, DD) or by successively crossing diploid donors of A, B and

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Курчатовский геномный центр Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Kurchatov Genomic Center of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Национальный институт генетических ресурсов Азербайджана, Баку, Азербайджан
Genetic Resources Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

⁴ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia

 adonina@bionet.nsc.ru Адонина И.Г., Зорина М.В., Мехдиева С.П., Леонова И.Н., Комышев Е.Г., Тимонова Е.М., Салина Е.А., 2023

D genomes are most applicable in the breeding of common wheat. We studied the karyotype and phenotypic features of line 1102 obtained by crossing hexaploid triticale ($2n = 6x = 42$, BBAARR) and synthetic wheat ($2n = 6x = 42$, AADDSS) in this work. An experiment on growing with and without vernalization, as well as an analysis of the allelic composition of the *VRN-1* gene, made it possible to establish the spring habit of line 1102 plants. Cytogenetic analysis using fluorescent hybridization *in situ* showed that the karyotype of the line does not differ from the common wheat karyotype (BBAADD). Comparative analysis of grain shape parameters in 103 cultivars and lines of spring hexaploid wheat using the SeedCounter.2.3 program showed that line 1102 differs significantly from other samples. In addition to the spherical shape of the grain, line 1102 has a compact awned spike, according to the "plant height" trait it can be attributed to dwarf or even stunted forms. The cytological stability of the line 1102 hexaploid genome and a number of distinctive phenotypic features make it possible to recommend it as a donor of the "short stem" and "spherical grain" traits for the breeding of common wheat.

Key words: synthetic hexaploid wheat; sphaerococcoid wheat; short-stem wheat; phenotyping; karyotyping; FISH; GISH.

For citation: Adonina I.G., Zorina M.V., Mehdiyeva S.P., Leonova I.N., Komyshev E.G., Timonova E.M., Salina E.A. Characteristics of the synthetic line of wheat – a potential source of agronomically valuable traits. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):117-125. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-15 (in Russian)

Acknowledgements: The work was supported by the Kurchatov Genomic Center of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Agreement No. 075-15-2019-1662). The plants were grown at the Plant Reproduction Center for Collective Use of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and in the field with the support of the budget project No. FWNR-2022-0017.

Введение

Главная задача селекции мягкой пшеницы – расширение ее разнообразия по генам, определяющим хозяйственно значимые признаки. Традиционно основное внимание уделяют устойчивости к болезням и вредителям, однако помимо этого существуют и другие селекционно значимые признаки. Для культурных злаков это, например, короткостебельность (определяет устойчивость к полеганию), круглозерность (важный технологический признак, способствующий эффективной переработке зерна), повышенное содержание белка и микроэлементов в зерне. Важным источником генетического разнообразия являются родственные пшенице культурные и дикие виды злаков. Значительный интерес представляют синтетические амфиплоиды, объединяющие генетический потенциал сразу нескольких видов. В селекции мягкой пшеницы наиболее применимы синтетические гексаплоидные пшеницы, получаемые путем скрещивания тетраплоидных видов *Triticum durum* Desf., *Triticum dicoccoides* (Koern. ex Aschers. et Graebn.) Schweinf. или *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl. ($2n = 4x = 28$, AABB) с *Aegilops tauschii* Coss. ($2n = 2x = 14$, DD) или последовательным скрещиванием диплоидных доноров геномов A, B и D (Ogbonnaya et al., 2013; Kaur et al., 2022). Процесс создания синтетической гексаплоидной пшеницы по сути воспроизводит события естественной истории, в результате которых образовалась мягкая пшеница *Triticum aestivum* L. ($2n = 6x = 42$, AABBDD) – с той разницей, что каждый раз в нем задействованы новые генотипы. Стабильные гексаплоидные синтетические пшеницы могут затем успешно скрещиваться с мягкой пшеницей. Особенно активно участвуют в разработке и распространении по всему миру синтетических гексаплоидных пшениц специалисты CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center, Международный центр улучшения кукурузы и пшеницы). С тех пор как в 1940-х гг. были разработаны первые синтетические гексаплоидные пшеницы, в CIMMYT создано более 1000 линий яровой и 180 линий озимой синтетической пшеницы (van Ginkel, Ogbonnaya, 2007). В период с 1997 по 2005 г. более 50 % всех селекционных линий в CIMMYT получены с участием синтетических гексаплоидных пшениц (Mujeeb-Kazi et al., 2009).

Применение в селекции находят также синтетические геномно-добавленные и геномно-замещенные формы, в которых геном D *T. aestivum* или синтетической пшеницы замещается гомеологичным геномом другого вида. Например, Е.Г. Жировым и коллегами на основе пшеницы сорта Аврора созданы синтетические геномно-замещенные формы Авродес, Аврозис, Авролата, Авротата, Авроале и Аврокум, у которых геном D мягкой пшеницы замещен на геномы *Aegilops speltoides* Tausch, *Aegilops sharonensis* Eig, *Aegilops umbellulata* Zhuk., *Aegilops uniaristata* Vis., *Secale cereale* L. и *Agropyron glaucum* (Desf. ex DC) Roem. & Schult соответственно. Кроме этого, получена геномно-добавленная форма *T. miguschovae*, у которой геном D от *Ae. tauschii* добавлен к геномам AG *T. militinae* Zhuk. et Migusch. (Жиров, 1989). Далее на основе этих синтетических форм получали различные интрогрессивные линии, сочетающие высокое содержание белка с устойчивостью к болезням. Наконец, с использованием этих интрогрессивных линий созданы новые сорта мягкой пшеницы (Давоян и др., 2012).

Одна из наиболее известных синтетических форм злаков – пшенично-ржаной амфиплоид, или тритикале. Первой получена октаплоидная тритикале ($2n = 8x = 56$, AABBDDRR) путем скрещивания *T. aestivum* с рожью и последующего удвоения числа хромосом. Гексаплоидная тритикале ($2n = 6x = 42$, AABBRR) создана скрещиванием с рожью тетраплоидных пшениц. Интересно, что при использовании в скрещивании синтетических гексаплоидных пшениц в результате элиминации хромосом генома D также часто образуются гексаплоидные тритикале (Hao et al., 2013; Гадималиева и др., 2018). Так, в 1970-х гг. в Национальном институте генетических ресурсов Азербайджана в результате стандартной половой гибридизации синтетической пшеницы AABBDD (*T. durum* × *Ae. tauschii* var. *meyeri*) с сорно-полевой рожью *S. cereale* subsp. *segetale* Zhuk. ($2n = 2x = 14$, RR) без гормональных препаратов и колхициновой обработки получен образец тритикале, который, по данным исследователей, отличается высоким потенциалом формообразования (Аминов, Мамедов, 1981; Мехтиева, Аминов, 2013; Алиева и др., 2015).

При всех достоинствах синтетических форм нельзя забывать о возможных проблемах. В частности, при переходе

на более высокий уровень пloidности часто наблюдается изменение экспрессии ряда генов, что связано с межгенными взаимодействиями (Ogbonnaya et al., 2013). Так, D. Bai и D.R. Knott (1992) обнаружили, что мягкая пшеница сорта Чайниз Спринг несет на хромосомах 1D, 2D и 4D локусы-супрессоры, подавляющие устойчивость к стеблевой ржавчине, полученную от *T. dicoccoides*. Помимо специфических супрессорных локусов следует учитывать, что процесс аллополиплоидизации генерирует два типа шока: гибридный, когда в одном ядре объединяются близкие, но в то же время дивергировавшие в процессе эволюции геномы; полиплоидный, связанный с дубликацией генетической информации. В исследованиях показано, что при этом происходят различные изменения на молекулярном уровне. Во вновь синтезированном аллополиплоиде одни гены могут замолчать в результате элиминации последовательностей ДНК или метилирования, а другие, наоборот, активироваться (Ogbonnaya et al., 2013). Поэтому перед введением в селекционный процесс какой-либо гибридной линии, полученной при участии синтетических амфилоидов, необходимо ее всестороннее изучение, которое включает подробное описание фенотипа, позволяющее выявить полезные признаки. Не менее важно проведение кариотипирования для обнаружения возможных хромосомных перестроек или нарушений, например скрытой анеуплоидии, когда число хромосом соответствует эуплоидному ($2n = 42$), но на самом деле наблюдается замена одной из хромосом негомологичной хромосомой – подобно случаям, выявленным Н.К. Zhang с коллегами у синтетических гексаплоидных пшениц (2013).

Цель настоящей работы – изучение хромосомного состава, биологических и хозяйственно важных признаков синтетической линии 1102, полученной в Национальном институте генетических ресурсов Азербайджана от скрещивания гексаплоидной тритикале ($2n = 6x = 42$, BBAARR) (Аминов, Мамедов, 1981) и синтетической пшеницы ($2n = 6x = 42$, AADDSS).

Материалы и методы

Растительный материал

Гибридная линия 1102 получена в Национальном институте генетических ресурсов Азербайджана от скрещивания гексаплоидной тритикале ($2n = 6x = 42$, BBAARR) и синтетической пшеницы ($2n = 6x = 42$, AADDSS) (рис. 1). Образец тритикале, участвовавший в скрещивании, получен профессором Н.Х. Аминовым от гибридизации синтетической пшеницы BBAADD (*T. durum* × *Ae. tauschii* var. *meyeri*) с сорно-полевой рожью *S. cereale* subsp. *segetale* ($2n = 2x = 14$, геном RR) (см. рис. 1) (Аминов, Мамедов, 1981). Далее в работе для него будет использовано название «тритикале Аминова».

Фенотипирование

Растения линии 1102 изучали в сравнении с разными сортами яровой мягкой пшеницы (табл. 1) в условиях гидропонной теплицы Института цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск) весной 2020 г. и в естественных условиях на экспериментальном участке ИЦиГ СО РАН (Новосибирская область) в 2022 г. В гидропонной теплице растения

выращивали на искусственном грунте – керамзите – при ежедневной двукратной водной подкормке раствором Кнопа, на 14-часовом режиме освещения; дневная/ночная температура составляла 18–20 °С до и 20–22 °С после кушения. Оценивали высоту растения и форму зерна (длина, ширина, длина/ширина, округлость). Плотность колоса (D – индекс плотности) рассчитывали по формуле: $D = (A - 1) \times 10/B$, где: $(A - 1)$ – число колосков колоса без верхушечного колоска; B – длина стержня колоса (Якубцинер, 1976). Обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel.

Для определения образа жизни растения выращивали в теплице без яровизации и с яровизацией длительностью 60 дней при температуре +4 °С. Форму зерна сортов мягкой пшеницы и линии 1102 оценивали с применением программы SeedCounter.2.3 (Komyshev et al., 2017; Afonnikov et al., 2021). Фотографировали по 20 зерен каждого генотипа по 5 повторностей, перемешивая их на листе. Оценивали длину и ширину зерен, отношение длины к ширине, округлость.

Идентификация аллелей гена *VRN-1*

Для определения аллелей гена *VRN-1* у линии 1102 использованы опубликованные ранее геноспецифичные маркеры (табл. 2). Праймеры синтезированы в ООО «Биолабмикс» (Новосибирск). В качестве контроля применяли сорт мягкой пшеницы Чайниз Спринг с известным аллельным составом гена *VRN-1*: *vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1* (Yan et al., 2004; Fu et al., 2005).

Цитогенетический анализ

Флуоресцентную гибридизацию *in situ* (FISH) осуществляли в соответствии с ранее опубликованной методикой (Salina et al., 2006). Для идентификации хромосом использовали меченные с помощью реакции ник-трансляции пробы pSc119.2 (Bedbrook et al., 1980) и pAs1 (Rayburn, Gill, 1986). Зонды Spelt1 и Spelt52 (Salina et al., 2006) применяли для выявления возможных транслокаций и хромосомных замещений с участием *Ae. speltoides*. Геномную гибридизацию *in situ* (GISH) с ДНК ржи проводили в соответствии с ранее опубликованной методикой (Schubert et al., 1998). Работы выполняли в ЦКП микроскопического анализа биологических объектов СО РАН (Новосибирск).

Результаты

Определение образа жизни

Эксперимент по выращиванию линии 1102 в теплице показал, что у растений, прошедших яровизацию, время колошения составило 28.00 ± 0.15 дня, а у растений без яровизации – 38.3 ± 0.28 дня.

Основной вклад в контроль времени колошения и созревания гексаплоидной пшеницы вносит ген *VRN-1*, представленный тремя локусами: *VRN-A1*, *VRN-B1* и *VRN-D1*, расположенными в хромосомах 5A, 5B и 5D соответственно (Law et al., 1975; Galiba et al., 1995; Dubcovsky et al., 1998). По этой причине мы провели анализ гена *VRN-1* у линии 1102, который позволил выявить доминантные аллели в локусах *VRN-A1* и *VRN-B1* (рис. 2). Длина фрагмента амплификации с праймерами к аллелю *vrn-D1* в случае линии 1102 значительно отличается от ожидаемой (см. табл. 2) и составляет примерно 1800 пн.

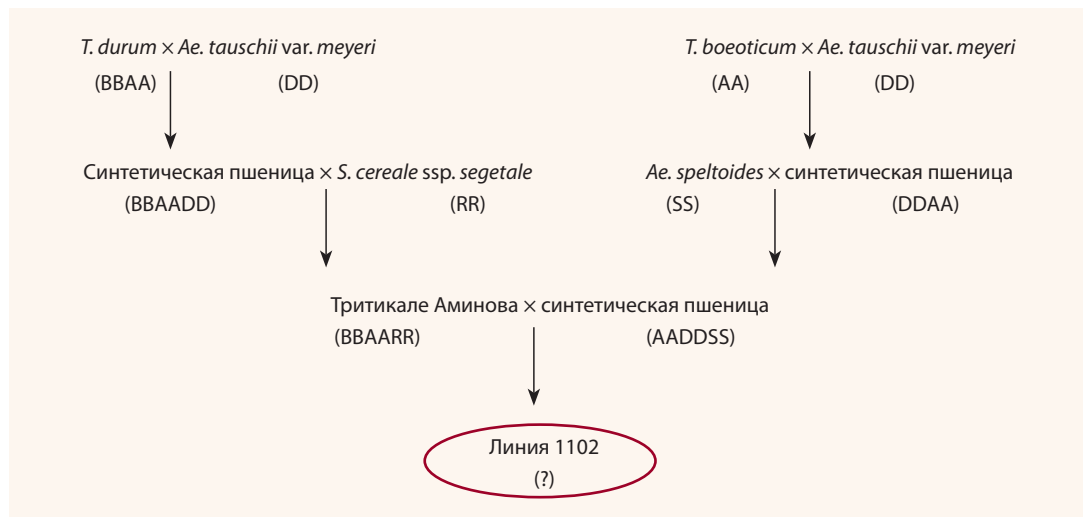


Рис. 1. Схема получения линии 1102
Fig. 1. Scheme of line 1102 obtaining

Кариотипирование линии 1102

Поскольку монохромное окрашивание не позволяет идентифицировать отдельные хромосомы пшеницы, для оценки кариотипа исследуемой линии мы применили метод FISH с зондами, разработанными на основе различных повторяющихся последовательностей. Наиболее часто для идентификации хромосом пшеницы используют пробы рSc119.2 и рAs1 (Schneider et al., 2003). По данным FISH с этими зондами у линии 1102 не выявлено отличий от кариотипа сортов мягкой пшеницы (Schneider et al., 2003) (рис. 3, а).

Исходя из родословной линии 1102 (см. рис. 1) можно предположить присутствие в ее геноме хромосом и/или транслокаций от ржи и *Ae. speltooides*. Поэтому мы провели GISH с ДНК *S. cereale* и FISH с зондами Spelt1 и Spelt52, специфичными для генома *Ae. speltooides* (выполнение GISH с ДНК *Ae. speltooides* затруднено из-за близости геномов В пшеницы и *S. эгилопса*). Использованы следующие комбинации зондов: рSc119.2 и Spelt1 (см. рис. 3, в), рAs1 и ДНК ржи, рSc119.2 и Spelt52. Целые хромосомы и хромосомные транслокации ржи у исследуемой линии не обнаружены. Сайты гибридизации с зондом Spelt52 не выявлены. На концах длинных плеч хромосом 3В определены блоки повтора Spelt1 (см. рис. 3, в), что может указывать на транслокацию от *Ae. speltooides*. Однако сайты Spelt1 на 3ВL могут быть и у некоторых образцов тетраплоидных пшениц (Salina et al., 2006), в частности у *T. durum*, а данный вид пшеницы присутствует в родословной линии 1102 (тритикале Аминова получена при участии *T. durum*). В связи с этим мы проверили наличие блоков Spelt1 на хромосомах тритикале, использованной для создания исследуемой линии. Гибридизация с зондами рSc119.2 и Spelt1 показала, что блоки повторов Spelt1 присутствуют у тритикале Аминова (см. рис. 3, б). Таким образом, наличие данных блоков в кариотипе исследуемой линии не свидетельствует о транслокациях от *Ae. speltooides*, блоки повторов Spelt1 унаследованы от *T. durum*. В результате мы можем заключить, что кариотип линии 1102 не отличается от кариотипа мягкой пшеницы (BBAADD).

Фенотипирование

Линию 1102 характеризует короткий, плотный (индекс плотности 24–27), остистый колос (рис. 4).

Поскольку наиболее важными, потенциально хозяйственно ценными характеристиками линии 1102 являются короткостебельность и зерно округлой формы, мы оценили признаки «высота растения» (см. рис. 4, 5) и «форма зерна» (см. рис. 4, 6) у данной линии в сравнении с другими образцами мягкой пшеницы (см. табл. 1).

Высота растений линии 1102 в полевых условиях составляла 34.50 ± 2.12 см. В теплице этот показатель варьировал в пределах 43.6 ± 4.9 см. Для оценки формы зерна выбраны следующие параметры: длина и ширина зерна, отношение длины к ширине, округлость зерна. Показателен график распределения различных сортов мягкой пшеницы (102 сорта) по параметрам «отношение длины к ширине» и «округлость зерна» (см. рис. 6), на котором хорошо видно, насколько отличается гибридная линия 1102 от остальных представленных образцов.

Обсуждение

Основными характеристиками линии 1102, выделенной из гибридной популяции тритикале ($2n = 6x$) x синтетическая пшеница ($2n = 6x$), служат короткостебельность и зерновки округлой формы, однако подробно данные признаки, тем более в условиях Западной Сибири, не описывали. До настоящего времени не было известно, является ли линия 1102 яровой или озимой, ее кариотип детально не изучали.

В условиях Азербайджана в силу мягкости климата посев линии 1102 проводили осенью, и было сложно определить ее потребность в яровизации. Результаты нашего эксперимента по выращиванию линии 1102 в теплице с яровизацией и без нее свидетельствуют о том, что линия является яровой. Анализ гена *VRN-1*, позволивший выявить у линии 1102 доминантные аллели в локусах *VRN-A1* и *VRN-B1*, подтверждает этот вывод. Из литературных источников известно, что присутствие доминантного аллеля хотя бы в одном

Таблица 1. Перечень сортов яровой мягкой пшеницы, использованных при оценке признаков
Table 1. List of spring common wheat cultivars used for traits assessment

Признак	Сорта яровой мягкой пшеницы
Высота растения	Александрина, Алешина, АН-34, Ангарида, Алтайская 92, Алтайская 99, Алтайская 100, Алтайская 325, Алтайская 530, Алтайский простор, Альбидум 73, Баганская 93, Бэль, Веснянка 8, Волгоуральская, Дарница, Диас 2, Златозара, Изиди, Икар, Ильинская, Казачка, Кантегирская 89, Катюша, Кийская, Кинельская 40, Кинельская 60, Краса 2, Куйбышевская 2, Латона, Лютесценс 25, Лютесценс 80, Лютесценс 85, Лютесценс 101, Лютесценс 148, Лютесценс 840, Мана 2, Мариинка, Мария, Новосибирская 15, Новосибирская 20, Новосибирская 22, Новосибирская 29, Новосибирская 67, Новосибирская 81, Новосибирская 89, Новосибирская 91, Ностальгия, Обская 14, Омская 20, Омская 23, Омская 24, Омская 26, Омская 28, Омская 29, Омская 31, Омская 32, Омская 33, Омская 34, Омская 36, Отрада Сибири, Полюшко, Прииртышская 86, Провинция, Речка, Росинка 2, Рыбинская 127, Салимовка, Серебрина, Сибирская 12, Сирена, Скэнт 1, Соната, Страда Сибири, Сурента 1, Сурента 4, Сурента 5, Сурента 6, Сурента 7, Тарская 6, Терция, Тулайковская 1, Тулайковская 10, Тулайковская белозерная, Тулайковская золотистая, Тулайковская степная, Тулеевская, Туринская, Тюменская 99, Удача, Устья, Чернява 13, Эритроспермум 72
Форма зерна	Сорта, использованные для измерения высоты растения и дополнительно: Лютесценс 62, Обская 2, Саратовская 29, Саратовская 42, Тулун, Янецкис Пробат

Таблица 2. Маркеры, использованные для определения аллелей гена *VRN-1*
Table 2. Markers used to determine alleles of the *VRN-1* gene

Аллель	Структура праймеров	Ожидаемый размер ДНК-фрагмента, пн	Лит. источник
<i>Vrn-A1a</i>	Vrn1AF: GAAAGGAAAAATTCTGCTCG	876 и 965	Yan et al., 2004
<i>Vrn-A1b</i>	Int1R: GCAGGAAATCGAAATCGAAG	714	
<i>vrn-A1</i>		734	
<i>Vrn-B1a</i>	Intr1: ATCATCTTCTCCACCAAGGG	1124	Fu et al., 2005;
<i>Vrn-B1c</i>	Intr1/B/R3: CTCATGCCAAAAATTGAAGATGA	737	Shcherban et al., 2012
<i>vrn-B1</i>	Intr1/B/F: CAAGTGGAAACGGTTAGGACA	1149	Fu et al., 2005
	Intr1/B/R4: CAAATGAAAAGGAATGAGAGCA		
<i>Vrn-D1a</i>	Intr1/D/F: GTTGCTGCCTCATCAAATCC	1671	Fu et al., 2005
	Intr1/D/R3: GGTCACCTGGTGGTCTGTGC		
<i>vrn-D1</i>	Intr1/D/F: GTTGCTGCCTCATCAAATCC	997	Fu et al., 2005
	Intr1/D/R4: AAATGAAAAGGAACGAGAGC		

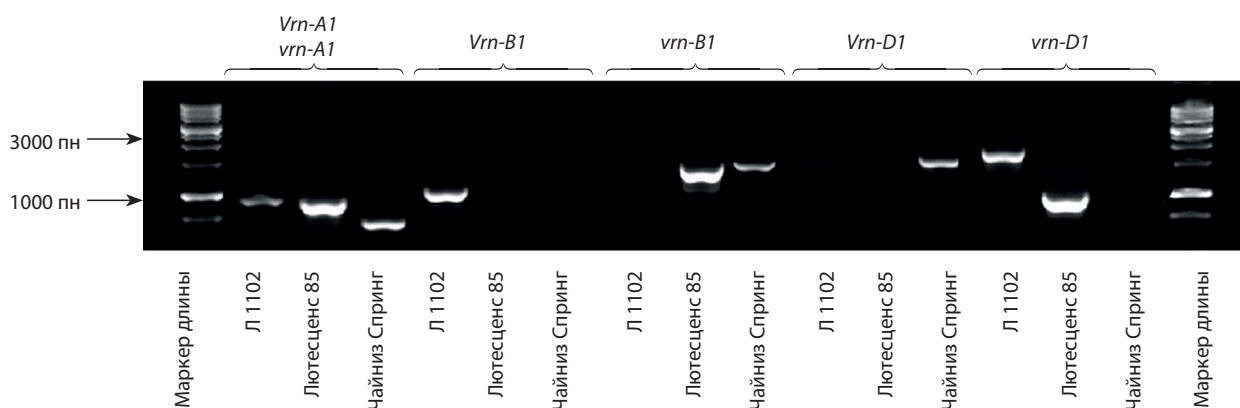


Рис. 2. ПЦР-амплификация с маркерами к аллелям генов *VRN-A1*, *VRN-B1* и *VRN-D1*

Fig. 2. PCR amplification with markers to the alleles of the *VRN-A1*, *VRN-B1* and *VRN-D1* genes

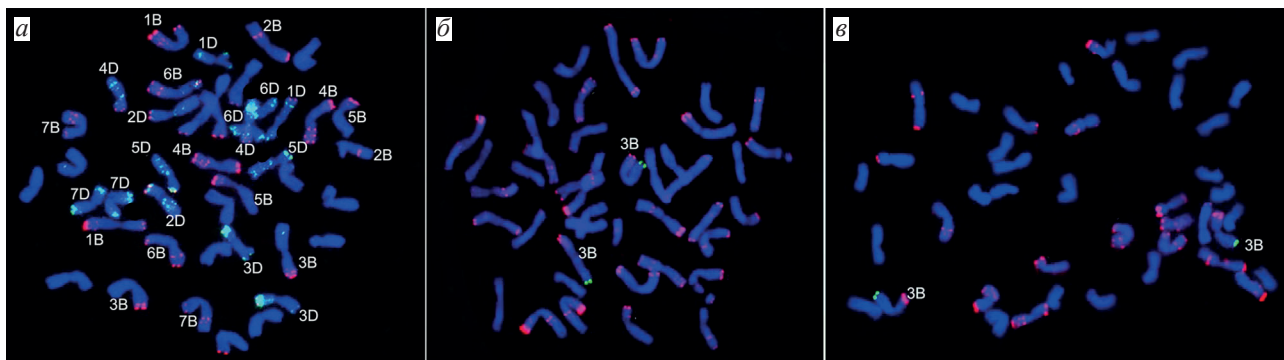


Рис. 3. Результаты FISH на метафазных хромосомах линии 1102 (а, в) и тритикале Аминова (б) с зондами: pSc119.2 (красный), pAs1 (зеленый) (а); pSc119.2 (красный), Spelt1 (зеленый) (б, в)

Fig. 3. FISH on metaphase chromosomes of line 1102 (a, b) and Aminov triticale (c) with probes: pSc119.2 (red), pAs1 (green) (a); pSc119.2 (red), Spelt1 (green) (b, c)

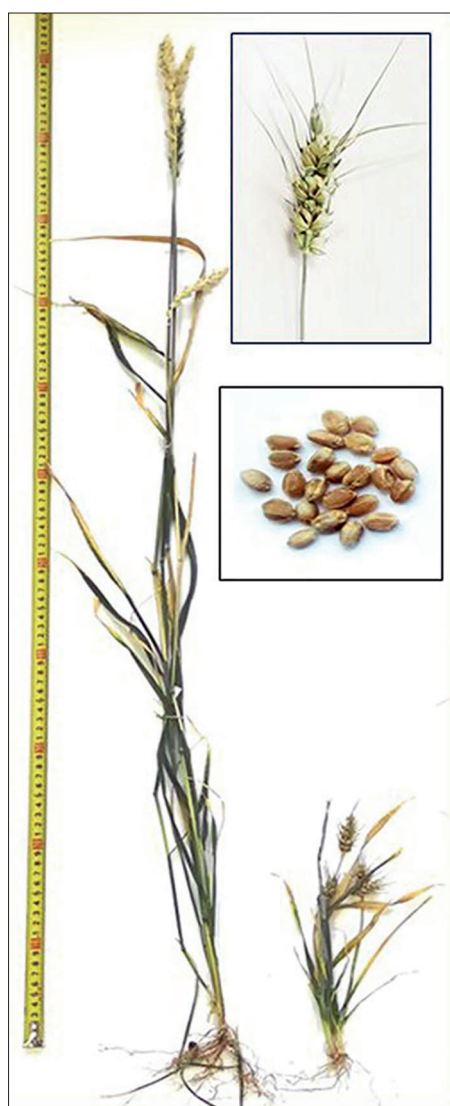


Рис. 4. Растения гибридной линии 1102 (справа) и сорта Лютесценс 85 (слева); колос и зерновки линии 1102

Fig. 4. Plants of the hybrid line 1102 (right) and cultivar Lutescens 85 (left); spike and grains of line 1102

из локусов гена *VRN-1* приводит к проявлению фенотипа яровой пшеницы, причем доминантные аллели *Vrn-A1* обуславливают полную нечувствительность к яровизации (Pugsley, 1971). То, что линия 1102 является яровой, важно для Западно-Сибирского региона, где из-за особенностей климата преимущество отдают именно яровым сортам пшеницы. Интересно, что длина фрагмента амплификации с праймерами к аллелю *vrn-D1* в случае линии 1102 значительно отличается от ожидаемой и составляет примерно 1800 пн. По-видимому, это связано с происхождением генома D данной линии от одного из образцов *Ae. tauschii* var. *meyeri* (см. рис. 1). Без дополнительного исследования невозможно сделать вывод, какому аллелю локуса *VRN-D1* соответствует данный фрагмент – рецессивному или доминантному. Так, А. Muterko с коллегами (2015) выявили у ряда образцов *T. spelta* L. и *T. compactum* Host доминантный аллель *Vrn-D1s*, для которого длина фрагмента амплификации с этими же праймерами составила 1841 пн.

Линия 1102 проявила стабильность в поколениях от самоопыления, однако до настоящего исследования ее кариотип подробно не был изучен. Несмотря на то что линия 1102 является синтетической гексаплоидной пшеницей сложного происхождения (см. рис. 1), кариотипирование методом FISH не показало отличий от кариотипа сортов мягкой пшеницы. Целые хромосомы и хромосомные транслокации ржи и *Ae. speltoides* у исследуемой линии не обнаружены. Таким образом, вероятно, линию 1102 можно успешно использовать для скрещивания с разными сортами и линиями мягкой пшеницы.

К наиболее привлекательным для селекционеров признакам линии 1102 следует отнести короткостебельность и округлую форму зерна. Направленность на выведение низкорослых сортов зерновых культур возникла под влиянием интенсивного земледелия, особенно важным для которого оказался такой признак, как устойчивость к полеганию, в значительной мере связанный с высотой растения. Генетический контроль этого признака у мягкой пшеницы имеет сложный характер. Гены, определяющие высоту растения, локализованы в разных хромосомах и обладают разной эффективностью. В настоящее время насчитывают 22 ос-

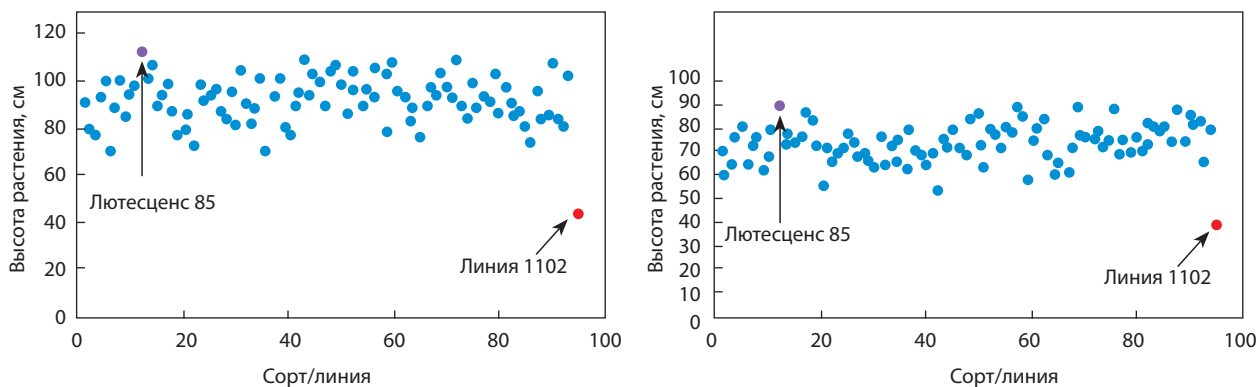


Рис. 5. Средние значения показателя «высота растений» у разных сортов и линий мягкой пшеницы: теплица, весна 2020 г. (а); поле 2022 г. (б)
Fig. 5. Average values of the “plant height” trait for different cultivars and lines of common wheat: greenhouse, spring 2020 (a); field 2022 (b)

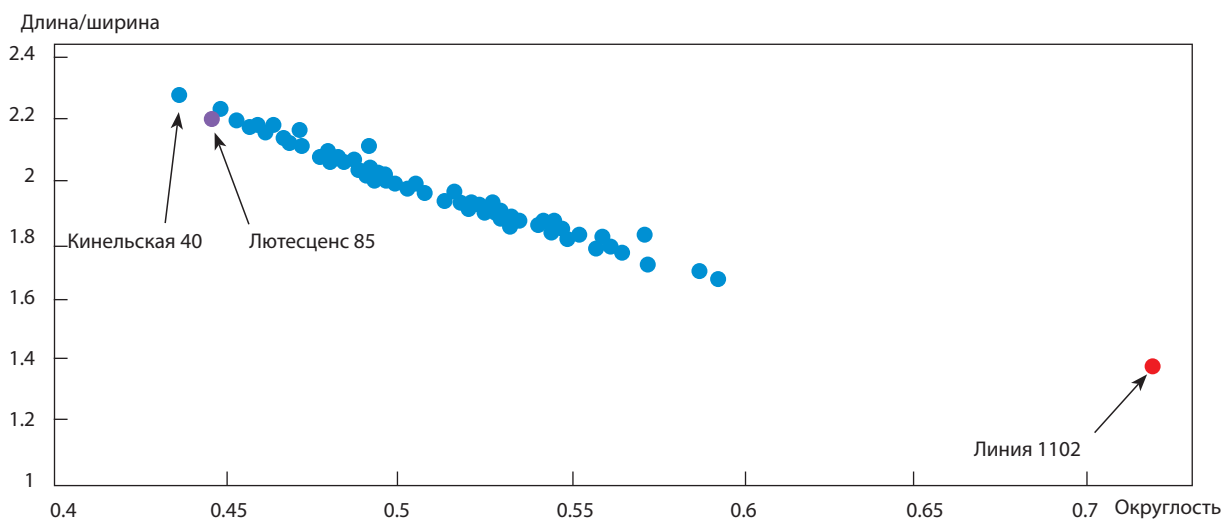


Рис. 6. График распределения различных сортов мягкой пшеницы по параметрам «длина/ширина» и «округлость зерна»
Fig. 6. The distribution of different cultivars of common wheat in terms of length/width and grain roundness

новых гена (McIntosh et al., 2013), которые обозначаются как *Rht* (reduced plant height). Следует отметить, что многим генам короткостебельности свойственна плейотропия. Причем влияние, оказываемое на хозяйственно полезные признаки, может быть как положительным, так и отрицательным (Чеботарь и др., 2006). Например, гены *Rht5* и *Rht7* оказывают негативный эффект на урожайность (Чеботарь и др., 2006). В ряде работ показано, что при интенсивных технологиях возделывания существенное увеличение урожайности дают растения только с полукарликовым и короткостебельным фенотипами, характеризующиеся уменьшением длины стебля на 20–30 и 40–50 % от нормы (стандарта) соответственно (Сухих и др., 2021). Линию 1102 можно отнести к карликовым или даже малорослым формам (уменьшение длины стебля на 50–70 %). Однако такое снижение высоты растения может быть вызвано воздействием нескольких генов (аллелей) на данный признак. Среди них могут встретиться ранее неизвестные полезные варианты.

Сферическая форма зерна привлекательна для современной пищевой промышленности тем, что при его пере-

работке выход муки оказывается значительно выше, чем при переработке зерна удлиненной формы. На основании результатов моносомного анализа гены сферококкоидности локализованы на хромосомах 3D, 3В, 3А и обозначены как S1, S2, S3 (Maystrenko et al., 1998), позже они картированы в прицентромерных районах соответствующих хромосом (Salina et al., 2000). Гены сферококкоидности обладают плейотропным эффектом, определяя дополнительно целый комплекс полезных признаков: жесткий короткий стебель (устойчивость к полеганию), прямой флаговый лист, плотный колос. Однако возможно, что округлая форма зерна у растений линии 1102 зависит от других, еще неизвестных генов.

Закключение

Проведено предварительное исследование синтетической линии гексаплоидной пшеницы 1102, характеризующейся такими интересными для селекции свойствами, как короткостебельность и круглозерность. Мы оценили ее фенотип, установили, что данная линия не несет крупных хромосом-

ных перестроек. Дальнейшая работа будет направлена на выявление у линии 1102 уже известных генов (аллелей), отвечающих за проявление исследуемых признаков, и на картирование новых целевых локусов количественных признаков (QTLs). На данном этапе выделены сорта мягкой пшеницы, контрастные с линией 1102 по изучаемым признакам, для получения картирующей популяции. Один из таких сортов – сорт мягкой пшеницы Лютеценс 85 (см. рис. 4) из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), отличающийся повышенной массой зерна. В перспективе линия 1102 может быть использована как источник новых генов короткостебельности и круплозерности.

Список литературы / References

- Алиева А.Дж., Мехдиева С.П., Керимова Р.К. Создание короткостебельных линий с вавиловидным типом колоса и их цитогенетическая характеристика. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):91-96. DOI 10.18699/VJ15.01 [Alieva A.J., Mehdiyeva S.P., Kerimova R.K. Raise of short-stemmed vaviloid branched spike lines and their cytogenetics. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):91-96. DOI 10.18699/VJ15.01 (in Russian)]
- Аминов Н.Х., Мамедов А.Р. Некоторые особенности трёхродовых гибридов (*Triticum* × *Aegilops*) × *Secale*. Материалы VI съезда генетиков и селекционеров Азербайджана. Баку: Элм, 1981;26 [Aminov N.Kh., Mamedov A.R. Some features of three-generic hybrids (*Triticum* × *Aegilops*) × *Secale*. Materials of the VI Congress of Geneticists and Breeders of Azerbaijan. Baku: Elm Publ., 1981;26 (in Russian)]
- Гадималиева Г.А., Керимова Р.К., Аминов Н.Х. Гибридизация между синтетической пшеницей и рожью. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018;1:135-138 [Gadimalieva G.A., Kerimova R.K., Aminov N.Kh. Hybridization between synthetic wheat and rye. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;1:135-138 (in Russian)]
- Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян О.Р., Зинченко А.Н., Давоян Э.Р., Кравченко А.М., Зубанова Ю.С. Синтетические формы как основа для сохранения и использования генофонда диких сороричей мягкой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):44-51 [Davoyan R.O., Bebyakina I.V., Davoyan O.R., Zinchenko A.N., Davoyan E.R., Kravchenko A.M., Zubanova Y.S. Use of synthetic forms in the preservation and exploitation of the gene pool of wild common wheat relatives. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):44-51 (in Russian)]
- Жилов Е.Г. Геномы пшеницы: исследование и перестройка: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киев, 1989;1-36 [Zhiron E.G. Wheat genomes: research and restructuring. Doctor Sci. (Biol.) Dissertation. Kyiv, 1989;1-36 (in Russian)]
- Мехтиева С.П., Аминов Н.Х. Формообразовательный процесс при скрещиваниях гексаплоидного тритикале с полбой. *Фундаментальные исследования*. 2013;11(6):1191-1196 [Mekhtieva S.P., Aminov N.K. Morphotype forming in hybrid progenies of 6x-triticale and emmer wheat. *Fundamentalnye Issledovaniya = Fundamental Research*. 2013;11(6):1191-1196 (in Russian)]
- Сухих И.С., Вавилова В.Ю., Блинов А.Г., Гончаров Н.П. Разнообразие и фенотипический эффект аллельных вариантов короткостебельности *Rht* у пшениц. *Генетика*. 2021;57(2):127-139. DOI 10.1134/S1022795421020101 [Sukhikh I.S., Vavilova V.J., Blinov A.G., Goncharov N.P. Diversity and phenotypical effect of allelic variants of *Rht* dwarfing genes in wheat. *Rus. J. Genet.* 2021;57(2):127-138. DOI 10.1134/S1022795421020101 (in Russian)]
- Чеботарь С.В., Бёрнер А., Сиволап Ю.М. Анализ генов короткостебельности в генотипах сортов мягкой пшеницы Украины. *Цитология и генетика*. 2006;40(4):12-23 [Chebotar S.V., Börner A., Sivolap Yu.M. Analysis of the dwarfing genes in the genotypes of bread wheat cultivars of Ukraine. *Tsitologiya i Genetika = Cytology and Genetics*. 2006;40(4):12-23 (in Russian)]
- Якубцинер М.М. Пшеница. Описание культуры. Руководство по апробации сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1976;7-39. [Yakubtsiner M.M. Wheat. Description of culture. Guidelines for apronation of agricultural crops. Moscow: Kolos, 1976;7-39 (in Russian)]
- Afonnikov D.A., Komyshev E.G., Efimov V.M., Genaev M.A., Koval V.S., Gierke P.U., Börner A. Relationship between the characteristics of bread wheat grains, storage time and germination. *Plants (Basel)*. 2021;11(1):35. DOI 10.3390/plants11010035
- Bai D., Knott D.R. Suppression of rust resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by D-genome chromosomes. *Genome*. 1992;35(2):276-282. DOI 10.1139/g92-043
- Bedbrook J.R., Jones J., O'Dell M., Thompson R.D., Flavell R.B. A molecular description of telomeric heterochromatin in *Secale* species. *Cell*. 1980;19(2):545-560. DOI 10.1016/0092-8674(80)90529-2
- Dubcovsky J., Echaide M., Antonelli E.F., Lukaszewski A.J. Molecular characterization of two *Triticum speltoides* interstitial translocations carrying leaf rust and green bug resistance genes. *Crop Sci*. 1998;38(6):1655-1660. DOI 10.2135/cropsci1998.0011183X003800060040x
- Fu D., Szucs P., Yan L., Helguera M., Skinner J.S., von Zitzewitz J., Hayes P.M., Dubcovsky J. Large deletions within the first intron in *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat. *Mol. Gen. Genomics*. 2005;273(1):54-65. DOI 10.1007/s00438-004-1095-4
- Galiba G., Quarrie S.A., Sutka J., Morgounov A., Snape J.W. RFLP mapping of the vernalization (*Vrn1*) and frost resistance (*Fr1*) genes on chromosome 5A of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 1995;90(7-8):1174-1179. DOI 10.1007/BF00222940
- Hao M., Luo J., Zhang L., Yuan Z., Yang Y., Wu M., Chen W., Zheng Y., Zhang H., Liu L. Production of hexaploid triticale by a synthetic hexaploid wheat-rye hybrid method. *Euphytica*. 2013;193(3):347-357. DOI 10.1007/s10681-013-0930-2
- Kaur A., Kaur S., Sharma A., Chhuneja P. Channelizing novel diversity through synthetics for wheat improvement. P.L. Kashyap, V. Gupta, O.P. Gupta, R. Sendhil, K. Gopalareddy, P. Jasrotia, G.P. Singh (eds). In: New horizons in wheat and barley research global trends. Breeding and quality. Singapore: Springer Singapore, 2022. DOI 10.1007/978-981-16-4134-3
- Komyshev E., Genaev M., Afonnikov D. Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping. *Front. Plant Sci*. 2017;7:1990. DOI 10.3389/fpls.2016.01990
- Law C.N., Worland A.J., Giorgi B. The genetic control of ear-emergence time by chromosomes 5A and 5D of wheat. *Heredity*. 1975;36:49-584
- Maystrenko O.I., Laikova L.I., Arbusova V.S., Melnik V. M. The chromosomal location of the *S1*, *S2* and *S3* genes of induced sphaeroocoid mutations in common wheat. *EWAC Newsl. Proc 10th EWAC meeting*. Italy: University of Tuscia, 1998;127-130
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat. 2013. Available: <https://wheat.pw.usda.gov/GG3/sites/default/files/Catalogue%20of%20Gene%20Symbols%20for%20Wheat%20-%202021%20edition.pdf>
- Muterko A., Balashova I., Cockram J., Kalendar R., Sivolap Y. The new wheat vernalization response allele *Vrn-D1s* is caused by DNA transposition insertion in the first intron. *Plant Mol. Biol. Rep.* 2015;33:294-303. DOI 10.1007/s11105-014-0750-0
- Mujeeb-Kazi A., Gul A., Ahmad I., Farooq M., Rauf Y., ur Rahman A., Riaz H. Genetic resources for some wheat abiotic stress tolerances. In: Ashraf M., Ozturk M., Athar H. (eds) Salinity water stress: tasks for vegetation and sciences. Dordrecht: Springer, Dordrecht, 2009;44:149-163. DOI 10.1007/978-1-4020-9065-3
- Ogbonnaya F.C., Abdalla O., Mujeeb-Kazi A., Kazi A.G., Xu S.S., Gosman N., Lagudah E.S., Bonnett D., Sorrells M.E., Tsujimoto H. Synthetic hexaploids: harnessing species of the primary gene pool for wheat improvement. Chapter 2. J. Janick (ed.). In: Plant Breeding Reviews. Volume 37. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013;37:35-122. DOI 10.1002/9781118497869.ch2
- Pugsley A.T. A genetic analysis of the spring-wheat habit of growth in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 1971;22(1):23-31
- Rayburn A.L., Gill B.S. Isolation of a D-genome specific repeated DNA sequence from *Aegilops squarrosa*. *Plant Mol. Biol. Rep.* 1986;4(2):102-109. DOI 10.1007/BF02732107

- Salina E., Börner A., Leonova I., Korzun V., Laikova L., Maystrenko O., Röder M.S. Microsatellite mapping of the induced sphaerococoid mutation genes in *Triticum aestivum*. *Theor. Appl. Genet.* 2000;100:686-689. DOI 10.1007/s001220051340
- Salina E.A., Lim Y.K., Badaeva E.D., Shcherban A.B., Adonina I.G., Amosova A.V., Samatadze T.E., Vatolina T.Yu., Zoshchuk S.A., Leitch A.A. Phylogenetic reconstruction of *Aegilops* section *Sitopsis* and the evolution of tandem repeats in the diploids and derived wheat polyploids. *Genome.* 2006;49(8):1023-1035. DOI 10.1139/G06-050
- Schneider A., Linc G., Molnar-Lang M. Fluorescence *in situ* hybridization polymorphism using two repetitive DNA clones in different cultivars of wheat. *Plant Breed.* 2003;122(5):396-400. DOI 10.1046/j.1439-0523.2003.00891.x
- Schubert I., Shi F., Fuchs J., Endo T.R. An efficient screening for terminal deletions and translocations of barley chromosomes added to common wheat. *Plant J.* 1998;14(4):489-495
- Shcherban A.B., Emtseva M.V., Efremova T.T. Molecular genetic characterization of vernalization genes *Vrn-A1*, *Vrn-B1* and *Vrn-D1* in spring wheat germplasm from Russia and adjacent regions. *Cereal Res. Commun.* 2012;40(3):425-435. DOI 10.1556/CRC.40.2012.3.4
- van Ginkel M., Ogbonnaya F. Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production conditions. *Field Crop Res.* 2007;104(1-3):86-94. DOI 10.1016/j.fcr.2007.02.005
- Yan L., Helguera M., Kato K., Fukuyama S., Sherman J., Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN-1* promoter in polyploidy wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2004;109(8):1677-1686. DOI 10.1007/s00122-004-1796-4
- Zhang H.K., Bian Y., Gou X.W., Zhu B., Xu C.M., Qi B., Li N., Rustgi S., Zhou H., Han F.P., Jiang J.M., Wettstein D.V., Liu B. Persistent whole-chromosome aneuploidy is generally associated with nascent allohexaploid wheat. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2013;110(9):3447-3452. DOI 10.1073/pnas.1300153110

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 31.05.2023. После доработки 19.07.2023. Принята к публикации 20.07.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16

Оригинальное исследование

Некоторые особенности созданных разными способами тритикале

П.И. Стёпочкин 

Аннотация: В данной статье сообщены результаты исследований 2021 г., посвященных пшенично-ржаным амфиплоидам (ПРА), или тритикале, созданным разными способами: скрещиванием мягкой пшеницы с рожью и последующим удвоением числа хромосом (октаплоидные (8x) тритикале 8x TDA и 8x TDE), выделением дивергентных форм гексаплоидных (6x) тритикале из популяций 8x тритикале, гибридизацией 8x тритикале с 6x ПРА, трехступенчатым скрещиванием (гибрид пшеницы × рожь × 6x ПРА), гибридизацией полбы с 6x ПРА и внутривидовой гибридизацией. Цель работы – изучение яровых и факультативных форм тритикале, созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, по пяти признакам. Октоплоидные пшенично-ржаные формы значительно уступают гексаплоидным по плотности колоса, натуре и продуктивности зерна. Однако вследствие цитогенетической нестабильности 8x ПРА служат источниками дивергентных гексаплоидных тритикале, которые несут селекционно ценные признаки. Пять изученных дивергентных генотипов 6x тритикале превзошли по изученным признакам исходные 8x семьи тритикале и не уступили стандарту. Из них 6x TDA, выделенная из октаплоидной семьи 8x TDA, характеризовалась межфазным периодом «всходы – колошение», не превышавшим 43 сут. Две гексаплоидные формы, созданные скрещиванием полбы с тритикале, имели такой же показатель этого признака, а также натуру зерна, достигавшую 760 г/л. Самый короткий межфазный период «всходы – колошение», 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы и тритикале, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос. Октоплоидным по сравнению с гексаплоидными формами тритикале требуется больше времени от всходов до колошения – от 63 до 73 сут. У четырех факультативных тритикале этот период тоже длительный, превышал 62 сут. Из них две полученные из сортов, созданных на основе трехвидовых скрещиваний, обладали более высокой продуктивностью зерна, чем стандарт. Селекционный образец 6x Сиарс 258, созданный на основе внутривидовой гибридизации, показал не только хорошую натуру, но и самую высокую в опыте продуктивность зерна, достигавшую 689 ± 24 г.

Ключевые слова: гексаплоидный; октаплоидный; тритикале; гибрид; признак.

Для цитирования: Стёпочкин П.И. Некоторые особенности созданных разными способами тритикале. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):126-131. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.


Original article

Some peculiarities of triticales made by different ways

P.I. Stepochkin 

Abstract: In this article are reported the results of studies of 2021 relevant to wheat-rye amphiploids (WRA), or triticales, created in various ways: crossing common wheat with rye and then doubling the number of chromosomes (octoploid (8x) triticales 8x TDA and 8x TDE), selection of divergent hexaploid (6x) triticales forms found in 8x triticales populations, hybridization of 8x triticales with 6x WRA, three-stage crossing of three species (wheat × rye × 6x WRA), hybridization of emmer with 6x WRA and intraspecific hybridization of 6x WRA. The purpose of the work is to study five traits of spring and facultative forms of triticales created by different methods in SibNIIRS, branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Octoploid wheat-rye forms are significantly inferior to hexaploid ones in terms of spike density, volume grain weight and productivity. However, due to cytogenetic instability, 8x WRAs are sources of divergent hexaploid triticales, that carry selectively valuable traits. Five studied divergent genotypes of 6x triticales exceeded the original 8x triticales families in terms of the studied traits and did not yield to the standard. One of them the

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 petstep@ngs.ru © Стёпочкин П.И., 2023

6x TDA originated from the 8x TDA octoploid family was also characterized by a short interphase period “shoots–earring”, which did not exceed 43 days. Two hexaploid forms created by crossing emmer with triticale are characterized by the same index of this trait as well as a good volume grain weight, reaching 760 g/L. The shortest interphase period “shoots–earring”, 41 days, was noted in the standard variety Timur as well as in the breeding forms DT 182 and DT 24, made with the participation of emmer and triticale. They also have the shortest spike. Octoploid forms of triticale spend more time from germination to heading – from 63 to 73 days compared to hexaploid ones. Four facultative triticales have this long period too, exceeding 62 days. Two of these WRA that were obtained from the varieties made on the basis of three-species crosses have higher grain productivity than the standard. The breeding sample 6x Siars 258 made by intraspecific hybridization showed not only good volume grain weight, but also the highest grain productivity in the field test, reaching 689 ± 24 g.

Key words: hexaploidy; octoploid; triticale; hybrid; trait.

For citation: Steepochkin P.I. Some peculiarities of triticale made by different ways. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):126-131. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16 (in Russian)

Acknowledgements: This work was supported by Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, budget project No. FWNR-2022-0018.

Введение

В искусственно созданном пшенично-ржаном амфиплоиде (ПРА), или тритикале (\times *Triticosecale* Wittmack), объединены хромосомы геномов двух родов злаковых культур – пшеницы (*Triticum* spp.) и ржи (*Secale* spp.). Благодаря чему эта культура совмещает хорошие качества зерна, взятые от пшеницы, с устойчивостью к основным болезням, неблагоприятным почвенным и климатическим условиям, взятую от ржи (Ayalew et al., 2018; Ballesteros-Rodríguez, 2019; Bezabih et al., 2019). Зерно тритикале обладает высокой питательной ценностью из-за увеличенного по сравнению с пшеницей содержания незаменимых аминокислот, витаминов и микроэлементов (Zhu, 2018).

Наиболее распространены гексаплоидные (6x) тритикале (V^4V^4AARR , $2n = 42$), которые в отличие от октаплоидных (8x) (V^4V^4AADRR , $2n = 56$) цитогенетически более стабильные и урожайные. Сообщение о создании сорта 8x тритикале (Cheng, Murata, 2002), скорее всего, следует считать исключением, чем правилом. Гексаплоидные формы тритикале получают разными способами. Первичные 6x тритикале возникают от гибридизации тетраплоидных видов пшеницы с рожью при последующем удвоении числа хромосом у гибрида. Однако для селекционных целей наибольший интерес представляют методы создания вторичных 6x форм ПРА. Один из них основан на использовании октаплоидных форм тритикале. Вследствие цитогенетической нестабильности октаплоидные тритикале представляют собой гетерогенные популяции с высоким содержанием анеуплоидных растений. Так, у одной из семей озимых 8x тритикале содержание анеуплоидных растений превышало 70 % (Стёпочкин, Владимиров, 1978). В потомствах этих растений могут возникать гексаплоидные формы тритикале (Стёпочкин, 1978; Kalinka, Achrem, 2018). Такие дивергентные 6x формы тритикале цитогенетически более стабильные, чем исходные семьи 8x тритикале.

Другой вариант создания 6x ПРА основан на скрещивании октаплоидных тритикале с гексаплоидными. В итоге через несколько поколений сформировались вторичные 6x тритикале, несущие ряд селекционно ценных признаков. Таким образом были получены как озимые, так и яровые формы и сорта. Пионером этого направления был А.И. Державин (1960). Высокая эффективность метода получения

вторичных гексаплоидных тритикале доказана в ряде работ (Sanchez-Monge, 1958; Kiss, 1966; Pieritz, 1966; Krolow, 1971).

Третий путь получения гексаплоидных тритикале основан на перманентных двухступенчатых скрещиваниях: (мягкая пшеница \times рожь) \times гексаплоидная тритикале. Впервые эту схему скрещиваний применил Л.Х. Паремуд (1940). В качестве опылителя для стерильных пшенично-ржаных гибридов он использовал первичную гексаплоидную тритикале, созданную А.И. Державиным. Автор отметил, что применение этой схемы скрещивания позволило не только преодолеть бесплодие гибридов первого поколения, но и получить новые сбалансированные формы, представляющие интерес как для селекции, так и теоретических исследований. В практическом отношении наибольших успехов достиг А.Ф. Шульдин (1970), создавший по этой схеме сорта АД 201, АД 206 и АД 3/5, занимавшие в свое время несколько сотен тысяч гектаров.

Известно, что у видов пшениц за тип развития и продолжительность вегетационного периода ответственны гены *Vrn*, из которых особую роль играют гены *Vrn-1: Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*, доминантные аллели которых определяют яровой тип развития, а рецессивные – озимый (Гончаров, 2012; Shcherban et al., 2015; Muterko et al., 2016; Dixon et al., 2019). На территории России, в том числе в Сибири, сорта яровой мягкой пшеницы в основном имеют два доминантных гена – *Vrn-A1* и *Vrn-B1* (Гончаров, 2012). За развитие растений факультативных форм пшеницы отвечают доминантные аллели гена *Vrn-B1* (Стельмах, 1986) или аллель *Vrn-D1b*, возникший по причине нуклеотидной мутации в промоторном участке гена *Vrn-D1a* (Zhang et al., 2012). В итоге растения способны переходить к генеративному развитию при весеннем севе. После осеннего сева действие доминантных аллелей этих генов приостанавливается до весны.

Сорта озимых тритикале в Сибири пока занимают небольшие площади, хотя два низкостебельных зимостойких сорта зернофуражного направления – Сирс 57 и Цекад 90, созданные в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, высевают от Красноярска до Перми, но на незначительных площадях в каждой области. Озимые сорта европейской селекции в условиях Сибири не всегда перезимовывают, а селекция яровых тритикале в данном регионе представлена слабо. Образцы яровых форм ПРА из мировой коллекции ВИР,

изученные в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, в основном имеют длительный вегетационный период и не подходят для короткого сибирского лета.

Яровые зерновые культуры, в отличие от озимых, гарантированно ежегодно дают урожай. В России к 2021 г. в государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, уже занесено 20 сортов яровых ПРА¹. В обширном земледельческом регионе Сибири возделывают преимущественно яровые злаки, приспособленные к местным условиям, однако сортов яровой тритикале сибирской селекции пока среди них нет. Способность тритикале лучше, чем пшеница, переносить неблагоприятные почвенные и климатические факторы (Ayalew et al., 2018; Ballesteros-Rodríguez, 2019; Bezabih et al., 2019) мотивирует заниматься созданием и селекцией этой культуры. В зависимости от способа получения возникают разные варианты генотипов растений для селекционного использования.

Цель данной работы – изучение яровых и факультативных форм тритикале, созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, по пяти признакам.

Материал и методы

Для изучения взяты полученные в разные годы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН формы ПРА ярового и факультативного типа развития.

Одним из направлений было выделение дивергентных форм 6х тритикале из популяций цитогенетически нестабильных октаплоидных тритикале. Первичные формы 8х тритикале созданы скрещиванием озимой мягкой пшеницы, а также линий яровой мягкой пшеницы Triple Dirk A (носитель доминантного гена *Vrn-A1*), Triple Dirk E (носитель доминантного гена *Vrn-D1*) и Triple Dirk B (носитель доминантного гена *Vrn-B1*) с озимой диплоидной рожью Короткостебельная 69 при последующем удвоении числа хромосом у пшенично-ржаных гибридов (Стёпочкин, Владимиров, 1978; Стёпочкин, 2009; 2017). Яровые октаплоидные формы тритикале (поколения C_8-C_9), полученные на основе линий мягкой пшеницы Triple Dirk A, Triple Dirk E и Triple Dirk B, обозначены как 8х TDA, 8х TDB и 8х TDE соответственно. Дивергентные озимые 6х формы тритикале УК 30 и ЛМК 462 выделены из популяций октаплоидных комбинаций скрещивания ПРА Ульяновка × Короткостебельная 69 и (F_1 : Лютесценс 230 × Мироновская 808) × Короткостебельная 69 соответственно. Факультативные формы УК 30/33 и ЛМК 462/208 получены из них в 1999 г. (поколение S_{10}) и 2000 г. (поколение S_9) соответственно.

Дивергентные яровые 6х ПРА также выделены в 2012–2013 гг. (поколение D_6) из популяций октаплоидных тритикале 8х TDA, 8х TDA × 8х TDB, 8х TDA × 8х TDE, полученных на основе комбинаций скрещивания Triple Dirk A × Короткостебельная 69, (8х Triple Dirk A × Короткостебельная 69) × (8х Triple Dirk B × Короткостебельная 69) и (8х Triple Dirk A × Короткостебельная 69) × (8х Triple Dirk D × Короткостебельная 69) соответственно.

¹ Тритикале яровая (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus). Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2021 год) – часть 3. Доступно: https://www.zinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_15/281-gos-reestr-selekcion-dostojenii-RF-2021g/003.htm

Второе направление включало создание вторичных 6х тритикале на основе скрещивания 8х тритикале с 6х ПРА. Так, получены и изучены яровые гексаплоидные формы F_8 , выделенные в потомстве комбинации скрещивания 8х тритикале 8х TDE с 6х тритикале Сирс 57 (Sterochkin, Stasyuk, 2021). Таким же способом получены вторичные 6х тритикале в комбинациях скрещивания 8х TDB × 6х ПРА Сирс 57 и 8х TDA × 6х ПРА Цекад 90.

Третий способ получения гексаплоидных форм ПРА заключался в трехступенчатом скрещивании в 1984 г. гибридов F_1 сортов озимой пшеницы Цезиум 39 × Краснодарская 39 с озимой диплоидной рожью Короткостебельная 69 и полученного гибрида – с озимой 6х тритикале АД 3/5. Впоследствии из этой комбинации скрещивания получены 6х селекционные формы и сорта Цекад 90 и Сирс 57. Факультативные формы Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4, способные переходить к генеративному развитию как после осеннего, так и весеннего сева, созданы из них в 2000 г. (поколение S_9) и 2001 г. (поколение S_{10}) соответственно.

Четвертый способ получения гексаплоидных тритикале основан на гибридизации в 2013 г. полбы F_1 (Л133 × ПКК) × × к-25516 (*Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl.) с гексаплоидным ПРА УК 30/33. Взяты для сравнительного изучения линии F_8 ДТ 24 и ДТ 182.

Новые формы яровых тритикале также получали внутривидовой гибридизацией 6х ПРА. Для изучения взяты две селекционные формы гибрида F_9 комбинации скрещивания сортов Сирс 57 × Арсенал: Сиарс 233 и Сиарс 258. В 2021 г. созданные разными способами формы тритикале высевали на паровом участке в первой декаде мая на делянках площадью 1 м². Для анализа выбраны признаки: продолжительность межфазного периода растений тритикале «всходы – колошение», длина и плотность колоса, натура и продуктивность зерна.

Статистическую обработку результатов по 10 растениям каждого образца проводили согласно ранее описанной методики с помощью *t*-критерия Стьюдента (Доспехов, 1985).

Результаты и обсуждение

Гексаплоидные тритикале факультативного типа развития по сравнению с яровыми 6х ПРА имеют более продолжительный период от всходов до колошения – 62–65 сут (таблица). Самый короткий межфазный период, 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос.

В группе октаплоидных тритикале семья 8х TDB выделяется наиболее длительным межфазным периодом – 73 сут. В семье 8х TDA он значительно короче (63 сут), у растений гибридов 8х ПРА с участием этой семьи межфазный период «всходы – колошение» тоже короче, чем у 8х TDB. Такое различие вполне объяснимо, так как тритикале 8х TDA обладает доминантным аллелем гена *Vrn-A1*, укорачивающим длину вегетационного периода растений, в отличие от гена *Vrn-B1*, который у амфиплоида 8х TDB удлиняет этот межфазный этап (Стёпочкин, Емцева, 2017).

У октаплоидной формы 8х TDE и трех гексаплоидных ПРА (Тимур, ДТ 182 и ДТ 24) колос короткий, не более 8 см. Эти три

Характеристика полученных разными способами форм тритикале
Characteristics of triticale forms made by various methods

Форма тритикале и пшеницы	Фаза «всходы – колошение», сут	Длина колоса, см	Плотность колоса	Натура зерна, г/л	Продуктивность зерна, г/м ²
6х Тимур, стандарт	41	6.4 ± 0.8	2.53 ± 0.17	755 ± 12	601 ± 19
6х Сиарс 233	47	8.3 ± 0.6*	3.04 ± 0.18*	746 ± 7	522 ± 16*
6х Сиарс 258	48	9.5 ± 0.7*	2.94 ± 0.19	727 ± 23	689 ± 24*
6х ДТ 182	41	6.6 ± 0.5	2.60 ± 0.15	758 ± 3	412 ± 13**
6х ДТ 24	41	7.7 ± 0.8	2.71 ± 0.25	760 ± 7	522 ± 12*
6х УК 30/33	65	9.0 ± 0.5*	2.36 ± 0.21	712 ± 15	594 ± 56
6х ЛМК 462/208	62	8.6 ± 0.3*	2.49 ± 0.08	706 ± 22	551 ± 28
6х Сирс 57/2/4	64	11.3 ± 0.6**	2.88 ± 0.07	612 ± 17	662 ± 39
6х Цекад 90/5	64	12.4 ± 0.4**	2.61 ± 0.07	631 ± 25	688 ± 26*
6х (8х TDA × Цекад 90)	47	10.8 ± 0.2**	2.54 ± 0.08	650 ± 38	507 ± 36
6х (8х TDB × Сирс 57)	58	11.0 ± 0.7**	2.57 ± 0.02	591 ± 27*	454 ± 41*
6х (8х TDE × Сирс 57)	54	11.6 ± 0.4**	2.76 ± 0.04	598 ± 33	349 ± 15**
6х TDA	43	10.8 ± 0.3**	2.43 ± 0.05	689 ± 20	625 ± 53
6х (8х TDA × 8х TDB)	50	10.8 ± 0.4**	2.60 ± 0.23	630 ± 39	575 ± 54
6х (8х TDA × 8х TDE)	47	12.1 ± 0.7**	2.46 ± 0.17	600 ± 48	555 ± 31
8х (8х TDA × 8х TDB)	66	11.9 ± 0.7**	1.91 ± 0.06*	563 ± 16**	257 ± 10***
8х (8х TDA × 8х TDE)	63	11.1 ± 0.6**	1.95 ± 0.04*	538 ± 22**	222 ± 12***
8х TDA	63	8.9 ± 0.5*	1.99 ± 0.05*	622 ± 29*	205 ± 16***
8х TDB	73	8.7 ± 0.2**	1.91 ± 0.07*	552 ± 28**	79 ± 15***
8х TDE	65	7.3 ± 0.8	1.87 ± 0.03**	537 ± 34**	109 ± 18***

Примечание. Достоверное отличие от стандарта: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

6х ПРА отличились и коротким межфазным периодом «всходы – колошение», который, вероятно, повлиял на укорочение колоса растений гексаплоидных тритикале. У всех 6х тритикале колос значительно более плотный, чем у 8х ПРА. Особенно плотным колосом характеризуются ПРА, созданные с участием сорта Сирс 57. По натуре зерна четыре селекционные формы – Сиарс 233, Сиарс 258, ДТ 182 и ДТ 24 – не уступают стандарту, имеющему значение этого признака 755 ± 12 г/л. У октаплоидных тритикале показатели данного критерия гораздо ниже. По продуктивности зерна октаплоидные ПРА значительно уступают гексаплоидным. Это связано с более низкой, чем у 6х ПРА, плотностью колоса, а также с плохой фертильностью многих растений в пределах одной и той же семьи 8х тритикале. Селекционный гексаплоидный образец Сиарс 258, созданный внутривидовой гибридизацией, обладает хорошей натурой и высокой продуктивностью зерна и представляет ценность для последующей селекционной работы.

Известно, что октаплоидные формы тритикале цитогенетически нестабильны. В их популяциях обнаруживают большую долю имеющих пониженную фертильность анеуплоидных растений с числом хромосом, отличающимся от 56 (Vettel, 1960; Krolow, 1963; Стёпочкин, Владимиров, 1978; Kalinka, Achrem, 2018). В потомствах анеуплоидных растений появляются 6х формы тритикале (Стёпочкин, 1978; Dou et al., 2006). Гексаплоидные формы цитогенетически более стабильные, чем октаплоидные (Cheng, Murata, 2002), и мейоз у них более регулярный. Особый интерес представляют высокофертильные 6х тритикале с геномами A, B и R в ре-

зультате элиминации хромосом генома D (Li et al., 2015). Ранее у гексаплоидного сорта тритикале Сирс 57 определено наличие рецессивного гена *vrn-D1*, оставшегося в геномном наборе, несмотря на элиминацию генома D мягкой пшеницы (Stepochkin, Stasyuk, 2021). В некоторых работах сообщается о сохранении у 6х ПРА части генетического материала генома D пшеницы (Каминская и др., 2005). Эти факты свидетельствуют о том, что при спонтанном возникновении дивергентных гексаплоидных тритикале в процессе деплоидизации октаплоидных ПРА сохраняются некоторые фрагменты генома D мягкой пшеницы.

У коллекционных 6х форм ПРА межфазный период «всходы – колошение» короче, чем у 8х тритикале (Стёпочкин, Емцева, 2017). Другие авторы также сообщают, что в пределах комбинации скрещивания 6х ПРА выколашиваются раньше, чем 8х тритикале (Каминская и др., 2005). То есть сократить межфазный период «всходы – колошение» у тритикале возможно снижением уровня пloidности. В нашей работе это достигнуто спонтанной деплоидизацией октаплоидных тритикале, в результате чего появились гексаплоидные формы с существенно сокращенным межфазным периодом «всходы – колошение».

Из всех аллополиплоидов у тритикале выявлено больше всего геномных изменений, проявляемых в основном в элиминации последовательностей оснований ДНК (Ma, Gustafson, 2008). Полиплоидизация, изменение геномного состава растений в результате отдаленной гибридизации, а также деплоидизация связаны со структурными и генетическими перестройками внутри геномов. Еще один часто

проявляемый тип трансформаций в геномах аллополиплоидов – перемещение и вставки ретротранспозонов в новые места нуклеотидных последовательностей. Особенно интенсивно эти процессы происходят в ранних поколениях вплоть до F₈ становления вновь созданных форм тритикале (Kalinka, Achrem, 2018). В нашем материале у большинства дивергентных 6х тритикале, а также селекционных форм гибридного происхождения формообразовательный процесс по этой причине еще продолжается.

Все полученные разными способами формы тритикале полностью устойчивы к мучнистой росе и видам головни, слабо поражаются бурой ржавчиной, не устойчивы к септориозу. Две формы, созданные гибридизацией полбы с тритикале, в отдельные годы могут поражаться спорыньей.

Заключение

Изучение созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН яровых и факультативных форм тритикале показало, что октаплоидные пшенично-ржаные формы значительно уступают гексаплоидным по плотности колоса, натуре и продуктивности зерна. Однако вследствие цитогенетической нестабильности 8х ПРА служат источником дивергентных гексаплоидных тритикале, которые несут селекционно ценные признаки. Пять дивергентных 6х тритикале превосходили по изученным признакам исходные 8х семьи тритикале и не уступали стандарту. Из них 6х TDA, выделенная из октаплоидной семьи 8х TDA, отличилась межфазным периодом «всходы – колошение», не превышавшим 43 сут. Самый короткий этот период, 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос.

Две гексаплоидные формы, созданные скрещиванием полбы с тритикале, характеризовались таким же показателем этого признака, а также хорошей натурой зерна, достигавшей 760 г/л. Селекционный образец 6х Сиарс 258, созданный на основе внутривидовой гибридизации, показал не только хорошую натуру, но и самую высокую в опыте продуктивность зерна – 689 ± 24 г. У четырех факультативных тритикале отмечен длительный период от всходов до колошения, превышающий 62 сут. Из них две, полученные из сортов, созданных на основе трехвидовых скрещиваний, обладали более высокой продуктивностью зерна, чем стандарт. Для создания озимых сортов Цекад 90 и Сирс 57 выигрышным оказался способ получения исходного материала для селекции на основе трехвидовых скрещиваний. Однако полученные на их основе две факультативные формы слишком позднеспелые и не подходят для возделывания в сибирском регионе. Для создания яровых тритикале необходимо укоротить продолжительность вегетационного периода. По совокупности селекционно ценных признаков для дальнейшей селекционной работы выбраны Сиарс 233, Сиарс 258, ДТ 24 и ДТ 182.

Список литературы / References

Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012 [Goncharov N.P. Comparative genetics of wheat and their related species. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2012 (in Russian)]

- Державин А.И. Краткие итоги работ по гибридизации пшеницы с многолетней рожью и пырееями. *Тр. Ставропольского с.-х. ин-та*. 1960;9:47-53 [Derzhavin A.I. Short result of the work on hybridization of wheat with rye and witch grass. *Proceedings of the Stavropol Agricultural Institute*. 1960;9:47-53 (in Russian)]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Агропромиздат, 1985. [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat Publ., 1985 (in Russian)]
- Каминская Л.Н., Корень Л.В., Леонова И.Н., Адонина И.Г., Хотылева Л.В., Салина Е.А. Создание линий тритикале, маркированных *vrn*-генами, и их молекулярно-генетический анализ. *Информ. вест. ВООУС*. 2005;4(9):481-489 [Kaminskaya L.N., Koren L.V., I.N. Leonova L.V., Adonina I.G., Khotyleva L.V., Salina E.A. Development of triticale lines tagged with *Vrn* genes and their molecular-genetic study. *Informatsionny Vestnik VOGIS = The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeders*. 2005;4(9):481-489 (in Russian)]
- Паремуд Л.Х. Новые формы пшенично-ржаных гибридов. *Селекция и семеноводство*. 1940;4:4-6 [Peremud L.H. New forms of wheat-rye hybrids. *Breeding and Seed Growing*. 1940;4:4-6 (in Russian)]
- Стельмах А.Ф. Анализ частот аллелей и генотипов по локусам *Vrn1-Vrn3* у яровой мягкой пшеницы. *Генетика*. 1986;12(10):2459-2468. [Stelmakh A.F. Analysis of frequency of alleles and genotypes on loci *Vrn1-Vrn3* of spring common wheat. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1986; 12(10):2459-2468 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Появление растений 6х тритикале в потомстве C₂ гомогеномных 8х тритикале. *Генетика*. 1978;14(9):1658-1659 [Stepochkin P.I. The appearance of 6x triticale plants among the C₂ offspring of homogenomic 8x triticale. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1978;14(9):1658-1659 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Создание и изучение серии по генам *VRN* форм тритикале. *Сиб. вестн. с.-х. науки*. 2009;11:26-32 [Stepochkin P.I. Development and study of a set of triticale forms as to the VRN genes. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2009;11: 26-32 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Изучение продолжительности фазы «всходы – колошение» у гибридов ранних поколений яровых тритикале разных уровней плоидности. *Вестник АПК Ставрополя*. 2017;1(25):148-152 [Stepochkin P.I. Study of duration of the «shoots – earing» phase of the spring triticale early generations hybrids of different ploidy levels. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2017;1(25):148-152. (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Владимиров Н.С. Характеристика линий C₁ озимых гомогеномных октоплоидных тритикале по количеству хромосом, озерненности и морозостойкости. *Генетика*. 1978;14(9):1597-1603 [Stepochkin P.I., Vladimirov N.S. Chromosome number, seed set and winter hardiness characteristics of C₁ winter lines of homogenomic 8x triticale. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1978;14(9):1597-1603 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Емцева М.В. Изучение межфазного периода «всходы – колошение» у исходных родительских форм и гибридов тритикале с разными генами *Vrn*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(5):530-533. DOI 10.18699/VJ17.22-0 [Stepochkin P.I., Emtseva M.V. Study of the interphase period «shoots – earing» of the initial parental forms and hybrids of triticale with different *Vrn* genes. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(5):530-533. DOI 10.18699/VJ17.22-0 (in Russian)]
- Шульдин А.Ф. Синтез трехвидовых пшенично-ржаных гибридов. *Генетика*. 1970;6(6):23-35. [Shulindin A.F. Synthesis of threespecies wheat-rye hybrids. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1970;6(6):23-35 (in Russian)]
- Ayalew H., Kumssa T.T., Butler T.J., Ma X.-F. Triticale improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the united states. *Front Plant Sci*. 2018;9:1130. DOI 10.3389/fpls.2018.01130
- Ballesteros-Rodríguez E., Martínez-Rueda C.G., Morales-Rosales E.J., Estrada-Campuzano G. Changes in number and weight of wheat

- and triticale grains to manipulation in source-sink relationship. *Int. J. Agron.* 2019;3:1-9. DOI 10.1155/2019/7173841
- Bezabih A., Girmay G., Lakewu A. Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food Agric.* 2019;5(1):1-11. DOI 10.1080/23311932.2019.1574109
- Cheng Z.J., Murata M. Loss of chromosomes 2R and 5RS in octoploid triticale selected for agronomic traits. *Genes Genet. Sys.* 2002;77(1):23-29. DOI 10.1266/ggs.77.23
- Dixon L., Karsai I., Kiss T., Adamski N., Liu Z., Ding Y., Allard V., Boden S., Griffiths S. *VERNALIZATION1* controls developmental responses of winter wheat under high ambient temperatures. *Development.* 2019;146(3):dev172684. DOI 10.1242/dev.172684
- Dou Q., Tanaka H., Nakata N., Tsujimoto H. Molecular cytogenetic analyses of hexaploid lines spontaneously appearing in octoploid Triticale. *Theor. Appl. Genet.* 2006;114(1):41-47. DOI 10.1007/s00122-006-0408-x
- Kalinka A., Achrem M. Reorganization of wheat and rye genomes in octoploid triticale (\times *Triticosecale*). *Planta.* 2018;247(4):807-829. DOI 10.1007/s00425-017-2827-0
- Kiss A. Neue Richtung in der Triticale-Zucht. *Z. Pflanzenzucht.* 1966; 55:309-329
- Krolow K.-D. Aneuploidie und Fertilität bei amphidiploiden Weizen-Roggen-Bastarden (Triticale). 2. Aneuploidie und Fertilitäts-Untersuchungen an einer oktoploiden Triticale-Form mit starker Abregulierungstendenz. *Z. Pflanzenzucht.* 1963;49(3):210-242
- Li H., Guo X., Wang C., Ji W. Spontaneous and divergent hexaploid triticales derived from common wheat \times rye by complete elimination of D-genome chromosomes. *PLoS One.* 2015; 10(3):e0120421. DOI 10.1371/journal.pone.0120421
- Ma X.-F., Gustafson J.P. Allopolyploidization-accommodated genomic sequence changes in triticale. *Ann. Bot.* 2008;101(6):825-832. DOI 10.1093/aob/mcm331
- Muterko A., Kalendar R., Salina E. Novel alleles of the *VERNALIZATION1* genes in wheat are associated with modulation of DNA curvature and flexibility in the promoter region. *BMS Plant Biol.* 2016;16 Suppl 1(Suppl 1):9. DOI 10.1186/s12870-015-0691-2
- Pieritz W.J. Untersuchungen über die Ursachen der Aneuploidie bei amphidiploiden Weizen-Roggen-Bastarden und über die Punktionsfähigkeit ihrer männlichen und weiblichen Gameten. *Z. Pflanzenzücht.* 1966;1:27-69
- Sanchez-Monge E. Hexaploid triticale. Proceedings of First International Wheat Genetics Symposium. Winnipeg, Canada: 1958;181-194
- Shcherban A., Börner A., Salina E. Effect of *VRN-1* and *PPD-D1* genes on heading time in European bread wheat cultivars. *Plant Breed.* 2015;134:49-55. DOI 10.1111/pbr.12223
- Stepochkin P.I., Stasyuk A.I. The interphase period "germination-heading" of 8x and 6x triticale with different dominant *Vrn* genes. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2021;25(6):631-637. DOI 10.18699/VJ21.071
- Vettel F.K. Mutationsversuche an Weizen-Roggen-Bastarden (Triticale). 3. Mutationsauslösung bei Triticale Meister und Triticale 8324. *Züchter.* 1960;30(8):313-329
- Zhang J., Wang Y., Wu S., Yang J., Liu H., Zhou Y. A single nucleotide polymorphism at the *Vrn-D1* promoter region in common wheat is associated with vernalization response. *Theor. Appl. Genet.* 2012;125(8):1697-1704. DOI 10.1007/s00122-012-1946-z.
- Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chem.* 2018;241:468-479. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.09.009

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.07.2023. После доработки 14.08.2023. Принята к публикации 16.08.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-17

Обзор

От пырейно-пшеничных и горохо-акациевых гибридов до многолетней пшеницы: к юбилею академика Н.В. Цицина

Н.П. Гончаров 

Аннотация: 18 декабря 2023 г. исполняется 125 лет со дня рождения выдающегося советского селекционера, ботаника, генетика академика АН СССР и действительного члена ВАСХНИЛ Николая Васильевича Цицина. Одного из плеяды блестящих советских ученых, успешно использовавших отдаленную гибридизацию для получения принципиально новых хозяйственно важных форм и сортов. Наряду с И.В. Мичуриным и Г.Д. Карпеченко он заложил основы теории отдаленной гибридизации растений и вместе с Г.К. Мейстером, В.Е. Писаревым, А.И. Державиным, С.М. Верушкиным, В.Н. Лебедевым, А.Ф. Шулындиным и другими отечественными селекционерами стоял у истоков ее практического применения для получения новых хозяйственно важных растений зерновых культур. Работы Н.В. Цицина и его учеников и сотрудников позволили получить принципиально новые ценные межвидовые и межродовые гибриды, закрепив приоритет России в таких исследованиях. Он создал первые в мире коммерческие сорта пшенично-пырейных гибридов, сорт тетраплоидной ветвистокосой ржи и получил уникальный межродовой гибрид – многолетнюю пшеницу – новый рукотворный вид *×Trititrigia cziczinii* Tzvelev (син. *Triticum ×agropyrotriticum* Cicin). В декабре 1938 г., к исходу третьего года строительства ВСХВ (ныне ВДНХ РФ, Москва), он был назначен ее директором и успешно справился с ее открытием. Н.В. Цицин завершил вторую попытку создания академического ботанического сада – ГБС АН СССР в Москве. В разное время руководил Сибирским НИИ зернового хозяйства (Омск), Зональным институтом зернового хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны (пос. Немчиновка, Одинцовский р-н, Московская обл.), Лабораторией отдаленной гибридизации АН СССР (Москва, позже пос. Октябрьское, Истринский округ, Московская обл.). Участвовал в возобновлении полноценной работы после переподчинения МСХ СССР и перевода в Москву созданной в Ленинграде В.В. Талановым и Н.И. Вавиловым при Всесоюзном институте растениеводства Госсорткомиссии (Госсортсети СССР). Был президентом Международного генетического конгресса (1978, Москва) и председателем Совета ботанических садов СССР.

Ключевые слова: Н.В. Цицин; отдаленная гибридизация; пшенично-пырейные гибриды; *Trititrigia cziczinii*.

Для цитирования: Гончаров Н.П. От пырейно-пшеничных и горохо-акациевых гибридов до многолетней пшеницы: к юбилею академика Н.В. Цицина. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):132-161. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-17

Благодарности: Автор выражает признательность канд. биол. наук Н.Ю. Степановой (Гербарий ГБС РАН, Москва) за указание на полезные источники литературы, сотрудникам библиотеки ИЦИГ СО РАН Л.Н. Антимоний и Т.В. Пивоваровой за помощь, М.Н. Шашкиной (Госархив Саратовской обл.) и зав. библиотекой ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» Е.И. Жантлиевой за информацию о С.М. Верушкине.

Работа поддержана бюджетным проектом ИЦИГ СО РАН FWNR-2022-0017.

Review

From wheatgrass-wheat and pea-acacia hybrids to perennial wheat: to the anniversary of Academician Nikolai V. Tsitsin


N.P. Goncharov 

Abstract: December 18, 2023 marks the 125th anniversary of the birth of an outstanding soviet plant-breeder, botanist, geneticist, full member of Academy of Sciences of USSR and V.I. Lenin Academy of Agricultural Sciences Nikolai V. Tsitsin. He is one from a galaxy of brilliant soviet scientists who used distant hybridization to get new crops and commercial cultivars. Along with I.V. Michurin and G.D. Karpechenko he made the foundations of the theory of plant distant hybridization and together with G.K. Meister, V.E. Pisarev, A.I. Derzhavin, S.M. Verushkin, V.N. Lebedev, A.F. Shulyndin and other our plant breeders he was at the origin of this theory's practical

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

 gonch@bionet.nsc.ru

 © Гончаров Н.П., 2023

application to obtain new important crops. Research works by N.V. Tsitsin, by his followers and co-workers allowed to get new valuable interspecific and intergeneric hybrids that set the priority of Russia in this sphere. First in the world he got commercial cultivars of wheat-wheatgrass hybrids, the variety of tetraploid branch rye and unique intergeneric hybrid, perennial wheat, new handmade species named *×Trititrigia cziczinii* Tzvelev (syn. *Triticum ×agropyrotriticum* Cicin). In December, 1938 after three years since the start of building of All-Union Agricultural Exhibition (now Exhibition of Achievements of National Economy, Moscow) Nikolai V. Tsitsin was appointed director of it. Three years later the Exhibition was successfully opened. He also brought into being (it was a second attempt) academician Botanical Garden in Moscow. Also at various times he was a director of Siberian Scientific Research Institute of Crops (Omsk), of Zonal Institute of crops of Non-Chernozem area (Nemchinovka, Odintsovo, Russia), was the head of the Laboratory of distant hybridization of the USSR Academy of Sciences (Moscow, then Oktyabrskoe, Istrinsky district). He also took part in reopening of organized in Leningrad by V.V. Talanov and N.I. Vavilov in all-Union Institute of Plant Industry "State Test System" ("State Commission for Breeding Achievements Test and Protection USSR") after its resubordination of the Ministry of Agriculture and relocation to Moscow. N.V. Tsitsin was a president of Genetic International Congress (1978, Moscow) and the chairman of the Council of the Botanical gardens of USSR.

Key words: N.V. Tsitsin; distant hybridization; wheat-wheatgrass hybrids; *Trititrigia cziczinii*.

For citation: Goncharov N.P. From wheatgrass-wheat and pea-acacia hybrids to perennial wheat: to the anniversary of Academician Nikolai V. Tsitsin. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):132-161. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-17 (in Russian)

Acknowledgements: The author expresses his gratitude to PhD (Biol.) N.Yu. Stepanova (Herbarium of the State Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow) for pointing out relevant literature, to the library staff of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS L.N. Antimony and T.V. Pivovarova for help, to M.N. Shashkina (State Archives of the Saratov Region) and head library of the Federal Agrarian Research Center of the South-East E.I. Zhantlieva for the information about S.M. Verushkin.

The work was supported by the budget project of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS FWNR-2022-0017.

Экспериментируйте, не бойтесь ошибок,
мы Вас поддержим.

И.В. Сталин¹

Николай Васильевич Цицин родился 6 (18) декабря 1898 г. в деревне Карамышка Аткарского уезда Саратовской губернии в крестьянской семье. Вскоре умер его отец. Мать перебирается в Саратов и в 1903 г. отдает сына в Серафимовский приют. Затем его переводят в Приют братьев Гудковых, в котором он воспитывался до 1912 г. и получил начальное образование. После приюта работал посыльным, весовщиком, а с 1915 г. – линейным надсмотрщиком и телеграфистом в Саратове. С мая 1918 г. Н.В. Цицин – политкомиссар связи при штабе 4-й армии Восточного фронта (Лапин, 1988)², с августа этого же года – районный комиссар отдела связи в Хвалынске³, а с августа 1920 г. – заведующий культотделом и член губкома связи в Саратове.

В 1920–1923 гг. учился на техническом отделении Саратовского рабфака им. В.И. Ленина (Лапин, 1988). Окончил Саратовский государственный институт сельского хозяйства и мелиорации в 1927 г., защитив дипломную работу по межвидовой гибридизации у пшениц «Анализ F_1 , расщепление по типам и ботанический состав F_2 . Скрещивание *Tr. vulgare* v. *lutescens* ч.л.⁴ 62 с *Tr. durum* v. *hordeiforme* ч.л. 432»⁵. После окончания института зачислен практикантом в отдел селекции Саратовской сельскохозяйственной опытной станции, реорганизованной в 1930 г. в Институт засухи ВАСХНИЛ

(Гончаров, 2015). Отделом руководил проф. Г.К. Мейстер⁶. Через год Н.В. Цицин переведен в лаборанты, а в начале 1930 г. – в младшие специалисты. В отделе в это время кроме Г.К. Мейстера работали выдающиеся селекционеры А.П. Шехурдин⁷ и В.Н. Мамонтова⁸.

⁶ Георгий Карлович Мейстер (1878–1938) – агроном, селекционер, семеновод. Окончил Ново-Александровский институт сельского хозяйства и лесоводства (1897). В 1908 г. организует Балашовское опытное поле и заведует им. С 1909 г. занимается селекцией и создает ряд ценных сортов. С 1914 г. зав. отделом селекции Саратовской опытной областной с.-х. станции (ООСХС, ныне Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока), его призывают в армию. В 1918 г. демобилизуется и возвращается к научной работе. В 1920–1925 гг. – директор Саратовской селекционной опытной станции. Организатор первых в стране кооперативных семеноводческих товариществ (1919), реорганизованных в Саратовский союз семеноводов. В 1924 г. организует Саратовскую «Госсемикультуру» и руководит до ее ликвидации в 1926 г. Зав. кафедрой генетики и селекции Саратовского СХИ (1921–1933 или 1934). Руководитель Саратовского селекционного центра (1933). Академик ВАСХНИЛ (1935). В 1935–1937 гг. – ее вице-президент, в 1937 г. – и. о. президента. Заслуженный деятель науки РСФСР (1929). Награжден орденами Ленина (1935) и «Знак Почета» (1936). Репрессирован. Реабилитирован в 1957 г. См. о нем: (Сайфуллин и др., 2013; Прянишников и др., 2013).

⁷ Алексей Павлович Шехурдин (1886–1951) – селекционер. Учился в Нартасской сельскохозяйственной школе (1901–1904). Экстерном окончил Саратовский СХИ (1928). После окончания школы несколько лет заведовал в Тульской губ. хозяйством имения «Кроткое» профессора И.А. Стебута (Гончаров, 2020). С 1911 г. – на Саратовской ООСХС/Институте засухи/Саратовском НИИСХ. Использовал методы межвидовой, межродовой и сложной ступенчатой гибридизации. Вывел ряд перспективных сортов яровой пшеницы. В 1946–1948 гг. – на научно-преподавательской работе на кафедре селекции и семеноводства Саратовского СХИ. Доктор сельскохозяйственных наук (1936). Профессор (1945). Сталинская премия 2-й степени (1942) за создание сортов пшеницы Лютеценс С-605 и Лютеценс С-758. См. о нем: (Альтшулер, 1946; Компанец, 1976).

⁸ Валентина Николаевна Мамонтова (1895–1982) – селекционер. Окончила Петроградские высшие женские сельскохозяйственные курсы (1919). На Саратовской селекционной опытной станции/Институте засухи/Саратовском НИИСХ работала с пшеницей. Автор ряда выдающихся отечественных сортов яровой мягкой и твердой пшеницы. Степень

¹ Цит по: Комаров В.Л. Советская наука в 1936 году. *Известия ЦИК и ВЦИК*. 1 янв. 1936 г., № 1 (5858). С. 6.

² Данный факт биографии требует уточнения, так как к марту 1918 г. 4-я армия (командующий В.И. Киквидзе) уже не существовала. Она будет сформирована заново 20 июня 1918 г. и только с 5 марта 1919 г. войдет в состав Восточного фронта.

³ Административный центр Хвалынского уезда Саратовской губернии.

⁴ ч.л. – чистая линия. Чистые линии 62 и 432 будут районированы в 1929 г. как сорта Лютеценс 062 и Гордеиформе 0432 (автор А.П. Шехурдин).

⁵ АРАН. Фонд 1923. Оп. 1. Д. 1. Л. 1–11.



Академик Н.В. Цицин с селекционным сортом пшеницы. Фото Олега Кузьмина, ТАСС

Согласно рассказу самого Н.В. Цицина⁹, отдаленной гибридизацией он начал заниматься после встречи с И.В. Мичуриным¹⁰ в 1927 г. Узнав, что он работает с пшеницей, Иван Владимирович посоветовал ему: «От скрещивания пшеницы с пшеницей вряд ли вы получите что-нибудь способное приблизить вас к созданию пшеницы с исключительными свойствами. Надо искать иных, новых путей» (цит. по Савченко-Бельский, 1939. С. 10). В гибридизацию с пшеницей Н.В. Цицин (1980а) взял дикорастущий злак –

пырей (*Agropyron* Gaertn.¹¹ = син. *Elytrigia* Desv., *Thinopyrum* Á.Löve¹²). Он вспоминал, что идея использования именно пырея зародилась у него при наблюдении за перезимовкой озимой мягкой пшеницы в Саратове. Осматривая ее посе- вы, плохо перезимовавшие в условиях бесснежной суровой зимы, которые в Поволжье не редкость, он обратил внимание на яркую зелень дружно отставшего по весне засоряющего поля сорняка – пырея.

В 1930 г. Н.В. Цицин направлен в зерносовхоз «Гигант» Сальского района Ростовской области для организации при нем опорного пункта саратовского Института засухи (директор академик АН СССР Н.М. Тулайков¹³). Здесь он скре-

доктора сельскохозяйственных наук получила без защиты диссертации. Ленинская премия (1963). Герой Социалистического Труда (1965).

⁹ См.: Цицин Н. Чем мне помог Мичурин. *Комсомольская правда*. 6 июня 1936 г.

¹⁰ Иван Владимирович Мичурин (1855–1935) – оригинатор (селекционер). Систематического образования не получил. В 1875 г. (по другим, более аргументированным данным – в 1877 г.) организовал частный питомник, который в 1918 г. был принят на государственное содержание (с 1923 г. – Помологический питомник, с 1928 г. – Селекционно-генетическая станция плодово-ягодных культур, реорганизованная в 1934 г. в Центральную генетическую плодово-ягодную лабораторию ВАСХНИЛ (позже во ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина; ныне Селекционно-генетический центр ФНЦ им. И.В. Мичурина, Мичуринск)). Автор 132 сортов (Яковлев, 1949), 10 из которых до сих пор включены в «Государственный реестр…» (2023). Академик ВАСХНИЛ (1935). Почетный член АН СССР (1935) и Чехословацкой земледельческой академии (1935). См. о нем: (Гончаров, Савельев, 2015; Sokolov et al., 2015; и др.).

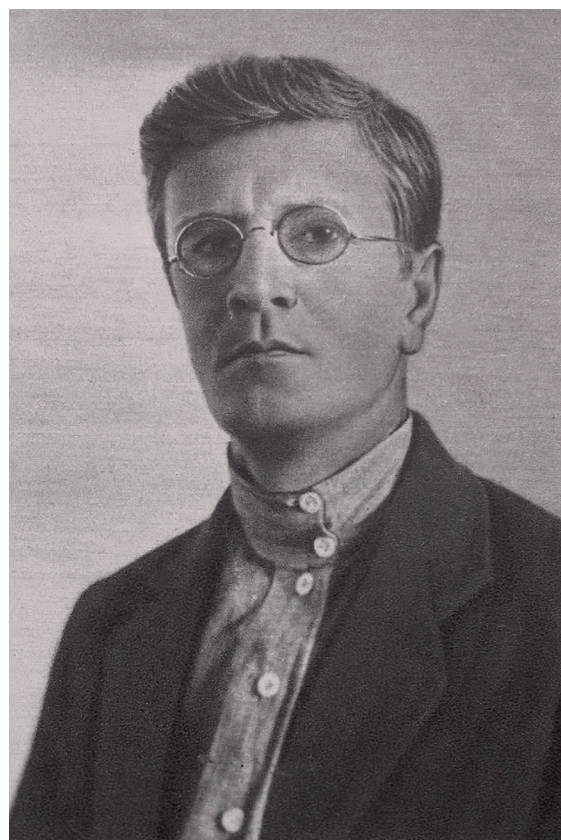
¹¹ Название рода происходит от древнегреческих слов *ἀγροίκοσ* (дикий) и *πυρέωσ* (пшеница), согласно внешнему сходству с пшеницами. К. Линнеем пырей включался в род *Triticum* L. под названием *Triticum repens* L. (Linnaeus, 1753). Анализ, основанный на конъюгации хромосом в мейозе, позволил предположить, что *Agropyron triticeum* Gaertn. мог быть донором генома В пшениц (McFadden, Sears, 1944). Однако позже показано, что предком генома В был неизвестный вид *Aegilops* L. из секции *Sitopsis* (Jaub. et Spach) Zhuk., похожий на *Aegilops speltoides* Tausch ($2n = 2x = 14, 5S$) (Riley et al., 1958; Tsunewaki, Ogihara, 1983).

¹² Таксономия пырея запутана, поэтому везде приводим синонимику. Отметим, что Н.В. Цвелев, Н.С. Пробатова (2019) не признают легитимность названия *Thinopyrum*. *Agropyron* однозначно закрепили за житняками. Латынь должна способствовать взаимопониманию. В противном случае зачем она неботаникам?

¹³ Николай Максимович Тулайков (1875–1938) – агроном, почвовед,



Н.В. Цицин студент. Саратов, 2-я пол. 1920-х гг.
(из: <http://tatiskray.ru/cicin-nikolaj-vasilevich/>)



С.М. Верушкин (из: Мейстер, 1936)

стил мягкую пшеницу с пыреем сизым (*Agropyron glaucum* Roem. & Schult. = *Agropyron intermedium* (Host) P.Beauv. (син. *Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R.Dewey)) и получил первый пшенично-пырейный гибрид (ППГ) (Цицин, 1931а, б; Вакар, 1934)¹⁴. В следующем, 1931 г. уже в Саратове он включает в гибридизацию местные формы пырея. Однако эта его работа была внеплановой и не получила одобрения в Институте (Цицин, 1933)¹⁵, поэтому он был вынужден перебраться в Омск¹⁶. В феврале 1932 г. Н.В. Цицин зачислен

физиолог растений. Окончил МСХИ (1901). Стажировался в США. Ученик В.Р. Вильямса. Идеолог пропашной системы земледелия. В 1901–1907 гг. изучал почвы Муганской степи (Закавказье), Кавказа и вдоль Туркестанской ж. д. В 1910–1916 гг. – директор Безенчукской сельскохозяйственной опытной станции. В 1916–1920 гг. заведовал Бюро/Отделом по земледелию и почвоведению и химической лабораторией Департамента земледелия МСХ (1916–1918). Товарищ председателя (1917), председатель (1918–1920) СХУК. В 1920 г. вернулся в Саратов. Зав. кафедрой частного земледелия Саратовского СХИ (1919–1937), зав. отделом полеводства Саратовской СОС/Института засухи (1919–1937), с 1925 г. – ее руководитель. Член оргкомитета по созданию ВАСХНИЛ (1925), зам. президента ВАСХНИЛ (1929–1930). Академик АН СССР (1932) и ВАСХНИЛ (1935). Лауреат премии имени В.И. Ленина (1929). Заслуженный работник науки РСФСР (1929). Репрессирован. Реабилитирован в 1958 г.

¹⁴ Н.В. Орловский (2012) пишет, что «по заявлению А.П. Шехурдина, Г.К. Мейстер занимался такими скрещиваниями еще в 1914 г. на Балаицовой опытной станции» (С. 319).

¹⁵ Существует еще одна трактовка этих же событий (Крупнов, 2013). Более того, гибридизацией пшеницы с пыреем в Институте засухи успешно занимался С.М. Верушкин (Верушкин, 1933, 1935, 1936; Verushkine, Shechurdine, 1933).

¹⁶ Г.К. Мейстер дал ему взять с собой в Омск только часть из созданных в Саратове пшенично-пырейных гибридов (Цицин, 1933).

заведующим лабораторией пшенично-пырейных гибридов Омской зональной опытной станции Зернотреста, реорганизованной в 1933 г. в Сибирский НИИ зернового хозяйства (СибНИИЗХоз, ныне СибНИИСХ – филиал Омского АНЦ). После ареста В.Р. Берга¹⁷ становится заведующим отделом селекции, а в 1937 г. после ареста И.И. Скороспешкина – директором Института (Орловский, 2012).

В Омске Н.В. Цицин (1933, 1935) существенно расширил исследования, успешно скрестив целый ряд видов пшениц и пырея и начав их всестороннюю селекционную проработку. В 1934 г. Президиум ВАСХНИЛ принимает постановление о поддержке его работ (Цицин, 1935), а годом позже Н.И. Вавилов организует выездную сессию ВАСХНИЛ в Омске, на которой одним из вопросов было детальное ознакомление с работами по созданию и внедрению ППГ в производство (О работе..., 1935). Про работы С.М. Верушкина¹⁸ (Верушкин,

¹⁷ Виктор Ромуальдович Берг (1883–1933?) – агроном. Окончил Петербургские высшие с.-х. курсы (1916). Работал в отделе прикладной ботаники Екатеринославской губернской СХОС (1916). С 1917 г. – зав. опытной станцией Атбасарского уезда Акмолинской области. Доцент Горского СХИ (Владикавказ). Специалист Дагестанской областной селекционной станции. С 1921 г. преподавал на кафедре частного земледелия в Сибирском институте сельского хозяйства и промышленности. Зав. селекционным отделом Западно-Сибирской СХОС (1930–1933). Репрессирован. Реабилитирован в 1955 г.

¹⁸ Сергей Макарович Верушкин (1895–1937) – учился в Воронежском СХИ (1914–1916), окончил Институт аспирантуры ВАСХНИЛ (1932). Служил в Уральском казачьем войске (1916–1918), учительствовал в начальной школе (1918–1919), работал в 1-м советском хозяйстве (1919, 1920–1921), лаборант, научный сотрудник Уральской опытной стан-

1933, 1935; Verushkine, Shechurdine, 1933) в ВАСХНИЛ успешно забыли(?!), так как на этот момент пришелся пик научного и околонаучного противостояния Н.И. Вавилова и Г.К. Мейстера (Фокин, 2017). Более того, С.М. Верушкин (1935) к этому времени уже получил фертильные эгилопсо-пырейные гибриды. После сессии в газете «Правда» опубликована большая статья Н.В. Цицина «Мои опыты с пшеницей», в которой он обещал в ближайшее время «*решить проблему озимого пшеничного клина Западной Сибири*»¹⁹.

Сталинский выдвиженец

В декабре 1935 г. Н.В. Цицин участвует в Совещании передовиков урожайности по зерну, трактористов и машинистов молотилок с руководителями партии и правительства в Кремле. О результатах его работ ранее уже неоднократно писали в центральных газетах. 28 декабря, за день до выступления на Совещании, в газете «Социалистическое земледелие» выйдет статья Н.В. Цицина, в которой он писал: «...*вопрос с выведением многолетней пшеницы решен ... скептицизм и недоверие ... со стороны ряда важнейших научных работников сменились признанием достигнутых успехов ... в тесном контакте с академиком Лысенко*²⁰ *мы с задачей размножения перспективных форм гибридов справимся*»²¹. На третий день Совещания, утром 29 декабря 1935 г., Н.В. Цицин вышел на трибуну и еще раз публично заявил, что скрестил сорняк пырей с пшеницей и что стоит на пороге важного достижения, а именно получения многолетней пшеницы, которая к тому же будет устойчива к грибным болезням (Цицин, 1936). Такую пшеницу не надо будет перебивать в течение нескольких лет, поэтому отпадет необходимость в ежегодной механизированной обработке земли, не нужно будет каждый год заботиться о семенах и сеять, к тому



же, в соответствии с теорией В.Р. Вильямса²², при ее возделывании будет нарастать почвенное плодородие²³. Н.В. Цицин также отметил, что практическая работа идет с большим трудом: «*Сейчас у нас имеется только 240 граммов семян многолетней пшеницы, а надо ее иметь не менее, чем на полгектара*» (Цицин, 1936. С. 2). До сих пор коллекция многолетних и отрастающих ППГ в ГБС им. Н.В. Цицина РАН невелика (Упелниек и др., 2012; Лошакова и др., 2018) и даже в ВИР представлена единичными экземплярами²⁴.

В соответствии с традициями того времени в докладе Н.В. Цицина была и политическая составляющая: «*В нашей стране не может быть науки, стоящей вне политики. Каждое решение партии и правительства должно стать*

ции (1921–1923); преподаватель (1923–1927) и директор (1927–1930) Уральского сельхозтехникума, с 1932 г. – на Саратовской селекционной станции/Институте засухи (в 1935–1937 гг. – зав. группой пшенично-пырейных гибридов). Репрессирован (Архив ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Оп. 1 л/д. Д. 292). Реабилитирован в 1957 г.

¹⁹ Правда. 9 окт. 1935 г., № 279 (6525). С. 3. В Великую Отечественную войну Т.Д. Лысенко, эвакуировавшийся с Президиумом ВАСХНИЛ в Омск, займется расширением озимого клина в Сибири. Для этого он предложит посеять слабозимостойких сортов озимой мягкой пшеницы по стерне (Лысенко, 1945). И только В.М. Чекуров на основе скрещивания ППГ с мягкой пшеницей с последующим применением отбора на провокационном фоне с использованием фитогормонов (Chekurov, Kozlov, 2005) и Р.И. Рутц (2004) с применением экспериментального мутагена в 1980-е гг. решили проблему озимого клина в Сибири.

²⁰ Трофим Денисович Лысенко (1898–1976) – агроном, государственный деятель. Заочно окончил Киевский СХИ (1925). В 1922–1925 гг. – старший специалист Белоцерковской селекционной станции Сахаротреста. В 1925–1929 гг. – зав. отделом селекции бобовых культур Гянджинской селекционной станции. В 1929–1934 гг. – старший специалист отдела физиологии Украинского генетико-селекционного института (Одесса). В 1934–1936 гг. – научный руководитель созданного на его основе Всесоюзного селекционно-генетического института, в 1936–1939 гг. – его директор. В 1938–1956 и 1961–1962 гг. – президент ВАСХНИЛ, в 1940–1965 гг. – директор Института генетики АН СССР, в 1966–1976 гг. – зав. лабораторией Экспериментальной научно-исследовательской базы АН СССР «Горки Ленинские». В 1937–1950 гг. – зам. председателя Совета Союза ВС СССР. Академик Всеукраинской АН (позже АН Украины, 1934), ВАСХНИЛ (1935) и АН СССР (1939). Герой Социалистического Труда (1945), трижды лауреат Сталинской премии 1-й степени (1941, 1943, 1949). См. о нем: (Воинов, 1950).

²¹ Цицин Н.В. На пути к многолетней пшенице. Дикарь пырей на службе урожаю. *Соцземледелие*. 28 дек. 1935 г., № 275 (2084). С. 2. Отметим, что на первых этапах ППГ параллельно всесторонне изучались у Т.Д. Лысенко в Одессе (Салегин, 1935).

²² Василий Робертович Вильямс (1863–1939) – агроном, почвовед. Один из основоположников агрономического почвоведения. Окончил Петровскую земледельческую и лесную академию (1888). Работал в Министерстве госимуществ (1889–1891). С 1891 г. – в Петровской с.-х. академии/Московском СХИ/Тимирязевской академии (ТСХА). С мая 1907 г. по ноябрь 1908 г. – директор МСХИ, а в 1922–1925 гг. – ректор ТСХА. В 1914 г. основал под Москвой (ныне территория Лобни) опытную станцию по изучению кормовых растений и кормовой площади (с 1922 г. – Государственный луговой институт, с 1930 г. – Всесоюзный, а с 1992 г. – Всероссийский НИИ кормов). В 1927 г. опубликовал монографию «Общее земледелие с основами почвоведения» с изложением теории единого почвообразовательного процесса и основывающейся на ней травопольной системы земледелия. Академик АН БССР (1929), АН СССР (1931), ВАСХНИЛ (1935). Депутат ВС СССР 1-го созыва. Герой Труда (1923). Лауреат премии им. В.И. Ленина (1931). См. о нем: (Крупенников И.А., Крупенников Л.А., 1952).

²³ В.Р. Вильямс считал, что цель агротехники – повышение плодородия почвы и что улучшение структуры почвы является решающим условием непрерывного роста урожаев при минимальных затратах труда и средств.

²⁴ URL: <https://www.vir.nw.ru/unu-kolleksiya-vir/> (дата обращения 19.05.2023).



И.В. Сталин беседует с Н.В. Цициным в перерыве Совещания передовиков урожайности по зерну, трактористов и машинистов молотилок с руководителями партии и правительства. Москва, 1935 г. (из: <http://tatiskray.ru/cicin-nikolaj-vasilevich/>)

боевой программой работы науки... Скажите – где, в какой стране науке уделяется столько внимания и заботы, как у нас?» (Цицин, 1936. С. 2).

Как сообщалось в газетах, в перерыве Совещания после его доклада И.В. Сталин «...подозвал Цицина и просил показать ему семена, о которых шла речь. Посмотрев на них, он сказал: «Экспериментируйте смелее, не бойтесь ошибок, мы Вас поддержим»»²⁵.

В декабре 1935 г., еще не будучи директором Института, Н.В. Цицин попадает в сталинские выдвигенцы. Его имя уже на слуху, хотя он еще и не облечен официальными должностями. Это открыло ему широкую дорогу. Вскоре после одобрения Сталиным экспериментов Н.И. Цицина СибНИИЗХоз получил деньги, на которые будет построен главный корпус Института (см. фото на С. 138) и проведены работы по рекультивации полей.

По возвращении с Совещания в Омск Н.В. Цицин начинает преподавательскую деятельность: в 1936–1938 гг. заведует кафедрой селекции и семеноводства Омского СХИ имени С.М. Кирова (в настоящее время ОмГАУ им. П.А. Столыпина²⁶) (Червоненко, 1994).

²⁵ Об этих словах Сталина написал также вице-президент АН СССР В.Л. Комаров (1936). Фразу «Экспериментируйте смелее, мы вас поддержим. И. Сталин» можно было часто увидеть на транспарантах в НИУ страны.

²⁶ Петр Аркадьевич Столыпин (1862–1911) – государственный деятель. Окончил Имп. С.-Петербургский университет (1885). Занимал посты Гродненского (1902–1903) и Саратовского (1903–1906) губернатора, министра внутренних дел (1906–1911) и премьер-министра (1906–1911). Провел ряд законопроектов, известных как столыпинская аграрная

Научная карьера и научно-организационная деятельность

СибНИИЗХоз (Омск)

В Омске Н.В. Цицин организовал всестороннее изучение ППГ (Проблема пшенично-пырейных гибридов, 1937): их физиологию изучали в лаборатории Н.Л. Удольской (Орловский, 2012), цитологию смотрели Б.А. Вакар (Вакар, 1935а, б; Вакар и др., 1934; Wakar, 1937) и В.Ф. Любимова, уволившись из Института в знак протеста после ареста В.Р. Берга. В дальнейшем она станет основной сотрудницей Н.В. Цицина и выполнит многочисленные цитогенетические исследования ППГ (Любимова, 1964, 1973, 1979; Любимова и др., 1976) и многолетних пшениц (Любимова, 1964, 1991; Любимова и

реформа, главным содержанием которых было уничтожение крестьянской общины и введение частной собственности на общинную землю. Закон о военно-полевых судах не только ужесточал наказания за совершение тяжких преступлений, но и ввел внесудебное (вне правового поля) рассмотрение таких дел. Ввел институт земства в западных губерниях, существенно ограничил автономию Великого княжества Финляндского, превратив спокойный край в оплот революции. Изменил избирательное законодательство и распустил II Государственную Думу. Оценка деятельности неоднозначна, чаще негативна (см.: Сидельников, 1973; Аврех, 1991; и др.). Столыпинская аграрная реформа не только не решила аграрную проблему в стране, но и обострила ее. Сохранение в стране крупного помещичьего землевладения с его полуфеодальными методами эксплуатации, новые финансовые тяготы для крестьян в виде расходов на покупку земли и арендные платежи, обезземеливание массы крестьян и превращение их в батраков и/или их «исход» в город, существенное имущественное разделение крестьян на бедняков и кулаков («мироедов»), несомненно, способствовали приближению революции в России (История..., 2002).



Главный корпус СибНИИСХ – филиала Омского аграрного научного центра. Омск. Фото автора

др., 1976; Любимова, Белов, 1990). После ареста Берга Н.В. Цицин возглавил отдел селекции Института, организованный после революции выдающимся селекционером В.В. Талановым²⁷ (Гончаров, 2002, 2009, 2017) и имевший к тому времени многолетние научные традиции (Берг, 1917, 1931).

В Омске Н.В. Цицин стал широко использовать в селекции еще одно свойство пырея – многолетность²⁸. Отметим, что все основные зерновые культуры, возделываемые в настоящее время, являются однолетними. Он впервые в мире создал новую злаковую культуру – многолетнюю пшеницу, до сих пор представляющую большое практическое значение (Упелниек и др., 2014; Cui et al., 2018; Lachuga et al., 2023). Он назвал ее *Triticum xagropyrotriticum* Cicin (Цицин, 1960)²⁹, выделив в конечном итоге два подвида:

²⁷ Виктор Викторович Таланов (1871–1936) – агроном, выдающийся селекционер. Окончил Имп. С.-Петербургского коммерческое училище (1891), Лесной институт (С.-Петербург, 1896) и Ново-Александровский институт сельского хозяйства и лесоводства (1898). Директор-организатор Западно-Сибирской селекционной станции им. Н.Л. Скалозубова (1917–1922). Профессор Омского института сельского хозяйства (1919–1922). Организатор Госсортсети РСФСР (СССР). Зав. Бюро по введению и распространению новых сортов полевых растений Наркомзема и «Джойнта» (American Jewish Joint Distribution Committee) (1927–1925). Зам. директора ВИПБИНК (1925–1932). Автор отечественных сортов-шедевров пшениц – яровой мягкой Цезиум 0111, Мильтурум 0321 и твердой Гордеиформе 10. Чл.-кор. АН СССР (1932). См. о нем: (Гончаров, 2002, 2009).

²⁸ Идея, вероятно, заимствована у А.И. Державина (1931), и еще в 1938 г. приоритет был на его стороне: «Посетитель увидит посевы пшеницы, семена которой получены путем внутрисортного скрещивания по методу академика Лысенко, пшенично-пырейные гибриды т. Цицина, многолетние пшеницы т. Державина и т. п.» (Драгунов, 1938. С. 3).

²⁹ Не является действительно обнаруженным названием, так как с 1 января 1958 г. при обнаружении необходимо указывать номенклатурный тип, что Н.В. Цициным (1960) не было сделано.

T. xagropyrotriticum ssp. *perenne* Cicin (многолетняя пшеница) и *T. xagropyrotriticum* ssp. *submittans* Cicin (зернокармливая или отрастающая пшеница) (Цицин, 1978). Получены константные формы многолетней пшеницы, способные давать урожаи в течение последующих трех лет после посева (пырей сохраняет продуктивность 15 и более лет (Завгородний и др., 2022), их гибриды, по самым оптимистичным прогнозам, – до 7 лет (Tzitzin, 1940)). Позже видовой и родовой статусы многолетней пшеницы будут изменены, и Н.Н. Цвелев (1973) опишет ее как вид *xTrittrigia czicini* Tzvelev нового рукотворного рода *xTrittrigia* Tzvelev. В настоящее время культура вошла в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2023), составив в трибе Пшеницевых (Triticeae Dum.) «компанию» другим рукотворным (искусственным) родам *xTriticale* Tscherm.-Seys. ex Müntzing (син. *xTriticosecale* Wittm. & A. Camus)³⁰, *xTritordeum* Asch. et Graebn., *xAegilotriticum* P. Fourn и *xHaynaticum* Zhuk. с неопределенным статусом. Список видов Triticeae, успешно гибридивавшихся с пшеницей для получения амфидиплоидов³¹, обширен (Sharma, 1995) и продолжает расширяться (Curwen-McAdams, Jones, 2017). Интрогрессивная гибридизация приводит к образованию форм со смешанными геномами и, как следствие, к филогенетическим несоответствиям при анализе различных генетических локусов (Degnan, Rosenberg, 2009), обуславливая номенклатурные проблемы.

³⁰ Инвалидное название *xSecalotricum* Kostov.

³¹ Организмы, полученные в результате удвоения хромосомных наборов двух разных видов.



Главный корпус Омского государственного аграрного университета. Фото автора

Н.В. Цицин (1978) выделил следующие разновидности *T. xagropyrotriticum*:

- var. *luteolum* Cіcіn – имеет белый, безостый, неопушенный колос с красным зерном;
- var. *sanguineum* Cіcіn – имеет красный, безостый, неопушенный колос с красным зерном;
- var. *aristatum* Cіcіn – имеет белый, неопушенный, остистый колос с белыми остями и красным зерном;
- var. *eritrospicatum* Cіcіn – имеет красный, неопушенный, остистый колос с красными остями и красным зерном;
- var. *chllorogramum* Cіcіn – имеет белый, неопушенный, остистый колос с красными остями и зеленым зерном;
- var. *viride* Cіcіn – имеет белый, неопушенный, безостый колос с зеленым зерном;
- var. *albospicatum* Cіcіn – с белым, безостым, неопушенным колосом, с белым зерном;
- var. *albogramum* Cіcіn – с белым, остистым, неопушенным колосом, с белым зерном;
- var. *violaceum* Cіcіn – с белым, безостым, неопушенным колосом, с фиолетовым зерном;
- var. *lilacinum* Cіcіn – с белым, остистым, неопушенным колосом, с фиолетовым зерном;
- var. *alboroseum* Cіcіn – с красным, безостым, неопушенным колосом, с белым зерном;
- var. *rubrocnicatum* Cіcіn – с красным, остистым, неопушенным колосом, с белым зерном;
- var. *anthocyanum* Cіcіn – с красным, безостым, неопушенным колосом, с фиолетовым зерном;
- var. *rubroviolaceum* Cіcіn – с красным, остистым, неопушенным колосом, с фиолетовым зерном;

– var. *virens (glaucum)* Cіcіn – с красным, безостым, неопушенным колосом, с зеленым зерном;

– var. *rubroviride* Cіcіn – с красным, остистым, неопушенным колосом, с зеленым зерном.

Позже сотрудники Н.В. Цицина к не являющимся действительно обнаруженным им разновидностям многолетней пшеницы (Цицин, 1960, 1978) добавили еще несколько (см., например, Любимова, Полева, 1992; Полева, Любимова, 1995) (рис. 1).

В 1936 г. Н.В. Цицину присуждена степень доктора сельскохозяйственных наук без защиты диссертации, в 1938 г. он утвержден действительным членом ВАСХНИЛ, в 1938–1948 гг. – ее вице-президентом.

Госсортсеть (Москва)

В 1937 г. произошла реорганизация Госсортсети в единую общесоюзную систему в составе Государственной комиссии по сортоиспытанию зерновых культур и сети ее госсортоучастков³². В 1938–1948 гг. Н.В. Цицин – председатель Государственной комиссии по сортоиспытанию зерновых культур (реорганизованной в Государственную комиссию по сортоиспытанию зерновых, масличных культур и трав). Под его руководством начали выпускать единые «Методики сортоиспытания полевых культур» (Методика..., 1947), используемые с некоторыми уточнениями до сих пор³³.

С 1938 г. Н.В. Цицин – член ВКП(б). 29 января 1939 г. избран академиком Академии наук СССР по Отделению ма-

³² URL: <https://gossortrf.ru/history/> (дата обращения 19.05.2023).

³³ URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniya-na-oos.php> (дата обращения 10.08.2023).



SYNTYPUS
Triticum x agropyrotriticum Tsitsin var. *ptilospicatum*
Poleva
1992, Byull. Glavn. Bot. Sada 163: 69, id. 1995, Byull. Glavn. Bot. Sada 171: 50.
Teste: Stepanova N. Yu. – 16.09.2020

ГЕРБАРИЙ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА АКАДЕМИИ НАУК СССР
HERBARIUM HORTI BOTANICI PRINCIPALIS ACAD. SCIENT. URSS (MHA)
Растения Европейской части СССР —
Plantae partis Europaeae URSS
Triticum agropyrotriticum Cicin
var. ~~pubescens~~ Poleva *var. nova*
~~*ptilospicatum*~~
Московская область, район Истринский
Provincia Mosqua, districtus
НЭХ "Снигири". Отдел отдаленной гибридизации
ГЭС РАН. Линия 2079 / 9I-92 : 7.
17.08. 19 92 Собр. (leg.) _____
№ _____ Опр. (det.) Л.В.Полева
Тип. ВАСХНИЛ. Зак. 267—4000

Рис. 1. *Triticum x agropyrotriticum* Cicin var. *ptilospicatum* Poleva. Гербарий ГЭС (Москва)



Иван Александрович Бенедиктов. 12 мая 1959 г. Фото Дмитрия Козлова, РИА Новости (из: <http://deduhova.ru/statesman/ivan-aleksandrovich-benediktov/>)

тематических и естественных наук (специальность – ботаника и селекция). После его избрания Президент АН СССР В.Л. Комаров считал необходимым отметить: «Среди новых академиков и членов-корреспондентов Академии Наук мы видим имена крупных передовых ученых, известных всей стране. Есть ли в нашей стране человек, который не знал бы Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицина и не произносил бы с чувством глубокого уважения их имена? Это народные учёные, продолжатели славных традиций великих борцов науки К.А. Тимирязева и И.В. Мичурина. Они вышли из народа, они связаны с ним. В лабораториях и на просторах социалистических полей, увязывая мысль с делом, Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицин, при помощи миллионов колхозников, ведут борьбу за сталинские урожаи» (Комаров, 1939. С. 31).

ВСХВ (Москва)

В 1938–1949 и 1954–1957 гг. Н.В. Цицин – директор Всесоюзной сельскохозяйственной выставки (ВСХВ) в Москве (в 1939–1941 гг. председателем выставочного комитета был нарком земледелия И.А. Бенедиктов (Цицин, 1940))³⁴. В завершение ее строительства, открытие и создание экспо-

³⁴ 25 июля 1939 г. выставку посетили руководители страны, разъяснения им давали И.А. Бенедиктов и Н.В. Цицин. Иван Александрович Бенедиктов (1902–1983) – агроном, государственный деятель. Окончил ТСХА (1927). Первый после революции советский нарком земледелия с высшим базовым (агрономическим) образованием. С 1937 по 1959 г. занимал ключевые посты в руководстве сельским хозяйством страны, в том числе наркома и министра. Чрезвычайный и Полномочный Посол СССР в Индии (1953, 1959–1967) и Югославии (1967–1971).

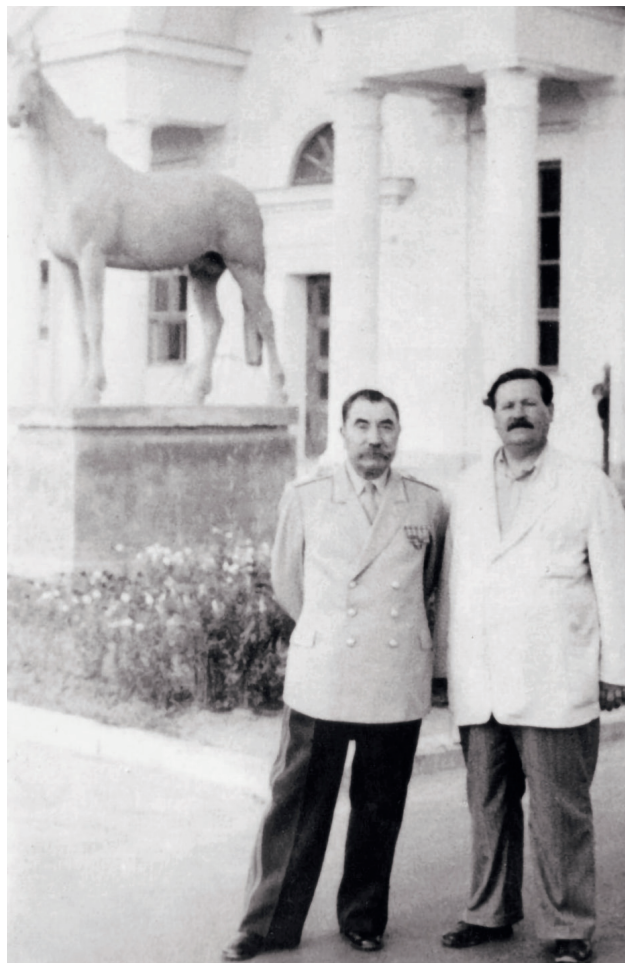
зиций они вложили много сил³⁵, стремясь сделать ВСХВ интересной для посетителей и полезной для популяризации и внедрения всего нового и передового в сельскохозяйственное производство страны (Всесоюзная..., 1939, 1955), в том числе для наглядности научных достижений в области аграрной науки (Научно-исследовательские учреждения..., 1955). Выставка стала демонстрацией и инструментом пропаганды лучших достижений³⁶, стимулировала социалистическое соревнование и рост производительности труда на селе (Новое в деревне, 1940). По результатам работы Выставки 1939 г. под редакцией И.А. Бенедиктова выпущено около 30 фотоальбомов, посвященных достижениям как союзных республик в целом (см., например, РСФСР..., 1940), так и отдельных отраслей сельского хозяйства (Овощи..., 1940; и др.). Со всех уголков страны осуществлялась доставка экспонатов, в том числе лучших экземпляров пород домашней птицы и скота. Скоропортящиеся фрукты и овощи доставлялись самолетами. Посевы и насаждения на территории ВСХВ, представлявшие достижения сельского хозяй-

³⁵ Начатое в 1935 г. строительство и создание Всесоюзной с.-х. выставки 1937 г. (Инструкция..., 1937) не успели завершить до конца 1938 г., и она стала Всесоюзной сельскохозяйственной выставкой 1939 г. Вероятно, Всемирная выставка 1937 г. в Париже оказалась в приоритете. ВСХВ имела предшественника: в 1923 г. в Москве была успешно проведена Всероссийская сельскохозяйственная и кустарно-промышленная выставка с той лишь разницей, что ВСХВ стала постоянно действующей.

³⁶ То же можно сказать и о Всероссийской сельскохозяйственной и кустарно-промышленной выставке, целью которой было «осведомление широких масс населения о достижениях сельскохозяйственной науки и практики и о возможностях приложения этих достижений к практике сельского хозяйства» (Всероссийская сельскохозяйственная..., 1922. С. 7).



Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицин на ВСХВ. Москва, 1939 г. Открытка СССР

С маршалом Советского Союза С.М. Будённым у павильона «Коневодство» ВДНХ. Москва, 1955 г. (из: <https://www.vavilovsar.ru/novosti/31-may-2023-i55674-botanik-i-selekcioner-n-v-cicin>)

ства всех республик Советского Союза, занимали площадь около 20 га. При этом только на зерновом участке высевалось до 600 сортов различных сельскохозяйственных культур. В выставочном саду было высажено около 10 тыс. растений, в том числе 600 сортов плодовых и ягодных культур, включавших наиболее полную коллекцию мичуринских сортов. В 1941 г. Выставка действовала один месяц и пять дней. Во время Великой Отечественной войны ее основная экспозиция и библиотека были эвакуированы в Челябинск. В войну Н.В. Цицин занимался мобилизацией растительных ресурсов, уделяя много внимания лекарственным растениям (Цицин, 1941). После окончания войны ВСХВ вновь приняла посетителей в Москве 1 августа 1954 г. На ней экспонировалось около 40 тыс. декоративных деревьев, 450 тыс. кустарников и около 5.5 млн одно- и многолетних цветов.

Институт зернового хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны (Немчиновка, Московская область)

В 1940–1949 гг. Н.В. Цицин – директор Института зернового хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны. В 1949–1957 гг. – заведующий лабораторией в том же Институте, в которой широко велись работы по отдаленной

гибридизации. Направление сохранилось в ФИЦ «Немчиновка» до наших дней (Larochkina et al., 2021).

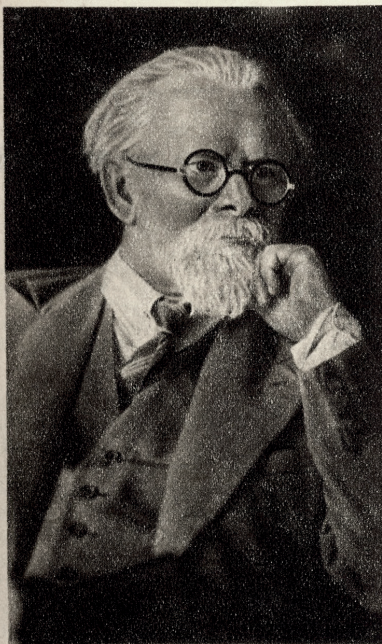
Главный ботанический сад АН СССР

В 1936 г. к организации Московского (Всесоюзного) ботанического сада Академии наук СССР (МБС) в Москве приступает академик Б.А. Келлер (1940)³⁷. С 1936 по 1941 г. он

³⁷ Борис Александрович Келлер (1874–1945) – геоботаник, почвовед, эколог растений, ботаник, исследователь растительности степей и полупустынь. Учился в Имп. Московском университете (1892–1894), окончил Имп. Казанский университет (1902). В 1910-х гг. занимался сорными и лекарственными растениями, а также засухо- и солеустойчивостью растений. Проф. кафедры ботаники Воронежских СХИ (1913–1931) и госуниверситета (1919–1931). В 1931–1936 гг. – директор одновременно Ботанического института и Почвенного института им. В.В. Докучаева (оба в Ленинграде). 13–14 января 1934 г. вместе с Д.Н. Кашкаровым был основным докладчиком на дискуссии «Основные установки и пути развития советской экологии» (Ленинград). В 1935 г. – член делегации СССР на конференции по защите академической свободы в Оксфорде (Англия), на которой выступил с докладом «Наука и ученые СССР». В 1936 г. переехал в Москву и приступил к организации Московского ботанического сада АН СССР. Война помешала этому начинанию: в 1941 г. Б.А. Келлер вместе с сотрудниками академического ботсада эвакуирован в Ашхабад. В 1941–1945 гг. – директор Туркменского филиала АН СССР. Академик АН СССР (1931) и ВАСХНИЛ (1935). В 1941 г. принимает на работу в Московский ботсад сотрудницу Н.И. Вавилова Н.А. Базилевскую, перебравшуюся в него вместе со всей коллекцией цветочных растений ВИР, которая вместе с ней перейдет в ботсад МГУ на Ленинских горах.



Академик Б. А. КЕЛЛЕР



Академик Б. А. Келлер.

Мне как ботанику страстно хочется заглянуть в будущее, чтобы увидеть те чудеса плодородия и красоты растительного мира, которые покажет нам родная советская земля через несколько сталинских пятилеток.

Об этом замечательном будущем писал, обращаясь к молодежи, И. В. Мичурин:

«Многое придется сделать следующим поколениям, в частности вам, мои юные друзья. Заветной мечтой моей жизни всегда было видеть, чтобы люди останавливались у растения с таким же интересом, с таким же затаенным дыханием, с каким останавливаются они перед новым паровозом, более усовершенствованным трактором, невиданным еще комбайном, неизвестным самолетом или перед неизвестной конструкцией машины».

Всесоюзная сельскохозяйственная выставка 1939 и 1940 гг. со всей

убедительностью показывает, в каких грандиозных масштабах осуществляется в нашей стране эта заветная мечта Мичурина. Сколько на выставке растений, перед которыми посетитель останавливается именно с тем затаенным дыханием, о каком писал великий садовод!

Борьба за повышение плодородия, за оздоровление растительного мира в интересах социалистического общества превратилась в нашей стране в мощное движение, захватившее миллионы людей. Основная задача создающегося Московского ботанического сада Академии наук заключается в том, чтобы разрабатывать ботаническую теорию в помощь этому движению и на опыте пропагандировать лучшие методы растениеводства.

Первые ботанические сады в Европе появились в эпоху Средневековья. Возникновение их связано с именем знаменитого путешественника венецианского купца Марко Поло. Возвращаясь морем на родину после долголетнего пребывания в Китае, он по дороге побывал на острове Суматра. Роскошная тропическая растительность глубоко поразила Марко Поло. Он собрал здесь семена растений и привез их в свой родной город в 1295 г. В 1333 г. в Венеции был устроен ботанический сад. Подобно другим ботаническим садам, появившимся в эту эпоху в итальянских республиках, он служил сначала преимущественно для разведения лекарственных растений.

В нашей стране первые ботанические сады появились в виде аптекарских огородов при Петре I. Так, в первые годы XVIII века возник ботанический сад Московского университета. В 1713 г. был основан ботанический сад и в Петербурге. Остров, на котором находится этот сад, и до сих пор носит название Аптекарского. Несколько десятилетиями позже, в 1756 г., в Москве, в непосредственном соседстве с Нескучным дворцом, в котором по-

мещается в настоящее время Президиум Академии наук, был создан один из самых замечательных ботанических садов XVIII века. Его устроил при своем дворце один из крупнейших богачей екатерининской России Прокопий Демидов, известный в свое время меценат. Описание этого сада оставил нам виднейший ученый того времени академик Паллас. Летом 1781 г. он посвятил целый месяц изучению сада и составил каталог растений, в котором значилось 2224 вида, расположенных по системе Линнея.

«Сей сад, — пишет Паллас, — не только не имеет себе подобного во всей России, но и со многими и в других государствах славными ботаническими садами сравнен быть может как редкостью, так и множеством содержащихся в оном растений... Теперь остается только желать того, чтобы сей толкиим иждивением заведенный сад пребыл вечно в своем совершенстве и красоте в память сего знаменитого любителя ботаники и послужил бы к распространению ботаники в Российской империи».

Пожеланиям Палласа, однако, не суждено было исполниться. Ботанический сад Демидова «не пребыл вечно в своем совершенстве и красоте». Поразительное отсутствие заботы об этом культурном уголке в последующие годы привело к тому, что сад был совершенно запущен, и в конце прошлого столетия уже не осталось почти никаких его следов.

Прошли десятилетия. О Демидовском саде давно уже никто не вспоминает. Сейчас на Ленинских горах создается новый грандиозный ботанический сад. Масштабы этого сада вполне соответствуют широте задач, которые ставят перед собой советские ботаники. Ботаника как наука должна объединять, обобщать и развивать наши знания о диком растительном мире и накопившийся огромный опыт разведения и использования культурных растений.

Дикий растительный мир за сотни миллионов лет своей истории приобрел огромную, неисчерпаемую вы-



Н.В. Цицин в кабинете в Главном ботаническом саду АН СССР. Москва, 1968 г.
(из: <https://www.vavilovsar.ru/novosti/31-may-2023-i55674-botanik-i-selekcjoner-n-v-cicin>)

председатель рабочего бюро по его строительству, с 1941 по 1945 г. – директор ботсада. В 1941 г. ботанический сад имел следующую структуру: постоянная комиссия по проектированию и строительству МБС; питомник; лаборатория эволюционной экологии растений (Б.А. Келлер); лаборатория отдаленной гибридизации растений (Н.В. Цицин); лаборатория защиты древесных растений и древесины от грибных заболеваний (Р.Ю. Фальк).

В 1943 г. из ботсада выведена лаборатория отдаленной гибридизации растений (Ткачева, 2022). В 1941 г. вместе с коллективом сотрудников МБС АН СССР Б.А. Келлер эвакуирован в Ашхабад, где организует Туркменский филиал АН СССР.

Летом 1945 г. Б.А. Келлер тяжело заболел и 29 октября умер.

Первоначально академический ботсад предполагалось разместить на Ленинских горах в треугольнике, образуемом Воробьевским, Калужским (ныне Ленинский проспект)

и Рублевским шоссе. Позже в соответствии с генеральным планом развития послевоенной Москвы он переместился к ВДНХ, а на Воробьевых горах дальше к северо-западу, на территории, прилегающей к биологическому и почвенному факультетам МГУ, обустроили новый Ботсад МГУ (Голиков, 2023). Здесь же еще до середины 1950-х гг. существовал питомник ГБС. Старый же Ботсад МГУ, «Аптекарский огород», самый старый ботанический сад России, основанный еще Петром I в 1706 г., расположен на проспекте Мира. Ему присвоен статус памятника истории и культуры Москвы, памятника садово-паркового искусства XVIII в. и особо охраняемой природной территории.

Дважды, в 1940 и 1945 гг., в мастерской «Академпроект» (руководитель – архитектор И.М. Петров) созданы эскизные проекты академического ботанического сада. В послевоенной столице уже под руководством Н.В. Цицина будет осуществлен третий проект создания академического ботсада все того же архитектора И.М. Петрова (Ландшафтная

архитектура..., 2015)³⁸, которой завершится созданием нынешнего Главного ботанического сада (ГБС) РАН. Работа выполнялась в рамках общего Градостроительного плана развития Москвы (Ландшафтная архитектура..., 2015). Датой создания (организации) ГБС АН СССР считается 14 апреля 1945 года³⁹. В 1945 г. в БИН назначены 10 бригад сотрудников по созданию экспозиций ГБС (Федоров, 1945). В течение последующих 14 лет более двух тысяч рабочих и несколько десятков ботаников трудились над формированием его уникальной экспозиции, доминанты которой сохранились до сих пор.

Н.В. Цицин подробно обосновал и внес на рассмотрение правительства предложение об организации на территории лесопарка рядом с ВСХВ площадью 360 га ГБС АН СССР. Предложение принято в апреле 1945 г., и в территорию ботанического сада был включен Останкинский лесной массив – заповедная дубрава, отдельные экземпляры дубов в которой старше 250 лет, Ерденьевская роща и Леоновский лес. Сегодня Москва – единственная столица мира, внутри границ которой имеется сохранившаяся именно благодаря созданию ГБС естественная дубрава. Эти уникальные лесные уголья раньше принадлежали князьям Черкасским. Затем они перешли во владение Шереметевых, получивших «сельцо Осташково» с усадьбой в качестве приданого княжны Варвары Черкасской (1711–1767), вышедшей замуж за графа Петра Борисовича Шереметева (1713–1788). Граф Николай Петрович Шереметев (1751–1809) превратил ближайшую к имению «Останкино» часть рощи в пейзажный (английский) парк, выписав для этой цели садовника из Англии. Парк имеет необычный для Москвы рельеф, что в сочетании с впечатлением от нерегулярности посадок растений делает его очень живописным. По его территории протекают три небольшие речки – Яуза, Лихоборка и Каменная – и расположены пять искусственных графских прудов.

Ботанический сад был открыт для посещения 28 июля 1959 г. В это время Н.В. Цицин совмещал руководство ВСХВ и ГБС. Возможно, поэтому по эскизам, выполненным архитектором И.М. Петровым, вся территория ВСХВ входила в Ботанический сад (Ландшафтная архитектура..., 2015). Там, где в настоящее время располагается павильон «Космос», предполагалось построить оранжерейный комплекс⁴⁰, а главную оранжерею расположить в районе прудов. Позже из части ГБС снова была выделена территория ВДНХ.

Усилиями Н.В. Цицина с сотрудниками создан бота-

нический сад, в котором поддержание коллекций сочеталось с многоплановыми научными исследованиями по интродукции растений (Культурные растения..., 1981; Лапин, 1986), в том числе культурных (Культурные растения Главного ботанического сада..., 2011). Они в соответствии с отечественными традициями пытались ввести в экспозицию не только плодовые и плодово-ягодные, но и другие культурные растения (Хоциалова и др., 2020). При этом ГБС АН СССР стал методическим и координационным центром научных исследований, проводимых всеми ботаническими садами нашей страны.

Теория отдаленной гибридизации

Следует отметить, что задача получения фертильных межвидовых гибридов от скрещивания культурных растений с дикорастущими традиционна для российской агробиологической науки. Первые межродовые гибриды растений получены адъюнктом Императорской Санкт-Петербургской АН И.Г. Кельрейтером (1940). Начатые Н.В. Цициным в 1930 г. работы по отдаленной гибридизации пшеницы с пыреем продолжены им в 1932–1938 гг. в СибНИИЗХоз (Омск), а затем в Институте зернового хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны (пос. Немчиновка, Московская область) и в Лаборатории отдаленной гибридизации АН СССР (Москва, с 1953 г. – с. Рождествено Московской области). Многочисленные успешные синтезы новых форм растений позволили ему сформулировать теорию видообразования в растительном мире, в соответствии с которой новые константные виды появляются через серию временных неустойчивых форм (Tsitsin, 1975).

Несмотря на то что представители трибы Пшеницевые (Triticeae) семейства Злаки (Poaceae Barnhart) – удобный объект для изучения межвидовой гибридизации и сопровождающего ее акта полиплоидизации, преодоление стерильности у межвидовых и межродовых F_1 гибридов в каждом конкретном случае требовало решения вопросов, так или иначе связанных с межвидовой несовместимостью (Цицин, 1965). Еще одна значительная проблема, возникающая при таких скрещиваниях, – отсутствие благоприятного сочетания признаков во вновь создаваемых гибридных формах⁴¹. Это требовало разработки специфических методов, которые бы стабильно давали положительный эффект (Tsitsin, 1965). На решение этих непростых вопросов Н.В. Цицин затратил долгие годы.

Отдаленная гибридизация

Среди доноров, обладающих пулом хозяйственно ценных признаков, особое место занимают многолетние дикорастущие злаки. В настоящее время в селекционном процессе используют многие виды из родов *Aegilops* L., *Agropyron* Gaertn., *Amblyopyrum* (Jaub. & Spach) Eig, *Dasyphyrum* (Coss. & Durieu) T. Durand, *Elymus* L., *Elytrigia* Desv. (син. *Thinopyrum* Á. Löve) и др. (Крупин и др., 2019). Н.В. Цициным с сотрудниками были успешно вовлечены в гибридизацию с пшеницей два вида пырея – *Elytrigia intermedia* (Host) Nevski (син. *Thi-*

³⁸ В связи с постановлением об организации ГБС принято решение о ликвидации Московского ботанического сада (первоначально Всесоюзный ботанический сад), организованного в 1936 г. и располагавшегося на Воробьевых горах.

³⁹ В этот день Президиум АН СССР принял Постановление «О строительстве Главного ботанического сада АН СССР в Москве». Ранее 21 января 1945 г. принято Постановление СНК СССР № 128 «Об ознаменовании 220-летия существования Академии наук СССР» (ГАРФ. Фонд Р-5446. Оп. 1. Д. 241), где наряду с другими мероприятиями было решено организовать новый академический ботанический сад в столице. Детальная программа строительства принята 14 апреля, и уже в мае под него выделили 361 га земли в Останкинском лесопарке. Решениями Моссовета и постановлениями Президиума АН СССР с 1945 по 1969 г. ГБС переданы земли, на которых в настоящее время размещены его основные экспозиции. В 1998 г. саду переданы в бессрочное пользование 331.49 га.

⁴⁰ URL: <https://zbulvar.ru/v-muzee-vdnh-otkrylas-ekspozitsiya-pamyati-vdayushhegosya-uchyopogo-nikolaya-tsitsina/> (дата обращения 19.05.2023).

⁴¹ Классический пример – амфидиплоид *Raphanobrassica* (геном RrRrCrCr, $2n = 36$) Г.Д. Карпеченко (1927), у которого верхки от редьки (*Raphanus sativus* L.), а корешки от капусты (*Brassica oleracea* L.).



А.И. Державин
(из: https://www.stavmuseum.ru/news/?ELEMENT_ID=15022)

nopyrum intermedium) и *Elytrigia elongata* (Host) Nevski (син. *Agropyron elongatum* (Host) P.Beauv., *Thinopyrum elongatum* (Host) D.R.Dewey) (Tsitsin, Lubimova, 1959; Щукина, 2021).

Параллельно над созданием многолетних злаковых культур успешно работали коллеги Н.В. Цицина (см. обзор Curwen-McAdams, Jones, 2017), т. к. большинство родственных пшеницам видов трибы Triticeae многолетники, что открывает определенные перспективы. А.И. Державин⁴² (1937) создал многолетнюю рожь, описанную сначала как вид *Secale derzhavinii* Tzvel. (Цвелев, 1973:47), позже переведенную в подвид ржи посевной *S. cereale* ssp. *derzhavi-*

⁴² Александр Иванович Державин (1902–1967) – агроном, селекционер. Окончил Воронежский СХИ (1925). Работал агрономом Кучкинского и Городищенского сортоучастков Пензенской губ. (1925–1929), зав. Степанакертским сортоучастком Нагорно-Карабахской АО (1929–1933) и лабораторией многолетних культур СГИ (Одесса, 1933–1934). Зав. опытным пунктом многолетних культур (1934–1937), в 1937 г. преобразованным в Ворошиловскую ГСС. Зав. группой селекции многолетних культур, зам. директора по научной части, ст. н. с., директор этой же ГСС (1937–1938, 1944–1946). В 1941–1943 гг. – в эвакуации в узбекском г. Каттакуртан. С 1943 г. – зав. кафедрой селекции и семеноводства, в 1956–1965 гг. – профессор кафедры растениеводства в Ставропольском СХИ. Дважды избран в Верховный Совет РСФСР. См. о нем: (Ивойлов, 2017).

nii (Tzvelev) Kobyl. (Культурная флора..., 1989:62). Проект успешно реализован: сорт многолетней ржи Державинская 29 был районирован в 1981 г. и до сих пор возделывается (Государственный реестр..., 2023). На ее основе А.И. Державин (1938) попытался создать многолетнюю пшеницу. Первый гексаплоидный пшенично-ржаной амфидиплоид ($2n = 6x = 42$) синтезирован им в 1932 г. в результате гибридизации полуозимой твердой пшеницы Леукурум 1364/1 с дикорастущей многолетней рожью *S. montanum* Guss. из Армении. Первое гибридное поколение было бесплодно. При повторном опылении F_1 гибридов этой же рожью получено фертильное растение, давшее начало многолетнему гексаплоидному амфидиплоиду (Державин, 1960). До настоящего времени работа не завершена. Напомним, что Н.В. Цицин с сотрудниками создали многолетнюю пшеницу на основе видов пырея (Цицин, 1978).

А.И. Державиным также реализована идея получения многолетнего сорго *Sorghum derzhavinii* Tzvel. (Цвелев, 1968:16). Кроме него в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию включены еще два сорта-популяции сорго многолетнего, полученные на основе сорго-гумаевых гибридов А.И. Державина⁴³ – Караван и Травинка (оба в 2004 г.) (Государственный реестр..., 2023). К настоящему времени завершена работа по созданию многолетнего сорго кормового направления на основе все тех же сорго-гумаевых гибридов А.И. Державина (Поспелов и др., 2017).

Над созданием кормовых многолетних ППГ с середины 1930-х гг. на Краснодарской селекционной станции работал В.А. Хижняк (1937, 1938). Он дал название новой кормовой траве агротритика (Спорные вопросы..., 1939). В Канаде основное внимание также уделялось выращиванию крупносеменных кормовых ППГ для возделывания в прериях (Armstrong, 1936). В США эту культуру изучали на предмет использования в качестве корма для зимующих птиц (Suneson et al., 1963). В 1960-х гг. селекция ППГ как многолетней культуры в Северной Америке на время прекратилась, и большая часть образцов была утеряна (Curwen-McAdams, Jones, 2017). В других зарубежных странах работы с ними продолжались значительно дольше (Sepsi, 2010).

Отметим, что исследователей всего мира перманентно интересует создание многолетних зерновых злаковых культур (Wagoner, Schaeffer, 1990; Sharma, 1995), перспективных для возделывания на эродированных землях, на которых производство сельскохозяйственных культур крайне неустойчиво. Потенциальные преимущества таких культур для диверсификации сельского хозяйства и улучшения почв хорошо изучены (Wagoner, Schaeffer, 1990; Cox et al., 2010). Увеличение числа исследований по гибридизации между одно- и многолетними злаками пришлось на 1970-е гг., когда прогресс в методах гибридизации (Kruse, 1973), культивировании изолированных зародышей (Murashige, 1974) и контроле гомеологических спариваний (Riley, 1974) стимулировал возобновление интереса к таким работам в трибе Triticeae (Dewey, 1984).

⁴³ Получены от скрещивания сорго двуцветного *Sorghum bicolor* (L.) Moench с гумаем (сорго алеппское, или джонсонова трава) *Sorghum halepense* (L.) Pers.

В 1980-х гг. в США предложена альтернатива многолетним культурным растениям – введение в культуру диких многолетних трав для последующего возделывания (Jackson, 1980). Придет ли на смену цицинским гекса- и октаплоидным \times *Trititrigia* отселектированный зернокармальной крупнозерный пырей (см., например, Шаманин и др., 2021) или они удержатся в производстве – вопрос открытый (Рудой и др., 2021). В настоящее время преимущества и недостатки этих двух подходов для создания технологий получения многолетних зерновых культур широко обсуждаются.

Пшенично-пырейные гибриды

В начале 1950-х гг. Н.В. Цицин добился разрешения на организацию в Казахстане опорного пункта ГБС с целью испытания новых сортов яровых ППГ на вновь осваиваемых территориях (Редколлегия, 1999). Созданные в ГБС на основе ППГ среднеранние сорта яровой мягкой пшеницы при высокой урожайности отличались устойчивостью к болезням и рядом других хозяйственно важных признаков. Они успешно «пошли» на целине. Шесть яровых ППГ в разное время были районированы и широко здесь возделывались. Из них сорт Ботаническая 2 (син. ППГ 1239, получен от скрещивания мексиканского сорта Pitic 62 с ППГ Радуга) широко возделывался на Урале, в Сибири и Северном Казахстане. Он был устойчив к бурой ржавчине и давал 30 ц/га и более (Артемова, Пронина, 1980). Следующим был районирован для возделывания на богаре и поливе белозерный яровой сорт ППГ Грекум 114⁴⁴ (Цицин, 1978). Он был устойчив к пыльной головне, мучнистой росе, осыпанию и полеганию, что особенно важно при возделывании на орошении, характеризовался высоким содержанием белка и клейковины и обладал отличными хлебопекарными свойствами. Включен в список ценных по качеству сортов яровой мягкой пшеницы (Долгова и др., 2009). Еще четыре яровых сорта – ППГ 22850, ППГ 56, ППГ 172, Восток – были районированы в Алтайском и Красноярском краях, Читинской области, в Бурятии и ряде областей Казахстана и Киргизии. Кроме них два озимых, ППГ 599 и ППГ 186 (соавтор Г.Д. Лапченко), районированы в Нечерноземной зоне и один, ППГ 1 (соавтор Ф.Д. Крыжановский), – в Латвийской ССР.

Зернокармальное направление

В лаборатории отдаленной гибридизации ГБС были созданы формы ППГ, дающие урожай зерна, зеленой травы и/или сена, которые авторы назвали «многолетние зернокармальные пшеницы» (Цицин и др., 1979; Любимова, Белов, 1990). При их изучении стандартом являлся сорт Отрастающая 38, единственный включенный в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, как сорт зернокармальной пшеницы – октаплоидной трититригии (\times *Trititrigia*) (Завгородний и др., 2022). Отметим, что теоретические исследования отстают от прикладных: не установлены число генов, контролирующих признак «многолетность» (Lammer et al., 2004), и характер его наследования.

Кроме того, сотрудниками Н.В. Цицина созданы новые стабильные промежуточные гексаплоидные трититригии ($2n = 6x = 42$), описанные как новый вид *T. \times duromedium* Lu-

bimova (Любимова, Дорофеева, 1993) (рис. 2). Они имеют меньшее число хромосом, чем трититригия Цицина, и отличаются от нее рядом морфобиологических признаков. Кроме того, гексаплоидные формы менее долговечны. Еще одна 42-хромосомная форма из комбинации скрещивания *T. durum* Desf. ($2n = 4x = 28$) на *Elytrigia elongatum* (Host) Nevski ($2n = 10x = 70$), отличающаяся от *T. \times duromedium* отцовским видом пырея, описана как *T. \times duelongatum* Pol. (Полева, Любимова, 1995) (рис. 3).

Недавно описан еще один межвидовой гибрид *Triticum aestivum* L. с *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth et D.R. Dewey как новый гибридогенный вид *Tritipyrum aseae* Curwen-McAdams et al. (Curwen-McAdams et al., 2017).

Ветвистоколосость

Н.В. Цициным получены формы мягкой пшеницы, имеющие ветвистое строение колоса, отличающееся от такового у *T. vavilovii* Jakubz. (рис. 4). До этого были описаны лишь ветвистоколосые разновидности у тетраплоидных пшениц, некоторые из которых безуспешно селектировал Т.Д. Лысенко. Формы мягкой пшеницы были описаны как новые разновидности (Любимова, Полева, 1992). Ряд из них сохранился у селекционеров (Коллекция видов пшениц..., 2021).

Параллельно были выделены и новые разновидности ржи *Secale cereale* L. (Цицин, 1963), имеющие ветвистый колос (рис. 5), на основе которых в ГБС получили тетраплоидную ветвистоколосую рожь с высокой потенциальной продуктивностью (Цицин, 1951). Однако эти формы не пошли в производство. Относительно ветвистоколосости у ржи приведем цитату столетней давности из работы П.В. Будрина (1909): «При этом не следует увлекаться ветвистостью колоса, встречаемой у *Secale cereale* L. var. *monstrosum*, или обилием цветков у т. наз. многоцветковой ржи. Величина соцветия в этом случае идет вразрез с качеством зерна и другими ценными свойствами растения» (С. 26).

Многозерные формы пшеницы

Одна из пионерских работ Н.В. Цицина – опыты по созданию многозерных форм пшеницы, обладающих высокой потенциальной продуктивностью (рис. 6). Обычно у коммерческих сортов пшеницы число цветков в колосках равно пяти, а число зерен в среднем на колосок не превышает четырех. Используя отдаленную гибридизацию пшеницы с дикими злаковыми растениями, ему впервые в мировой практике удалось создать гибридные формы пшеницы, в колосках которых число цветков достигало девяти, а число зерен – шести-восьми, что потенциально позволяет поднять ее урожайность (Цицин, 1980б).

Это направление в настоящее время успешно развивается в селекции как в Европе (Dobrovolskaya et al., 2009, 2015), так и Китае. Правда, в последнем используется иной мутант мягкой пшеницы, а именно с тремя зерновками в одном цветке (рис. 7).

Выполненность соломины

Н.В. Цицин создал формы не только с укороченной, но и с выполненной соломиной. В то время как все мягкие пшеницы имеют полую соломину (Дорофеев, Пономарев, 1970),

⁴⁴ Золотая медаль ВДНХ (1975).



Рис. 2. Голотип *Triticum xduromedium* Lubimova. Гербарий ГБС (Москва)*
Примечание: * См.: Степанов, 2015



Рис. 3. *T. xduelongatum* Poleva. Гербарий ГЭС (Москва)



Рис. 4. Слева направо: безостый колос озимой мягкой ветвистой пшеницы, остистый колос той же пшеницы, ветвистый колос озимой твердой пшеницы и колос мягкой пшеницы (из: Цицин, 1974)

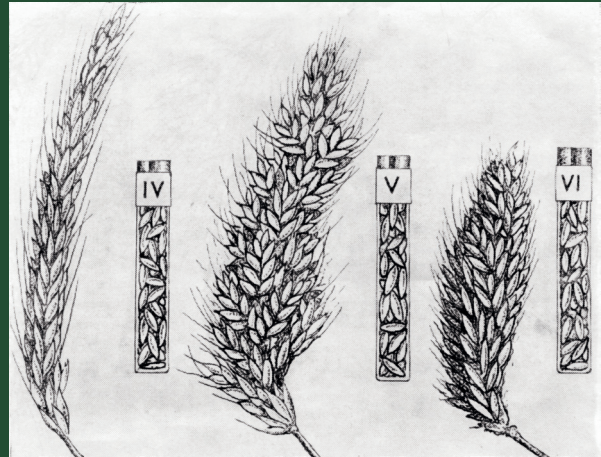


Рис. 5. Новый вид ветвистой озимой ржи *Secale ramosum* Cicip (из: Цицин, 1966). Колосья (слева направо): слабоветвистый, рыхлый, плотный – и их зерно



Рис. 6. Обложка книги Н.В. Цицина «Большой колос» с «многозерным» колосом мягкой пшеницы

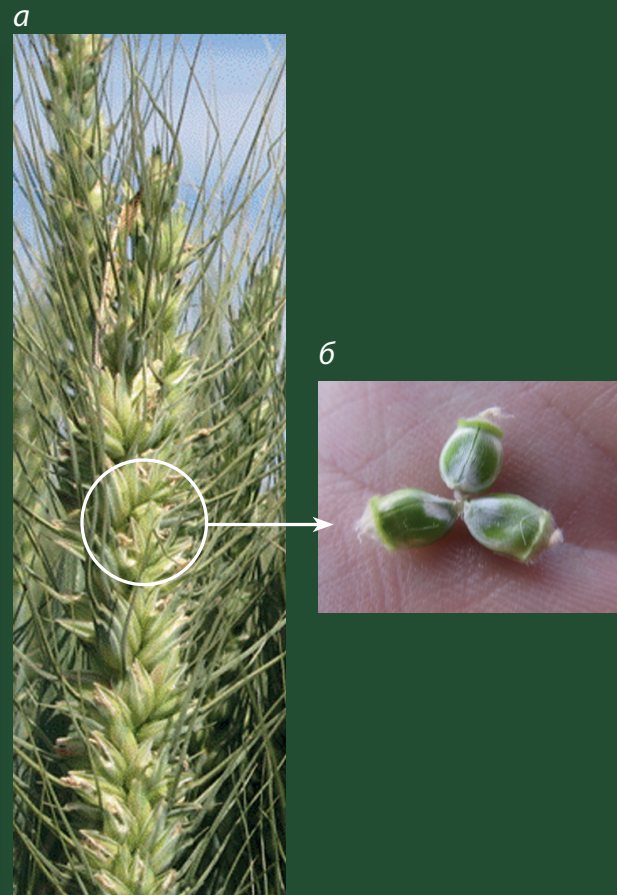


Рис. 7. Мутант мягкой пшеницы с тремя зерновками в одном цветке: а – колос; б – зерновки (из: Определитель..., 2009). Фото В.П. Шаманина, ОмГАУ



Рис. 8. Колосняк ветвистый *Leymus racemosus*
(из: <https://chto-posadit.ru/kolosnyak-peschanyy-i-gigantskiy-posadka-i-uhod-v-otkrytom-grunte-vyrashhivanie-iz-semyan/>)

у полученных им межвидовых гибридов на всем протяжении стебля она заполнена паренхимой, что делает растения устойчивыми к полеганию.

Вегетативная гибридизация

Открытый идеей создания многолетних зерновых культур, Н.В. Цицин пытался создать «многолетний горох» (*Pisum sativum* L.), правда несколько другим путем – посредством вегетативной прививки его на желтую акацию (Цицин, 1946, 1948), или карагану древовидную (*Caragana arborescens* Lam.). С использованием вегетативной гибридизации в лаборатории отдаленной гибридизации ГБС под руководством Н.В. Цицина также получен цифомандро-томатный⁴⁵ гибрид (Крыжановский, 1954), плодоносивший в течение нескольких лет (Цицин, 1948). Успешными оказались прививка гомфокарпуса, или харга кустарникового (*Gomphocarpus fruticosus* (L.) W.T.Aiton), на олеандр (*Nerium oleander* L.) и реципрокная комбинация (Цицин, 1948).

Полиплоидия

При гибридизации двух тетраплоидных ($2n = 4x = 28$) сортов озимой ржи *Secale cereale* L. тетра Вятка московская⁴⁶

⁴⁵ Цифомандра древовидная (*Cyphomandra abutiloides* Griseb., или *Solanum abutiloides* (Griseb.) Bitter & Lillo) – томатное дерево, или Dwarf Tamarillo. Кроме многолетности цифомандра устойчива к заморозкам (до -4°C) и основным болезням и вредителям томатов.

⁴⁶ Следует отличать от сорта Тетра-Вятка, полученного в СибНИИРС и

и Tetra Petkus⁴⁷ Н.В. Цицин получил тетраплоидную рожь, которая имела толстую и прочную соломинку, была при урожае 35–40 ц/га устойчива к полеганию, с массой 1000 зерен 45–48 г (у диплоидных сортов она 28–30 г). Тетраплоидная рожь – это совершенно новая культура XX в. (Dorsey, 1936), сохранившая зимостойкость на высоком уровне. Ее полиплоидные сорта стабильны цитологически (Müntzing, 1951; Morrison, 1956; и др.) и продуктивны. Позже Н.В. Цициным создан еще один тетраплоидный сорт озимой ржи Старт, обладавший высокими зимостойкостью и продуктивностью. Он был районирован в Рязанской и ряде других областей Нечерноземья.

С использованием полиплоидии в ГБС получены тритикале. Урожайность тритикале АД 740 в конкурсном сортоиспытании в условиях Московской области достигала 54.0 ц/га, АД 121 – 47.2 ц/га при урожае стандарта, озимой пшеницы Мироновская 808, 37.2 ц/га (Елагин, 1988).

Содержание белка

Еще в 1930-х гг. Н.В. Цицин с сотрудниками установили, что зерно пырея, как и пшеницы, содержит значительной процент сырой клейковины, обладающей хорошей свя-

районированного в 1983 г. Авторы Н.С. Владимиров, К.В. Мазуренко (оба СибНИИРС) и И.С. Попова (ИЦиГ СО РАН).

⁴⁷ Работа с последней начата R. von Sengbusch (1940) и продолжена Н. Bleier (1950). Создание тетра-гибрида завершено W. Laube (1950).



Вручение академику Н.В. Цицину ордена Ленина и второй Золотой Звезды Героя Социалистического Труда. Москва, Кремль, 27 декабря 1978 г. Фото С.М. Гурария. Газета «Труд». Слева направо: В.А. Матросов, Н.Т. Глушков, М.С. Горбачев, Э.А. Шеварнадзе, Н.В. Цицин, В.В. Кузнецов, Л.И. Бержнев, М.П. Георгадзе, А.Е. Карпов, А.Я. Абрамян, С.К. Цвигун (из: <http://old.gbsad.ru/fotoalb10.html>)

занностью. Из полученных под руководством Н.В. Цицина сортов высоким качеством зерна отличаются 42-хромосомные яровые ППГ. Посредством гибридизации ржи и пырея получены формы ржи с генетическим материалом пырея, зерно которых содержало клейковину высокого качества. Была изучена их скрещиваемость, испытаны F_1 гибридов и предложена методика преодоления стерильности последних путем обработки колхицином для получения амфидиплоидов (Елагин, 1988).

Более эффективным методом получения высококлейковинной ржи оказалось скрещивание пырея с ее тетраплоидными формами. В зерне некоторых таких F_4 – F_6 гибридов содержание сырой клейковины достигало 15–20 %.

Была создана озимая рожь с высоким содержанием сырой клейковины, близкой по физическим свойствам к клейковине пшеницы (Елагин, 1988). Потенциально это может позволить перевести культуру озимой ржи из разряда серых хлебов в настоящие.

Гибриды с элимусами

Вслед за В.Е. Писаревым⁴⁸ (Писарев, Виноградова, 1944)

⁴⁸ Виктор Евграфович Писарев (1882–1972) – агроном, селекционер. Окончил Имп. Казанский университет (1906) и Московский СХИ (1908). В 1909–1912 гг. – агроном Переселенческого управления Иркутского р-на Иркутской губ., в 1913–1918 гг. – зав. Тулунским опытным полем (Иркутская губ.), в 1918–1920 гг. – организатор агрономической службы в Иркутской губ. С 1921 г. – в ОПБИС, в 1921–1923 гг. откомандирован в Восточную Сибирь и Монголию для поисков родины восточносибирских хлебов. С 1924 г. – зам. директора ВИПБИНК/ВИР. В марте 1933 г. арестован, выслан в Ухтпечлаг, в феврале 1934 г. переведен в Сиблаг и в этом же году досрочно освобожден. Вернулся на работу в Ленинградский СХИ, затем уехал в пос. Немчиновка Московской обл., где в

Н.В. Цицин и его ученики начали скрещивать пшеницу, рожь и ячмень с колосняками (волоснецом) – ветвистым (гигантским) (*Leymus racemosus* (Lam.) Tzvelev, $2n = 4x = 28$) (рис. 8), песчаным (*Leymus arenarius* (L.) Hochst., $2n = 4x = 28$) и мягким (*Leymus mollis* (Trin.) Pilg, $2n = 8x = 56$) (Цицин, Петрова, 1963). При гибридизации с ними ставились задачи повышения урожайности пшеницы, так как у элимуса гигантского число колосков в колосе достигает 220, а число зерен – 600 и более. Это связано с двумя специфическими для элимуса признаками: большим числом уступов на оси колоса и размещением на каждом из них колосков группами по два, четыре и шесть (Цицин, Петрова, 1976).

В 1968–1969 гг. в потомствах гибридов пшеницы с элимусом мягким выделены высокопродуктивные константные неполные 42-хромосомные амфидиплоиды (Рашкован, Турков, 1979). Они отличались длинным колосом, крупным зерном, содержанием белка свыше 20 % и клейковины – более 40 %. По технологическим свойствам они занимали промежуточное положение между сильными и качественными пшеницами. У Амфидиплоида 99 в отличие от мягкой пшеницы колоски размещаются по два на каждом уступе оси колоса, как у элимуса, и их число в колосе достигает 38–40 (иногда 52), а число зерен в колосе – 70–120 (изредка 140). Продуктивная кустистость – от 9 до 16 стеблей. Масса зерна с колоса составляет 3.0–4.7 г, масса 1000 зерен – 36–52 г (Елагин, 1988).

1935–1972 гг. возглавлял лабораторию селекции яровых зерновых культур Московской областной опытной станции/НИИ сельского хозяйства центральных районов Нечерноземья. Лауреат Сталинской премии 3-й степени (1951). См. о нем: (Поповский, 1960; Долинин, 1964; Гончаров Н.П., Гончаров П.Л., 2007; Гончаров, 2009; и др.).

Перспективы

Начиная исследования по отдаленной гибридизации растений, Н.В. Цицин писал: «Необыкновенная жизнеспособность ряда представителей данной флоры, в том числе сородича пшеницы – пырея, и заставала нас встать на путь гибридизации его с пшеницей» (Цицин, 1954. С. 4). В качестве компонентов скрещивания он взял озимые и яровые сорта пшеницы, с одной стороны, и виды пырея – с другой. Сделано заключение о преимуществе использования при отдаленной гибридизации с пшеницами пырея *Agropyron glaucum*. К настоящему времени с участием этого вида селекционеры создали большую серию озимых пшенично-пырейных гибридов.

Сегодня труды Н.В. Цицина по разработке теории и практик отдаленной гибридизации, выведению новых сортов зерновых культур и созданию пород животных продолжают его последователи. К сожалению, в нашей стране не так много мест, где все еще проводятся работы по передаче полезных признаков от пырея пшенице (Филатова и др., 2010; Размахнин и др., 2012; Давоян и др., 2015; Плотникова и др., 2016) и разрабатываются теоретические и практические вопросы преодоления нескрещиваемости у отдаленных гибридов (Першина, Трубацеева, 2016; Размахнин, 2017). Полного согласия нет, но цитогенетические исследования показали, что у многолетних видов *Triticeae* существует всего около 10 основных геномов (Ceoloni et al., 2015), комбинации из которых и дают все разнообразие диких видов трибы с плоидностью от ди- до дека-плоидной.

По следам пионерских работ Н.В. Цицина и его последователей за рубежом также были начаты работы по созданию ППГ, их использованию в селекции и всестороннему изучению (Peto, 1936; Johnson, 1938; и др.). Однако в 1973 г. E.R. Sears (1973) показал возможность интрогрессии конкретных генов из пырея, как это раньше он продемонстрировал на *Aegilops* (Sears, 1961). Поэтому на Западе работы (см., например, Sharma, Gill, 1983; Sharma, Baenziger, 1986), впрочем как и у нас (Филатова и др., 2010), пошли по этому направлению. Отмечая огромную



Мемориальная доска академику Н.В. Цицину, возглавлявшему Главный ботанический сад АН СССР с 1945 по 1980 г. Открыта 14 ноября 1984 г. Фото автора



Бюст дважды Героя Социалистического Труда на родине Н.В. Цицина. Саратов, ул. Рахова. Открыт в 1985 г. (из: <http://www.tursar.ru/page-joy.php?j=266>)

загруженность Н.В. Цицина, мы очень мало знаем о его помощниках и ключевых сотрудниках. Например, Ф.Х. Бахтеев с ноября 1945 г. работал ученым секретарем ГБС и по совместительству исполнял обязанности заместителя директора Лаборатории отдаленной гибридизации растений АН СССР (1948–1949). Совместно с Е.М. Даревской ему впервые в мире удалось осуществить удачное скрещивание ячменя с элимусом (колосняком песчаным) (Бахтеев, Даревская, 1950) и получить ряд других фертильных отдаленных гибридов. Не определены перспективы многолетней зернофуражной ржи Державина (Щеглов, 2009), которая никак не может надежно закрепиться на отечественных полях (Государственный реестр..., 2023).

Николай Васильевич не был чужд новаторства: например, в ГБС его сотрудники успешно использовали культуру изолированных клеток и тканей (Цицин, Петрова, 1976), позволяющую получать гибриды, сочетающие свойства исходных организмов. Кроме того, он охотно участвовал в просветительской работе, редактируя кроме отечественных многочисленных коллективных биографий и сборников переводные работы, освещающие селекционные достижения Запада (Бербанк, 1955; Свалевская селекционная станция..., 1955; и др.).

Исследования Н.В. Цицина широко известны как в нашей стране, так и за рубежом. Его лабораторию посещали Норман Барлауг (CIMMYT, Мексика), Роже де Вильморен (Vilmorin-Andrieux et Cie, Франция) и многие другие выдающиеся селекционеры. В качестве президента XIV Международного генетического конгресса, состоявшегося в Москве в августе 1978 г., Н.В. Цицин (1981) выступил с пленарным докладом об успехах селекции. Многие его научные разработки и сегодня широко используют селекционеры и ботаники. Он теоретически обосновал и практически доказал возможность получения многолетней пшеницы; широкое распространение получили его ППГ, что привело к повышению урожайности зерновых культур в Сибири, Северном Казахстане и Киргизии. Разрабатывал научные основы акклиматизации и интродукции растений и организацию целенаправленной интродукционной работы в стране.

Н.В. Цицин воспитал множество учеников, которые успешно продолжают исследования по отдаленной гибридизации, создавая не только новые сорта растений, но и ценные гибриды животных. Под его руководством сотрудники научно-экспериментальной базы ГБС на основе многолетних работ по отдаленной гибридизации коров русской черно-пестрой породы с азербайджанским зебу создали гибридное высокопродуктивное стадо крупного рогатого скота (Упелниек и др., 2020). Были начаты работы по гибридизации черно-пестрой породы с кубинским зебу. Полученные гибриды отличаются высокой жирностью молока (до 5.5 %), хорошей адаптационной способностью и устойчивостью к болезням. Н.В. Цицин вел большую научно-организационную и общественную работу. Он был председателем правления Совета ботанических садов АН СССР (1953–1980) (Горбунов, Швецов, 2019), членом Бюро Отделения общей биологии АН СССР (1963–1980), академиком-секретарем Отделения растениеводства и селекции ВАСХНИЛ (1966–1968), президентом (1969–1975) и вице-президентом

(1975–1980) Международной ассоциации ботанических садов, президентом (1958–1970) и вице-президентом (с 1970) Советско-индийского общества дружбы и культурных связей, членом Советского комитета защиты мира. Кроме того, в течение 30 лет был главным редактором журнала «Бюллетень Главного ботанического сада» (Иванова, Шатко, 1999).

Умер Н.В. Цицин на 82-м году жизни 17 июля 1980 г. Похоронен на Новодевичьем кладбище (Москва). В 1991 г. постановлением Президиума АН СССР имя Н.В. Цицина присвоено Главному ботаническому саду.

Н.В. Цицин – автор и соавтор более 700 научных работ, в том числе 46 книг и брошюр, получил 8 авторских свидетельств. Ему дважды присвоено звание Героя Социалистического Труда (1968, 1978), он лауреат Сталинской премии 2-й степени (1943)⁴⁹ и Ленинской премии (1978), награжден семью орденами Ленина (1935, 1945, 1945, 1953, 1968, 1975, 1978), орденами Октябрьской Революции (1973) и Трудового Красного Знамени (1939), медалями СССР, Золотой медалью имени И.В. Мичурина ВАСХНИЛ (1968), французским орденом «За заслуги в области сельского хозяйства» (1959). Н.В. Цицин – иностранный член 8 зарубежных академий, в том числе Румынской АН и Чехословацкой академии земледелия. Был делегатом XX съезда КПСС, депутатом Верховного Совета СССР 1, 3 и 4-го созывов.

Список литературы / References

- Аврех А.Я. П.А. Столыпин и судьбы реформ в России. М.: Политиздат, 1991
- [Avrekh A.Ya. P.A. Stolypin and the Fate of Reforms in Russia. Moscow: Politizdat Publ., 1991 (in Russian)]
- Альтшулер В.Е. А.П. Шехурдин – преобразователь растений. [Саратов]: ОГИЗ-Сарат. обл. изд-во, 1946
- [Altshuler V.E. A.P. Shekhurdin is a Nature Changer. [Saratov]: OGIZ-Saratov Region Publishing House, 1946 (in Russian)]
- Артемова А.С., Пронина Н.Д. Засухоустойчивость нового сорта яровой пшеницы Ботаническая 2. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1980;118:27-30
- [Artemova A.S., Pronina N.D. Drought resistance of a new cultivar of spring wheat Botanicheskaya 2. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1980;118:27-30 (in Russian)]
- Бахтеев Ф.Х., Даревская Е.М. Ботаническое описание гибрида от скрещивания ячменя с элимусом (*Hordelymus zizini* Bacht. et Dar.). *Ботанический журнал*. 1950;35(2):188-191
- [Bakhteev F.Kh., Darevskaya E.M. Botanical description of a hybrid from crossing barley with elimus (*Hordelymus zizini* Bacht. et Dar.). *Botanicheskii Zhurnal*. 1950;35(2):188-191 (in Russian)]
- Бербанк Л. Избранные сочинения. Под общ. ред. ак. Н.В. Цицина. М.: Иностранная литература, 1955
- [Burbank L. Selected works. N.V. Tsitsin (Ed.). Moscow: Foreign Lit. Publ., 1955 (in Russian)]
- Берг В.Р. О подготовительных работах по организации селекционной станции им. Н.Л. Скалозубова. *Труды Омского отдела МОСКХ*. 1917;1:1-69.
- [Berg V.R. About preparatory work on the organization of the breeding station named after. N.L. Skalozubov. *Trudy Omskogo Otdela MOSKH*. 1917;1:1-69 (in Russian)]
- Берг В.Р. Общий обзор работ и результатов селекции за 1911–1930 гг. Омск, 1931
- [Berg V.R. General Review of Works and Breeding Results for 1911–1930. Omsk, 1931 (in Russian)]

⁴⁹ Значительную по тем временам сумму – 50 тыс. рублей – передал в Фонд обороны. В музее ВДНХ представлена копия телеграммы от Сталина: «Примите мой привет и благодарность Красной Армии, Николай Васильевич, за вашу заботу о Красной Армии» (цит. по: <https://zbulvar.ru/v-muzee-vdnh-otkrylas-ekspozitsiya-pamyati-vyidayushhegosyachyonogo-nikolaya-tsitsina/> (дата обращения 13.08.2023)).

- Будрин П.В. Селекция сельскохозяйственных растений и значение ее в отношении хлебов. Харьков: Изд. Харьковского о-ва с.-х., 1909. (Библиотека Южно-русской с.-х. газеты. № 1)
[Budrin P.V. Breeding of crops and its significance in relation to bread cereals. Kharkov: Kharkov Society of Agricultural Sciences Publ. House, 1909. (Library of the South Russian agricultural newspaper. No. 1) (in Russian)]
- Вакар Б.А. Первый в мире пшенично-пырейный гибрид. *Совхозная газета*. 24 февраля 1934;48(309)
[Vakar B.A. First in the world of wheat-wheatgrass hybrid. *State Farm Newspaper*. 24 Feb. 1934;48(309) (in Russian)]
- Вакар Б.А. Пшенично-пырейные гибриды (Гилогенетическое исследование). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Серия 2*. 1935а;(8):121-161
[Vakar B.A. Wheat-wheatgrass hybrids (Hylogenetic study). *Trudy po Prikladnoi Botanike, Genetike i Seleksii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. Ser. 2*. 1935а;(8):121-161 (in Russian)]
- Вакар Б.А. Цитологическое исследование константных пшенично-ржаных гибридов. *Труды Омского института сельского хозяйства*. 1935б;1(1):59-103
[Vakar B.A. Cytological study of constant wheat-rye hybrids. *Proceedings Omsk Institute of Agriculture*. 1935б;1(1):59-103 (in Russian)]
- Вакар Б.А., Крот Е.Б., Брекина Л.А. Материалы по изучению пшенично-пырейных гибридов. Цитологический сборник. Омск: СибНИИЗХ, 1934
[Vakar B.A., Krot E.B., Brekina L.A. Materials for the Study of Wheat-Couch Grass Hybrids. *Cytological Digest*. Omsk: SibNIIZKh Publ., 1934 (in Russian)]
- Верушкин С.М. Пшенично-пырейные гибриды. М.: Сельхозгиз, 1933.
[Verushkin S.M. Wheat-wheatgrass Hybrids. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1933 (in Russian)]
- Верушкин С.М. Гибридизация *Triticum* с *Agropyrum*. [Саратов]: Саратовский ГИЗ, 1935
[Verushkin S.M. Hybridization of *Triticum* with *Agropyrum*. [Saratov]: Saratov GIZ Publ., 1935 (in Russian)]
- Верушкин С.М. Основные закономерности в отдаленной гибридизации. В: Пособие по селекции. Вып. 1. М.: Сельхозгиз, 1936
[Verushkin S.M. Basic patterns in distant hybridization. In: Breeding guide. Issue 1. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1936 (in Russian)]
- Верушкин С.М. О родственных связях между родами *Triticum* и *Agropyrum*. *Ботанический журнал*. 1936;21(2):176-185
[Veruschkine S.M. About relationship between *Triticum* and *Agropyrum* genera. *Botanicheskii Zhurnal*. 1936;21(2):176-185 (in Russian)]
- Воинов М.С. Академик Т.Д. Лысенко. Памятка читателю. М.: Гос. б-ка им. В.И. Ленина, 1950
[Voinov M.S. Academician T.D. Lysenko. Reminder to the reader. Moscow: Lenin State Library Publ., 1950 (in Russian)]
- Всероссийская сельскохозяйственная и кустарно-промышленная выставка с Иностраным отделом. Материалы и документы. М.: Изд. Главвыставкома, 1922
[All-Russian Agricultural and Handicraft-industrial Exhibition with a Foreign Department. Materials and Documents. Moscow: Glavvystavkom Publ. House, 1922 (in Russian)]
- Всесоюзная сельскохозяйственная выставка: 1939. М.: Сельхозгиз, 1939
[All-Union Agricultural Exhibition: 1939. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1939 (in Russian)]
- Всесоюзная сельскохозяйственная выставка 1954 г. Под ред. ак. Н.В. Цицина. М.: Сельхозгиз, 1955
[All-Union Agricultural Exhibition 1954. Ed. N.V. Tsitsin. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1955 (in Russian)]
- Голиков К.А. Три века истории Ботанического сада Московского университета: времена и грани. М.: Изд-во «Перо», 2023.
[Golikov K.A. Three centuries of the history of the Botanical Garden of Moscow University: Times and Facets. Moscow: Publ. House "Pero", 2023 (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Организатор системы государственного сортоиспытания и выдающийся селекционер (130 лет со дня рождения В.В. Таланова). *Информационный вестник ВОГИС*. 2002;6(20):6-13
[Goncharov N.P. Organizer of State variety test system and well-known plant breeder (130-anniversary of V.V. Talanov). *VOGIS Herald*. 2002;6(20):6-13 (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Первые заведующие Бюро по прикладной ботанике и организаторы Госсортсети. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009
[Goncharov N.P. Heads of Bureau of Applied Botany and Founders of Plant State Tasting System. Novosibirsk: Acad. Publ. House "Geo". (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Заметки к несостоявшемуся юбилею РАСХН (ВАСХНИЛ). *Историко-биологические исследования*. 2015;7(3):58-78
[Goncharov N.P. Notes on the failed anniversary of the Russian Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL). *Istoriko-biologicheskie issledovaniia = Studies in History of Biology*. 2015;7(3):58-78 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Виктор Викторович Таланов. В: Соратники Николая Ивановича Вавилова: исследователи генофонда растений. 2-е изд., знач. перераб. и доп. СПб.: ВИР, 2017:505-511
[Goncharov N.P. Viktor V. Talanov. In: Colleagues of Nikolai I. Vavilov: Researchers of the plant gene pool. 2nd edn. St. Petersburg: VIR Publ., 2017:505-511 (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Роль «отца всех агрономов России» И.А. Стебута в становлении отечественного сельскохозяйственного образования и науки. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;6(3):126-150. DOI 10.18699/Letters2020-6-16
[Goncharov N.P. Contribution of the "father of all Russian agronomists" I.A. Stebut to the development of national agricultural education and science. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(3):126-150. DOI 10.18699/Letters2020-6-16 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Гончаров П.Л. К 125-летию со дня рождения Виктора Евграфовича Писарева. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2007;(11):111-120
[Goncharov N.P., Goncharov P.L. To the 125th anniversary of the birth of Viktor Evgrafovich Pisarev. *Sibirskiy Vestnik Sel'sko-Khozyaistvennoy Nauki*. 2007;(11):111-120 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Савельев Н.И. К 160-летию со дня рождения И.В. Мичурина. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(3):339-358
[Goncharov N.P., Savel'ev N.I. Ivan V. Michurin: On the 160th Anniversary of the Birth of the Russian Burbank. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2016;6(1):105-127. DOI 10.1134/S2079059716010068]
- Горбунов Ю.Н., Швецов А.Н. Николай Васильевич Цицин и охрана растений. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2019;205(2):3-9. DOI 10.25791/BBGRAN.02.2019.727
[Gorbunov Yu.N., Shvetsov A.N. Nikolai V. Tsitsin and plant protection. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 2019;205(2):3-9. DOI 10.25791/BBGRAN.02.2019.727 (in Russian)]
- Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (официальное издание). Т. 1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023
[State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (official publication). Vol. 1. Plant Varieties. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh" Publ., 2023 (in Russian)]
- Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян Э.Р., Зинченко А.С., Зубанова Ю.С., Миков Д.С. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генетическим материалом *Agropyron glaucum*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2015;19(1):83-90. DOI 10.18699/VJ15.010
[Davoyan R.O., Bebyakina I.V., Davoyan E.R., Zinchenco A.N., Zubanova Y.S., Mikov D.S. Introgression of common wheat lines with genetic material of *Agropyron glaucum*. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):83-90. DOI 10.18699/VJ15.010 (in Russian)]
- Державин А.И. К проблеме выведения многолетних сортов пшеницы, ржи, сорго, подсолнечника и других сельскохозяйственных растений. *Социалистическое земледелие* 1931. 30 сент.
[Derzhavin A.I. To the problem of breeding perennial varieties of wheat, rye, sorghum, sunflower and other agricultural plants. *Socialist agriculture*, 1931. Sept. 30 (in Russian)]
- Державин А.И. Многолетние сорта сельскохозяйственных культурных растений. М.: Сельхозгиз, 1937. (Сер. Новое в сельском хозяйстве. Вып. 4)
[Derzhavin A.I. Perennial Varieties of Crops. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1937. (Ser. New in agriculture. Issue 4) (in Russian)]

- Державин А.И. Результаты работ по выведению многолетних сортов пшеницы и ржи. *Известия АН СССР. Серия биологическая*. 1938;(3):663-665
[Derzhavin A.I. The results of work on breeding perennial varieties of wheat and rye. *Izvestiya AN SSSR. Seriya biologicheskaya*. 1938;(3):663-665 in Russian]
- Державин А.И. Краткие итоги работ по гибридизации пшеницы с многолетней рожью и пыреями. *Труды Ставропольского СХИ*. 1960;9:47-53
[Derzhavin A.I. Brief results of work on the hybridization of wheat with perennial rye and wheatgrasses. *Trudy Stavropol'skogo SKHI*. 1960;9:47-53 (in Russian)]
- Долгова С.П., Кахриманова Н.Н., Кузнецова Н.Л., Калмыкова Л.П. Пшенично-пырейные гибриды-источник высокобелковости и хороших хлебопекарных свойств в селекции пшеницы на качество. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2009;21:341-346
[Dolgoval S.P., Kakhriomanova N.N., Kuznetsova N.L., Kalmykova L.P. Wheat-wheatgrass hybrids are a source of high protein content and good baking properties in wheat breeding for grain quality. *Fruit and berry growing in Russia*. 2009;21:341-346 (in Russian)]
- Долинин В. Романтика научного поиска. История Писарева, искателя, а также селекционера и генетика. М.: Советская Россия, 1964
[Dolinin V. Romance of Scientific Search. The Story of Pisarev, the Seeker, as Well as the Breeder and the Geneticist. Moscow: Soviet Russia Publ., 1964 (in Russian)]
- Дорофеев В.Ф., Пономарев В.И. Проблема полегания пшеницы и пути её решения. М.: ВНИИТЭСХ МСХ СССР, 1970.
[Dorofeev V.F., Ponomarev V.I. The Problem of Wheat Lodging and Ways to Solve it. Moscow: VNIITEISKH MA USSR Publ., 1970 (in Russian)]
- Драгунов Н. В Москву на выставку. *Советская Сибирь*. 22 мая 1938;(115):3
[Dragunov N. To Moscow at Exhibition. *Sovietskaya Sibir'*. May 22. 1938;(115):3 (in Russian)]
- Елагин И.Н. Дело всей жизни: к 90-летию со дня рождения академика Николая Васильевича Цицина. *Вестник АН СССР*. 1988;58(12):86-93.
[Elagin I.N. Life's work: to the 90th anniversary of the birth of Academician Nikolai Vasilyevich Tsitsin. *Herald of the Academy of Sciences of the USSR*. 1988;58(12):86-93 (in Russian)]
- Завгородний С.В., Иванова Л.П., Аленичева А.Д., Щуклина О.А., Квитко В.Е., Клименкова И.Н., Соловьев А.А., Упельник В.П. Морфобиологические и хозяйственно ценные особенности образцов из современной коллекции трититригии (*×Triticum cziczinii* Tzvel.) ГБС РАН. *Овощи России*. 2022;(2):10-14. DOI 10.18619/2072-9146-2022-2-10-14
[Zavgorodny S.V., Ivanova L.P., Alenicheva A.D., Shchuklina O.A., Kvitko V.E., Klimenkova I.N., Soloviev A.A., Upelnik V.P. Morphobiological and economically valuable features of samples from the modern collection of trititrigia (*×Triticum cziczinii* Tzvel.) MBG RAS. *Vegetable Crops of Russia*. 2022;(2):10-14. DOI 10.18619/2072-9146-2022-2-10-14 (in Russian)]
- Иванова И.А., Шатко В.Г. «Бюллетеню Главного ботанического сада» – 50 лет. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1999;177:8-11.
[Ivanova I.A., Shatko V.G. "Bulletin of the Main Botanical Garden" is 50 years old. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1999;177:8-11 (in Russian)]
- Ивойлов А.В. Жизненный путь профессора Александра Ивановича Державина (к 115-летию со дня рождения селекционера). *Научная жизнь*. 2017;(10):114-123
[Ivoylov A.V. Life journey of Professor Alexander Ivanovich Derzhavin (to the 115th anniversary of the birth of the breeder). *Nauchnaya Zhizn*. 2017;(10):114-123 (in Russian)]
- Инструкция о способах отбора и подготовки экспонатов хлопчатника на Всесоюзную сельскохозяйственную выставку 1937 г. / Выст. ком. Всесоюз. с.-х. выст. 1937 г. М., 1936
[Instructions on the methods of selection and preparation of cotton exhibits for the All-Union Agricultural Exhibition of 1937 / Exhibition committee of 1937 All-Union Agricultural Exhibition. Moscow, 1936 (in Russian)]
- История государства и права зарубежных стран. М.: Былина, 2002.
[History of State and Law of Foreign Countries. Moscow: Bylina Publ., 2002 (in Russian)]
- Карпеченко Г.Д. Полиплоидные гибриды *Raphanus sativus* L. × *Brassica oleracea* L. (К проблеме экспериментального видообразования). *Труды по прикладной ботанике и селекции*. 1927;17(3):305-410
[Karpechenko G.D. Polyploid hybrids of *Raphanus sativus* L. × *Brassica oleracea* L. (On the problem of experimental species formation). *Trudy po prikladnoi botanike i seleksii = Proceedings on applied botany and breeding*. 1927;17(3):305-410 (in Russian)]
- Келлер В.А. Ботанический сад. *Техника молодежи*. 1940;(8-9):30-34
[Keller V.A. Botanical Garden. *Tekhnika Molodezhi*. 1940;(8-9):30-34 (in Russian)]
- Кельрейтер И.Г. Учение о поле и гибридизации растений. М.; Л.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1940
[Kölreuter I.G. The Doctrine of the Sex and Hybridization of Plants. Moscow; Leningrad: OGIZ-Selkhozgiz Publ., 1940 (in Russian)]
- Коллекция видов пшениц: каталог. Ростов-на-Дону: ООО «АзовПринт», 2021
[Collection of wheat species: catalogue. Rostov-na-Donu: AzovPrint LLC Publ., 2021 (in Russian)]
- Компанеец М. Шехурдин Александр Павлович. В: Компанеец М. Ученые агрономы России: из истории агрономической науки. Кн. 2. М.: Колос, 1976;127-137
[Kompaneets M. Shekhurdin Alexander Pavlovich. In: Kompaneets M. Scientists Agronomists of Russia: from the History of Agronomic Science. Book 2. Moscow: Kolos Publ., 1976:127-137 (in Russian)]
- Комаров В.Л. Советская наука в 1936 году. *Известия ЦИК и ВЦИК*. 1 января 1936;1(5858):6
[Komarov V.L. Soviet science in 1936 year. *News of the Central Executive Committee and the All-Russian Central Executive Committee*. Jan. 1 1936;1(5858):6 (in Russian)]
- Комаров В.Л. Академия наук к XVIII съезду ВКП(б). *Вестник АН СССР*. 1939;(2):28-42
[Komarov V.L. Academy of Sciences for the XVIII Congress of the CPSU(b). *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*. 1939;(2):28-42 (in Russian)]
- Крупеников И.А., Крупеников Л.А. Василий Робертович Вильямс. М.: Молодая гвардия, 1952
[Krupennikov I.A., Krupennikov L.A. Vasily Robertovich Williams. Moscow: Molodaya Gvardia Zgidu, 1952 (in Russian)]
- Крупин П.Ю., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(3):409-425
[Kroupin P.Yu., Divashuk M.G., Karlov G.I. Gene resources of perennial wild cereals involved in breeding to improve wheat crop. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 2019;54(3):409-425 (in Russian)]
- Крупнов В.А. Мейстер Георгий Карлович и селекция растений в современных условиях. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2013;(1-2):7-10
[Krupnov V.A. Meister Georgy Karlovich and plant breeding in the current conditions. *Agronomy vestnik Yugo-Vostoka*. 2013;(1-2):7-10 (in Russian)]
- Крыжановский Ф.Д. Гибрид цифомандры и томата. *Вестник АН СССР*. 1954;24(11):66-69
[Kryzhanovsky F.D. Hybrid of cyphomandra and tomato. *Vestnik AN SSSR*. 1954;24(11):66-69 (in Russian)]
- Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 1. Рожь. Ред. В.Д. Кобылянский. Л.: Агропромиздат, 1989
[Cultural flora of the USSR. V. 2, part 1. Rye. V.D. Kobylyansky (Ed.). Leningrad: Agropromizdat Publ., 1989 (in Russian)]
- Культурные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. 60 лет интродукции. М.: КМК, 2011
[Cultivated Plants of the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences. 60 years of introduction. Moscow: KMK Publ., 2011 (in Russian)]
- Культурные растения: принципы устройства экспозиций. М.: Наука, 1981
[Cultivated Plants: Principles of Exposure Arrangement. Moscow: Nauka Publ., 1981 (in Russian)]
- Ландшафтная архитектура Главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН: история и перспективы. К 70-летию со дня образования. М.: КМК, 2015

- [Landscape Architecture of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of RAS: History and Prospects. To the 70th anniversary of its foundation. Moscow: KMK Publ., 2015 (in Russian)]
- Лапин П.И. Роль совета ботанических садов СССР в развитии исследовании по интродукции растения. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1986;140:10-18
[Lapin P.I. The role of the Council of Botanical Gardens of the USSR in the development of research on plant introduction. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1986;140:10-18 (in Russian)]
- Лапин П.И. Краткий очерк научной, научно-организационной и общественной деятельности. В: Николай Васильевич Цицин (1898-1980). М.: Наука, 1988. (Материалы к биографии ученых СССР. Серия биол. наук. Вып. 12)
[Lapin P.I. Brief essay on scientific, scientific-organizational and social activities. In: Nikolai Vasilievich Tsitsin (1898–1980). Moscow: Nauka Publ., 1988. (Materials for the biography of scientists of the USSR. A series of biol. nauk. Issue 12) (in Russian)]
- Лошакова П.О., Фисенко А.В., Калмыкова Л.П., Кузнецова Н.Л., Упельник В.П. Междоусовые гибриды *×Trititrigia cziczinii × Elymus farctus* и перспективы их использования в селекции. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(9):28-31. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10907
[Loshakova P.O., Fisenko A.V., Kalmykova L.P., Kuznetsova N.L., Upelnik V.P. Intergeneric hybrids *×Trititrigia cziczinii × Elymus farctus* and prospects of their use in breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10907 (in Russian)]
- Лысенко Т.Д. Культура озимых в степи Сибири. М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1945
[Lysenko T.D. Culture of winter crops in the Siberian steppe. Moscow: OGIz-Selkhozgiz Publ., 1945 (in Russian)]
- Любимова В.Ф. Зернофуражные и многолетние пшеницы. В: Симпозиум по отдаленной гибридизации растений (София, 11–12 ноября 1964). София: Изд-во Болг. АН, 1964;23-29
[Lyubimova V.F. Grain fodder and perennial wheats. In: Symposium on distant hybridization of plants (Sofia, Nov. 11–12, 1964). Sofia: Publishing House Bolg. Acad. Sci., 1964;23-29 (in Russian)]
- Любимова В.Ф. Цитогенетические исследования гибридов, полученных от скрещивания *Agropyron glaucum* Roem. et Schult. с *Agropyron elongatum* (Host) P.B. *Генетика*. 1970;6(9):5-15
[Lyubimova V.F. Cytogenetic investigations of hybrids obtained by crossing *Agropyron glaucum* Roem. et Schult. with *Agropyron elongatum* (Host) P.B. *Genetica (Moscow)*. 1970;6(9):1135-1143]
- Любимова В.Ф. Пшенично-пырейно-ржаные гибриды и их цитогенетические исследования. *Генетика*. 1973;9(9):49-51
[Lyubimova V.F. Wheat-quackgrass-rye hybrids: A cytogenetic studies. *Genetica (Moscow)*. 1973;9(9):5-16]
- Любимова В.Ф. Цитогенетические механизмы развития формообразовательного процесса у пшенично-пырейных гибридов в зависимости от геномной структуры пырея, участвовавшего в скрещивании. В: Проблемы отдаленной гибридизации. М.: Наука, 1979;34-65
[Lyubimova V.F. Cytogenetic mechanisms of the development of the shaping process in wheat-couch grass hybrids depending on the genomic structure of the wheat grass that participated in the crossing. In: Problems of distant hybridization. Moscow: Nauka Publ., 1979;34-65 (in Russian)]
- Любимова В.Ф. Механизм включения отдельных геномов пырея в геномный комплекс твердой пшеницы. *Генетика*. 1991;27(6):1020-1033
[Lyubimova V.F. Mechanism of incorporation of separate couch grass genomes into the genome complex of durum wheat. *Genetica (Moscow)*. 1991;27(6):717-728]
- Любимова В.Ф., Белов В.И. Сорты зернофуражной пшеницы. Зернофуражная 169 и Зернофуражная 26. Рекомендации по возделыванию зернофуражной пшеницы. М., 1990
[Lyubimova V.F., Belov V.I. Grain-fodder wheat varieties. Zernokormovaya 169 and Zernokormovaya 26. Recommendations for the cultivation of grain-fodder wheat. Moscow, 1990 (in Russian)]
- Любимова В.Ф., Дорофеева Л.В. Создание нового вида пшеницы *Triticum duromedium* Lub. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1993;168:151-160
[Lyubimova V.F., Dorofeeva L.V. Creation of a new wheat species *Triticum duromedium* Lub. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1993;168:151-160 (in Russian)]
- Любимова В.Ф., Полева Л.В. Новые разновидности *Triticum agropyrotriticum*. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1992;163:69-70
[Lyubimova V.F., Poleva L.V. New varieties of *Triticum agropyrotriticum*. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1992;163:69-70 (in Russian)]
- Любимова В.Ф., Мясникова А.П., Белов В.И. Цитогенетическое исследование форм многолетней пшеницы. В: Генетика и селекция отдаленных гибридов. М.: Наука, 1976;18-32
[Lyubimova V.F., Myasnikova A.P., Belov V.I. Cytogenetic study of forms of perennial wheat. In: Genetics and Breeding of Distant Hybrids. Moscow: Nauka Publ., 1976;18-32 (in Russian)]
- Мейстер Г.К. Лучшие сорта зерновых Саратовский селекционной станции. Отчет о 25-летней работе станции. М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1936. 103 с
[Meister G.K. The best varieties of grain cereal of Saratov breeding station. Report on the 25-year work of the station. Moscow: OGIz-Selkhozgiz Publ., 1936 (in Russian)]
- Методика сортоиспытания полевых культур. М.: Сельхозгиз, 1947
[Technique of variety testing of field crops. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1947 (in Russian)]
- Научно-исследовательские учреждения. Краткий путеводитель. М.: Московский рабочий, 1955
[Research Institutions. Brief Guide. Moscow: Moskovskiy Worker Publ., 1955 (in Russian)]
- Новое в деревне. Всесоюзная сельскохозяйственная выставка 1939 г. М.: Госкиноиздат, 1940
[New in the Village. All-Union Agricultural Exhibition 1939. Moscow: Goskinoizdat Publ., 1940 (in Russian)]
- О работе по пшенично-пырейным гибридам. Постановление Президиума ВАСХНИЛ о дальнейшем развертывании работы Н.В. Цицина. *Бюллетень ВАСХНИЛ*. 1935;(2):26-27
[On the work on wheat-couch grass hybrids. Decree of the Presidium of the All-Russian Academy of Agricultural Sciences on the further development of the work of N.V. Tsitsin. *Bulletin VASKHNIL*. 1935;(2):26-27 (in Russian)]
- Овощи и картофель. М.: Сельхозгиз, 1940
[Vegetables and Potatoes. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1940 (in Russian)]
- Определитель разновидностей мягкой и твердой пшениц. Новосибирск: СО РАН, 2009
[Manual book of common and durum wheat varieties. Novosibirsk: SO RAN Publ., 2009 (in Russian)]
- Орловский Н.В. Страницы истории аграрной науки XX века (воспоминания ученого). 2-е изд. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2012
[Orlovsky N.V. Pages of the history of agricultural science of the twentieth century (memoirs of a scientist). 2nd edn. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian Univ. Publ., 2012 (in Russian)]
- Першина Л.А., Трубачеева Н.В. Межвидовая несовместимость при отдаленной гибридизации растений и возможности ее преодоления. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):416-425. DOI 10.18699/VJ16.082
[Pershina L.A., Trubacheeva N.V. Interspecific incompatibility in wide hybridization of plants and ways to overcome. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):416-425. DOI 10.18699/VJ16.082 (in Russian)]
- Писарев В.Е., Виноградова Н.М. Гибриды пшеницы и элимуса. *Доклады АН СССР*. 1944;45(3):137-140
[Pisarev V.E., Vinogradova N.M. Hybrids of wheat and elimus. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1944;45(3):137-140 (in Russian)]
- Плотникова Л.Я., Сагендыкова А.Т., Кузьмина С.П. Оценка экологической пластичности и устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генами *Agropyron elongatum*. *Аграрная Россия*. 2016;(9):5-13
[Plotnikova L.Ya., Sagendykova A.T., Kuzmina S.P. Estimation of ecological plasticity and resistance to the leaf rust of introgressive lines of common wheat with *Agropyron elongatum* genes. *Agrarnaya Rossiya*. 2016;(9):5-13 (in Russian)]

- Полева Л.В., Любимова В.Ф. Отдаленная гибридизация пшеницы с пыреем удлинённым. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1995;171:48-60
[Poleva L.V., Lyubimova V.F. Remote hybridization of wheat with *Elytrigia elongatum* (Host) Nevski. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1995;171:48-60 (in Russian)]
- Поповский М.А. Белое пятно. М.: Знание, 1960
[Popovsky M.A. White Spot. Moscow: Znmanie Publ., 1960 (in Russian)]
- Поспелов А.П., Комаров Н.М., Соколенко Н.И. Агрэкологическое значение многолетних культур, созданных методом отдаленной гибридизации. В: Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур. 2017;51-53
[Pospelov A.P., Komarov N.M., Sokolenko N.I. Agroecological significance of perennial crops created by the method of distant hybridization. In: Actual and new directions in breeding and seed production of agricultural crops. 2017;51-53 (in Russian)]
- Проблема пшенично-пырейных гибридов. Омск, 1937
[The problem of wheat-couch grass hybrids. Omsk, 1937 (in Russian)]
- Прянишников А.И., Селиванов А.С., Попов В.М., Сайфуллин Р.Г. К биографии Георгия Карловича Мейстера (1873-1938 гг.). *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2013;(1-2):4-7
[Pryanishnikov A.I., Selivanov A.S., Popov V.M., Saifullin R.G. To the biography of Georgy Karlovich Meister (1873-1938). *Agrarian Herald of the South-East*. 2013;(1-2):4-7 (in Russian)]
- Размахнин Е.П. Андрогенез *in vitro* у пырея сизого *Elytrigia intermedia*. Новосибирск, 2017
[Razmakhnin E.P. Androgenesis *in vitro* in *Elytrigia intermedia*. Novosibirsk, 2017 (in Russian)]
- Размахнин Е.П., Размахнина Т.М., Козлов В.Е., Гордеева Е.И., Гончаров Н.П., Голицын Ю.Г., Вепрев С.Г., Чекуров В.М. Получение высокоморозостойких форм пшенично-пырейных гибридов. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):240-249
[Razmakhnin E.P., Razmakhnina T.M., Kozlov V.E., Gordeeva E.I., Goncharov N.P., Galitsyn G.Y., Veprev S.G., Chekurov V.M. Raising highly frost-resistant *Agropyron-Triticum* hybrids. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2012;2(4):344-351. DOI 10.1134/S2079059712040090]
- Рашкован Е.А., Турков В.Д. Каротилическая характеристика отдаленных гибридов злаков и их исходных форм. В: Проблемы отдаленной гибридизации. 1979;103-111
[Rashkovan E.A., Turkov V.D. Karyotypic characteristics of distant hybrids of cereals and their original forms. In: Problems of Distant Hybridization. 1979;103-111 (in Russian)]
- Редколлегия. Николай Васильевич Цицин (к 100-летию со дня рождения). *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1999;177:3-8 [Editorial board. Nikolai Vasilyevich Tsitsin (to 100th birthday). *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1999;177:3-8 (in Russian)]
- Речь Н.В. Цицина на Совещании передовиков урожайности по зерну, трактористов и машинистов молотилок с руководителями партии и правительства. *Правда*. 1 января 1936;1(6607):3
[N.V. Tsitsin speech at the Meeting of grain yield leaders, tractor and threshing machine operators with party and government leaders. *Pravda*. Jan. 1 1936;1(6607):3 (in Russian)]
- РСФСР на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке 1939 года. М.: Госкиноиздат, 1940
[RSFSR at the All-Union Agricultural Exhibition of 1939. M.: Goskinoizdat Publ., 1940 (in Russian)]
- Рудой Д.В., Пахомов В.И., Мальцева Т.А., Ольшевская А.В., Угрекхелидзе Н.Т. Обзор и анализ многолетних зерновых культур. В: Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»). Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2021;48-52
[Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Maltseva T.A., Olshevskaya A.V., Ugrekheldize N.T. Review and analysis of perennial grain crops. In: Innovative technologies in science and education (Conference «ITNO 2021»). Rostov-na-Donu: «DGTU-PRINT» LLC Publ., 2021;48-52 (in Russian)]
- Рутц Р.И. История развития селекционной работы и сорта сельскохозяйственных культур СибНИИСХ. Новосибирск, 2004.
[Rutz R.I. The history of the development of breeding work and varieties of agricultural crops SibNIISKh. Novosibirsk, 2004. (in Russian)]
- Савченко-Бельский А. Смелый экспериментатор. *Огонек*. 1939;(11):10-11
[Savchenko-Belsky A. A bold experimenter. *Ogonek*. 1939;(11):10-11 (in Russian)]
- Сайфуллин Р.Г., Прянишников А.И., Свистунов Ю.С. Мейстер Георгий Карлович (1873–1938). *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(2):368-373
[Saifullin R.G., Pryanishnikov A.I., Svistunov Yu.S. Meister Georgy Karlovich (1873–1938). *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(2):368-373 (in Russian)]
- Сапегин А.А. К цитологии пшенично-пырейных гибридов. *Ботанический журнал*. 1935;20(2):119-125
[Sapegin A.A. On the cytology of wheat-couch grass hybrids. *Botanicheskiy Zhurnal*. 1935;20(2):119-125 (in Russian)]
- Свалефская селекционная станция (Швеция) 1886–1946 гг. Под ред. и с пред. акад. Н.В. Цицина. М. Изд-во иностранной литературы, 1955
[Svalef Breeding Station (Sweden) 1886-1946. Edition and with pre-view of acad. N.V. Tsitsin. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1955 (in Russian)]
- Сидельников С.М. Аграрная реформа Столыпина. М.: Изд-во Московского ун-та, 1973
[Sidelnikov S.M. Stolypin's agrarian reform. Moscow: Publishing House of Moscow Univ., 1973 (in Russian)]
- Спорные вопросы по генетике и селекции (Общий обзор совещания). *Под знаменем марксизма*. 1939;(11):111
[Controversial Issues in Genetics and Breeding (Overview of the meeting). under the banner of Marxism. 1939;(11):111 (in Russian)]
- Степанова Н.Ю. Типовые образцы в коллекции гербария Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. В: Ботанические коллекции – национальное достояние России. Пенза: ПГУ, 2015;133-134
[Stepanova N.Yu. Type specimens in the collection of the herbarium of the Main Botanical Garden of N.V. Tsitsin RAS. In: Botanical collections – the national treasure of Russia. Penza: PSU Publ., 2015;133-134 (in Russian)]
- Ткачева Е.В. «Предыстория истории» Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. В: Наука и техника: Вопросы истории и теории. 2022;80-81
[Tkacheva E.V. "Prehistory of the history" of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences. In: Science and Technology: Questions of History and Theory. 2022;80-81 (in Russian)]
- Упельник В.П., Белов В.И., Иванова Л.П., Долгова С.П., Демидов А.С. Наследие академика Н.В. Цицина – современное состояние и перспективы использования коллекции промежуточных пшенично-пырейных гибридов. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;16(3):667-674
[Upelniek V.P., Belov V.I., Ivanova L.P., Dolgova S.P., Demidov A.S. The legacy of academician N.V. Tsitsin – the current state and prospects for the use of a collection of intermediate wheat-couch grass hybrids. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;16(3):667-674 (in Russian)]
- Упельник В.П., Завгородний С.В., Махнова Е.Н., Сенатор С.А. История происхождения и перспективы распространения зебувидного типа черно-пестрой породы крупного рогатого скота (обзор). *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(12):66-72 DOI 10.24411/0235-2451-2020-11211
[Upelniek V.P., Zavgorodniy S.V., Makhnova E.N., Senator S.A. The history of the origin and prospects for the spread of the zebu-type Black-and-White cattle (review). *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK*. 2020;34(12):66-72. DOI 10.24411/0235-2451-2020-11211 (in Russian)]
- Федоров Ал.А. Хроника. Ботанический институт им. акад. В.Л. Комарова АН СССР и его участие в строительстве Главного ботанического сада АН СССР в Москве. *Советская ботаника*. 1945;13(6):49-50
[Fedorov Al.A. Chronicle. Botanical Institute. acad. V.L. Komarov of the USSR Academy of Sciences and his participation in the construction of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences in Moscow. *Soviet botany*. 1945;13(6):49-50 (in Russian)]
- Филатова Е.В., Сюков В.В., Анисимкина Н.В. Влияние пырейной транслокации Т-5 на фракционный состав белка яровой мягкой пшеницы. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2010;(1):15-17
[Filatova E.V., Syukov V.V., Anisimkina N.V. Influence of couch grass T-5

- translocation on the fractional composition of the protein of spring common wheat. *Agrarian Herald of the South-East*. 2010;(1):15-17 (in Russian)]
- Фокин А.В. Издание «Теоретических основ селекции»: конкуренция между Н.И. Вавиловым и Г.К. Мейстером. В: Региональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень: Мат. Четвертої міжнар. наук.-практ. конф. (28–29 квіт. 2017 р., смт Путила, Чернівецька обл., Україна). Чернівці: Друк Арт, 2017;218-219 [Fokin A.V. Publication of «Theoretical Foundations of Breeding»: competition between N.I. Vavilov and G.K. Meister. In: Regional aspects of floristic and faunal studies: Mat. 4th Intern. sci.-pract. conf. (April 28–29, 2017, Putila, Chernivtsi region, Ukraine). Chernivtsi: Druk Art, 2017:218-219 (in Russian)]
- Хижняк В.А. Пшенично-пырейные амфидиплоиды. *Доклады АН СССР*. 1937;17(9):481-482 [Khizhnyak V.A. Wheat-couch grass amphidiploids. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1937;17(9):481-482 (in Russian)]
- Хижняк В.А. Формообразование у пшенично-пырейных гибридов. *Известия АН СССР*. 1938;3:597-626 [Khizhnyak V.A. Origin of new forms in wheat-couch grass hybrids. *Izvestia Akademii Nauk SSSR*. 1938;3:597-626 (in Russian)]
- Хоциалова Л.И., Волкова О.Д., Ермаков М.А. Экспозиция «История культурных растений России» в лаборатории культурных растений Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН. *Hortus botanicus*. 2020;15:25-38 [Khotsialova L.I., Volkova O.D., Ermakov M.A. Exposition «History of cultivated plants of Russia» in the laboratory of cultivated plants of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of RAS. *Hortus botanicus*. 2020;15:25-38 (in Russian)]
- Цвелев Н.Н. Заметки о злаках флоры СССР. *Новости систематики высших растений*. 1968;5:15-30 [Tsvelev N.N. Notes on cereals of the Flora of the Soviet Union. *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*. 1968;5:15-30 (in Russian)]
- Цвелев Н.Н. Обзор видов трибы Triticeae Dum. семейства злаков (Poaceae) во флоре СССР. *Новости систематики высших растений*. 1973;10:19-60 [Tsvelev N.N. A review of the Tribe Triticeae Dum. from the family Poaceae of the flora of the Soviet Union. *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*. 1973;10:19-60 (in Russian)]
- Цвелев Н.Н., Пробатова Н.С. Злаки России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019 [Tsvelev N.N., Probatova N.S. Grasses of Russia. Moscow: KMK Sci. Press Publ., 2019 (in Russian)]
- Цицин Н.В. О скрещивании пшеницы с пыреем. *Соцземледелие*. 6 мая 1931а [Tsitsin N.V. On crossing wheat with wheatgrass. *Socialist agriculture*. May 6th 1931a (in Russian)]
- Цицин Н.В. О скрещивании пырея с пшеницей. *Социалистическое зерновое хозяйство*. 1931б;(1):34-40 [Tsitsin N.V. About crossing wheatgrass with wheat. *Sotsialisticheskoye zernovoye khozyaystvo*. 1931b;(1):34-40 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Проблемы озимых и многолетних пшениц. Пырейно-пшеничные гибриды. Омск: СибНИИЗХоз, 1933 [Tsitsin N.V. Problems of Winter and Perennial Wheats. Wheat-wheat-grass Hybrids. Omsk: SibNIIZKhoz, 1933 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Проблема озимых и многолетних пшениц. М., 1935. [Tsitsin N.V. The Problem of Winter and Perennial Wheats. Moscow, 1935 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Всесоюзная Сельскохозяйственная Выставка 1940 года. Москва: ОГИЗ Политической литературы, 1940 [Tsitsin N.V. All-Union Agricultural Exhibition of 1940. Moscow: OGIZ Political Literature Publ., 1940 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Пиретрум (ромашка). М.: Сельхозгиз, 1941 [Tsitsin N.V. Piretrum (chamomile). Moscow: Selkhozgiz Publ., 1941 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Исследования в области вегетативно-половой гибридизации травянистых растений с древесными. *Труды Зонального института зернового хозяйства Нечерноземной полосы СССР*. 1946;13:13-31 [Tsitsin N.V. Research in the field of vegetative-sexual hybridization of herbaceous plants with woody ones. *Trudy Zonal'nogo instituta zernovogo khozyaystva Nечерноземnoy polosy SSSR*. 1946;13:13-31 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Пути создания новых культурных растений. (Отдаленная гибридизация). М., 1948 [Tsitsin N.V. Ways to Produce of a New Cultivated Plants. (Distant Hybridization). Moscow, 1948 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Ветвистая озимая рожь. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1951;10:17-23 [Tsitsin N.V. Branchy winter rye. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1951;10:17-23 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Всенародный смотр достижений социалистического сельского хозяйства. Всесоюзная сельскохозяйственная выставка. М.: Знание, 1954 [Tsitsin N.V. National Review of the Achievements of Socialist Agriculture. All-Union Agricultural Exhibition. Moscow: Znanie Publ., 1954 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Новый вид и новые разновидности пшеницы. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1960;38:38-41 [Tsitsin N.V. New species and new varieties of wheat. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 1960;38:38-41 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Новый вид ржи – *Secale ramosum* Cicin. В: Гибриды отдаленных скрещиваний и полиплоиды. М.: Изд-во АН СССР, 1963:192-197 [Tsitsin N.V. New species of winter rye *Secale ramosum* Cicin. In: Gibrity ot dalennykh skreshchivaniy i polyploidy. Moscow: USSR Acad. Sci Publ. House, 1963:192-197 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Гибридизация растений. М.: Знание, 1965 [Tsitsin N.V. Plant hybridization. Moscow: Znanie Publ., 1965 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Как выводится сорт. В: Детская энциклопедия. Т. 6. Сельское хозяйство. М.: Педагогика, 1974;98 [Tsitsin N.V. How variety produced. In: Children's Encyclopedia. Vol. 6. Agriculture. Moscow: Pedagogika Publ., 1974;98. (in Russian)]
- Цицин Н.В. Многолетняя пшеница. М: Наука. 1978 [Tsitsin N.V. Perennial wheat. Moscow: Nauka Publ., 1978 (in Russian)]
- Цицин Н.В. К 125-летию со дня рождения И.В. Мичурина. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1980а;(10):30-33 [Tsitsin N.V. 125 years since I.V. Michurin's birth. *Vestnik Sel'skokhozyaystvennoy Nauki*. 1980a;(10):30-33 (in Russian)]
- Цицин Н.В. Большой колос. М.: Советская Россия, 1980б [Tsitsin N.V. Big Ear. Moscow: Soviet Russia Publ., 1980b (in Russian)]
- Цицин Н.В. Современное состояние и перспективы развития генетики. В: Генетика и благосостояние человечества. М.: Наука, 1981;11-19 [Tsitsin N.V. Current state and prospects for the development of genetics. In: Genetics and the Welfare of Mankind. Moscow: Nauka Publ., 1981;11-19 (in Russian)]
- Цицин Н.В., Петрова К.А. Пшенично-элимусные амфидиплоиды. В: Гибриды отдаленных скрещиваний и полиплоиды. М.: Изд-во АН СССР, 1963;7-103 [Tsitsin N.V., Petrova K.A. Wheat-Elimus Amphidiploids. In: Hybrids of Distant Crosses and Polyploids. Moscow: USSR Acad. Sci Publ. House, 1963;7-103 (in Russian)]
- Цицин Н.В., Петрова К.А. Сорока двух хромосомные неполные пшенично-элимусные амфидиплоиды. *Доклады АН СССР*. 1976;228(5):1215-1218 [Tsitsin N.V., Petrova K.A. Forty-two chromosome incomplete wheat-elimus amphidiploids. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1976;228(5):1215-1218 (in Russian)]
- Цицин Н.В., Любимова В.Ф., Романова З.В. Зернокармальная пшеница как новая кормовая культура. В: Проблемы отдаленной гибридизации. М.: Наука, 1979:21-23 [Tsitsin N.V., Lyubimova V.F., Romanova Z.V. Grain-fodder wheat as a new fodder crop. In: Problems of Distant Hybridization. Moscow: Nauka Publ., 1979;21-23 (in Russian)]
- Червоненко В.Н. Учёные Омского сельскохозяйственного института (1918–1993). Профессора. Доценты – руководители вуза, деканы, заведующие кафедрами. Руководители отделов. Омск: ОмСХИ, 1994 [Chervonenko V.N. Scientists of the Omsk Agricultural Institute (1918–1993). Professors. Associate professors – heads of the institute, deans, heads of chairs. Heads of departments. Omsk: Publ. House of Omsk Agricultural Institute, 1994 (in Russian)]

- Шаманин В.П., Моргунов А.И., Айдаров А.Н., Шепелев С.С., Чурсин А.С., Потоцкая И.В., Хамова О.Ф., Дехан Л.Р. Крупнозерный сорт пырея сизого (*Thinopyrum intermedium*) Сова как альтернатива многолетней пшенице. *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(3):450-464. DOI 10.15389/agrobiology.2021.3.450rus [Shamanin V.P., Morgunov A.I., Aidarov A.N., Shepelev S.S., Chursin A.S., Pototskaya I.V., Khamova O.F., Dehaan L.R. Large-grained wheat-grass variety Sova (*Thinopyrum intermedium*) as an alternative to perennial wheat. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2021;56(3):450-464. DOI 10.15389/agrobiology.2021.3.450rus (in Russian)]
- Щеголов Ю.С. Селекционно-генетический потенциал и его использование в работе по созданию новых для возделывания биоформ озимо-многолетней ржи в условиях Российского Нечерноземья. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2009;21:550-563 [Shcheglov Yu.S. Breeding and genetic potential and its use in the producing of new winter-perennial rye bioforms for cultivation in the conditions of the Russian Non-Chernozem Region. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii*. 2009;21:550-563 (in Russian)]
- Щукина О.А. Оценка коллекции яровых пшенично-пырейных гибридов (ППГ) в условиях Московской области. В: Вавиловские чтения-2021: Сб. статей Межд. научно-практ. конф., посв. 134-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова. Саратов: Амирит, 2022;292-295 [Shchuklina O.A. Evaluation of the collection of spring wheat-couch grass hybrids (PPG) in the conditions of the Moscow region. In: Vavilov readings-2021: Digest of articles Int. scientific and practical. conf., dedicated 134th anniversary of Academician N.I. Vavilov. Saratov: Amirit Publ., 2022;292-295 (in Russian)]
- Яковлев П.Н. Инвентаризация растительного материала И.В. Мичурина (составлено по поручению И.В. Мичурина). В: И.В. Мичурин. Итоги шестидесятилетних работ. 1855-1935. М.; Л.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1949;517-625 [Yakovlev P.N. Inventory of plant material of I.V. Michurin (compiled on behalf of I.V. Michurin). In: I.V. Michurin. The results of sixty years of work. 1855-1935. Moscow; Leningrad: OGIZ-Selkhozgiz Publ., 1949;517-625 (in Russian)]
- Armstrong J.M. Hybridization of *Triticum* and *Agropyron*: I. Crossing results and description of the first generation hybrids. *Can. J. Res.* 1936;4c:190-202. DOI 10.1139/cjr36c-016
- Bleier H. Cenomniatation als neuer praktischer Züchtmethode. *D.L.G. – Nachr. f. Pflanzenzücht.* 1950:5-16
- Chekurov V.M., Kozlov V.E. Winter wheat's main survival mechanisms in Siberia: low metabolic rate and high frost tolerance. In: Increasing wheat production in Central Asia through science and international cooperation. Proc. 1st Central Asian Wheat Conf., Almaty, 2005:118-121
- Ceoloni C., Kuzmanovic L., Forte P., Virili M.E., Bitti A. Wheat-perennial Triticeae introgressions: Major achievements and prospects. In: Alien introgression in wheat: Cytogenetics, molecular biology, and genomics. N.-Y.: Springer, 2015:273-313. DOI 10.1007/978-3-319-23494-6_11
- Cox T.S., Van Tassel D.L., Cox C.M., DeHaan L.R. Progress in breeding perennial grains. *Crop Pasture Sci.* 2010;61(7):513-521. DOI 10.1071/CP09201.
- Cui L., Ren Y., Murray T.D., Yan W., Guo Q., Niu Y., Sun Y., Li H. Development of perennial wheat through hybridization between wheat and wheatgrasses: a review. *Engineering*. 2018;4(4):507-513. DOI 10.1016/j.eng.2018.07.003
- Curwen-McAdams C., Jones S.S. Breeding perennial grain crops based on wheat. *Crop Sci.* 2017;57(3):1172-1188. DOI 10.2135/cropsci2016.10.0869
- Curwen-McAdams C., Arterburn M., Murphy K., Cai X., Jones S.S. Toward a taxonomic definition of perennial wheat: A new species *Tritipyrum aeseae* described. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2017; 64:1651-1659. DOI 10.1007/s10722-016-0463-3
- Degnan J.H., Rosenberg N.A. Gene tree discordance, phylogenetic inference and the multispecies coalescent. *Trends Ecol. Evol.* 2009;24(6):332-340. DOI 10.1016/j.tree.2009.01.009
- Dewey D.R. The genomic system of classification as a guide to intergeneric hybridization with the perennial Triticeae. In: Gene manipulation in plant improvement: 16th Stadler genetics symposium. Boston, MA: Springer US, 1984;209-279. DOI 10.1007/978-1-4613-2429-4_9
- Dobrovolskaya O., Martinek P., Voylovkov A.V., Korzun V., Röder M.S., Börner A. Microsatellite mapping of genes that determine supernumerary spikelets in wheat (*T. aestivum*) and rye (*S. cereale*). *Theor. Appl. Genet.* 2009;119(5):867-874. DOI 10.1007/s00122-009-1095-1
- Dobrovolskaya O., Pont C., Sibout R., Martinek P., Badaeva E., Murat F., Chosson A., Watanabe N., Prat E., Gautier N., Gautier V., Poncet C., Orlov Y., Krasnikov A., Bergès H., Salina E., Laikova E., Salse J. FRIZZLY PANICLE drives supernumerary spikelets in bread wheat. *Plant Physiol.* 2015;167(1):189-199. DOI 10.1104/pp.114.250043
- Dorsey E. Induced polyploidy in wheat and rye. *J. Hered.* 1936;27(4):155-160. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a104195
- Jackson W. New Roots for Agriculture. Univ. of Nebraska Press, 1980
- Johnson L.P.V. Hybridization of *Triticum* and *Agropyron*. 4. Further crossing results and studies of F₁ hybrids. *Can. J. Res.* 1938;16(10):417-444. DOI 10.1139/cjr38c-040
- Kruse A. *Hordeum* × *Triticum* hybrids. *Hereditas*. 1973;73(1):157-161. DOI 10.1111/j.1601-5223.1973.tb01078.x
- Lachuga Y., Meskhi B., Pakhomov V., Semenikhina Y., Kambulov S., Rudoy D., Maltseva T. Experience in the cultivation of a new perennial cereal crop – *Trititrigia* in the conditions of south of the Rostov region. *Agriculture*. 2023;13(3):605. DOI 10.3390/agriculture13030605
- Lammer D., Cai X., Arterburn M., Chatelain J., Murray D.T., Jones S.S. A single chromosome addition from *Thinopyrum elongatum* confers a polycarpic, perennial habit to annual wheat. *J. Exp. Bot.* 2004;55(403):1715-1720. DOI 10.1093/JXB/ERH209
- Lapochkina I.F., Gainullin N.R., Baranova O.A., Kovalenko N.M., Marchenkova L.A., Pavlova O.V., Mitroshina O.V. Complex resistance of spring and winter bread wheat lines to biotic and abiotic stresses. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(7):723-731. DOI 10.18699/VJ21.082
- Laube W. Tetraploider Roggen. *Deutsche Landw. Presse*. 1950; 73 h. 7.82
- Linnaeus C. Species plantarum, exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas. Vol. 1. Holmiae: Impensis Laurentii Salvii, 1753
- McFadden E.S., Sears E.R. The Artificial Synthesis of *Triticum spelta*. *Rec. Genet. Soc. Am.* 1944;13:26-27
- Morrison J.W. Chromosome behavior and fertility of Tetra Petkus rye. *Can. J. Agric. Sci.* 1956;36(3):157-165. DOI 10.4141/agsci-1956-0020.
- Murashige T. Plant propagation through tissue cultures. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 1974;25:135-166. DOI 10.1146/annurev.pp.25.060174.001031
- Müntzing A. Cytogenetic properties and practical value of tetraploid rye. *Hereditas*. 1951;37(1-2):17-84. DOI 10.1111/j.1601-5223.1951.tb02890.x
- Peto F.H. 2. Hybridization of *Triticum* and *Agropyron*: II. Cytology of male parents and F₁ hybridization of *Triticum* and *Agropyron* generation. *Can. J. Res.* 1936;14(5):203-214. DOI 10.1139/cjr36c-017
- Riley R. Cytogenetics of chromosome pairing in wheat. *Genetics*. 1974;78(1):193-203. DOI 10.1093/genetics/78.1.193
- Riley R., Unrau J., Chapman V. Evidence on the origin of the B genome of wheat. *J. Hered.* 1958;49(3):91-98. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a106784
- Sears E.R. Identification of the wheat chromosome carrying leaf rust resistance from *Aegilops umbellulata*. *Wheat Inf. Serv.* 1961;12:12-13
- Sears E.R. *Agropyron*-wheat transfers induced by homoeologous pairing. In: Sears E.R., Sears L.M.S. (Eds). Proceed. 4th Intern. Wheat Genet. Symp., University of Missouri, Columbia, MO, USA, August 6-11. Columbia: University of Missouri, 1973;191-199
- Sengbusch R. von. Polyplöider Roggen. *Züchter*. 1940;12:185-189
- Sepsi A.I. Molecular cytogenetic characterisation of a leaf-rust resistant wheat-*Thinopyrum ponticum* partial amphiploid. Doct. Dissert. Eotvos Lorand Univ. Sci. Budapest, 2010
- Sharma H.C. How wide can a wide cross be? *Euphytica*. 1995;82(1):43-64. DOI 10.1007/BF00028709
- Sharma H.C., Baenziger P.S. Production, morphology, and cytogenetic analysis of *Elymus caninus* (*Agropyron caninum*) × *Triticum aestivum* F₁ hybrids and backcross-1 derivatives. *Theor. Appl. Genet.* 1986;71(5):750-756. DOI 10.1007/BF00263274
- Sharma H.C., Gill B.S. New hybrids between *Agropyron* and wheat: 2. Production, morphology and cytogenetic analysis of F₁ hybrids

- and backcross derivatives. *Theor. Appl. Genet.* 1983;66(2):111-121. DOI 10.1007/BF00265184
- Sokolov V.A., Savel'ev N.I., Goncharov N.P. I.V. Michurin's work on expansion of the plant horticulture assortment and improvement of food quality. *Proc. Latvian Acad. Sci. Section B.* 2015;69(4):190-197. DOI 10.1515/prolas-2015-0028
- Suneson C.A., El Sharkawy A., Hall W.E. Progress in 25 years of perennial wheat development. *Crop Sci.* 1963;3:437-439. DOI 10.2135/cropsci1963.0011183X000300050021x
- Tsitsin N.V. Remote hybridisation as a method of creating new species and varieties of plants. *Euphytica.* 1965;14(3):326-330. DOI 10.1007/BF00149519
- Tsitsin N.V. Origin of new species and forms of plants. In: *Proceed. 12th Int. Bot. Congr. Leningrad, 1975*;3-10
- Tsitsin N.V., Lubimova V.F. New species and forms of cereals derived from hybridization between wheat and couch grass. *Am. Nat.* 1959;93(870):181-191. DOI 10.1086/282073
- Tzitzin N.V. Wheat and couch grass hybrids. *Sci. Cult. (Calcutta).* 1940;6(1):18-20
- Tsunewaki K., Ogihara Y. The molecular basis of genetic diversity among cytoplasm of *Triticum* and *Aegilops* species. II. On the origin of polyploid wheat cytoplasm as suggested by chloroplast DNA restriction fragment patterns. *Genetics.* 1983;104(1):155-171. DOI 10.1093/genetics/104.1.155
- Verushkine S., Shechurdine A. Hybrids between wheat and couch grass: Fertile *Triticum-Agropyrum* hybrids of great scientific and practical interest. *J. Hered.* 1933;24(9):329-335. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a103819
- Wagoner P., Schaeffer J.R. Perennial grain development: past efforts and potential for the future. *Crit. Rev. Plant Sci.* 1990;9(5):381-408. DOI 10.1080/07352689009382298
- Wakar B.A. Cytologische Untersuchung der selbstfertilen ersten Generation der Weizen-Queckengras Bastarde. *Cytologia.* 1937;8(1):67-90. DOI 10.1508/cytologia.8.67

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.07.2023. После доработки 27.07.2023. Принята к публикации 14.08.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-18

Обзор

Систематика рода *Triticum* L.: история изучения и вектор развития

Ю.В. Кручинина ✉

Аннотация: В обзоре приведена история создания современной систематики рода *Triticum* L., благодаря которой стало возможным исследовать многообразие видов пшениц. Использование молекулярно-биологических, генетических и цитогенетических методов незначительно приблизило тритикологов к созданию естественной классификации рода и оказалось не такой простой задачей, поскольку ученые до сих пор не могут прийти к единому мнению относительно ее объема. К настоящему времени значимым для изучения биоразнообразия и таксономии пшеницы становится метод компьютерного фенотипирования, позволяющий автоматизировать процесс определения видовой принадлежности исследуемых образцов. В статье рассмотрена ретроспектива изучения систематики рода *Triticum* и обсуждена филогения ее видов, выполнено сравнение полной (отечественной) и редуцированной (западной) систем рода.

Ключевые слова: *Triticum* L.; систематика; таксономия; классификация; филогения; компьютерное фенотипирование.

Для цитирования: Кручинина Ю.В. Систематика рода *Triticum* L.: история изучения и вектор развития. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):162-171. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-18

Благодарности: Автор выражает благодарность академику РАН Н.П. Гончарову за содействие в написании статьи.

Исследования по систематике, таксономии и молекулярным методам выполнены при поддержке бюджетного проекта РНФ 22-16-20026 и Администрации Новосибирской области. Исследования по фенотипированию проведены при поддержке бюджетного проекта FWNР 2022-0007.

Review

Systematics of the genus *Triticum* L.: history of study and vector of development

Y.V. Kruchinina ✉

Abstract: The history of modern systematics of the genus *Triticum* L. is given. It became possible to study the diversity of wheat species. The use of molecular-biological, genetic and cytogenetic methods has brought triticultivists insignificantly closer to the producing of a natural classification of the genus and turned out to be not such a simple task, since scientists still cannot agree on its scope. By the present time, the method of computer phenotyping becomes an important method for studying biodiversity and taxonomy of wheat, which allows to automate the process of determining the species affiliation of the studied specimens. The retrospective study of the systematics of the genus *Triticum* is reviewed and the phylogeny of its species is discussed; the complete (Russian) and reduced (Western) systems of the genus are compared.

Key words: *Triticum* L.; systematics; taxonomy; classification; phylogeny; computer phenotyping.

For citation: Kruchinina Y.V. Systematics of the genus *Triticum* L.: history of study and vector of development. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):162-171. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-18 (in Russian)

Acknowledgments: The author is grateful to Full Member of the Russian Academy of Sciences N.P. Goncharov for writing the article. Studies on systematics, taxonomy and molecular methods were supported by the budget project RNF 22-16-20026 and Government of the Novosibirsk region. Studies on phenotyping were supported by the budget project FWNР 2022-0007.

Введение

Создание единой системы видения органического мира с учетом происхождения и развития живых организмов, связью между ними – главная задача современной систематики

растений. В настоящее время таксономия многих сельскохозяйственно важных культур призвана отвечать ключевым запросам растениеводческой практики (Дорофеев,

Филатенко, 1983). Кроме того, детально разработанные классификации возделываемых растений важны для прогноза успешности/неуспешности интрогрессии признаков, полезных для человека, из видов-сородичей в культивируемые виды. Значимым аспектом является возможность использования таксономии для апробации (сертификации) сортов (Фляксбергер, 1935) и при коллекционировании, сохранении и оценки биоразнообразия растений (Waines, Barnhart, 1990). Следует иметь в виду и вероятность использования таксономии для оценки безопасности получения трансгенных растений, поскольку известно, что от них возможен горизонтальный перенос генов в дикие виды-сородичи (Кулаева и др., 2006).

Целый ряд важных вопросов, включая аспекты эффективного сохранения биологического разнообразия видов возделываемых растений (Trifonova et al., 2021), их происхождения (Levy, Feldman, 2022), а также исследование их филогении, предполагает детальную разработку внутривидовых классификаций (Определитель..., 2009). Создание классификации, отражающей филогенез и генетическую структуру видов, следует считать основной целью современной таксономии. При их разработке предполагается максимально полное описание всех существующих крупных и мелких форм (таксонов) (Синская, 1969). Это определяется, с одной стороны, удобством применения такого деления в экспериментальной работе, с другой – при селекции и апробации культур сельскохозяйственных растений. Успех и эффективность исследовательской работы зачастую связаны с детальностью и полнотой экспериментальной проработки, которая зависит от того, каков материал и насколько подробно его следует изучать. В связи с этим исключительно важно, чтобы естественная дифференциация рода, связи между видами с высокой точностью были отражены внутривидовой таксономией (Дорофеев, 1984). Следует заметить, что у значительной части культур растений, важных для сельского хозяйства, до настоящего времени однозначно не определены объемы рода и вида (Buerkert et al., 2006; Goncharov, 2011; Hammer et al., 2011).

Таксономия растений должна отвечать возможностям применения современного способа обработки информации, среди которых все большую популярность приобретает технология сверточных нейронных сетей (Пронозин и др., 2021). Автоматизированный анализ изображений с помощью нейронных сетей может быть успешно использован для классификации растений по видам, их физиологическому состоянию, наличию симптомов болезней или изменению морфологических параметров при воздействии внешних и внутренних факторов (Gu et al., 2018).

Систематика рода *Triticum* L.

История систематики пшениц уходит корнями в античное прошлое, в котором предприняты первые попытки классифицировать разнообразие растений (Шипунов, 1999). Они были разделены на травы и деревья.

Первая система рода пшеницы *Triticum* дана К. Линнеем (1753). В основу классификации он положил хорошо различимые признаки – яровость/озимность, спельтоидность/норма и ряд других, разделив род на семь видов: *Triticum aestivum* L. –

яровая (обыкновенная), *T. hybernum* L. – озимая (обыкновенная), *T. turgidum* L. – тучная (английская), *T. spelta* L. – спельта (настоящая полба), *T. monococcum* L. – однозерная, *T. polonicum* L. – польская и *T. compositum* L. – сборная. Ученый разделил обыкновенную (мягкую) пшеницу на два вида: *T. aestivum* и *T. hybernum*, причем первая характеризовалась остистостью и яровым типом развития, а вторая – безостостью и озимым типом (Linnaeus, 1753). В 1786 г. Ж.-Б. Ламарк объединил эти два вида в один – *T. sativum* Lam. (Lamarck, 1795). В 1787 г. Д. Вилларс опять разделяет вид на два – *T. vulgare* Vill. и *T. touzelle* Vill. (Villars, 1787). При этом последний вид представлял собой безостую пшеницу с белым зерном.

В 1805 г. Н. Хост описал еще один гексаплоидный вид – *T. compactum* Host (Host, 1801). В 1866 г. Ф. Алефельд разделил пшеницы на два рода: *T. vulgare* и *Deina polonica* Alef. (Alefeld, 1866). Последний включал четыре разновидности польской пшеницы, а первый – множество подвидов и сортовых групп, значительная часть которых сохранилась в классификаторах до сих пор (Культурная флора..., 1979; Зуев и др., 2019).

К. Гарц в 1885 г. предложил объединить обыкновенную и карликовую пшеницы в один вид (Harz, 1885). В этом же году Ф. Кёрнике подготовил наиболее полную для своего времени классификацию пшеницы (Körnike, 1885). Он следовал системе Ф. Алефельда, используя данные им ранее названия для ботанических групп. Ученый выделил 22 разновидности *T. vulgare*, 21 – *T. compactum*, 26 – *T. turgidum*, 24 – *T. durum* Desf., 12 – *T. spelta*, 20 – *T. dicoccum* Schrank ex Schubler, 21 – *T. polonicum* и 4 – *T. monococcum*. Им подробно изложены сорта, входящие в каждую ботаническую группу, а также представлена история их описания, синонимы и источники литературы.

М. де Вильморен в 1899 г. сгруппировал пшеницы в соответствии с их главными характеристиками в 50 секций. Обыкновенная и карликовая пшеницы при этом были рассмотрены как один вид (Vilmorin, 1899, цит по Шлиппе, 1929–30). Н. Кобб в 1903 г. определил 54 сорта пшеницы, которые он выращивал в Новом Южном Уэльсе (Австралия), опираясь на характеристики колоса и зерна (Cobb, 1903). В 1905 г. он предложил классифицировать разновидности пшеницы с помощью микроскопического исследования алейронового слоя зерновок.

В России А.Ф. Баталин (1885) первым описал внутривидовое разнообразие вида пшениц *T. dicoccum*. Он же организовал первое в мире специализированное учреждение для систематического изучения возделываемых растений – Бюро по прикладной ботанике (ныне ВИР) (Манойленко (Рязанская), 1962; Гончаров, 2020).

В 1908 г. К.А. Фляксбергер выпустил авторизованный перевод «Определителя разновидностей настоящих хлебов по Кёрнике» (Фляксбергер, 1908). Через 30 лет систематического изучения он представил результаты исследований по происхождению и классификации видов и сортов пшениц мира в виде монографии, опубликовав в 1939 г. свою оригинальную ревизию системы рода *Triticum* (Фляксбергер, 1935, 1939).

Альберт и Габриель Говарды в 1909 г. классифицировали пшеницы Индии (Howard A., Howard G., 1907; Howard, 1910).

До них такие работы не проводились в региональных флорах. Дж. Персиваль в 1921 г. описал и классифицировал все известные в мире на тот момент времени сорта пшеницы (Percival, 1921). Это была первая монографическая обработка разнообразия пшениц мира.

П.М. Жуковский (1928) описал эндемичный для Грузии тетраплоидный вид *T. timopheevii* (Zhuk.) Zhuk. Позже он опубликует ботаническую классификацию пшениц Анатолии (Турция) (Жуковский, 1933), в дальнейшем подробно изученных М. Гёкколем (Gökgöl, 1941, 1955, 1961). Фосс в 1933 г. описал и сгруппировал сорта пшеницы в Германии¹.

Х. Кихара начал систематически изучать мейотическое поведение хромосом межвидовых гибридов пшениц (Kihara, 1924). После того как он установил аллоплоидную природу тетра- и гексаплоидных видов рода *Triticum* (Kihara, 1951) и показал, что геномы В и D произошли от рода *Aegilops*² L., ряд ботаников, в частности Р. Мансфельд (Mansfeld, 1951) и Ф. Боуден (Bowden, 1959), предприняли попытку включить род *Aegilops* L. в объем рода *Triticum*.

Практически сразу предложено внести поправки в классификации, исходя из которых *Triticum* и *Aegilops* были разделены на два рода (Jakubziner, 1959; Якубцинер, 1959). Дж. Маккей предложил упрощенную классификацию рода *Triticum*, подразделив его на пять групп: одну диплоидную и по две – тетра- и гексаплоидные. Диплоидная группа делилась на два подвида, тетраплоидные группы подразделялись на семь подвидов и четыре разновидности, гексаплоидные – на шесть подвидов (MacKey, 2005).

Следует отметить, что уже в 1950-е гг. ни одна из предложенных систем рода *Triticum* не отражала филогенетических взаимоотношений видов и родов. Возникла необходимость в объяснении причин появления новых видов, подобных *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. (Зуев, 1992), *T. militinae* Zhuk. et Migusch. и др. (Камасин, Тарануха, 2018). В.Ф. Дорофеевым с коллегами предложена новая система рода *Triticum* (Культурная..., 1979). Они разделили род на два подрода: *Triticum* L. и *Boeoticum* Migusch. et Dorof. Подроды сгруппировали в шесть секций: *Urartu*, *Monococcum*, *Dicoccooides*, *Timopheevii*, *Triticum* и *Kiharae* (Культурная флора..., 1979). В 1994 г. М.В. ван Слагерен (1994) опубликовал монографическую обработку родов *Triticum* и *Aegilops* в традициях, заложенных J. MacKey (1954). Последними по времени были ревизии N.P. Goncharov (2011) и К. Hammer и коллег (2011) (см. ниже).

При рассмотрении этапов систематики пшеницы рода *Triticum* можно отметить эволюцию взглядов на основные принципы классификации данной культуры – от описания морфологических характеристик до исследования генетических особенностей, молекулярно-биологических и цитологических параметров. Примечательно, что, изучая сохранившиеся до сегодняшнего дня заметки таксономистов прошлого, можно проследить последовательность их действий, понять, каким образом строилась классификация

растительного мира, а также актуализировать наши знания по растения в целом и пшеницу в частности.

Современные методы в систематике и таксономии пшениц

В последние десятилетия систематика злаков активно пересматривается (Цвелев, Пробатова, 2019). Во многом это связано с появлением современных методов исследований, позволивших значительно расширить объем информации о генетике видов. В настоящее время культивируемые пшеницы представлены ди- ($2n = 2x = 14$, геном A^bA^b/A^cA^c), тетра- ($2n = 4x = 28$, геном BBA^cA^c / GGA^cA^c) и гексаплоидными ($2n = 6x = 42$, геном BBA^cA^cDD) видами (Гончаров, Кондратенко, 2008). Основной возделываемый в роде вид – мягкая пшеница (*T. aestivum* L.) – гексаплоид (геномная формула BBA^cA^cDD). Уровень пloidности служит одним из основных таксономических признаков у пшениц (Дорофеев, 1984; van Slageren, Payne, 2013). Его можно устанавливать цитогенетическими (Gordeeva et al., 2019; Родионов и др., 2020) и молекулярными (Golovnina et al., 2007) методами, а также на основе сравнения морфологических характеристик.

Стоит отметить, что современные методы систематики и таксономии базируются на данных, полученных в проведенных ранее исследованиях. Так, в работе Н.В. Lack и М. van Slageren (2020) на основании сохранившегося гербарного материала проведен анализ описания и «переоткрытия» дикого эммера *T. dicoccooides* (Korn. ex Aschers. et Graebn.) Schweinf. Немаловажен в изучении современной систематики и таксономии пшениц аспект их доместики (Митрофанова, 2007; Гончаров, Кондратенко, 2008; Lev-Mirom, Distelfeld, 2023), начавшейся примерно 9000–10000 лет до н. э. и приведшей к тому биоразнообразию, которое имеется сейчас.

Современная систематика основана на использовании сравнительно-генетических и молекулярно-биологических методов. Система рода *Triticum*, предложенная Н.П. Гончаровым (Гончаров, 2002, 2009; Goncharov, 2011), следует традиции Кёрнике – Фляксбергера – Дорофеева и включает 29 видов, разделенных на пять секций. При этом род не делится, как у В.Ф. Дорофеева и др. (Культурная флора..., 1979), на подроды – вместо этого выделены секции, основанные на уровнях пloidности, типах цитоплазмы и составе геномов. Данный подход включает сравнительно-генетический (Goncharov, 2005a, b; и др.) и молекулярно-генетический (Golovnina et al., 2007; Goncharov et al., 2007, 2008, 2009; Головина и др., 2009; Kononov et al., 2010; и др.) анализы. Признаки оценены с точки зрения их варибельности и генетического контроля на трех различных уровнях пloidности (Гончаров, 2002, 2012).

В 2002 г. Н.П. Гончаров (2002) обобщил имеющиеся данные по пшеницам, проведя ревизию системы рода *Triticum*, в которую вошло пять секций (*Monococcon* Dum., *Dicoccooides* Flaksb., *Triticum*, *Timopheevii* A. Filat. et Dorof., *Compositum* N.P. Gontsch.). Суммарное число видов – 29. Секция *Monococcon* состоит из четырех видов, три из которых имеют геном A^b (*T. boeoticum* Boiss., *T. monococcon*, *T. sinskajae* A. Filat. et Kurk.) и один – геном A^c (*T. urartu* Thum. ex Gandil.). Секция *Dicoccooides* насчитывает 10 видов с геномом BA^c

¹ URL: <http://makrab.news/selekcija-pshenicy-v-raznyh-stranah.htm> (дата обращения: 13.08.2023)

² Классификация рода неоднозначна. Монография А. Eig (1929) была потеряна в ВИР. Пока он переводил ее остатки на немецкий язык, П.М. Жуковский опубликовал свою ревизию рода (Жуковский, 1928). Ревизия J. Percival вообще оказалась неопубликованной (Caligari, 2001).

(*T. dicoccoides*, *T. dicoccum*, *T. karamyshevii* Nevski, *T. ispahanicum* Heslot, *T. turgidum*, *T. durum*, *T. turanicum* Jakubz., *T. polonicum*, *T. aethiopicum* Jakubz. и *T. carthlicum* Nevski). Секция *Triticum* содержит шесть видов с геномами BA^uD, а именно *T. macha* Dekarp. et Menabde, *T. spelta*, *T. vavilovii* (Thum.) Jakubz., *T. compactum*, *T. aestivum* и *T. sphaerococcum* Perciv. Секция *Timopheevii* включает три вида, два из которых являются тетраплоидами и несут геном GA^u (*T. araraticum* Jakubz., *T. timopheevii*), а один – гексаплоид с геномом GA^uA^b (*T. zhukovskii* Menabde et Erizjan). Секция *Compositum* состоит из шести видов гибридного происхождения: одного тетраплоида с геномом DA^b (*T. palmovae* G. Ivanov), двух гексаплоидов с геномами BA^uA^b (*T. dimococcum* Scheiman et Staudt) и GA^uD (*T. kiharae* Dorof. et Migusch.), двух октаплоидов с геномом BA^uGA^u (*T. soveticum* Zhebrak, *T. flaksbergeri* Navr.), а также декаплоидного вида *T. borisovii* Zhebrak с геномом BA^uDGA^u (Goncharov, 2011). При написании геномов полиплоидных видов пшениц Н.П. Гончаров изменил порядок таким образом, чтобы первым был геном материнской формы. Формулы как для естественных, так и для искусственных амфиплоидов должен однозначно указывать донор цитоплазмы. Следует отметить, что традиционная система формул генома пшениц также неудобна для естественных видов, особенно при рассмотрении их филогении. Мнение Н.П. Гончарова согласуется с позицией J.G. Waines и D. Barnhart (1990) и M. Feldman (2001), которые также предлагали изменить формулу регистрации генома пшеницы.

Одна из пяти секций – *Compositum* – включает большинство синтезированных (рукотворных) видов. Нет объективных причин для признания только одного синтетического вида пшеницы, *T. kiharae*, как это сделали В.Ф. Дорофеев и др. (Культурная флора..., 1979). Н.Н. Цвелев (1976) включил уже четыре искусственных амфиплоида в систему рода *Triticum*: *T. fungicidum* Zhuk., *T. edwardii* Zhebrak, *T. soveticum* и *T. borisovii*. Молекулярно-генетический анализ подтвердил секционное разделение (Golovnina et al., 2007; Vavilova et al., 2020) и позволил приблизиться к созданию естественной классификации рода.

Результаты Н.П. Гончарова и коллег позволяют предположить, что искусственные амфиплоиды могут играть важную роль в генетических и филогенетических исследованиях (Гончаров и др., 2002; 2020; Goncharov et al., 2007; Vavilova et al., 2020). Преимущества системы рода Н.П. Гончарова для идентификации и сбора образцов пшеницы, а также для молекулярно-генетических и филогенетических исследований обсуждались ранее (Golovnina et al., 2007; Goncharov et al., 2009).

Отметим, что на Западе были предприняты попытки составления «кратких» таксономий, редуцирующих число видов в родах (van Slageren, 1994; MacKey, 2005; Hammer et al., 2011). Это соответствовало эре компьютеризации систем растительного мира. Дж. Маккей считал, что недостатком всех предложенных до него систем рода *Triticum* следует считать отсутствие информации о характере генетического контроля идентичных по своему фенотипическому проявлению морфологических признаков, служащих для определения меж- и внутривидовых родственных связей (MacKey, 1954, 2005). Основное преимущество его системы – попытка создать генетическую систему рода.

Основные, очевидные в настоящее время недостатки системы рода *Triticum* Дж. Маккея (MacKey, 2005): 1) неудобство ее использования в генбанках, имеющих обширные образцы коллекции видов; 2) эволюционно более молодые виды «поглощают» более старые, что затрудняет проведение полномасштабных филогенетических исследований в роде; 3) система построена без определения меж- и внутривидовых филогенетических связей, поэтому при ее использовании не удастся создать адекватную систему рода и проследить филогению ее видов. К преимуществам классификации можно отнести наглядность и простоту, так как она включает только десять видов (MacKey, 2005).

Выполненная М.В. ван Шлагереном редакция системы Дж. Маккея состоит в следующем. Во-первых, он заменил *T. monococcum* subsp. *boeoticum* на *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* (Link) Thell. Во-вторых, перевел ряд видов в подвиды: *T. turgidum* subsp. *turgidum*: convar. *durum* в *T. turgidum* subsp. *durum*, convar. *turanicum* в *T. turgidum* subsp. *turanicum*, convar. *polonicum* в *T. turgidum* subsp. *polonicum* (van Slageren, 1994).

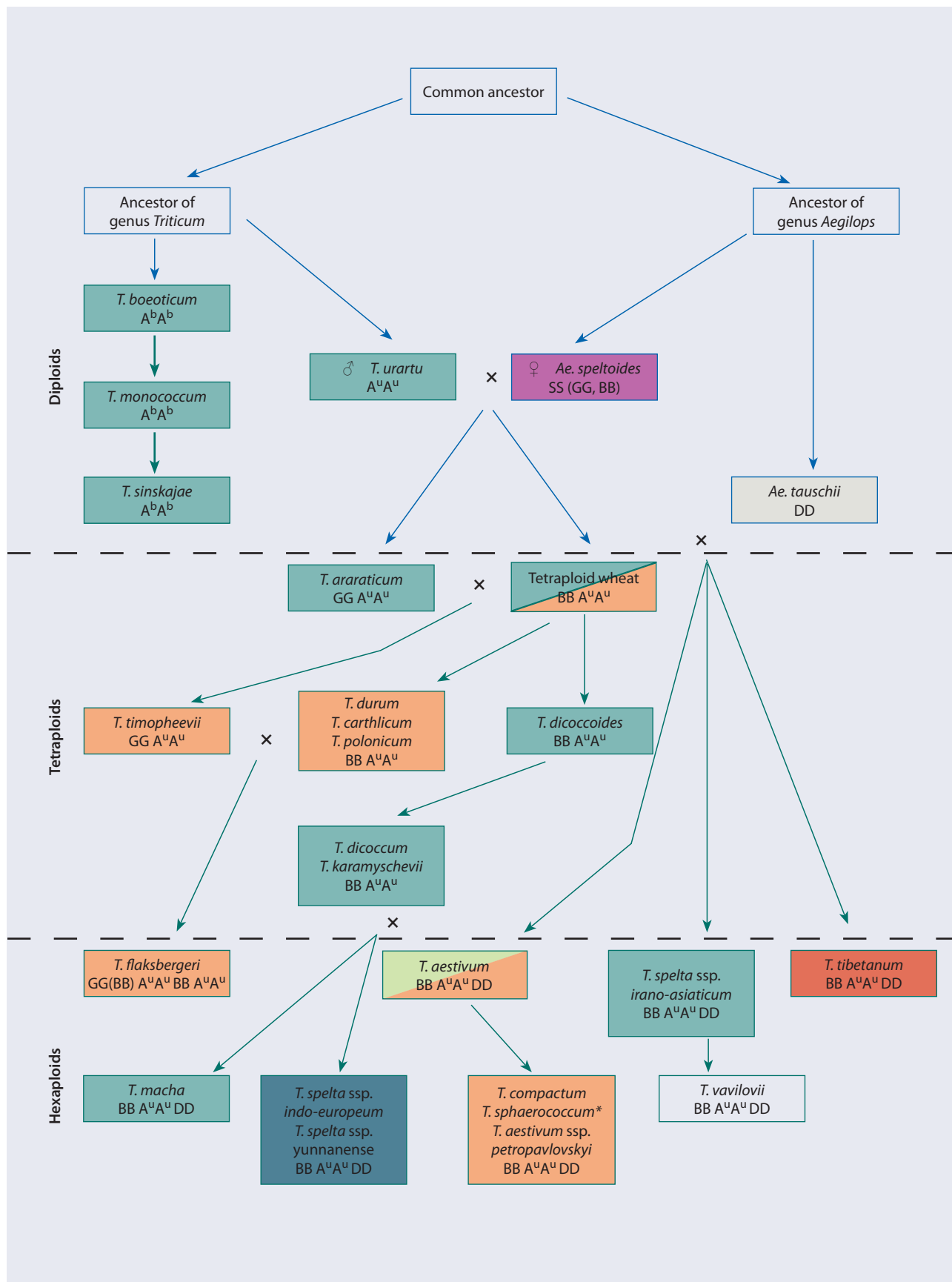
Рассматривая взаимосвязи между классификациями Дж. Маккея (MacKey, 2005) и В.Ф. Дорофеева (Культурная..., 1979), К. Hammer и коллеги (2011) объединили дорофеевские секции *Timopheevii* и *Dicoccoides* Flaksb. в одну, назвав *Pyrachne* Dumort. Однако виды этих секций далеки филогенетически (Vavilova et al., 2020) и не дают фертильного потомства при скрещиваниях (Goncharov et al., 2007).

В последнее время детальное изучение биоразнообразия видов проводится нечасто: *T. compactum* (Garland-Campbell, 2023), *T. dicoccum* (van Slageren, Payne, 2013; Badaeva, 2015), *T. durum* (Ляпунова, 2019), *T. spelta* (Дедкова и др., 2004), *T. aethiopicum* (Бадаева и др., 2018; Trifonova et al., 2021).

Считается, что любой вид имеет свою генетическую конституцию и обладает внутривидовыми различиями, которые проявляются прежде всего в существовании репродуктивных барьеров, защищающих генофонд того или иного вида. Однако для пшениц наличие репродуктивных барьеров не является видовой характеристикой, и многие из них с относительной легкостью скрещиваются между собой, давая плодовитое потомство (Дорофеев и др., 1976). Однако происходит это в основном только в условиях эксперимента, так как виды пшениц, как правило, имеют неперекрывающиеся ареалы и их не возделывают в смеси. По этой причине они не могут давать гибридное потомство в естественных условиях (Дорофеев и др., 1976).

Фенотипирование

К. Геснер заложил основы иллюстрации в ботанической науке. Исследуя растения, он многократно рисовал побеги, цветки и плоды, достигнув высокой точности в передаче особенностей материала. Детализируя структуры органов, передавая оттенки окраски, ученый устанавливал признаки, значимые для диагностики видов. Данный подход обеспечил развитие метода познания растительного мира, вместе с тем совершенствовалось и качество научного рисунка, а также развивались понятия «органогрфия» и «систематика» (Gesner, 1541). Следует заметить, что оригинальные рисунки Геснера, посвященные растениям, менее условны



Эволюция родов *Triticum* и *Aegilops* (из: Vavilova et al., 2020)

Ячейки окрашены в соответствии с аллелями гена Q, обнаруженными у образцов данного вида. Предковые виды показаны белыми ячейками. Синие стрелки указывают на естественный отбор, зеленые – на искусственный отбор (доместикацию). * аллель гена Q с изолейцином в 329-м положении и SNPs 3125G, 3135G и 3139C. *T. karamyshevii* = *T. turgidum ssp. paleocolchicum*

по сравнению с гравюрами по дереву, которые иллюстрировали его естественно-научные труды.

В настоящем важной задачей в экспериментах является быстрая и точная оценка параметров растений – фенотипирование, тесно связанное с систематикой пшениц (Зуев и др., 2019; Genaev et al., 2019). Оценка характеристик колоса в большинстве современных исследований выполняется экспертом на основании визуального анализа колоса и требует существенных затрат времени, при этом в современных экспериментах проводится анализ тысяч растений. Поэтому автоматизация этого процесса представляется актуальной для селекционеров. Эффективность фенотипирования колосьев можно повысить за счет внедрения технологий анализа цифровых изображений, организации хранения информации в базах данных, использования алгоритмов машинного обучения для анализа полученной информации (Genaev et al., 2019).

Для создания современных технологий, включая виртуальную реальность, используют новые подходы, приемлемые для применения в промышленных масштабах, к числу которых относятся системы машинного зрения для управления перечнем процессов. Не исключением стала и пищевая промышленность, в которой активное внедрение данной технологии началось с 2000-х гг. и в настоящее время активно продолжается. Вместе с тем в процессе применения техники обработки изображений в аграрной области возникли некоторые сложности. К данным проблемам следует отнести значительный разброс формы, цвета, размера и текстуры исследуемых объектов. Для выполнения простых задач по проверке и сортировке зерновых культур предложена система анализа изображений (Shaw, 1990). В основе данных устройств были монохромные датчики невысокого разрешения (128×128 пикселей) и несложные методы идентификации изображений (Tillet, 1991). В последующем появилась возможность анализа цветных образов биологических объектов в связи с разработкой твердотельных датчиков изображений и высокоскоростных микрокомпьютеров.

Основы создания систем машинного зрения для сельского хозяйства заложили научные коллективы под руководством D.R. Draper (Draper, Travis, 1984; Keefe, Draper, 1986), F.S. Lai (Lai et al., 1986), I. Zayas (Zayas et al., 1985, 1986, 1989, 1990). В публикациях этих авторов освещены базовые принципы, подходы использования методов анализа изображений, распознавания образов биологических объектов. В качестве примера можно привести выявление пораженных грибной инфекцией соевых бобов с помощью методов машинного зрения (Wigger et al., 1988).

Развитие технологий компьютерного зрения обеспечивает решение задачи верификации морфологических признаков различных культур. Исследователь получает возможность выявить значимые видоспецифические признаки и сравнить растения на основании их изображений, загруженных в базу данных. Анализ и просмотр множества изображений весьма время- и трудозатратны. Поэтому важно научить нейронную сеть обрабатывать и сравнивать эти изображения автоматически. Обученная нейронная сеть предоставит информацию о том, какие параметры будут

значимы для дифференцирования, и обеспечит ранжирование значимости этих признаков для каждого вида растений. Наиболее перспективным для дальнейшего развития метода компьютерного зрения следует считать активно развиваемые в последние годы нейронные сети глубокого обучения (Крыловецкий, Суходолов, 2018).

Молекулярно-биологические методы

Большинство работ, посвященных таксономии и эволюции пшениц, исторически связаны с изучением хозяйственно важных биохимических и морфологических признаков (Меженский, 2020). Накопленные к настоящему времени данные об эволюции различных нуклеотидных последовательностей позволяют не только с большой степенью достоверности установить филогенетические взаимоотношения, но и провести временные оценки дивергенции таксонов рода *Triticum*.

Значение молекулярно-биологических подходов в таксономии связано с двумя различными, но действующими в одном направлении комплексами фактов и идей. Один – их применение в филогенетике, которая становится не только по преимуществу, но почти целиком молекулярной. При этом методы молекулярной биологии позволяют выявить реальные филогенетические взаимоотношения видов и исключить субъективную составляющую оценки процесса их эволюции. Другой зависит от того обстоятельства, при котором развитие передовых технологий приводит к стремительному росту молекулярно-биологических данных, объем которых в самое ближайшее время в биологии намного превзойдет всю совокупность «немолекулярных».

Ввиду неполноты археологических данных (Rivera et al., 2023), возможно, что ряд вопросов происхождения и становления современных видов пшениц будут решены посредством реконструкции эволюционных процессов и филогенетических построений, основанных на молекулярно-генетических методах.

Современная таксономия позволяет установить филогенетические взаимоотношения различных видов родов *Triticum* и *Aegilops* с использованием ядерных (Danilova et al., 2017) и хлоропластных молекулярно-генетических маркеров (Golovnina et al., 2007; Cho, 2018), цитогенетических методов (Родионов и др., 2020) и данных сравнительно-генетического анализа. Анализ хлоропластного генома позволил изучить пшеницы и эгилопсы независимо от уровня их пloidности и установить их родство по материнской линии. К настоящему времени показано дифилитическое происхождение пшениц (Jiang, Gill, 1994). Донор цитоплазмы для всех полиплоидных видов рода в природе не сохранился. Следует отметить, что цитоплазма *Ae. speltoides*, вероятно, имеющая две «модификации» (Tsunewaki, Ogihara, 1983), значительно отличается от таковой как диплоидных пшениц, так и других видов секции *Sitopsis*.

Значимым для определения филогенетических взаимосвязей рода *Triticum* следует считать подход, основанный на анализе мутаций, происходящих в генах, которые кодируют признаки, участвующие в доместикации (Charmet, 2011). Большая часть из них представляют собой транскрипционные факторы (Гончаров, Сормачева, 2014). Этот метод при-

менен в ряде работ для выяснения эволюции ди- и тетраплоидных видов пшеницы. Этот способ позволяет уточнить филогению видов родов *Triticum* и *Aegilops*. В исследовании В.Ю. Вавиловой и ее коллег использованы различия в генах *Q-5A* и *Q-5D* (рисунок) (Vavilova et al., 2020).

Заключение

В последние десятилетия систематика возделываемых растений, включая пшеницы (род *Triticum* L.), пересматривается. Это во многом связано с применением современных методов исследований, позволивших значительно расширить объем информации о молекулярно-генетической структуре видов. При этом широкое применение при изучении особенностей организации половых хромосом получили методы молекулярной цитогенетики, в частности флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH) (Gordeeva et al., 2019). Значение молекулярных подходов в таксономии связано с их применением в филогенетике, которая становится почти целиком молекулярной.

Одним из основных вопросов в систематике не только пшениц, но и других культурных растений является проблема укрупнения–дробления таксонов. Важным аспектом развития систематики пшеницы следует считать создание типовых коллекций ее видов (Börner, Khlestkina, 2019). Это дает возможность контролировать подлинность образца и сохранять идентичность коллекции.

У современных исследователей практическое использование определителей (классификаций) возделываемых растений вызывает сложности, так как и идеографические определители, и дихотомические таблицы требуют определенных навыков. Перспективным направлением представляется создание баз данных и программного обеспечения для компьютерного фенотипирования растений пшениц (Пронозин и др., 2021).

Список литературы / References

- Бадаева Е.Д., Шишкина А.А., Гончаров Н.П., Зуев Е.В., Лысенко Н.С., Митрофанова О.П., Драгович А.Ю., Кудрявцев А.М. Эволюция *Triticum aethiopicum* Jakubz. с позиции хромосомного анализа. *Генетика*. 2018;54(6):613-628. DOI 10.7868/S0016675818060048 [Badaeva E.D., Shishkina A.A., Goncharov N.P., Zuev E.V., Lysenko N.S., Mitrofanova O.P., Dragovich A.Yu. Kudriavtsev A.M. Evolution of *Triticum aethiopicum* Jakubz. from the position of chromosome analysis. *Russ. J. Genet.* 2018;54(6):629-642. DOI 10.1134/S1022795418060029]
- Баталин А.Ф. Русские сорта полб. СПб., 1885 [Batalin A.F. Russian Varieties of Spelt. St. Petersburg, 1885 (in Russian)]
- Головнина К.А., Кондратенко Е.Я., Блинов А.Г., Гончаров Н.П. Филогения А-геномов диких и возделываемых видов пшениц. *Генетика*. 2009;45(11):1540-1547 [Golovnina K.A., Kondratenko E.Ya., Blinov A.G., Goncharov N.P. Phylogeny of the A-genomes of wild and cultivated wheat species. *Russ. J. Genet.* 2009;45(11): 1360-1367. DOI 10.1134/S1022795409110106]
- Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Новосибирск: Сиб. ун-в. изд-во, 2002 [Goncharov N.P. Comparative genetics of wheat and its relatives. Novosibirsk: Sibtrian Univ. Publ. House, 2002 (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. 2-е изд. Новосибирск: Гео, 2012 [Goncharov N.P. Comparative genetics of wheat and its relatives. 2nd edn. Novosibirsk: Geo Publ., 2012 (in Russian)]
- Гончаров Н.П. «Не притащенная» наука: институционализация прикладной ботаники в России. *Историко-биологическое исследования*. 2020;12(3):13-31. DOI 10.24411/2076-8176-2020-13002 [Goncharov N.P. The “not dragged” science: The institutionalisation of applied botany. *Studies in the History of Biology*. 2020;12(3):13-31. DOI 10.24411/2076-8176-2020-13002 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Кондратенко Е.Я. Происхождение, domestикация и эволюция пшениц. *Информационный вестник ВОГУС*. 2008;12(1-2):159-179 [Goncharov N.P., Kondratenko E.Ya. Wheat origin, domestication and evolution. *VOGIS Information Bulletin*. 2008;12(1-2):159-179 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Сормачева И.Д. Доместикация пшениц. *Природа*. 2014;2:45-53 [Goncharov N.P., Sormacheva I.D. Domestication of wheat. *Priroda*. 2014;2:45-53 (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Богуславский Р.Л., Орлова Е.А., Белоусова М.Х., Аминов Н.Х., Коновалов А.А., Кондратенко Е.Я., Гультьева Е.И. Устойчивость амфилоидов пшениц к возбудителю бурой ржавчины. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;6(3):95-106. DOI 10.18699/Letters2020-6-14 [Goncharov N.P., Boguslavsky R.L., Orlova E.A., Belousova M.H., Aminov N.H., Konovalov A.A., Kondratenko E.Y., Gulytseva E.I. Resistance of wheat amphiploids to the causative agent of brown rust. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(3):95-106. DOI 10.18699/Letters2020-6-14 (in Russian)]
- Дедкова О.С., Бадаева Е.Д., Митрофанова О.П., Зеленин А.В., Пухальский В.А. Анализ внутривидовой дивергенции гексаплоидной пшеницы *Triticum spelta* L. с помощью метода дифференциального окрашивания хромосом. *Генетика*. 2004;40(10):1352-1369 [Dedkova O.S., Badaeva E.D., Mitrofanova O.P., Zelenin A.V., Pukhalskiy V.A. Analysis of intraspecific divergence of hexaploid wheat *Triticum spelta* L. by C-banding of chromosomes. *Russ. J. Genet.* 2004;40(10):1111-1126. DOI 10.1023/B:RUGE.0000044755.18085.7e]
- Дорофеев В.Ф. Международный классификатор СЭВ. Род *Triticum* L. Л.: ВИР, 1984. [Dorofeev V.F. International Classifier of CMEA. Genera *Triticum* L. Leningrad: VIR Publ., 1984 (in Russian)]
- Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А. Новая внутривидовая классификация пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.). *Научно-технический бюллетень ВИР*. 1983;129:60-64 [Dorofeev V.F., Filatenko A.A. New intraspecific classification of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Nauchno-tehnicheskii byulleten' VIR*. 1983;129:60-64 (in Russian)]
- Дорофеев В.Ф., Якубцинер М.М., Руденко М.И. Пшеницы мира: Видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал. Л.: Колос, 1976 [Dorofeev V.F., Yakubtsiner M.M., Rudenko M.I. Wheat of the world: Species composition, breeding achievements, modern problems and initial material. Leningrad: Kolos Publ., 1976 (in Russian)]
- Жуковский П.М. Новый вид пшеницы. *Труды по прикладной ботанике и селекции*. 1928;19(2):59-66 [Zhukovsky P.M. A new species of wheat. *Trudy po prikladnoy botanike i seleksii*. 1928;19(2):59-66 (in Russian)]
- Жуковский П.М. Земледельческая Турция (Азиатская часть – Анатолия). М.; Л.: Сельхозгиз, 1933 [Zhukovsky P.M. Land Turkey (Asiatic part – Anatolia). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz Publ., 1933 (in Russian)]
- Зуев Е.В. Внутривидовая классификация пшеницы Петропавловского. *Научно-технический бюллетень ВИР*. 1992;233:11-12 [Zuev E.V. Intraspecific classification of wheat of Petropavlovskii. *Nauchno-tehnicheskii byulleten' VIR*. 1992;233:11-12 (in Russian)]
- Зуев Е.В., Амри А., Брыкова А.Н. Атлас разнообразия мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по признакам колоса и зерновки. СПб.: ВИР, 2019 [Zuev E.V., Amri A., Brykova A.N. Atlas of diversity of common wheat (*Triticum aestivum* L.) by spikelet and grain traits. St. Petersburg: VIR Publ., 2019 (in Russian)]
- Камасин С.С., Тарануха В.Г. Растениеводство. Хлеба 1-й группы. Горки: БГСХА, 2018

- [Kamasin S.S., Taranukho V.G. Plant Growing. Breads of the 1st group. Gorki: BGSKhA Publ., 2018 (in Russian)]
- Крыловецкий А.А., Суходолов Д.М. Распознавание изображений элементов зерновых смесей методами глубокого обучения с использованием библиотек Keras и Tensorflow. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2018;2:139-148. DOI 10.17308/sait.2018.2/1222
- [Krylovetsky A.A., Sukhodolov D.M. Recognition of elements of grain mixture by deep-learning methods using Keras and Tensorflow. *Vestnik of Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*. 2018;2:139-148. DOI 10.17308/sait.2018.2/1222 (in Russian)]
- Кулаева О.А., Матвеева Т.В., Лутова Л.А. Горизонтальный перенос генов от агробактерий к растениям. *Экологическая генетика*. 2006;4(4):10-19 DOI 10.17816/ecogen4410-19
- [Kulaeva O.A., Matveeva T.V., Lutova L.A. Horizontal gene transfer from agrobacteria to plants. *Ecological Genetics*. 2006;4(4):10-19. DOI 10.17816/ecogen4410-19 (in Russian)]
- Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница. Л.: Колос, 1979. [Cultural flora USSR. V. 1. Wheat. Leningrad: Kolos Publ., 1979 (in Russian)]
- Ляпунова О.А. Селекция твердой пшеницы в Италии. *Письма в Вавилонский журнал генетики и селекции*. 2019;5(1):19-34. DOI 10.18699/Letters2019-5-3
- [Lyapunova O.A. Durum wheat breeding in Italy. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;5(1):19-34. DOI 10.18699/Letters2019-5-3 (in Russian)]
- Манойленко (Рязанская) К.В. А.Ф. Баталин – выдающийся русский ботаник XIX века. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1962 [Manoilenko (Ryazanskaya) K.V. A.F. Batalin – an outstanding Russian botanist of the XIX century. Moscow; Leningrad: USSR Acad. Sci Publ. House, 1962 (in Russian)]
- Меженский В.М. До питання впорядкування українських назви рослин. Поїдомлення 12. Назви культур і таксонів роду *Triticum* L. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. Plant varieties studying and protection*. 2020;16(2):119-136
- Митрофанова О.П. Коллекция пшеницы ВИР: сохранение, изучение, использование. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:63-79
- [Mitrofanova O.P. VIR wheat collection: conservation, studying, using. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*. 2007;164:63-79 (in Russian)]
- Определитель разновидностей мягкой и твердой пшениц. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009 [Manual book of common and hard wheat varieties. Novosibirsk: SB RAS Publ. House, 2009 (in Russian)]
- Пронозин А.Ю., Паулиш А.А., Заварзин Е.А., Приходько А.Ю., Прохощин Н.М., Кручинина Ю.В., Гончаров Н.П., Комышев Е.Г., Генаев М.А. Автоматическое фенотипирование морфологии колоса тетра- и гексаплоидных видов пшеницы методами компьютерного зрения. *Вавилонский журнал генетики и селекции*. 2021;25(1):71-81. DOI 10.18699/VJ21.009
- [Pronozin A.Yu., Paulish A.A., Zavarzin E.A., Prikhodko A.Yu., Prokoshin N.M., Kruchinina Y.V., Goncharov N.P., Komyshev E.G., Genaev M.A. Automatic phenotyping of ear morphology of tetra- and hexaploid wheat species by computer vision methods. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(1):71-81. DOI 10.18699/VJ21.009 (in Russian)]
- Родионов А.В., Шнеер В.С., Гнутиков А.А., Носов Н.Н., Пунина Е.О., Журбенко П.М., Лоскутов И.Г., Муравенко О.В. Диалектика видов: от исходного единообразия, через максимально возможное разнообразие к конечному единообразию. *Ботанический журнал*. 2020;105(9):835-853. DOI 10.31857/S0006813620070091
- [Rodionov A.V., Schneer V.S., Gnutikov A.A., Nosov N.N., Punina E.O., Zhurbenko P.M., Loskutov I.G., Muravenko O.V. Species dialectics: from initial uniformity, through the greatest possible diversity to ultimate uniformity. *Botanicheskii Zhurnal*. 2020;105(9):835-853. DOI 10.31857/S0006813620070091 (in Russian)]
- Синская Е.Н. Историческая география культурной флоры. На заре земледелия. Л.: Колос, 1969
- [Sinskaya E.N. Historical Geography of Cultural Flora. At the Dawn of Agriculture. Leningrad: Kolos Publ., 1969 (in Russian)]
- Фляксберггер К.А. Определитель разновидностей настоящих хлебов по Кёрнике. *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1908;1(3/4):95-137
- [Flaxberger K.A. Determinator of varieties of true breads according to Körnik. *Trudy Vyuro po prikladnoy botanike*. 1908;1(3/4):95-137 (in Russian)]
- Фляксберггер К.А. Хлебные злаки. Пшеница. М.; Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1935
- [Flaxberger K.A. Bread cereals. Wheat. Moscow; Leningrad: Gosudarstvennoye izdatel'stvo kolkhoznoy i sovkhonoy literatury, 1935 (in Russian)]
- Фляксберггер К.А. Пшеница. Определитель настоящих хлебов (Пшеница, рожь, ячмень, овес). М.; Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1939
- [Flaxberger K.A. Wheat. Manual book of true breads (Wheat, rye, barley, oats). Moscow; Leningrad: Gosudarstvennoye izdatel'stvo kolkhoznoy i sovkhonoy literatury, 1939 (in Russian)]
- Цвелев Н.Н. Злаки СССР. Л.: Наука, 1976
- [Tsvelev N.N. Grasses of the USSR. Leningrad: Nauka Publ., 1976 (in Russian)]
- Цвелев Н.Н., Пробатова Н.С. Злаки России. М.: Т-во научных изданий КМК, 2019
- [Tzvelev N.N., Probatova N.S. Grasses of Russia. Moscow: KMK Sci. Press Publ., 2019 (in Russian)]
- Шипунов А.Б. Основы теории систематики. М.: Диалог-МГУ, 1999. [Shipunov A.B. Fundamentals of Systematics Theory. Moscow: Dialog-MSU Publ., 1999 (in Russian)]
- Шлиппе П. История фирмы Вильморен. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1929-30;22(5):571-623
- [Shlippe P. The history of the Vilmorin company. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*. 1929-30;22(5):571-623 (in Russian)]
- Якубцинер М.М. Новые виды пшеницы. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1959;12:29-41
- [Yakubtsiner M.M. New species of wheat. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 1959;12:29-41 (in Russian)]
- Alefeld F. Landwirtschaftliche Flora: oder Die nutzbaren kultivierten Garten- und Feldgewächse Mitteleuropas in allen ihren wilden und Kulturvarietäten für Landwirte, Gärtner, Gartenfreunde und Botaniker insbesondere für landwirtschaftliche Lehranstalten. Berlin: Wiegandt & Hempel, 1866
- Badaeva E.D., Keilwagen J., Knüpfner 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
- Börner A., Khlestkina E.K. *Ex-situ* genebanks-seed treasure chambers for the future. *Russ. J. Genet.* 2019;55(11):1299-1305. DOI 10.1134/S1022795419110036
- Bowden W.M. The taxonomy and nomenclature of the wheat, barley, and rye and their wild relatives. *Canad. J. Bot.* 1959;37(4):657-684. DOI 10.1139/b59-053
- Buerkert A., Hammer K., Oryakhail M., Filatenko A.A. Cultivation and taxonomic classification of wheat landraces in the upper Panjsher valley of Afghanistan after 23 years of war. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2006;53:91-97. DOI 10.1007/s10722-004-0717-3
- Caligari P. Foreword to John Percival's *Aegilops* species. Wheat taxonomy: the legacy of John Percival. The Linnean: special issue. 2001. Spec. issue 3:185-190.
- Charmet G. Wheat domestication: lessons for the future. *C. R. Biol.* 2011;334(3):212-220. DOI 10.1016/j.crv.2010.12.013
- Cho J. Transposon-derived non-coding RNAs and their function in plants. *Front. Plant Sci.* 2018;9:600. DOI 10.3389/fpls.2018.00600
- Cobb N.A. Seed wheat: an investigation and discussion of the relative value of the seeds of large plump and small-shrived grains. Sydney: W.A. Gullick, Government Printer, 1903
- Daniilova T.V., Akhunova A.R., Akhunov E.D., Friebe B., Gill B.S. Major structural genomic alterations can be associated with hybrid speciation in *Aegilops markgrafii* (Triticeae). *Plant J.* 2017;92(2):317-330. DOI 10.1111/tj.13657

- Draper S.R., Travis A.J. Preliminary observations with a computer based system for analysis of the shape of seeds and vegetative structures. *J. Natl. Inst. Agric. Bot.* 1984;16:387-395
- Eig A. Monographisch kritische Übersicht der Gattung Aegilops. In: Repertorium specierum novarum regni vegetabilis, Beihefte. Berlin, 1929;55:1–228.
- Feldman M. Origin of Cultivated Wheat. In: Bonjean A.P., Angus W.J. (Eds.). *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*. London: Intercept Ltd., 2001;3-56
- Garland-Campbell K.A. Club Wheat – A Review of Club Wheat History, Improvement, and Spike Characteristics in Wheat. In: Goldman I. (Ed.). *Plant Breeding Reviews*. Ch. 7. 2023;46:421-465. DOI 10.1002/9781119874157.ch7
- Genaev M.F., Komyshev E.G., Kruchinina Y.V., Goncharov N.P., Afonnikov D.A., Smirnov N.V. Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images. *Agronomy*. 2019;9(7):390. DOI 10.3390/agronomy9070390
- Gesner K. *Enchiridion Historiae Plantarum*. Switzerland, 1541 (цит. по: Heinrich Zoller, Martin Steinmann (ed.))
- Golovnina K.A., Glushkov S.A., Blinov A.G., Goncharov N.P., Mayorov V.I., Adkison L.R. Molecular phylogeny of the genus *Triticum* L. *Plant Syst. Evol.* 2007;264:195-216. DOI 10.1007/s00606-006-0478-x
- Goncharov N.P. Comparative-genetic analysis – a base for wheat taxonomy. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 2005a;41(Spec. Is.):52-55
- Goncharov N.P. Genus *Triticum* L. taxonomy: the present and the future. *Plant Syst. Evol.* 2011;295:1-11. DOI 10.1007/s00606-011-0480-9
- Goncharov N.P., Gaidalenok R.F. Chromosomal location of genescontrolling spherical grains and compact spike in *Triticum antiquorum* Heer ex Udacz. *Russ. J. Genet.* 2005b;41(11):1262-1267. DOI 10.1007/s11177-005-0227-1
- Goncharov N.P., Kawahara T., Bannikova S.V. Wheat artificial amphiploids involving the *Triticum timopheevii* genome: their studies, preservation and reproduction. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2007;54:1507-1514. DOI 10.1007/s10722-006-9141-1
- Goncharov N.P., Golovnina K.A., Kilian B., Glushkov S., Blinov A., Shumny V.K. Evolutionary History of Wheats – the Main Cereal of Mankind. In: Dobretsov N., Kolchanov N., Rozanov A., Zavarzin G. (Eds.). *Biosphere Origin and Evolution*. Boston, MA: Springer, 2008;407-419. DOI 10.1007/978-0-387-68656-1_29
- Goncharov N.P., Golovnina K.A., Kondratenko E.Ya. Taxonomy and molecular phylogeny of natural and artificial wheat species. *Breed. Sci.* 2009;59(5):492-498. DOI 10.1270/jsbbs.59.492
- Gordeeva E.I., Badaeva E.D., Adonina I.G., Khlestkina E.K., Shoeva O.Yu. Marker-based development of wheat near-isogenic and substitution lines with high anthocyanin content in grains. In: *Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology (PlantGen2019): The Fifth International Scientific Conference (June 24–29, 2019, Novosibirsk, Russia)*. Novosibirsk: ICG SB RAS, 2019;82. DOI 10.18699/PlantGen2019-064
- Gu J., Wang Z., Kuen J., Ma L., Shahroudy A., Shuai B., Liu T., Wang X., Wang G., Cai J., Chen T. Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognit.* 2018;77:354-377. DOI 10.1016/j.patcog.2017.10.013
- Gökgöl M. Über die Genzentrentheorie und den Ursprung der Weizen. *Zeitschr. Pflanzenzücht.* 1941;23:562-578
- Gökgöl M. Buğdayların tasnif Anahtarı. *Ziraat Vekâleti Neşriyet ve Haberesme Müdürlüğü*. 1955;716:172
- Gökgöl M. Die iranischen Weizen. *Zeitschr. Pflanzenzücht.* 1961;45(3/4):315-323
- Hammer K., Filatenko A.A., Pistrick K. Taxonomic remarks on *Triticum* L. and *xTriticosecale* Wittm. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2011;58:3-10. DOI 10.1007/s10722-010-9590-4
- Harz C.O. *Landwirtschaftliche Samenkunde*. Berlin: Parey, 1885.
- Host N.T. *Icones et Descriptiones Graminum Austriacorum*. Vindobonae: A. Schmidt, 1801. DOI 10.5962/bhl.title.507
- Howard A., Howard G. Note on immune wheats. *J. Agric. Sci.* 1907;2(3):278-280. DOI 10.1017/S0021859600000575
- Howard A. The economic significance of natural cross-fertilization in India. (India. Dept. of agriculture. Memoirs. Botanical series, vol. III, no. 6). Calcutta; London: Thacker, Spink & Co., 1910
- Jakubziner M.M. New wheat species. In: Jenkins B.P. (Ed.). *Proceedings 1st International Wheat Genetics Symposium*. August 11–15, 1958 in Winnipeg, Canada. Winnipeg: University of Manitoba, 1959;207-217
- Jiang J., Gill B.S. Different species-specific chromosome translocations in *Triticum timopheevii* and *T. turgidum* support diphyletic origin of polyploid wheats. *Chromosome Res.* 1994;2(1):59-64. DOI 10.1007/BF01539455
- Keefe P.D., Draper S.R. The measurement of new characters for cultivar identification in wheat using machine vision. *Seed Sci. Technol.* 1986;14:715-724
- Kihara H. Cytologische und genetische Studien bei wichtigen Getreidearten mit besonderer Rücksicht auf das Verhalten der Chromosomen und die Sterilität in den Bastarde. In: *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University*. Ser. B. Kyoto: College of Science, Kyoto Imperial University, 1924;1(1):1-200
- Kihara H. Substitution of nucleus and its effects on genome manifestation. *Cytologia*. 1951;16(2):177-193. DOI 10.1508/cytologia.16.177
- Konovalov F.A., Goncharov N.P., Goryunova S., Shaturova A., Proshlyakova T., Kudryavtsev A. Molecular markers based on LTR retrotransposons *BARE-1* and *Jeli* uncover different strata of evolutionary relationships in diploid wheat. *Mol. Genet. Genomics*. 2010;283:551-563. DOI 10.1007/s00438-010-0539-2
- Körnike F., Werner H. *Der Weizen*. In: *Hundbuch des Getreidebaus*. Berlin: Verlag von Paul Parey. 1885;22-114
- Lack H.W., van Slageren M. The discovery, typification and rediscovery of wild emmer wheat, *Triticum turgidum* subsp. *dicoccoides* (Poaceae). *Willdenowia*. 2020;50(2):207-216. DOI 10.3372/wi.50.50206
- Lai F.S., Zayas I., Pomeranz Y. Application of pattern recognition techniques in the analysis of cereal grains. *Cereal Chem.* 1986;63(2):168-172.
- Lamarck J.-B. *Flore Française ou descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France, disposées selon une nouvelle méthode d'analyse, et précédées par un exposé des principes élémentaires de la botanique*, Augustin-Pyramus de Candolle. Paris: Assas, 1795
- Lev-Mirom Y., Distelfeld A. Where was wheat domesticated? *Nat. Plants*. 2023;9(8):1201-1202. DOI 10.1038/s41477-023-01467-0
- Levy A.A., Feldman M. Evolution and origin of bread wheat. *Plant Cell*. 2022;34(7):2549-2567. DOI 10.1093/plcell/koac130
- Linnaeus C. *Species plantarum, exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relates, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas*. Holmiae: Impensis Laurentii Salvii, 1753
- MacKey J. The taxonomy of hexaploid wheat. *Svensk Bot. Tidskr.* 1954;48:579-590
- MacKey J. Wheat, its concept, evolution and taxonomy. In: *Durum Wheat Breeding: Current Approaches and Future Strategies*. New York: Haworth Press, 2005;1:3-62
- Mansfeld R. Das morphologische System des Saatweizens, *Triticum aestivum* s.l. *Der Züchter*. 1951;21:41-60. DOI 10.1007/BF00710527
- Percival J. *The wheat plant: A monograph*. London: Duckworth and co., 1921. DOI 10.5962/bhl.title.17154
- Rivera D., Ferrer-Gallego P., Obón C., Alcaraz F., Alcaraz F., Valera J., Goncharov N.P., Laguna E., Kislev M. Fossil or non-fossil? A best-practice guide for archaeobotanical taxa. *Taxon*. 2023. DOI 10.1002/tax.13029
- Shaw W.E. Machine vision for detecting defects on fruit and vegetables. In: *Food Processing Automation Proceedings of the 1990 conference (May 6-8, 1990, Lexington, Kentucky)*. St. Joseph, MI: ASAE, 1990; 50-59
- Trifonova A.A., Dedova L.V., Kudryavtsev A.M., Zuev E.V., Goncharov N.P. Comparative analysis of the gene pool structure of *Triticum aethiopicum* wheat accessions conserved ex situ and recollected in field after 85 year later. *Biodivers. Conserv.* 2021;30(2):329-342. DOI 10.1007/s10531-020-02091-6
- Tillet R.D. Image analysis for agricultural processes: A review of potential opportunities. *J. Agric. Eng. Res.* 1991;50:247-258. DOI 10.1016/S0021-8634(05)80018-6
- Tsunewaki K., Ojihara Y. The molecular basis of genetic diversity among cytoplasm of *Triticum* and *Aegilops* species. II. On the origin of polyploid wheat cytoplasm as suggested by chloroplast DNA restriction fragment patterns. *Genetics*. 1983;104(1):155-171. DOI 10.1093/genetics/104.1.155

- van Slageren M. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (Jaub. et Spach) Eig (Poaceae). Wageningen & ICARDA, Aleppo, Syria: Wageningen Agricultural University, 1994
- van Slageren M., Payne T. Concepts and nomenclature of the farro wheats, with special reference to emmer, *Triticum turgidum* subsp. *dicoccum* (Poaceae). *Kew Bull.* 2013;68:477-494. DOI 10.1007/s12225-013-9459-8
- Vavilova V., Konopatskaia I., Blinov A.G., Kondratenko E.Ya., Kruchinina Y.V., Goncharov N.P. Genetic variability of spelt factor gene in *Triticum* and *Aegilops* species. *BMC Plant Biol.* 2020;20(Suppl. 1):310. DOI 10.1186/s12870-020-02536-8
- Villars D. Histoire des plantes de Dauphiné. V. 2. Grenoble; Lyon; Paris, 1787
- Waines J.G., Barnhart D. Constraints to germplasm evaluation. In: Wheat Genetic Resources: Meeting Diverse Needs. Chichester, U.K.: John Wiley, 1990;103-110
- Wigger W.D., Paulsen M.R., Litchfield J.B., Sinclair J.B. Classification of fungal-damaged soybeans using color-image processing. ASAE Paper No. 88-3053. St. Joseph, MI: ASAE, 1988
- Zayas I., Pomeranz Y., Lai F.S. Discrimination between Arthur and Arcan wheats by image analysis. *Cereal Chem.* 1985;62(6):478-480
- Zayas I., Lai F.S., Pomeranz Y. Discrimination between wheat classes and varieties by image analysis. *Cereal Chem.* 1986;63(1):52-56
- Zayas I., Pomeranz Y., Lai F.S. Discrimination of wheat and non-wheat components in grain samples by digital image analysis. *Cereal Chem.* 1989;66(3):233-237
- Zayas I., Converse H., Steele J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. *Trans. ASAE.* 1990;33(5):1642-1646. DOI 10.13031/2013.31521

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.07.2023. После доработки 18.08.2023. Принята к публикации 21.08.2023.

CELL TECHNOLOGIES
REGENERATIVE MEDICINE
INTELLIGENT DATA SCIENCE
SYNTHETIC BIOLOGY
POSTGENOME
RESearch & DEVELOPMENT



КОНГРЕСС CRISPR-2023

**11 – 13 сентября
2023 года**



КОНГРЕСС CRISPR-2023

НОВОСИБИРСК, 11–13 СЕНТЯБРЯ 2023 г.

ПОСТРЕЛИЗ

В Технопарке новосибирского Академгородка прошел Второй международный научный конгресс CRISPR-2023, посвященный современному методу редактирования генов и геномов на основе системы CRISPR/Cas9. С момента первого в России международного конгресса, посвященного геномному редактированию, прошло пять лет. Прогресс в области методов геномного редактирования, в том числе разработки для медицины и сельского хозяйства с применением комплексных подходов и вовлечением различных областей знаний, требует тщательного обсуждения в научном сообществе. Прошедший конгресс CRISPR-2023 объединил ученых, представителей сферы высшего образования и ряда бизнес-компаний.

Цель конгресса – обсуждение вопросов применения методов геномного редактирования и смежных областей в биомедицине и сельском хозяйстве, а также фундаментальных аспектов, связанных с работой системы редактирования и направленных на повышение ее эффективности.

Организаторы конгресса

- Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики» Сибирского отделения Российской академии наук
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский медицинский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химической биологии и фундаментальной медицины» Сибирского отделения Российской академии наук
- Новосибирский государственный университет
- Сургутский государственный университет
- Фонд научно-технологического развития Югры

Председатель организационного и программного комитетов

Закиян Сурен Минасович, д.б.н., профессор, заведующий лабораторией эпигенетики развития Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Заместители председателя организационного комитета

Захарова Ирина Сергеевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории эпигенетики развития Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Дементьева Елена Вячеславовна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории эпигенетики развития Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

С приветствием к участникам обратились

Кочетов Алексей Владимирович, академик РАН, и.о. директора Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Власов Валентин Викторович, академик РАН, научный руководитель Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск

Чернявский Александр Михайлович, чл.-кор. РАН, генеральный директор Национального исследовательского медицинского центра им. академика Е.Н. Мешалкина Минздрава России, Новосибирск

Федорук Михаил Петрович, академик РАН, ректор Новосибирского государственного университета, Новосибирск

Коваль Владимир Васильевич, к.х.н., доцент, и.о. директора Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск

Коваленко Людмила Васильевна, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой патофизиологии и общей патологии, директор медицинского института Сургутского государственного университета, Сургут

Гершович Павел Михайлович, к.б.н., директор департамента разработки генотерапевтических препаратов, BIOCAD, Санкт-Петербург

Ткач Андрей Владимирович, заместитель генерального директора Фонда научно-технологического развития Югры, Сургут

Приветственные обращения прислали

В.А. Ткачук, академик РАН, президент Общества регенеративной медицины

В.И. Скворцова, чл.-кор. РАН, руководитель ФМБА России

В.П. Чехонин, академик РАН, заместитель президента РАН

Е.В. Шумакова, заместитель губернатора ХМАО-Югры

Общее количество зарегистрированных участников – 328, из них

- студентов, аспирантов, ординаторов, других участников без ученой степени – 173,
- кандидатов наук – 130,
- докторов наук – 18,
- членов-корреспондентов РАН – 4,
- академиков РАН – 3.

Количество устных докладов – 90, постерных – 59.

Онлайн-трансляция заседаний конгресса с 11 по 13 сентября:

Подключение – 336 слушателей

Большой зал

1-й день 50 человек

2-й день 88 человек

3-й день 40 человек

Малый зал

1-й день 38 человек

2-й день 76 человек

3-й день 44 человека

География участников: 26 городов, 10 стран

Страны-участники

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. Россия | 6. Армения |
| 2. Казахстан | 7. Китай |
| 3. Беларусь | 8. Кыргызстан |
| 4. Узбекистан | 9. Сирия |
| 5. Азербайджан | 10. Германия |

Города-участники

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. Астана | 14. Москва |
| 2. Баку | 15. Новосибирск |
| 3. Бекабад | 16. Оболенск |
| 4. Великий Новгород | 17. Одинцово |
| 5. Витебск | 18. Санкт-Петербург |
| 6. Воронеж | 19. Сириус |
| 7. Екатеринбург | 20. Сургут |
| 8. Ереван | 21. Ташкент |
| 9. Иркутск | 22. Тольятти |
| 10. Казань | 23. Томск |
| 11. Кемерово | 24. Тюмень |
| 12. Ковров | 25. Улан-Удэ |
| 13. Красноярск | 26. Чебоксары |

Учреждения-участники

1. Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
2. Витебский государственный медицинский университет
3. Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко
4. Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии
5. Институт биоинженерии им. К.Г. Скрыбина
6. Институт биологии гена РАН
7. Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова
8. Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова
9. Институт биофизики СО РАН
10. Институт искусственного интеллекта МГУ им. М.В. Ломоносова
11. Институт медико-биологических проблем РАН
12. Институт медицинских клеточных технологий
13. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
14. Институт молекулярной биологии и генетики Национального медицинского исследовательского центра имени В.А. Алмазова
15. Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН
16. Институт регенеративной медицины МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова
17. Институт трансляционной медицины Национального медицинского исследовательского центра акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова
18. Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН
19. Институт цитологии и генетики СО РАН
20. Институт цитологии РАН
21. Иркутский государственный медицинский университет

22. Казанский (Приволжский) федеральный университет
 23. Клинический центр охраны здоровья семьи и репродукции
 24. МГУ им. М.В. Ломоносова
 25. Медико-генетический научный центр имени академика Н.П. Бочкова
 26. МИРЭА – Российский технологический университет
 27. МНТК «Микрохирургия глаза»
 28. Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина
 29. Московский физико-технический институт
 30. Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича
 31. Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова
 32. Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии
 33. Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии
 34. Научно-исследовательский институт фундаментальной и клинической иммунологии
 35. Научно-технологический университет «Сириус»
 36. Национальный исследовательский Томский государственный университет
 37. Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина
 38. Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова
 39. Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина
 40. НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра
 41. НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний
 42. НИИ медицинской генетики Томского национального исследовательского медицинского центра
 43. НИИ медицинской профилактики им. В. Ахундова
 44. НИЦ Курчатowski институт
 45. Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
 46. Новосибирский государственный аграрный университет
 47. Новосибирский государственный университет
 48. Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
 49. Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова
 50. Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова
 51. Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова
 52. Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
 53. Российско-Армянский Университет
 54. Санкт-Петербургский государственный университет
 55. Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии
 56. Сибирский государственный медицинский университет
 57. Сколковский институт науки и технологий
 58. Сургутский государственный университет
 59. Университет Сириус
 60. Уральский государственный медицинский университет
 61. Уральский федеральный Университет
 62. Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
 63. Республиканский перинатальный центр Узбекистана
 64. Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского
 65. Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
 66. Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины имени академика Ю.М. Лопухина
 67. Федеральный научный центр овощеводства
 68. Федеральный нейрохирургический центр
 69. Федеральный центр мозга и нейротехнологий ФМБА России
 70. Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе
 71. ФИЦ «Биотехнологии» РАН
 72. Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафура
 73. Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
 74. Школа медицины Университета Назарбаева
 75. Первый клинический медицинский центр
 76. Биотехнологическая компания BIOCAD
 77. ООО «ИМБИАН ЛАБ»
 78. ООО «Мабскейл»
 79. ПАО «Институт стволовых клеток человека»
 80. Novel Software Systems
 81. АО «ГЕНЕРИУМ»
 82. Научный центр «Сигнал»
- и другие

Информационные партнеры

- Журнал «Гены и клетки» (публикация сборника тезисов конгресса)
- Общество регенеративной медицины
- «Вавиловский журнал генетики и селекции»
- «Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции»
- Журнал «Онтогенез»

Спонсоры

- Генеральный партнер – Biocad
 Серебряный спонсор – Русмедторг
 Бронзовые спонсоры: Группа компаний «Биосан» и «Биолабмикс», Диа-М, БМТ

При поддержке инфраструктурного центра Health net

Перечень мероприятий, проведенных в рамках конгресса

- Пленарные заседания с докладами ведущих ученых
 Секция № 1 «Биоинформатические подходы к обработке геномных данных»
 Секция № 2 «Создание новых средств терапии»
 Секция № 3 CRISPR
 Секция № 4 «Генная терапия»
 Секция № 5 «Тканевая инженерия»

Секция № 6 «Редактирование генов и геномов в моделировании и исследовании нормальных и патологических процессов»

Секция № 7 «Клеточные технологии»

Секция № 8 «Редактирование геномов растений»

Секция № 9 «Модельные системы на основе производных индуцированных плюрипотентных стволовых клеток»

Презентация Центра высоких биомедицинских технологий ХМАО-Югры

Круглый стол «Генетика, геномное редактирование и образование»

Конкурс постерных докладов (14 победителей)

Мемориальная постерная сессия, посвященная великим ученым: А.А. Максимова, В.М. Данчаковой, А.П. Дыбану, Л.И. Корочкину

Ключевые докладчики

Медведев Сергей Петрович, к.б.н., Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Лаврик Ольга Ивановна, академик РАН, д.б.н., профессор, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск

Парфёнова Елена Викторовна, чл.-кор. РАН, д.м.н., профессор, Институт экспериментальной кардиологии Национального медицинского исследовательского центра кардиологии имени академика Е.И. Чазова Минздрава РФ, Москва

Костарева Анна Александровна, д.м.н., Институт молекулярной биологии и генетики Национального медицинского исследовательского центра имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург

Животовский Борис Давидович, д.б.н., профессор, Каролинский институт, Швеция; МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия

Ребриков Денис Владимирович, д.б.н., профессор, Институт трансляционной медицины Национального медицинского исследовательского центра акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова, Москва

Жарков Дмитрий Олегович, чл.-кор. РАН, д.б.н., профессор, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск

Гершович Павел Михайлович, к.б.н., BIOCAD, Санкт-Петербург

Шнайдер Татьяна Александровна, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Салахутдинов Нариман Фаридович, чл.-кор. РАН, д.х.н., профессор, Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск

Вяткин Юрий Викторович, Институт искусственного интеллекта МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Захарова Ирина Сергеевна, к.б.н., Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Киселёва Антонина Андреевна, к.б.н., Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Деев Сергей Михайлович, академик РАН, д.б.н., профессор, Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва

Кель Александр Эдуардович, к.б.н., Королевский колледж хирургов в Дублине (RCSI), Ирландия; компания geneXplain GmbH, Германия; Институт химической биологии и фундаментальной медицины, СО РАН, Новосибирск, Россия

Сычёв Дмитрий Алексеевич, академик РАН, д.м.н., профессор, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава РФ, Москва

Раменский Василий Евгеньевич, к.ф.-м.н., Институт искусственного интеллекта МГУ им. М.В. Ломоносова, Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины Минздрава РФ, Москва

Победители конкурса постерных докладов

1. **Вера Сергеевна Овечкина**, Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, РНИМУ им. Пирогова, Москва «Создание молекулярно-клеточных инструментов для термогенетической стимуляции клеток человека»

2. **Садек Али**, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург «Роль микроокружения в патогенезе нарушений сперматогенеза при действии высокой температуры»

3. **Краснер Кристина Юрьевна**, НИИКЭЛ – филиал Института цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск «Оценка терапевтического эффекта стромальных клеток роговицы человека, выделенных из лентикулярного биоматериала после хирургического вмешательства relex smile, на процессы тканевой репарации в модели помутнения роговицы»

4. **Пантелеев Владимир Александрович**, НИЦ «Курчатовский институт», Москва «Влияние условий реакции *in vitro* на селективность белков-аргонавтов прокариот»

5. **Горохова Анна Владимировна**, ФГБОУ высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Томск «Остеогенный потенциал композитных имплантатов с кальцийфосфатным покрытием, модифицированным атомами цинка и/или галлузитом»

6. **Лисицкая Лидия Александровна**, НИЦ «Курчатовский институт», Институт биологии гена РАН, Москва «Направленное расщепление ДНК-мишеней бактериальным белком-аргонавтом с помощью РНК-гидов»

7. **Юнусова Анастасия Маратовна**, Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск «Использование системы редактирования генома CRISPR/Cas9 для создания линий ЭС клеток мыши с функциональной заменой комплекса когезина на комплекс конденсина II в интерфазе»

8. **Поливцев Денис Евгеньевич**, Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск «Сравнение эффективности программируемой нуклеазы Cas12A (ASCPf1) в наивных и праймированных индуцированных плюрипотентных стволовых клетках человека»

9. **Должикова Ольга Александровна**, Новосибирский государственный университет, Новосибирск «Создание CRISPR/CAS9 системы с возможностью аллостерической регуляции на уровне направляющей РНК»

10. **Санникова Анастасия Валерьевна**, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань «Получение растений-нокаутов *Marchantia polymorpha* по генам *TRFL* и определение роли белка TRFL6 в регуляции длины теломера»

11. **Ахатова Фарида Сериковна**, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань «Нано- и микро-размерные носители для адресной доставки природного противоопухолевого препарата продигиозина»

12. **Карпова Наталия Сергеевна**, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии», Москва «Роль полиморфизмов гена *ZNF831* в развитии анемии во время беременности»

13. **Насибов Темур Фируддин оглы**, ФГБОУ высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Томск «Остеогенный потенциал композитных имплантатов с кальцийфосфатным покрытием, модифицированным атомами меди и/или галлузитом»

14. **Ямских Александра Антоновна**, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск «Создание линий клеток со сниженным содержанием субъединиц KU-антигена с применением системы CRISPR/Cas9»

Сетевое издание «Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции» – реестровая запись СМИ Эл № ФС77-75536, зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 08 мая 2019 г.

Основано в 2015 году (до 2019 года выходило под названием «Письма в Вавиловский журнал»). На страницах издания публикуются результаты экспериментальных, методических и теоретических исследований, аналитические обзоры по всем разделам генетики и селекции, а также по смежным областям биологических и сельскохозяйственных наук; материалы и документы по истории генетики и селекции; описания сортов растений и пород животных; рецензии; письма, адресованные редактору; персоналии и мемориальные статьи; хроника и информация из региональных отделений Вавиловского общества генетиков и селекционеров.

Цель издания – донести новейшие результаты фундаментальных и прикладных исследований в области генетики растений, животных, человека, микроорганизмов, описание новых методов и селекционных достижений до наибольшего числа ученых, включая специалистов из смежных областей науки и техники, а также до преподавателей вузов, читающих курсы лекций по генетике и селекции.

Сетевое издание «Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции» с 15.06.2023 включено в [Перечень рецензируемых научных изданий](#), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по специальностям и отраслям науки:

- 1.5.7. Генетика (биологические науки)
- 1.5.22. Клеточная биология (биологические науки)
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки)
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

Индексируется в РИНЦ, включено в DOAJ.

Прием статей осуществляется через электронную почту редакции: pismavavilov@bionet.nsc.ru

Адрес издания в сети интернет: <https://pismavavilov.ru/>

При перепечатке материалов ссылка на издание обязательна.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН)
Почтовый адрес учредителя и издателя: проспект Академика Лаврентьева, 10, Новосибирск, 630090
Почтовый адрес редакции: проспект Академика Лаврентьева, 10, Новосибирск, 630090
Телефон редакции: (383) 363 4963, доб. 5316
✉ Электронный адрес редакции: pismavavilov@bionet.nsc.ru

Выпуск подготовлен информационно-издательским отделом ИЦиГ СО РАН.

Дата публикации: 25.09.2023