



БЮЛЛЕТЕНЬ ВИР VIR BULLETIN

Выпуск 243

Issue 243

2024

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



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

СЕТЕВОЕ ИЗДАНИЕ
СЕТЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

БЮЛЛЕТЕНЬ ВИР

2024, выпуск 243

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1956 Г.
ИЗДАНИЕ ВОЗОБНОВЛЕНО В 2024 Г.
ПЕРИОДИЧНОСТЬ: 4 ВЫПУСКА В ГОД

*Журнал ориентируется на научное сообщество
в области биологии и сельского хозяйства,
включая научных сотрудников, профессорско-
преподавательский состав, соискателей ученых
степеней и др.*

<https://vir-bulletin.ru/>

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

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

ONLINE EDITION
SCIENTIFIC ONLINE JOURNAL

VIR BULLETIN

2024, issue 243

THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1956.
ITS PUBLICATION WAS RESTARTED IN 2024.
PUBLICATION FREQUENCY: 4 ISSUES A YEAR

*The journal is addressed to the scientific and
academic community specializing in biology and
agriculture, including researchers, lecturers,
doctoral students, etc.*

<https://vir-bulletin.ru/>

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

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

На обложке:

здание ВИР, Исаакиевская площадь, г. Санкт-Петербург
Фото: Е.А. Чарушина-Капустина, оформление обложки, 2024

Cover photo:

VIR's building, St. Isaac's Square, St. Petersburg
Photo: E.A. Charushina-Kapustina, cover design, 2024

Бюллетень ВИР
2024 ВЫПУСК 243
<https://vir-bulletin.ru/>
Сетевое издание
Сетевой научный журнал

Основан в 1956 г.
Издание возобновлено в 2024 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)»
Адрес учредителя: Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

Журнал «Бюллетень ВИР» / «VIR Bulletin»

Главный редактор:

И.Г. Лоскутов – д-р биол. наук, проф. (Россия)

Помощник главного редактора

А.А. Гнутиков (Россия)

Заместители главного редактора:

Ю.В. Ухатова – канд. биол. наук (Россия)

И.Г. Чухина – канд. биол. наук (Россия)

Ответственный секретарь:

Л.Ю. Шипилина – канд. биол. наук (Россия)

Помощник секретаря

Т.В. Семилет (Россия)

Редакционная коллегия:

И.Н. Анисимова – д-р биол. наук (Россия)
О.Ю. Антонова – канд. биол. наук (Россия)
А.М. Артемьева – д-р с.-х. наук (Россия)
Л.В. Багмет – канд. биол. наук (Россия)
Г.А. Баталова – акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф. (Россия)
Б.А. Баташева – д-р биол. наук (Россия)
Н.Б. Брач – д-р биол. наук (Россия)
М.О. Бурылева – канд. биол. наук (Россия)
М.А. Вишнякова – д-р биол. наук, проф. (Россия)
В.А. Волынкин – д-р с.-х. наук, проф. (Россия)
Т.А. Гавриленко – д-р биол. наук (Россия)
В.А. Гаврилова – д-р биол. наук (Россия)
Д.В. Гельтман – д-р биол. наук (Россия)
Т.В. Герасимова – канд. с.-х. наук (Россия)
В.М. Горина – д-р с.-х. наук (Россия)
В.И. Дорофеев – д-р биол. наук, проф. (Россия)
Е.В. Думачева – д-р биол. наук (Россия)
А.Г. Елацкова – канд. с.-х. наук (Россия)
В.Г. Еремин – проф. РАН, д-р с.-х. наук (Россия)
Г.В. Еремин – акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф. (Россия)
Н.М. Зотеева – д-р биол. наук (Россия)
Е.В. Зуев – канд. с.-х. наук (Россия)
Е.Т. Ильницкая – канд. биол. наук (Россия)
И.А. Кибкало – канд. с.-х. наук (Россия)
О.А. Ковалева – канд. биол. наук (Россия)
Н.Н. Коваленко – д-р биол. наук (Россия)
М.А. Колесова – канд. биол. наук (Россия)
А.В. Конарев – д-р биол. наук, проф. (Россия)
А.В. Кочетов – акад. РАН, проф. РАН, д-р биол. наук (Россия)

Е.А. Крылова – канд. биол. наук (Россия)
В.В. Лиховской – д-р с.-х. наук, проф. (Россия)
А.С. Лыжин – канд. с.-х. наук (Россия)
Л.Л. Малышев – канд. с.-х. наук (Россия)
С.Г. Монахос – проф. РАН, д-р с.-х. наук (Россия)
Л.Ю. Новикова – д-р с.-х. наук (Россия)
Е.А. Пороховинова – д-р биол. наук (Россия)
О.Н. Пышная – д-р с.-х. наук (Россия)
Е.Е. Радченко – д-р биол. наук (Россия)
Р.С. Рахмангулов – канд. биол. наук (Россия)
Е.В. Рогозина – д-р биол. наук (Россия)
А.В. Родионов – д-р биол. наук, проф. (Россия)
И.В. Сеферова – канд. биол. наук (Россия)
М.М. Силантьева – д-р биол. наук, проф. (Россия)
Д.В. Соколова – канд. биол. наук (Россия)
Е.А. Соколова – д-р биол. наук (Россия)
И.В. Соколова – канд. биол. наук (Россия)
И.И. Супрун – канд. биол. наук (Россия)
И.В. Татанов (Россия)
Н.Г. Тихонова – канд. биол. наук (Россия)
О.А. Тихонова – канд. с.-х. наук (Россия)
И.А. Тихонович – акад. РАН, д-р биол. наук, проф. (Россия)
К.Г. Ткаченко – д-р биол. наук (Россия)
Г.И. Филипенко – канд. с.-х. наук (Россия)
Э.Б. Хатевов – д-р биол. наук, проф. (Россия)
Е.К. Хлесткина – проф. РАН, д-р биол. наук (Россия)
В.А. Чувиллина – канд. с.-х. наук (Россия)
Н.А. Швачко – канд. биол. наук (Россия)
Т.В. Шеленга – канд. биол. наук (Россия)
А.И. Шмаков – д-р биол. наук, проф. (Россия)
О.Ю. Шоева – канд. биол. наук (Россия)

© Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 2024

VIR Bulletin
2024 ISSUE 243
<https://vir-bulletin.ru/>
Online edition
Scientific Journal Online
The journal was founded in 1956.
Its publication was restarted in 2024.

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

VIR Bulletin

Editor-in-Chief

Igor' G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Assistant Editor-in-Chief
Alexander A. Gnutikov, Russia

Deputy Editors-in-Chief:

Irena G. Chukhina, Cand. Sci. (Biology), Russia
Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Russia

Executive Secretary:

Lilia Yu. Shipilina, Cand. Sci. (Biology), Russia
Assistant Secretary
Tatyana V. Semilet, Russia

Editorial Board:

Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Olga Yu. Antonova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Anna M. Artemyeva, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Larisa V. Bagmet, Cand. Sci. (Biology), Russia
Galina A. Batalova, Full Member (Academician) of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Russia
Bellokhan A. Batasheva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Russia
Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Russia
Vera A. Chuvilina, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Vladimir I. Dorofeev, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Elena V. Dumacheva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Anna G. Elatskova, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Gennady V. Eremin, Full Member (Academician) of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Russia
Viktor G. Eremin, Professor of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Galina I. Filipenko, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Vera A. Gavrilova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Dmitry V. Geltman, Dr. Sci. (Biology), Russia
Tatyana V. Gerasimova, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Valentina M. Gorina, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Elena T. Ilnitskaya, Cand. Sci. (Biology), Russia
Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Elena K. Khlestkina, Professor of the RAS, Dr. Sci. (Biology), Russia
Ilya A. Kibkalo, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Alexey V. Kochetov, Full Member (Academician) of the RAS, Professor of the RAS, Dr. Sci. (Biology), Russia
Maria A. Kolesova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Alexey V. Konarev, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Natalia N. Kovalenko, Dr. Sci. (Biology), Russia

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Russia
Ekaterina A. Krylova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Vladimir V. Likhovskoy, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Russia
Alexander S. Lyzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Sokrat G. Monakhos, Professor of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Lubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Elizaveta A. Porokhovina, Dr. Sci. (Biology), Russia
Olga N. Pyshnaya, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Ruslan S. Rakhmangulov, Cand. Sci. (Biology), Russia
Aleksandr V. Rodionov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Elena V. Rogozina, Dr. Sci. (Biology), Russia
Irina V. Seferova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Tatyana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Russia
Alexander I. Shmakov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Olesya Yu. Shoeva, Cand. Sci. (Biology), Russia
Natalia A. Shvachko, Cand. Sci. (Biology), Russia
Marina M. Silantyeva, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Elena A. Sokolova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Irina V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Ivan I. Suprun, Cand. Sci. (Biology), Russia
Ivan V. Tatanov, Russia
Nadezhda G. Tikhonova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Ol'ga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Igor' A. Tikhonovich, Full Member (Academician) of the RAS, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Kirill G. Tkachenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Professor, Russia
Vladimir A. Volynkin, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Russia
Nadezhda M. Zoteeva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Russia

© Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Лоскутов И.Г., Чухина И.Г., Ухатова Ю.В.
От редакционной коллегии

ОТ УЧРЕДИТЕЛЯ И ИЗДАТЕЛЯ

Хлесткина Е.К.
От учредителя и издателя

Хроника издания

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Лоскутов И.Г.
Обзорная статья
Систематический сбор, комплексное изучение, надежное сохранение и устойчивое использования генетических ресурсов зерновых культур: 130-летний опыт ВИР

Новикова Л.Ю.
Обзорная статья
Роль статистики в изучении разнообразия коллекции генетических ресурсов растений ВИР

Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А.
Обзорная статья
Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья

Филипенко Г.И.
Обзорная статья
Низкотемпературное хранение семян. Становление метода и его роль в сохранении генетических ресурсов растений

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Брач Н.Б.
Научная статья
Видовое разнообразие и хозяйственное значение рода *Linum* L.

5

6

9

11

21

30

50

57

CONTENTS

FROM THE EDITORIAL BOARD

Loskutov I.G., Chukhina I.G., Ukhatova Yu.V.
From the editorial board

FROM THE FOUNDER AND PUBLISHER

Khlestkina E.K.
From the founder and publisher

Chronicle of the publication

REVIEW ARTICLES

Loskutov I.G.
Review article
Systematic collection, comprehensive study, safe conservation, and sustainable use of grain crop genetic resources: 130 years of experience at VIR

Novikova L.Yu.
Review article
The role of statistics in studying the diversity of the collection of plant genetic resources at VIR

Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhovinova E.A.
Review article
Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials

Filipenko G.I.
Review article
Low-temperature storage of seeds. Establishment of the method and its role in plant genetic resources conservation

ORIGINAL ARTICLES

Brutch N.B.
Original article
Species diversity and economic importance of the genus *Linum* L.

СОДЕРЖАНИЕ

Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В.
Научная статья

Характеристика образцов коллекции
льна-долгунца ВИР, включенных
в национальный каталог Российской
Федерации по происхождению

Тихонова О.А.
Научная статья

Генофонд черной смородины Федерального
исследовательского центра Всероссийского
института генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Харченко А.А., Чухина И.Г.
Научная статья

Fragaria L. в коллекции ВИР

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Агаханов М.М., Кислин Е.Н.
Краткое сообщение

Культура винограда (*Vitis* L.)
в коллекции ВИР

**Нижников А.А., Хлесткина Е.К.,
Кочетов А.В.**
Краткое сообщение

К 90-летию почетного члена ВОГиС
академика РАН Сергея Васильевича
Шестакова

CONTENTS

Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V.
Original article

Characterization of fiber flax accessions from
the VIR collection, included in the Russian
national catalogue according to their origin

Tikhonova O.A.
Original article

The gene pool of black currant preserved at
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant
Genetic Resources (VIR)

Kharchenko A.A., Chukhina I.G.
Original article

Fragaria L. in the VIR collection

BRIEF COMMUNICATIONS

Agakhanov M.M., Kislin E.N.
Brief communication

Cultivated grapevine (*Vitis* L.)
in the VIR collection

Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., Kochetov A.V.
Brief communication

On the 90th anniversary of academician
Sergei Vasilievich Shestakov, full member
Russian Academy of Sciences and honorary
member of the Vavilov Society of Geneticists
and Breeders.

62

74

85

94

103



Лоскутов И.Г., главный редактор, д-р биол. наук, профессор



Чухина И.Г., заместитель главного редактора, канд. биол. наук



Ухатова Ю.В., заместитель главного редактора, канд. биол. наук

Уважаемые читатели!

Приветствуем Вас от редакционной коллегии сетевого издания (научного журнала) «Бюллетень ВИР» («*VIR Bulletin*»)!

Возрождение в новом формате одного из старейших изданий, ведущего свое начало с середины XX века, – не просто верность традициям, чем так славится Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Это еще и ответ на сегодняшние вызовы, связанные с необходимостью прорывного развития отечественной селекции и, как следствие, с повышением эффективности изучения и использования образцов особо ценных генетических ресурсов.

Журнал «Бюллетень ВИР» («*VIR Bulletin*») – это рецензируемое научное периодическое издание открытого доступа, не имеющее печатной формы, в котором публикуются оригинальные результаты исследований, обзорные статьи, протоколы и методы в сфере создания, формирования, сохранения, изучения и использования коллекций генетических ресурсов на основе современных знаний и методов систематики, генетики, селекции и биотехнологии.

Цель журнала – обеспечение российским и зарубежным ученым, специалистам возможности оперативно публиковать результаты научных исследований при условии качественного рецензирования рукописей по основным предметным областям: биологические ресурсы, ботаника, генетика, селекция.

В настоящем выпуске журнала мы представляем научные статьи по видовому разнообразию, сбору, комплексному изучению, сохранению и использованию генетических ресурсов зерновых, прядильных, технических, плодовых, ягодных культур и винограда, применению статистических методов в изучении разнообразия коллекции генетических ресурсов растений ВИР.

*Главный редактор,
д-р биол. наук, проф. Игорь Градиславович Лоскутов
Заместители главного редактора:
канд. биол. наук Ирина Георгиевна Чухина,
канд. биол. наук Юлия Васильевна Ухатова*



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед Вами сетевое издание – научный журнал «Бюллетень ВИР». В таком новом сетевом формате это первый выпуск, но самому журналу уже почти 70 лет. Появление первого сетевого выпуска связано не только с преобразованием издания, но и с возобновлением его выхода после почти двадцатилетнего перерыва. С чем связана актуальность возрождения одного из старейших изданий ВИР?

Учредитель и издатель «Бюллетеня ВИР» – Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) – ведет активную издательскую деятельность с начала прошлого века. В этой деятельности (в том числе в названиях периодических изданий), как в зеркале, отражается история развития самого института. Правопредшественник ВИР – Бюро по прикладной ботанике – было создано в 1894 году при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской Империи. С реорганизацией в планомерно работающее научное учреждение Бюро приступило выпуску периодического научного издания «Труды Бюро по прикладной ботани-

ке» (с 1908 г.), которое затем выпускалось как «Труды по прикладной ботанике и селекции» (с 1918 г.). После преобразования Бюро в Институт прикладной ботаники и новых культур (1924) и создания в нем отдела генетики (1925) издание стало называться «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» (с 1927 г.).

В 1930 году Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур был переименован во Всесоюзный институт растениеводства (ВИР). Основными задачами учреждения оставались мобилизация мировых генетических ресурсов растений (как исходного материала селекции), обстоятельное и всестороннее их изучение для создания новых форм хозяйственно ценных растений. Тем не менее общий тренд более тесной связи науки и практики, повлиявший на изменение названия института, не мог не подействовать и на публикационную деятельность учреждения и послужил импульсом к созданию через некоторое время еще одного издания. В 1956 году институт стал издавать «Бюллетень Всесоюзного института растениеводства». В отличие от «Трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции» в новом издании помещались работы в кратком изложении. Оба издания уделяли внимание работам, отличающимся новизной и практической ценностью, однако новое издание имело более практико-ориентированную направленность. Значительное место в нем отводилось «новинкам интродукции» и «новинкам селекции». Редакция журнала позиционировала этот раздел как связующее звено между ВИР и селекционерами страны, ВИР и сельскохозяйственным производством.

В 2014 году Институт получил статус Федерального исследовательского центра и одновременно в его названии впервые появилось сочетание «генетические ресурсы растений», что наиболее точно отражало направление деятельности учреждения (с момента его основания и по сей день). При неизменных главных

задачах института подходы к сохранению, изучению и использованию генетических ресурсов растений постоянно совершенствуются. Начиная с 1990-х годов огромную роль в развитии этих методов стала играть биотехнология. В институте было создано профильное научное подразделение (с 1983 г., ныне, с 2009 г. – отдел биотехнологии), а затем учрежден журнал «Биотехнология и селекция растений» (2018). Одновременно, в связи с активным развитием в современном международном пространстве деятельности в сфере номенклатуры культурных растений, был учрежден и журнал «Vavilovia».

К тому моменту издание выпусков «Научно-информационного бюллетеня Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова» (такое название в 2003 году носил прежний «Бюллетень Всесоюзного института растениеводства») по разным причинам прервалось. За этот период вышло более 3000 публикаций. Многие из опубликованных результатов были не просто практико-ориентированными, но адресно нацеленными на дальнейшее применение в селекции разных культур в конкретных регионах страны. Наступившая пауза в издании научно-информационного бюллетеня отражает не столько изменение трендов деятельности самого института, сколько доминирующую на тот момент тенденцию на рынке АПК импорта в нашу страну семян и селекционных достижений из-за рубежа, вызвавшую спад востребованности производителем семян отечественных сортов, угнетение развития отечественной селекции и спроса на необходимые для нее научные знания и растительный материал.

С 2022 года, однако, ситуация в стране кардинально поменялась. Появились беспрецедентные меры поддержки отечественной селекции и семеноводства. Научные знания и исходный материал для селекции стали востребованы не только со стороны государствен-

ных селекционных учреждений, но и развивающихся наукоемких компаний в сфере АПК. Указами Президента Российской Федерации поставлены задачи по достижению технологического лидерства и определены связанные с этим перечни критических и сквозных технологий. Уделяется внимание развитию всех регионов Российской Федерации, особый акцент при этом делается на развитии районов Крайнего Севера. Деятельность ВИР, который сегодня имеет 15 филиалов от самого юга страны до Заполярья, от Северо-Запада до Дальнего Востока (в том числе 6 филиалов в районах Крайнего Севера и приравненных к ним), при сохранении высокого мирового уровня фундаментальных исследований однозначно характеризуется в части практического внедрения своей регионоориентированностью и отвечает сегодняшним потребностям АПК, который (хочется надеяться) стоит на пороге социально и экологически ориентированной рыночной экономики.

В этом контексте потребность в оперативном опубликовании новых результатов для разных культур, адресно ориентированных на селекцию в разных регионах нашей страны, как никогда актуальна. Однако на решение возобновить выпуски «Бюллетеня Всесоюзного института растениеводства» (ныне – «Бюллетень ВИР») повлияли не только описанные выше тренды. В 2022 году Указом Президента Российской Федерации № 44 «О Национальном центре генетических ресурсов растений» на базе ВИР создан первый в стране национальный биоресурсный центр, в 2024 году созданы еще три национальных биоресурсных центра другого профиля и принят Федеральный закон 428-ФЗ от 30.11.2024 «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях...». С появлением новых задач и переходом освещения деятельности коллекций генетических ресурсов растений на новый уровень возрос спрос к оперативно публикуемой науч-

но-технической информации о результатах этой деятельности для использования в научно-исследовательской, научно-образовательной и научно-технической сфере.

Таким образом, в конце 2024 года Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) принял решение выпуском 243 возобновить издание «Бюллетень Всесоюзного института растениеводства» в современном формате: сетевое издание научный журнал «Бюллетень ВИР» / «VIR Bulletin» (приказ № 302 от 25.11.2024); 4 выпуска в год; языки: русский, английский.

В состав редакционной коллегии вошли ведущие ученые, представители головного института в Санкт-Петербурге и филиальной

сети ВИР из различных регионов России, что говорит о достаточно широком охвате и вовлечении в деятельность журнала отечественной научной общественности. Главный редактор – доктор биологических наук, профессор, лауреат премии Н.И. Вавилова за выдающиеся научные и научно-технические достижения в области аграрных наук и продовольственной безопасности Санкт-Петербургского отделения РАН (2024) Игорь Градиславович Лоскутов.

От лица ВИР желаю редакционной коллегии успешно справиться с задачей развития возрожденного периодического издания, привлечь широкую заинтересованную читательскую аудиторию и вместе с авторами и читателями внести свой вклад в научное обеспечение технологического лидерства нашей страны!

*Директор ВИР,
д-р биол. наук, профессор РАН,
Елена Константиновна Хлесткина*



Переименования и статистика выпусков журнала

«Бюллетень Всесоюзного института растениеводства», № 1 (1956) – 11 (1962);

«Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина института растениеводства имени Н.И. Вавилова», вып. 12 (1968) – 38 (1974);

«Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина на научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова» (на обл. загл.: «Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина института растениеводства им. Н.И. Вавилова»), вып. 39 (1974) – 48 (1975);

«Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина и ордена Дружбы народов научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова» (на обл. загл., вып. 49–119: «Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина и ордена Дружбы народов института растениеводства им. Н.И. Вавилова»), вып. 49 (1975) – 126 (1982);

«Научно-технический бюллетень Всесоюзного ордена Ленина и ордена Дружбы народов научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», вып. 127 (1983) – 217 (1992);

«Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», вып. 218 (1992) – 220 (1992), 224 (1992) – 230 (1993), 232 (1993) – 233 (1994), 237 (1999);

«Научно-технический бюллетень Научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова» (на обл. загл.: «Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института»), вып. 231 (1993);

«Научно-технический бюллетень Всероссийского института растениеводства имени

Н.И. Вавилова» (на обл. загл., вып. 223: «Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института»), вып. 221 (1992) – 223 (1992), 234 (1995);

«Научно-информационный бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», вып. 239 (2000) – 242 (2003);

«Бюллетень ВИР», вып. 243 (2024) –.

Англоязычная версия

Англоязычное название журнала «Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry» и названия научных статей на английском языке были приведены не во всех выпусках до 2003 г. Начиная с выпуска 243 (2024) англоязычное название журнала – «VIR Bulletin».

Главные редакторы

Первым главным редактором журнала «Бюллетень Всесоюзного института растениеводства» стал академик ВАСХНИЛ, доктор биологических и сельскохозяйственных наук, профессор П. М. Жуковский (1956–1961), далее пост главного редактора занимали: член-корреспондент ВАСХНИЛ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор И. А. Сизов (1962); академик ВАСХНИЛ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Д. Д. Брежнев (1968–1978); академик ВАСХНИЛ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор В. Ф. Дорофеев (1979–1986); член-корреспондент ВАСХНИЛ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Я. С. Нестеров (1987–1995); академик РАН, академик РАСХН, доктор биологических наук, профессор В. А. Драгавцев (1998–2003); доктор биологических наук, профессор И. Г. Лоскутов (2024–).



Жуковский
Петр
Михайлович



Сизов
Иван
Александрович



Брежнев
Дмитрий
Данилович



Дорофеев
Владимир
Филимонович



Нестеров
Яков
Степанович



Драгавцев
Виктор
Александрович



Лоскутов
Игорь
Градиславович

Члены редакционной коллегии (1956–2003)

В разные годы членами редколлегии были известные ученые в области биологических и сельскохозяйственных наук: С. М. Букасов, П. Г. Чесноков, И. А. Сизов, Т. Н. Шевчук, К. З. Будин, А. Я. Камераз, В. Г. Конарев, В. В. Никитин, И. Д. Романов, Т. Я. Зарубайло, В. Л. Витковский, З. Д. Артюгина, Н. И. Корсаков, В. И. Кривченко, А. Я. Трофимовская, Г. В. Удовенко, Г. Е. Шмараев, И. И. Пугачев, Э. Т. Мещеров, Н. П. Чувашина, А. И. Иванов, В. Д. Кобылянский, Е. В. Мажоров, Г. В. Боос, Г. Г. Давидян, А. Г. Зыкин, А. И. Коровин, О. Н. Коровина, В. Г. Кукеков, А. Ф. Мережко, Л. И. Орел, Р. А. Удачин, М. Ш. Фраер, Н. П. Ярош, Б. Н. Малиновский, М. Г. Агаев, Э. А. Барашкова, О. Д. Быков, И. П. Гаврилюк, В. А. Зайцев, В. И. Комаров, В. А. Корнеев, Н. К. Лемешев, И. Г. Одинцова, Л. В. Сазонова, А. В. Конарев, М. А. Вишнякова, Е. И. Гаевская, Э. А. Гончарова, Н. И. Дзюбенко, И. Г. Лоскутов, Л. А. Лутова, Г. И. Разоренов, В. И. Буренин, О. П. Митрофанова.

Члены редакционной коллегии (с 2024 г.)

В 2024 г. членами редколлегии стали ведущие ученые в области биологических и сельскохозяйственных наук России: Г. А. Баталова, Г. В. Еремин, А. В. Кочетов, И. А. Тихонович, Е. А. Хлесткина, И. Н. Анисимова, Б. А. Баташева, Н. Б. Брач, М. А. Вишнякова, В. А. Волынкин, Т. А. Гавриленко, В. А. Гаврилова, Д. В. Гельтман,

В. М. Горина, В. И. Дорофеев, Е. В. Думачева, В. Г. Еремин, Н. М. Зотеева, Н. Н. Коваленко, В. В. Лиховской, И. Г. Лоскутов (главный редактор), С. Г. Монахос, Л. Ю. Новикова, Е. А. Пороховинова, О. Н. Пышная, Е. Е. Радченко, Е. В. Рогозина, А. В. Родионов, М. М. Силантьева, Е. А. Соколова, К. Г. Ткаченко, Э. Б. Хатефов, А. И. Шмаков, О. Ю. Антонова, М. А. Артемьева, Л. В. Багмет, М. О. Бурляева, Т. В. Герасимова, А. Г. Елацкова, Е. В. Зуев, Е. Т. Ильницкая, И. А. Кибкало, О. А. Ковалева, М. А. Колесова, Е. А. Крылова, А. С. Лыжин, Л. Л. Малышев, Р. С. Рахмангулов, И. В. Сеферова, Д. И. Соколова, И. В. Соколова, И. И. Супрун, Н. Г. Тихонова, О. А. Тихонова, Ю. В. Ухатова (заместитель главного редактора), Г. И. Филипенко, В. А. Чувилина, И. Г. Чухина (заместитель главного редактора), Н. А. Швачко, Т. В. Шеленга, О. Ю. Шоева, Л. Ю. Шипилина (ответственный секретарь), И. В. Татанов, А. А. Гнутиков (помощник главного редактора), Т. В. Семилет (помощник секретаря).

Индексация

С 1956 по 2003 г. издано 242 выпуска журнала, включающие свыше 3000 научных статей. На сайте <https://elibrary.ru/> (<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=53691>) представлены выпуски с 1970 по 2003 г. (всего 156 выпусков, 473 статьи сотрудников ВИР, имеющих профиль автора в SCIENCE INDEX).

Сайт сетевого издания с 2024 года: <https://vir-bulletin.ru/>



Систематический сбор, комплексное изучение, надежное сохранение и устойчивое использования генетических ресурсов зерновых культур: 130-летний опыт ВИР

И. Г. Лоскутов^{1,2}

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

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Игорь Градиславович Лоскутов, i.loskutov@vir.nw.ru

Бюро по прикладной ботанике было организовано в 1894 г. при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи. В 1900 г. с приходом в Бюро Р. Э. Регеля начинаются сборы и изучение российского разнообразия сортов ячменя, а с 1905 г., когда он становится заведующим Бюро, эта деятельность приобретает систематический характер. В 1920 г. с приходом в Отдел прикладной ботаники Н. И. Вавилова все задачи этого учреждения были поставлены на более высокий уровень. Он организует знаменитые экспедиционные обследования на пяти континентах мира, значительно расширяет сеть опытных станций и опорных пунктов для изучения и размножения собранного материала и готовит основу для их использования в селекционной практике. Все работы приобретают систематический характер по единообразным методическим подходам. Все сборы и комплексное изучение собранного материала подкреплены теоретическими разработками Н. И. Вавилова, которые публикуются в монографиях, сборниках статей и советских и зарубежных журналах. Основная цель этих исследований во Всесоюзном институте растениеводства была направлена на выведение и внедрение новых продуктивных сортов сельскохозяйственных культур, которые, по данным Н. И. Вавилова, занимали в СССР посевные площади свыше 2 млн га.

Идеи Н. И. Вавилова, его теоретические концепции и деятельность ВИР в 1950-е, 1960-е и 1970-е годы сыграли важную роль в организации и развитии генетических банков Европы, а также в деятельности ФАО, IPGRI и других международных организаций. В дальнейшем по маршрутам, намеченным Вавиловым, следовали не только советские, но и многочисленные зарубежные экспедиции с целью сбора исходного материала для селекции. С 1946 по 2023 г. специалисты ВИР провели более 1000 экспедиций в различные регионы СССР, СНГ и России и более 120 экспедиций на пяти континентах мира с целью сбора генетического разнообразия. Весь собранный материал всесторонне изучался и рассылался на опытные станции ВИР.

Сотрудники ВИР приняли активное участие в создании Международных классификаторов стран членов СЭВ по многим сельскохозяйственным культурам, которые были положены в основу создания Multicrop Descriptor Lists по различным культурам под руководством IPGRI. Гарантированному сохранению мировой коллекции ВИР всегда уделялось большое внимание, и в 1976 г. на Кубанской опытной станции ВИР было построено хранилище семян с тремя подземными этажами. В настоящее время институт располагает хранилищами различного типа: +4°C, -10°C, -20°C и криогенное хранение.

На сегодняшний день в мировой коллекции ВИР сохраняется более 320 000 образцов культурных растений и их диких родичей, относящихся к более чем 2500 разновидностям, более 21 690 видам, 376 родам и 64 семействам. Гербарная коллекция ВИР насчитывает более 250 000 гербарных листов, собранных в различных регионах России и странах мира.

Процесс контролируемого сохранения коллекционных образцов в мире имеет непродолжительную историю, которая составляет не более 70 лет. В настоящее время многие исследователи задаются вопросом: изменяется ли генетически семенной образец коллекции, хранящийся в генном банке с течением времени? В мире насчитывается 2000 генных банков, в которых хранится свыше 7,4 млн образцов генетических ресурсов растений, более 16 500 видов, и около двух миллионов образцов (27%) считаются уникальными.

Работа генных банков на национальном и международном уровне связана с адекватностью финансирования и другими факторами, которые часто влияют на сохранность конкретных образцов коллекции. Кроме того, на образец коллекции при длительном хранении воздействуют внутренние генетические (эволюционные) факторы, которые необходимо учитывать в работе каждого генного банка. Образец, попадая в генный банк, должен быть размножен, и уже на этом этапе размноженные семена могут иметь измененные генетические профили по сравнению с исходным образцом (оригиналом), так как на него могут воздействовать четыре эволюционные фактора: отбор, мутация, генетический дрейф и поток генов, действующий в различных условиях хранения генного банка.

ВИР надежно сохраняет идентичность образцов коллекции на основе морфологических (внутривидовых систематических) признаков, которые были и остаются базовым инструментом в работе отделов генетических ресурсов растений. В то же время учет влияния эволюционных (генетических) факторов в работе генбанка позволит улучшить разработку эффективных рабочих процедур и будет способствовать долгосрочному сохранению коллекционных образцов. Проблемы искусственного отбора, точечных мутаций, генетического дрейфа и потока генов у различных видов растений, вероятно, должны стать центральными при эффективном сохранении уникальных образцов мировой коллекции ВИР.

В настоящее время деятельность ВИР как Национального центра генетических ресурсов растений и развитие законодательной базы по этому вопросу позволяют эффективно отвечать на новые вызовы по систематическому сбору, комплексному изучению, надежному сохранению и устойчивому использованию генетических ресурсов растений в Российской Федерации.

Ключевые слова: Н.И. Вавилов, культурные растения, дикие родичи, Бюро по прикладной ботанике, Национальный центр генетических ресурсов растений

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

Для цитирования: Лоскутов И.Г. Систематический сбор, комплексное изучение, надежное сохранение и устойчивое использования генетических ресурсов зерновых культур: 130-летний опыт ВИР. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):11-20.

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

© Лоскутов И.Г., 2024

REVIEW ARTICLES

Review article

Systematic collection, comprehensive study, safe conservation, and sustainable use of grain crop genetic resources: 130 years of experience at VIR

Igor G. Loskutov^{1, 2}

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Igor G. Loskutov, i.loskutov@vir.nw.ru

The Bureau of Applied Botany was organized in 1894 under the Scientific Committee of the Ministry of Agriculture and State Property of the Russian Empire. In 1900, with R. E. Regel joining the Bureau, collections and evaluation of the Russian diversity of barley varieties began, and in 1905, when Regel was elected Head of the Bureau, this activity acquires a systematic character. In 1920, when N. I. Vavilov came to work at the Department of Applied Botany, all its activities were raised to a higher level. He organized famous explorations on five continents, significantly expanded the network of experiment stations and experiment sites for the evaluation and regeneration of the collected material, and set up a basis for the use of this material in breeding practice. All the work acquired a systematic character and employed uniform methodological approaches. All collection activities and evaluation of the collected material were supported by the development of Vavilov's concepts published in monographs, collections of articles, and Soviet and foreign journals. The main goal of the work carried out at the All-Union Institute of Plant Industry was aimed at breeding new productive varieties of agricultural crops, which, according to Vavilov, occupied over 2 mln ha of crop areas in the USSR.

In the 1950s, 1960s and 1970s, Vavilov's ideas, his theoretical concepts and the activities of VIR played an important role in the organization and development of genebanks in Europe, as well as in the activities of FAO, IPGRI and other international organizations. Subsequently, not only Soviet, but also numerous foreign collecting missions followed the routes outlined by Vavilov to collect the initial material for breeding. From 1946 to 2023, VIR specialists conducted more than 1,000 collecting missions to various parts of the USSR, CIS, and Russia, and over 120 ones across five continents of the world to collect genetic diversity. All the collected material was comprehensively evaluated and propagated in the network of VIR experiment stations.

VIR took an active part in the creation of International Descriptors of COMECON countries for many agricultural crops, which formed the basis for the creation of the Multicrop Descriptor Lists under the guidance of IPGRI. Great attention has always been paid to the safe preservation of the VIR global collection, therefore a seed storage facility with three underground floors of storage space was built in 1976 at the Kuban Experiment Station of VIR. Currently, the Institute employs facilities for seed storage at +4°C, -10°C, and -20°C, as well as a cryogenic storage facility. Today, the VIR global collection contains more than 320,000 accessions of cultivated plants and their wild relatives, belonging to more than 2,500 botanical varieties, more than 2,1690 species, 376 genera, and 64 families. The VIR herbarium collection contains over 250,000 herbarium sheets collected in various regions of Russia and countries of the world.

The history of controlled preservation of collection accessions in the world numbers no more than 70 years. Currently, many researchers are curious whether plant germplasm accessions preserved in a genebank change genetically over time. There are 2,000 genebanks in the world that preserve over 7.4 million accessions of plant germplasm of more than 16,500 species, and about two million accessions (27%) are considered unique. The work of genebanks at the national and international level is influenced by the adequacy of funding and other external factors that often affect the safety of specific accessions of the collection. In addition, an accession under the long-term storage is affected by internal genetic (evolutionary) factors that must be taken into account in the work of a genebank. An accession entering the genebank should be regenerated and multiplied, and already at this stage the accession can have an altered genetic profile compared to that of the initial (original) specimen, since it can be affected by four evolutionary factors: selection, mutation, genetic drift and gene flow, acting in different preservation conditions of a genebank.

VIR reliably preserves the identity of collection accessions based on morphological (intraspecific systematic) features, which were and remain the

basic tool in the work of the plant genetic resources departments. At the same time, taking into account the impact of evolutionary (genetic) factors in genebank operations will improve the development of effective working procedures and will benefit the long-term conservation of collection accessions. The problems of artificial selection, point mutations, genetic drift and gene flow in different plant species are likely to become central to the effective conservation of the unique accessions of the VIR global collection. At present, the activities of VIR as the National Center for Plant Genetic Resources, and the development of related legislative framework in Russia facilitate finding an effective solution to new challenges in the spheres of systematic collection, comprehensive evaluation, safe conservation, and sustainable use of plant genetic resources in the Russian Federation at a new level.

Keywords: N.I. Vavilov, cultivated plants, wild relatives, Bureau of Applied Botany, National Center for Plant Genetic Resources

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

For citation: Loskutov I.G. Systematic collection, comprehensive study, safe conservation, and sustainable use of grain crop genetic resources: 130 years of experience at VIR. *VIR Bulletin*. 2024;(243):11-20. (In Russ.).

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

© Loskutov I.G., 2024

Исторические предпосылки

Бюро по прикладной ботанике было организовано в 1894 г. при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи. В начальный период своей деятельности Бюро имело, в основном, чисто информационные функции и размещалось только в личных кабинетах первых заведующих (А. Ф. Баталина, А. А. Фишер фон Вальдгейма и И. П. Бородина). В 1900 г., с приходом в Бюро Р. Э. Регеля, начинаются сборы и изучение российского разнообразия сортов ячменя и некоторых зерновых культур, а с 1905 г., когда он становится заведующим Бюро по прикладной ботанике, эта деятельность приобретает систематический характер с использованием географического принципа сбора и изучения растительного материала. Он изучает собранную им коллекцию российского ячменя на полях своего имения на Кавказе, а с 1907 г. — и на других станциях Бюро, используя единую методику (Loskutov, 1999).

С приходом в Бюро К. А. Фляксбергера осуществилась мечта Р. Э. Регеля об издании «Трудов Бюро по прикладной ботанике», которые начали выходить вместе с приложениями с 1908 г. по 12 номеров в год (Sokolova, Kotelkina, 2018). Кроме исследовательских материалов, что очень важно, «Труды» помещали много методических статей по изучению культурных растений. В первом томе «Трудов Бюро по прикладной ботанике» (1908) были опубликованы «Правила для производства однообразных посевов хлебных злаков при сравнительно-ботанических исследованиях» (Rules..., 1908) и обращения к хозяевам о сборе и присылке образцов пшеницы, полбы и сорных растений (Regel, 1908a, 1908b). В Приложении № 1 к этому тому была опубликована статья А. И. Мальцева «Изучение возделываемых растений, как основа развития отраслей сельского хозяйства» (Malzev, 1908).

В 1911 году на I Съезде деятелей по селекции сельскохозяйственных растений в Харькове Р. Э. Регель делает доклад, посвященный результатам изменчивости растений в зависимости от географии посева, которые были организованы на филиальных отделениях и вспомогательных участках Бюро. Доклад Р. Э. Регеля произвел большое впечатление на слушателей и на молодого, принимавшего участие в работе съезда Н. И. Вавилова, где произошло их знакомство.

При участии Р. Э. Регеля в Государственную Думу был внесен закон «О насаждении сельскохозяйственных опытных учреждений», который с доработками и уточнениями утверждается и высочайше подписывается в 1912 г. Этот закон предписывал всем областным учреждениям государственной опытной сети создавать селекционные отделы. На основании этого к 1915 г. в России открылось 12 специализированных селекционных станций, еще 30 опытных станций и полей имели отделы селекции или занимались селекцией различных культур (Loskutov, 2009).

Еще до переезда из Саратова в Петроград, в конце 1920 г., Н. И. Вавилов в письме Г. С. Зайцеву формулирует свои задачи по реорганизации Отдела прикладной ботаники и селекции и говорит, что хотел бы сделать Отдел нужным учреждением, возможно полезным для всех. Собрать со всего Света сортовой материал, привести в порядок, сделать из Отдела хранилище всех богатств культур, флоры, наладить издание «*Flora culta*», ботанико-географического изучения всех сельскохозяйственных растений (Vavilov, 1980).

В 1923 г. в письме Д. Н. Бородину Н. И. Вавилов пишет: «С нынешнего года, наконец, удалось Отдел прикладной ботаники привести в веру православную. Восемь лет он существовал, в сущности, как гербарное учреждение. Все огромные материалы, которые скопились,

потеряли всхожесть...

В нынешнем году огромные материалы высеяны в Туркестане, Воронеже и других пунктах. Всего до 45 тысяч образцов во всех пунктах от Мурмана до Туркестана и от Литвы до Иркутска. Много не вошло... но, во всяком случае, долг чести – все что есть, иметь в живом виде и гербарное учреждение превратить в большое опытное учреждение с филиалами по всей территории. Нынешний год, в сущности, первый год нормального развертывания посевов» (Vavilov, 1994, с. 83).

С этого времени весь собранный коллекционный материал сотрудники начинают систематически комплексно изучать и размножать по единым методическим указаниям на станциях, принадлежащих Отделу, а именно: на Степной опытной станции в Воронежской губернии, на Московском отделении, на Туркестанском отделении при Ташкентском государственном университете, на Северо-Двинском отделении и на Мурманском отделении.

В одном из своих писем в 1923 г. Н. И. Вавилов пишет о первых успехах организации сети станций: «В 1921 году была открыта большая Центральная станция в Детском Селе под названием «Центральная станция прикладной ботаники и селекции», в настоящее время имеющая свой опытный участок, свои постройки и оборудование и являющаяся крупнейшим селекционным учреждением всей Северной и Северо-Западной области» (Vavilov, 1980, с. 144). Эта станция с момента своего образования имела следующие отделения: Воронежское, Восточно-Сибирское, Московское, Новгородское, Саратовское, Северо-Двинское и Туркестанское.

Все подразделения, которые ранее занимались сбором и изучением отдельных культур, объединяются в Отдел полевых культур – это отделения хлебных злаков, бобовых, масличных, прядильных и луговых культур и сорных, огородных и садовых растений. Кроме того, в управление отделом была передана сеть из 55 пунктов для проведения географических опытов в различных регионах Советского Союза.

С приходом в Отдел прикладной ботаники Н. И. Вавилова все задачи этого учреждения были поставлены на более высокий уровень. Он организует знаменитые экспедиционные обследования на пяти континентах мира, значительно расширяет географическую сеть опытных станций и опорных пунктов для комплексного изучения и размножения собранного материала, и готовит основу для их устойчивого использования в селекционной практике. Все работы приобретают систематический характер по единообразным методическим подходам. Все сборы и изучение собранного материала подкреплены его теоретическими разработками, которые публикуются в монографиях, сборниках статей, в советских и зарубежных журналах.

В предисловии своей незаконченной книги «Пять континентов» Н.И. Вавилов пишет: «Американский опыт интродукции дает много поучительного, но совершенно ясно, что в нем отсутствовала одна основная идея,

которая неизбежно должна быть главенствующей в такого рода изысканиях, – идея ботанической географии, идея эволюции растительного мира, последовательности этапов, изменчивости в пространстве и во времени, свойственной культурным и диким растениям. Соответственно в план наших экспедиций и путешествий было положено учение о происхождении культурных растений, об их эволюции; соответственно разрабатывались маршруты и проводились сборы.

Сравнение работ в США и СССР свидетельствует, что удачной эклектике американских исследований противостоит систематическое ботаническое изучение нами очагов начального видообразования и дальнейших этапов расселения культурных растений» (Vavilov, 1987, с. 13).

Для реализации своих идей Николай Иванович заботливо подбирал сотрудников, а потом столь же заботливо следил за их ростом. Он очень широко и смело приглашал ведущих ученых для организации в институте новых лабораторий и отделов. Имена Р. И. Аболина, В. Г. Александрова, И. А. Веселовского, П. М. Жуковского, Н. Н. Иванова, М. И. Княгиничева, Г. А. Левитского, Н. А. Максимова, В. В. Пашкевича, В. И. Разумова, Г. Т. Селянинова, Г. Д. Карпеченко, К. М. Чинго-Чингаса и многих других золотыми буквами вписаны в летопись института и Пушкинских лабораторий ВИР.

С осени 1923 г. институт осуществляет географические посевы с целью изучения эколого-географических закономерностей онтогенеза важнейших культурных растений с использованием постоянных, временных опытных станций и опорных пунктов в контрастных условиях. Основы такого изучения были заложены в Бюро по прикладной ботанике во времена Р. Э. Регеля. Первоначально эти опыты проводились лишь в 25 пунктах (Loskutov, 2009).

В письме к Г. С. Зайцеву в 1923 г. Н. И. Вавилов пишет: «Отдел прикладной ботаники и селекции Сельскохозяйственного ученого комитета с текущего года организует систематические исследования изменчивости сортов возделываемых растений в различных областях Европейской и Азиатской России.

Для обширной территории Европейской и Азиатской России вопрос о морфологических и физиологических изменениях, претерпеваемых одними и теми же сортами в различных областях, различных условиях, имеет огромное значение» (Vavilov, 1980, с. 102).

В 1924 г. Н. И. Вавиловым была развернута огромная сеть государственного испытания новых и интродуцированных сортов в СССР, по географическому принципу, что позволяло дополнять данные географических опытов. С этой целью по инициативе Н. И. Вавилова был создан Отдел сортоиспытания. Результаты первой серии географических опытов были доложены Н.И. Вавиловым в 1927 г. на заседании Научного совета Международного сельскохозяйственного института в Риме (Италия). В своем докладе «О предварительных результатах географических опытов в СССР» Н. И. Вавилов сообщил, что руководимый им институт приступил к выявлению зако-

нов индивидуальной географической изменчивости, т. е. изменчивости одних и тех же генотипов в зависимости от различных географических факторов (Vavilov, 1927). После доклада было принято решение о необходимости проведения географических опытов с главнейшими хлебными злаками в международном масштабе на основе методов Н. И. Вавилова (Loskutov, 2009).

Начиная с 1927 г. изучение ведется в 115 пунктах. Начиная с 1932 г. Н.И. Вавилов приступает ко второй, более масштабной серии географических опытов, для чего внутри Института было создано специальное Бюро географии культурных растений. В изучение были включены, кроме полевых и овощных культур, также клубнеплоды, корнеплоды, ягодные и плодовые культуры.

«Следующим этапом, к которому мы уже фактически приступили по ряду культур, является селекционное освоение исходного материала путем разработки учения о подборе пар применительно к различным условиям, как посредством внутривидовой, так и отдаленной гибридизации. Современное развитие генетики, чрезвычайно расширяющее селекционное освоение исходного материала включительно до отдельных видов, и физиологические исследования нашего времени, дают новые перспективы» (Vavilov, 1965, с. 685).

Н. И. Вавилов отметил и проведенную институтом растениеводства большую практическую работу по выведению и внедрению новых сортов сельскохозяйственных культур. *«Самим Институтом при помощи его станций введено в производство 254 сорта, половина из которых приходится на плодовые и ягодные культуры. В эту цифру не входят 63 сорта, введенных в широкую культуру путем производственной интродукции по рекомендации Института и на основе его опытных данных. Помимо этого, уже в настоящее время 52 сорта выведено другими учреждениями из коллекций Института растениеводства. В государственном сортоиспытании находится свыше 200 сортов, многие из которых являются чрезвычайно перспективными. В общей сложности из мировой коллекции выведены сорта, занимающие в настоящее время свыше 2 млн. га...»* (Vavilov, 1965, с. 686).

В развитии научной программы Н. И. Вавилова можно выделить два этапа:

Первый (1917–1929 гг.) – мобилизация и изучение генофонда культурных растений и их диких родичей на земном шаре.

Второй (1929–1940 гг.) – осуществление широкого научного синтеза, построение теоретических основ биологии и практической селекции.

Многолетние исследования генетического потенциала культурных растений и их диких родичей, работы по систематике и внутривидовой классификации культурных растений и выделению исходного материала для селекции обобщались сотрудниками института в томах «Культурной флоры СССР», начавшей выходить по инициативе Н. И. Вавилова в 1930-е годы, и в отдельных монографиях по различным культурам (Loskutov, 2009).

Теоретические и методологические исследования, проводимые Н. И. Вавиловым и его сотрудниками, не были забыты и позволили установить совершенно новые факты, радикально изменившие представление о происхождении и разнообразии важнейших культур. Впоследствии его соратниками и коллегами были получены новые данные, подтверждающие и расширяющие представления о центрах происхождения культурных растений.

С 1952 г. в институте возобновляются и географические посеы. Эти исследования проводились под непосредственным руководством академика П. М. Жуковского. В начале для проведения третьей серии опытов были взяты только яровые культуры, а с началом четвертой – в 1957 г. – и расширенный состав различных озимых культур. Результаты третьей серии исследований внесли некоторые существенные дополнения и уточнения в данные предыдущих серий, в том, что касалось изменчивости качественного состава белка и масла.

В четвертой серии наряду с морфологическими и биологическими признаками, в первую очередь, изучались фракционный и аминокислотный состав белка и показатели преломления масла. На основе этих данных с 1958 г. начинают издаваться тома второго дополненного издания «Биохимии культурных растений» (Biochemistry..., 1958; 1961).

С конца 1950-х годов институт расширяет свою деятельность, и с этого времени в систему ВИР входят: Устиновская опытная станция в Полтаве (Украина, 1954 г.), Московское отделение в г. Михнево (Московская обл., 1957 г.), Екатерининская опытная станция (Тамбовская обл., 1957 г.), Крымская опытно-селекционная станция в г. Крымск (Краснодарский край, 1958 г.), Волгоградская опытная станция в Волгограде (1958 г.), Астраханская опытная станция в Астрахани (1966 г.). Они наравне с Майкопской (г. Майкоп), Кубанской (ст. Кавказская), Дагестанской (г. Дербент), Дальневосточной (г. Владивосток), Крымской помологической (г. Севастополь (Украинская ССР, в настоящее время РФ), Приаральской (г. Челкар, Казахская ССР), Туркменской (г. Кара-Кала, Туркменская ССР) станциями и Среднеазиатским филиалом ВИР (г. Ташкент, Узбекская ССР) стали базовыми для поддержания образцов коллекции и изучения генофонда растений.

Идеи Н. И. Вавилова, его теоретические концепции и деятельность ВИР в 1950-е, 1960-е и 1970-е годы сыграли важную роль в организации и развитии генетических банков Европы, а также в деятельности ФАО, CGIAR, IPGRI и других международных организаций.

Впоследствии не только советские и российские, но и многочисленные зарубежные экспедиции отправлялись по маршрутам, намеченным им для сбора исходного материала для селекции. Известно, например, что ученые США за 50 лет провели 101 экспедицию, из них 75 – в указанные Вавиловым центры. Растениеводы Австралии в 1967–1976 гг. организовали 59 экспедиций, из них 45 – в центры происхождения.

Специалисты ВИР, продолжая традиции Н. И. Вави-

лова, с 1946 по 2023 г. провели более 1000 экспедиций в различные уголки СССР и СНГ и более 120 экспедиций по пяти континентам мира для сбора местного, селекционного и генетического материала и образцов диких родичей культурных растений. Весь этот материал комплексно изучался и размножался в сети опытных станций ВИР по единой методике (Loskutov, 2009).

Важнейшей частью международной деятельности ВИР в 1960–1980-е гг. была организация и проведение работ по систематическому сбору, комплексному изучению и эффективному использованию генетических ресурсов растений в рамках Совета экономической взаимопомощи (СЭВ), который объединял СССР, социалистические страны Восточной Европы и Монголию.

При этом, большое внимание уделялось разработке унифицированной документации для облегчения обмена и накопления информации по различным вопросам, связанным с генетическими ресурсами растений. На основе классификаторов признаков, разработанных в ВИР, начиная с 1973 г. были созданы международные классификаторы для изучения большинства сельскохозяйственных культур. В 1973 г. был выпущен первый подобный «Международный классификатор рода *Triticum* L.» В дальнейшем этот и другие классификаторы были использованы МИГРП (IPGRI) при подготовке классификаторов (Descriptor Lists) по различным культурам. В результате многолетнего сотрудничества было опубликовано 42 международных классификатора по основным сельскохозяйственным культурам. Итогом такой программы сотрудничества стало создание и становление национальных программ Восточноевропейских стран; создание в середине 1980-х гг. генетических банков растений длительного хранения в Болгарии, Польше, Чехословакии, ГДР с вавиловской концепцией мобилизации и изучения растительных ресурсов, проведения сбора и сохранения генетических ресурсов растений, главным образом местного растительного разнообразия, для его изучения и дальнейшего использования в национальных селекционных программах (Aleksanyan, 2002).

Таким образом, эта комплексная программа по сбору, сохранению и изучению генетических ресурсов растений, объединившая усилия многочисленных научных учреждений и специалистов шести стран, внесла большой вклад в теорию и практику сельскохозяйственного производства стран восточной Европы.

По примеру созданного Н. И. Вавиловым в 1920-е годы отделения Отдела прикладной ботаники и селекции в США, в 1970-е годы ВИР при поддержке ВАСХНИЛ были организованы зарубежные опорные пункты в Мексике – Селайский опорный пункт ВИР и опорный пункт в окрестностях г. Акапулько как новый и эффективный путь привлечения эндемичных видов важнейших сельскохозяйственных культур в генофонд ВИР. В январе 1983 г. был открыт опорный пункт во Вьетнаме – Северный пункт при НИИСХ СРВ в г. Ханое, а в сентябре 1983 г. – Южный пункт в г. Хошимине. Для своей научной деятельности оба пункта были полностью снабжены всем необходимым оборудованием и материалами, доставленными из СССР.

На обоих пунктах научные исследования по изучению образцов из коллекции ВИР и местного материала проводили совместные коллективы советских и вьетнамских специалистов (Loskutov, 2009).

ВИР плодотворно сотрудничал с Международным институтом генетических ресурсов растений (IPGRI) с 1980 г. в рамках программы «Сбор, сохранение и оценка мировых генетических ресурсов с целью их использования в селекции». На основании этой программы сотрудники института активно участвовали в 16 рабочих группах (*Allium*, *Avena*, *Barley*, *Beta*, *Brassica*, *Cucurbits*, *Fibre Crops* (Flax and Hemp), *Forages*, *Grain Legumes*, *Leafy Vegetables*, *Malus/Pyrus*, *Potato*, *Prunus*, *Solanaceae*, *Umbellifer Crops*, *Wheat Working Groups*) ЕКПГР – Европейской кооперативной программы по генетическим ресурсам.

Для сохранения уникальной коллекции, начиная с 1946 г. в ВИР были заложены опыты по длительному хранению образцов различных культур в контролируемых условиях. Полученные результаты позволили найти оптимальные сроки, температуру и условия хранения образцов коллекции в виде подсушенных семян, помещенных в герметичную тару.

Система низкотемпературного хранения (+5...+7°C) генетических ресурсов растений начала создаваться в ВИР в середине 1950-х гг., в 1969 г. это хранилище было реконструировано и усовершенствовано. Для этого были выделены специальные помещения в институте, где до конца 1980-х гг. сохранялся значительный объем коллекции ВИР. Гарантированному сохранению мировой коллекции ВИР всегда уделялось большое внимание, и в 1976 г. на Кубанской опытной станции ВИР было построено хранилище семян с тремя подземными этажами.

Драматические изменения, произошедшие в Советском Союзе в начале 90-х годов XX века, непосредственно повлияли на деятельность института. Хотя ответственность ВИР за сохранение коллекции оставалась та же, но методы и подходы, требуемые для ее выполнения, должны были полностью измениться. С распадом СССР ВИР потерял ряд опытных станций, на которых размножался и изучался материал мировой коллекции. Не поступали средства на приобретение техники и оборудования для института и опытных станций, слабо финансировались работы по размножению коллекций и научные исследования института. К чести большинства научных сотрудников и обслуживающего персонала института и опытных станций, они остались верны своему делу, прилагая максимум усилий для сохранения и должного изучения, заложенного Н.И. Вавиловым и его соратниками, мирового генофонда ВИР (Loskutov, 2009).

Современное состояние

С начала нового века разработка научных основ систематики растений в связи с проблемами прикладной ботаники, таксономии, интродукции, селекции, растениеводства позволили привлечь в коллекцию ВИР ценный генофонд культурных растений и их диких родичей для

использования в качестве исходного материала при создании качественно новых сортов. На сегодняшний день мировая коллекция ВИР насчитывает более 320 000 образцов культурных растений и их диких родичей, относящихся к более 2500 разновидностям более 21 690 видам 376 родам и 64 семействам. Коллекция гербария ВИР содержит более 250 000 гербарных листов, собранных в различных регионах России и континентах мира.

В настоящее время в хранилищах Кубанского генетического банка семян – филиала ВИР при низких положительных (+4,5°C) и отрицательных температурах (–5,0°C и –20,0°C) хранится 336 396 единиц хранения образцов семян различных сельскохозяйственных культур, в том числе из других научных учреждений – около 17 000 образцов. На начало 2024 г. в низкотемпературных *ex situ* хранилищах ВИР в Санкт-Петербурге находится 438 951 образец семян коллекции генетических ресурсов растений ВИР, информация о которых внесена в базу данных хранящегося материала: на среднесрочном хранении – 308 481 образец, на длительном – 130 470 образцов.

На хранение в контролируемых условиях *in vitro* по современным технологиям отделом биотехнологии ВИР было переведено 1134 образца, в том числе 1081 образец вегетативно размножаемых культур умеренного климата, из них: 656 образцов картофеля, 21 образец луковых, 348 образцов ягодных и плодовых культур и 53 образца декоративных культур (Loskutov, 2024).

В 2004 г. в Генбанке ВИР было установлено криогенное оборудование, что позволило начать работы по криоконсервации (Filipenko, 2007). Здесь в настоящее время сохраняются в парах жидкого азота 1880 образцов пыльцы, 1130 образцов черенков различных плодовых культур и винограда, а также 409 образцов апикальных меристем, из них картофеля 384 образца, малины – 21 образец, 3 образца белой смородины и 1 образец черной смородины.

Географический принцип хранения образцов на станциях ВИР остается главенствующим со времен Н.И. Вавилова. Все образцы, в основном больших коллекций по зерновым культурам, на основе агроэкологической классификации Н.И. Вавилова с учетом климатических аналогов распределяются по дублетным коллекциям на станции института для комплексного изучения, гарантированного размножения и надежного сохранения. Совмещение долгосрочного хранения в Кубанском генном банке и краткосрочного хранения в рабочих и дублетных коллекциях на опытных станциях и в рабочих коллекциях в самом институте позволяет комплексно и наиболее надежно сохранять образцы. Кроме того, в основе работы с коллекциями института лежит тщательно разработанная (до уровня разновидностей) ботаническая классификация каждого рода и вида. При гарантированном сохранении этого разнообразия большое внимание уделяется паспортной информации каждого поступающего образца, особенно истинному месту его географического происхождения, правильно-му (оригинальному) его названию и номеру организа-

ции донора, что важно для своевременного выявления дублетов коллекции (Loskutov, 2024).

В период с 2007 по 2023 г. по настоящее время по результатам комплексной оценки более 100 000 образцов зерновых, зерновых бобовых, масличных, плодово-ягодных, овощных культур по важнейшим хозяйственно ценным и биохимическим признакам качества выделено более 6700 источников для различных направлений селекции. На жестких инфекционных фонах изучено более 26 000 образцов различных культур по устойчивости к болезням и вредителям. Выделено более 970 источников высокой устойчивости. Исследована эффективность источников устойчивости различных культур к популяциям вредных организмов – возбудителей листовой ржавчины, темно-бурой листовой пятнистости и фузариоза колоса пшеницы, ячменя и овса; сетчатой пятнистости, пыльной и каменной головни ячменя; коккомикоза вишни; обыкновенной злаковой тли на сорго. Проведен скрининг более 5250 образцов генофонда культурных растений на устойчивость к абиотическим факторам среды, выделено более 500 источников ценных физиологических признаков (слабая ФПЧ и скороспелость, толерантность к избытку подвижного алюминия, холодо- и засухоустойчивость). Таким образом, только за последние 5 лет (с 2019 по 2023 г.) в ВИР выделены 6820 источников хозяйственно ценных признаков и созданы 19 доноров ценных генов. С 2013 года ВИР зарегистрировал почти 130 патентов. Все выделенные и созданные генетические источники и доноры рассылаются в ведущие селекционные учреждения РФ. За этот же период на основе источников и доноров ВИР в селекционных и НИУ создано и допущено к использованию в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации 203 новых сорта большинства сельскохозяйственных культур. Сотрудники ВИР создали 98 сортов экономически значимых культур, включенных в Госреестр селекционных достижений РФ, получили 47 патентов и 102 авторских свидетельства на сорта (Loskutov, 2024).

Процесс контролируемого сохранения коллекционных образцов в мире насчитывает непродолжительную историю, которая составляет не более 70 лет. В настоящее время многие исследователи задаются вопросом: **Изменяется ли генетически семенной образец коллекции, хранящийся в генном банке с течением времени?** (Fu, 2024).

В настоящее время 2000 генных банков по всему миру хранят более 7,4 миллионов образцов зародышевой плазмы более 16 500 видов растений, и около двух миллионов (27%) из них считаются уникальными (FAO, 2010; Engels, Ebert, 2024).

Генный банк требует адекватного финансирования для персонала, инфраструктуры для систем информационных технологий (ИТ) и прикладных исследований для разработки технологий для улучшения его работы. Так, бюджет Национальной системы зародышевой плазмы растений США в 54,5 млн долларов США увеличился в 2023 г. на 16,2% по сравнению с 1994 г., а число образцов коллекции в тоже время увеличилось на

39,1% (с 445 879 образцов в 1994 г. до 620 254 образцов в 2024 г.) (Fu, 2024).

Опросы ФАО показали, что 37% обследованных генных банков при недостатке финансирования сообщили об отставании в размножении материала в 2010 г. (FAO, 2010), при том, что только 5,7% указанных коллекций были восстановлены в 2014 г., а еще 137 000 образцов нуждались в срочном размножении (FAO, 2016). Аналогичным образом, обширные отставания были недавно определены как самая серьезная операционная проблема и для Американского генного банка.

Данные по сохранению семенных коллекций из семи генных банков Международной консультативной группы по сельскохозяйственным исследованиям (CGIAR) (Hay et al., 2021) выявили несколько проблем по мониторингу жизнеспособности семян, включая неадекватную систему управления информацией с ошибками и потерей данных, неадекватные процедуры тестирования жизнеспособности с недостаточным количеством зарегистрированных данных и другие проблемы (Fu, 2024).

Работа генных банков на национальном и международном уровне связана с адекватностью финансирования и другими внешними факторами, которые часто влияют на сохранность конкретных образцов коллекции. В настоящее время были определены 10 наиболее критических уязвимостей генных банков семян растений по всему миру. К ним относятся: 1) недофинансирование генных банков; 2) отставание в сроках размножения и потеря генетической целостности образца; 3) ослабление политической поддержки генных банков; 4) отсутствие адекватных методов описания и изучения (фенотипирование и генотипирование) образцов; 5) обновление информационных систем генбанка; 6) неполный охват разнообразия (по культурным и диким (родичам) видам) и недостаточный объем генного банка; 7) ухудшение поддержки генного банка со стороны заинтересованных сторон; 8) несбалансированная поддержка исследований; 9) отсутствие профессиональной подготовки в области сохранения зародышевой плазмы; 10) прекращение деятельности генного банка – это реальность (Fu, 2017).

Кроме того, на образец коллекции при длительном хранении воздействуют внутренние генетические (эволюционные) факторы, которые необходимо учитывать в работе каждого генного банка. Образец, попадая в генный банк, должен быть размножен и уже на этом этапе размноженные семена могут иметь измененные генетические профили по сравнению с исходным образцом (оригиналом), так как на него могут воздействовать четыре эволюционных фактора: отбор, мутация, генетический дрейф и поток генов, действующие в различных условиях хранения генного банка. Уникальной особенностью сохраняемого образца является среда, в которой он сохраняется: низкотемпературные условия длительного хранения и полевая или естественная среда для размножения образцов. Эти среды могут отличаться от тех, что существовали при произрастании естественной популяции растений, но четыре эволюционных фактора все еще могут воздействовать на образец с разной

силой и направленностью на разных этапах сохранения (Fu, 2024).

И поэтому учет воздействия эволюционных (генетических) факторов в операциях генного банка улучшит разработку эффективных рабочих процедур и принесет пользу для долгосрочного сохранения образцов коллекции. В настоящее время проблемы искусственного отбора, точечных мутаций, генетического дрейфа и потока генов у различных видов растений, вероятно, должны стать центральными при эффективном сохранении уникальных образцов мировой коллекции ВИР.

На основе многолетних традиций ВИР надежно сохраняет идентичность образцов коллекции на основе морфологических (внутривидовых систематических) признаков, которые были и остаются базовым инструментом в работе отделов генетических ресурсов растений. Для устойчивого и эффективного использования генетических ресурсов ВИР проводит традиционное комплексное изучение всего разнообразия культурных видов и их диких родичей (Loskutov et al., 2024). Для разностороннего статистического анализа результатов наблюдений, полученных при оценке образцов, хранящихся в коллекциях ГРР, используются методические пособия, где представлены наиболее известные статистические методы, используемые при анализе данных по изучению фенотипического разнообразия коллекций генетических ресурсов растений (Novikova, 2024).

Институт за последние 5 лет существенно активизировал комплексные исследования коллекции ВИР за счет реализации крупных научно-исследовательских программ, в том числе с привлечением в программы, координируемые ВИР, учреждений-партнеров, а также за счет участия ВИР в консорциумах (Loskutov et al., 2024).

В тоже время, в 2022 г. вышли два Указа Президента Российской Федерации, одним из которых на базе ВИР был создан Национальный центр генетических ресурсов растений, а вторым – Межведомственная комиссия по вопросам формирования, сохранения и использования коллекций генетических ресурсов растений (Khlestkina, 2022). В 2023 г. распоряжением Правительства РФ была утверждена Программа развития Национального центра генетических ресурсов растений на 2023–2030 гг., которая предусматривает формирование условий для развития научной и научно-технической деятельности в сфере генетических ресурсов растений, необходимых для обеспечения научно-технологического развития Российской Федерации и комплексного решения задач ускоренного развития генетических технологий. В настоящее время Национальный центр действует на основе закона «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях», который в 2024 г. был подписан Президентом Российской Федерации.

Мировая коллекция ВИР, которая начиналась как Российская коллекция культурных растений, выросла в одну из самых систематически собранных, комплексно изученных и представительных коллекций по генетическим ресурсам растений в мире. В ВИР работы, связанные с долговременным хранением образцов коллекции

разных культур, проводятся на протяжении длительного времени. В настоящее время деятельность ВИР как Национального центра генетических ресурсов растений и развитие законодательной базы по этому вопросу позволяют эффективно отвечать на новые вызовы по систематическому сбору, комплексному изучению, надежному сохранению и устойчивому использованию генетических ресурсов растений в Российской Федерации.

References / Литература

- Aleksanyan S.M. Agrobiodiversity and Geopolitics (Agrobioraznoobrazie i geopolitika). St. Petersburg: VIR; 2002. [in Russian] (Алексанян С.М. Агробιοразнообразие и геополитика. Санкт-Петербург: ВИР; 2002).
- Biochemistry of cultivated plants. Grain and cereal crops (Biokhimiya kul'turnykh rastenii. Khlebnye i krupyanye kul'tury). Vol. 1. 2nd ed. Moscow; Leningrad; 1958. [in Russian] (Биохимия культурных растений. Зерновые и крупяные культуры. Т. 1. 2 изд. Москва; Ленинград; 1958).
- Biochemistry of cultivated plants. Vegetable crops (Biokhimiya kul'turnykh rastenii. Ovoshchnye kul'tury). Vol. 2. 2nd ed. Moscow; Leningrad; 1961. [in Russian] (Биохимия культурных растений. Овощные культуры. Т. 2. 2 изд. Москва; Ленинград; 1961).
- Engels J.M.M., Ebert A.W. How can we strengthen the global genetic resources' conservation and use system? *Plants*. 2024;13:702. DOI: [10.3390/plants13050702](https://doi.org/10.3390/plants13050702)
- FAO (2010). The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources (Rome, Italy: FAO). Available from: <https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/seeds-pgr/sow/sow2/en/> [accessed December 12, 2024].
- FAO (2016). Assessment of the implementation of the Second Global Plan of Action for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture 2012-2014. Executive summary. Available from: <http://www.fao.org/3/a-mr796e.pdf> [accessed December 12, 2024].
- Filipenko G.I. Development of the system of low-temperature storage and cryopreservation of the plant genetic resources at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:263-272. [in Russian] (Филипенко Г.И. Развитие системы низкотемпературного хранения и криоконсервации генофонда растений в ВИР имени Н.И. Вавилова. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:263-272).
- Fu Y.B. The Vulnerability of Plant Genetic Resources Conserved Ex Situ. *Crop Science*. 2017;57:2314-2328. DOI: [10.2135/cropsci2017.01.0014](https://doi.org/10.2135/cropsci2017.01.0014)
- Fu Y.B. Will a plant germplasm accession conserved in a genebank change genetically over time? *Frontiers Plant Science*. 2024;15:1437541. DOI: [10.3389/fpls.2024.1437541](https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1437541)
- Hay F.R., Whitehouse K.J., Ellis R.H., Sackville Hamilton N.R., Lusty C., Ndjonjop M.N., et al. CGIAR genebank viability data reveal inconsistencies in seed collection management. *Global Food Security*. 2021;30:100557. DOI: [10.1016/j.gfs.2021.100557](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100557)
- Khlestkina E.K. Genetic resources of Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):9-30. [in Russian] (Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):9-30). DOI: [10.30901/2227-8834-2022-1-9-30](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30)
- Loskutov I.G. Vavilov and his Institute. A history of the world collection of plant resources in Russia. Italy, Rome: IPGRI; 1999.
- Loskutov I.G. History of the world collection of plant genetic resources in Russia. St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировых коллекций генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Loskutov I.G. History of the world collection of plant genetic resources in Russia. 2nd revised and enlarged edition. St. Petersburg: VIR. [preprint] 2024. (in press) [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировых коллекций генетических ресурсов растений в России. 2-е издание, исправленное и дополненное издание. Санкт-Петербург: ВИР). [в печати] 2024.
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V., Safonova I.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley, oats and rye. 5th ed., supplemented and revised. St. Petersburg: VIR; 2024. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В., Сафонова И.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя, овса и ржи. 5-е изд., доп. и перераб. Санкт-Петербург: ВИР; 2024).
- Loskutov I.G., Ukhatoeva Y.V., Khlestkina E.K. VIR: from a small Bureau in the Russian Empire to the present-day National Center for Plant Genetic Resources. *Genetic Resources*. [preprint] 2024. DOI: [10.46265/genresj.EVEF5522](https://doi.org/10.46265/genresj.EVEF5522)
- Malzev A.I. The study of cultivated plants as a basis for the development of agriculture sectors (Izuchenie vozdel'yvaemykh rasteniy kak osnova razvitiya otrasley selskogo khozyaystva). *Bulletin des Bureau für angewandte Botanik*. 1908; Suppl. 1:1-78. [in Russian] (Мальцев А.И. Изучение возделываемых растений как основа развития отраслей сельского хозяйства. *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1908; Прил. 1:1-78).
- Novikova L.Y. Methods for statistical processing of phenotypic data in plant genetic resources collections. St. Petersburg: VIR; 2024. [in Russian] (Новикова Л.Ю. Методы статистической обработки фенотипических данных коллекций генетических ресурсов растений. Санкт-Петербург: ВИР; 2024).
- Regel R.E. Appeal to owners to collect and send wheat and spelt samples (Obrashcheniye k khozyayevam o sbore i prisylke obraztsov pshenits i polb). *Bulletin des Bureau für angewandte Botanik*. 1908a;1(3-4):138. [in Russian] (Регель Р.Э. Обращение к хозяевам о сборе и присылке образцов пшеницы и полбы. *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1908a;1(3-4):138).
- Regel R.E. Appeal to owners to collect and send materials on weeds (Obrashcheniye k khozyayevam o sbore i prisylke materialov po sornym rasteniyam). *Bulletin des Bureau für angewandte Botanik*. 1908b;1(3-4):139-140. [in Russian] (Обращение к хозяевам о сборе и присылке материалов по сорным растениям. *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1908b;1(3-4):139-140).
- Rules for the production of uniform crops of cereals in comparative botanical studies. (Pravila dlya proizvodstva odnoobraznykh posevov zlakov pri sravnitel'no-botanicheskikh issledovaniyakh). *Bulletin des Bureau für angewandte Botanik*. 1908;1(1-2):86-89. [in Russian] (Правила для производства однообразных посевов злаков при сравнительно-ботанических исследованиях. *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1908;1(1-2):86-89).
- Sokolova E.A., Kotelkina I.V. Journal 'Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding': on the 110th anniversary of its foundation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):332-357. [in Russian] (Соколова Е.А., Котелкина Е.В. Журнал «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции»: к 110-летию со дня основания. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):332-357. DOI: [10.30901/2227-8834-2018-3-332-357](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-332-357)
- Vavilov N.I. Five Continents (Pyat' kontinentov). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Пять континентов. Ленинград: Наука; 1987).
- Vavilov N.I. Geographical patterns in the distribution of genes of cultivated plants. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1927;17(3):411-428. [in Russian] (Вавилов Н.И. Географические закономерности в распределении генов культурных растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1927;17(3):411-428).
- Vavilov N.I. Selected Works. Problems of Origin, Geography, Genetics, Plant Breeding, Plant Growing and Agronomy (Izbrannye Trudy. Problemy proiskhozhdeniya, geografii, genetiki, seleksii rasteniy, rasteniyevodstva i agronomii). Vol. 5. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1965. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды. Проблемы происхождения, географии, генетики, селекции растений, растениеводства и агрономии. Т. 5. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1965).
- Vavilov N.I. Scientific Heritage. Vol. 5. From the Epistolary Heritage. 1911-1928 (Nauchnoe nasledstvo. T. 5. Iz epistolyarnogo naslediya. 1911-1928). Moscow: Nauka; 1980. [in Russian] (Вавилов Н.И. Научное наследство. Т. 5. Из эпистолярного наследия. 1911-1928. Москва: Наука; 1980).
- Vavilov N.I. Scientific Heritage in Letters: International Correspondence. Vol. 1. The Petrograd Period. 1921-1927 (Nauchnoe nasledstvo v pis'makh: Mezhdunarodnaya perepiska. T. 1. Petrogradskii period. 1921-1927). Moscow: Nauka; 1994. [in Russian] (Вавилов Н.И. Научное наследство в письмах: Международная переписка. Т. 1. Петроградский период. 1921-1927. Москва: Наука; 1994).

Информация об авторе

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Information about the author

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Acting Head of the Department of Oats, Rye, and Barley Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Professor, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 19.12.2024.

The article was submitted on 02.12.2024; approved after reviewing on 11.12.2024; accepted for publication on 19.12.2024.



Роль статистики в изучении разнообразия коллекции генетических ресурсов растений ВИР

Л. Ю. Новикова

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

Автор, ответственный за переписку: Любовь Юрьевна Новикова, l.novikova@vir.nw.ru

Биологическая статистика начала развиваться синхронно с формированием первых коллекций генетических ресурсов растений (ГРР) в конце XIX – начале XX в. С момента создания коллекции ГРР ВИР в полевых и лабораторных условиях с использованием всего доступного диапазона экспериментальных методов ведется оценка разнообразия генофонда по фенотипическим и генотипическим показателям, выделение образцов с заданным набором характеристик для конкретных задач селекции. Ключевым вопросом параметризации образцов является выбор адекватного задаче метода статистического исследования. Целью данного обзора является сводка типовых статистических задач, возникающих при работе с фенотипическими оценками коллекций ГРР, и соответствующих им методов.

При анализе коллекций ГРР базовым элементом является определение качественных и количественных характеристик образцов. Методы описательной статистики позволяют оценить средние значения и стабильность хозяйственно ценных признаков на основе нескольких лет изучения в одном или нескольких пунктах. Эти показатели сводятся в базы, публикуются в каталогах, постоянно издаваемых ВИР, используются при выделении перспективных образцов для задач селекции.

Часто встает задача сравнения групп образцов разных видов, разного географического происхождения, результатов испытания в разных эколого-географических условиях, жизнеспособности при разных условиях хранения и т. д. Проверка гипотезы о различии нескольких признаков или вариантов опыта по выборочным данным осуществляется с использованием t-критерия Стьюдента, дисперсионного анализа. Активно развиваются современные методы оценки взаимодействия «генотип × среда».

Выявление погодно-климатических факторов, влияющих на хозяйственно ценные признаки образцов, такие как урожайность, крупнозерность, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, показатели качества, установление взаимосвязей этих признаков, которые необходимо учитывать при создании сорта заданной модели, осуществляются методами корреляционно-регрессионного анализа. Начавшееся в 1970-х гг. активное потепление климата вызвало интерес биологов к определению трендов урожайности сортов, использованию методов анализа временных рядов в регрессионном моделировании.

При описании объемной коллекции ГРР, исследовании филогенетических связей, выделении репрезентативной выборки, создании core-коллекций возникает задача структурирования коллекции, выделения групп схожих образцов. Задача классификации решается методами классификации без обучения, в частности кластерного анализа, или с обучением, например дискриминантного анализа.

При анализе образцов ГРР по большому количеству показателей стоит задача выявления наиболее информативных показателей, то есть снижения размерности пространства признаков, которая решается методами анализа главных компонент или факторного анализа с переходом от реальных измеренных переменных к небольшому количеству гипотетических величин, называемых факторами.

Изучение коллекций ГРР все более выходит за рамки классических полевых наблюдений урожайности, для которых в начале XX в. разработали методы биостатистики, основанные на предположении о нормальном характере распределения. В середине XX в. появились непараметрические аналитические методы и ресемплинг-методы имитационного компьютерного моделирования для решения тех же предметных задач.

Развитие компьютеров позволило создать интегрированные дата-платформы, собирающие огромные массивы разноплановых характеристик ГРР, масштабировать сложные многомерные методы, доступные только математикам, на широкий круг исследователей в различных предметных областях. Методы биостатистики, относящиеся к фенотипическим данным, продолжают развиваться, обеспечивая совершенствование оценки потенциала коллекций ГРР и являясь неотъемлемой информационной поддержкой современного геномного анализа.

Ключевые слова: коллекции ГРР, фенотипические характеристики, базы данных, статистические методы

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

Для цитирования: Новикова Л.Ю. Роль статистики в изучении разнообразия коллекции генетических ресурсов растений ВИР. *Бюллетень ВИР.* 2024;(243):21-29.

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

Review article

The role of statistics in studying the diversity of the collection of plant genetic resources at VIR

Liubov Yu. Novikova

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

Corresponding author: Liubov Yu. Novikova, l.novikova@vir.nw.ru

Biostatistics began to develop synchronously with the formation of the first collections of plant genetic resources (PGR) in the late 19th and early 20th centuries. Since the foundation of the PGR collection at VIR, the entire available range of experimental methods was employed in the field and in the laboratory to evaluate its genetic diversity according to phenotypic and genotypic indicators and to select accessions with a given set of characteristics for specific breeding tasks. The key point is to choose a statistical research method that is adequate to the task. The purpose of this review was to summarize typical statistical problems that arise during phenotypic assessments of PGR collections and methods appropriate for their solution.

When analyzing PGR collections, the basic element is to determine qualitative and quantitative characteristics of their accessions. Descriptive statistics methods make it possible to estimate the mean values and stability of economically valuable plant characters on the basis of several years of studying in one or more locations. These indicators are compiled into databases, included into catalogues constantly published by VIR, and used in the selection of accessions promising for breeding tasks.

It is often necessary to compare groups of accessions belonging to different species and having different geographic origin, test results in different ecogeographic environments, viability under various storage conditions, etc. The hypothesis of differences among several plant features or variants of the experiment based on sample data is tested using Student's t-test and the analysis of variance. Modern methods for assessing the genotype $\times$ environment interaction are being actively developed.

The correlation and regression analysis is employed to identify weather and climate factors affecting valuable agronomic characters of accessions, such as yield, grain weight, resistance to biotic and abiotic factors, and quality indicators, and to find interrelationships among such characters that should be taken into account while developing a cultivar according to a given model. The active warming of the climate, which started in the 1970s, aroused the interest of biologists in disclosing crop yield trends and using time series analysis methods in regression modeling.

Those who describe a large PGR collection, examine phylogenetic relationships, select a representative sample, and build up core-collections would face a task of structuring the collection and identifying groups of similar accessions. The classification problem is solved by classification methods either without learning, such as the cluster analysis, or with learning, such as the discriminant analysis.

Analyzing PGR accessions for a large number of indicators requires identification of the most informative indicators, i.e., reducing the dimensions of the character space, accomplished by the principal component analysis or factor analysis techniques with a shift from real measured variables to a small number of hypothetical values, called factors.

The study of PGR collections is increasingly expanding beyond the limits of classical field observations of yield, for which biostatistics methods, based on the assumption of a normal distribution, were developed in the early 20th century. In the middle of the 20th century, nonparametric analytical methods and resampling techniques of computer simulation appeared.

The development of computers made it possible to make integrated data platforms that accumulated huge arrays of diverse PGR characteristics, and extend complex multidimensional methods available only to mathematicians to a wider range of researchers in various disciplines. Biostatistics methods associated with phenotypic data continue to evolve, ensuring improved assessment of the potential of PGR collections and providing integral information support to the modern genomic analysis.

Keywords: PGR collections, phenotypic characteristics, databases, statistical methods

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

For citation: Novikova L.Yu. The role of statistics in studying the diversity of the collection of plant genetic resources at VIR. *VIR Bulletin*. 2024;(243):21-29. (In Russ.).

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

© Novikova L.Yu., 2024

История биостатистики

Коллекции генетических ресурсов растений (ГРР) являются важнейшим ресурсом продовольственной безопасности страны. Эффективное оперативное управление таким сложным живым и динамичным объектом возможно только на основе мониторинга, численной оценки и экспертизы количественных и качественных характеристик образцов. На современном уровне цифровизации это означает интеграцию данных в дата-платформу как можно большей общности, с консолидированными данными различного характера, оборудованную аналитическими надстройками для эффективного анализа, прогнозирования и управления. С момента создания коллекции ГРР ВИР в полевых и лабораторных условиях с использованием всего доступного диапазона современных экспериментальных методов ведется оценка разнообразия генофонда по фенотипическим и генотипическим показателям, выделяются образцы с заданным набором характеристик для конкретных задач региональной селекции.

На современном уровне все численные массовые оценки должны быть выполнены с соблюдением статистических методов оценки значимости сделанных выводов. Ключевым моментом оценки численных данных является выбор адекватного задаче метода статистического исследования. Биостатистика (биологическая статистика) – наука об исследовании биологических объектов методами статистики. Каждый метод имеет свою область применения и свои возможности (Zaitsev, 1973, p. 5).

Многомерный анализ биологических данных начал активно развиваться в конце XIX – начале XX в. (Efimov, Kovaleva, 2008), синхронно с формированием первых коллекций ГРР. Представители математической статистики ставили своей задачей выявление закономерностей явлений на основе наблюдаемых вероятностных величин (Efimova et al., 2007). Началом биостатистики считается 1889 г., когда в книге Ф. Гальтона (1822–1911) появилось слово «*biometry*». Ф. Гальтон заложил основы корреляционного и регрессионного анализа. В 1901 г. при активном участии К. Пирсона (1857–1936) начал издаваться журнал «*Biometrika*». К. Пирсон предложил учение о форме распределения в биологии, коэффициент вариации, коэффициент парной линейной корреляции, критерий χ^2 , метод множественной регрессии, метод главных компонент. В 1908 г. В. Госсет (1876–1936) (под псевдонимом Стьюдент) создал теорию «малой выборки». Р. Фишер (1890–1962) в первой трети XX в. разработал методику планирования эксперимента и дисперсионный анализ. Эти методы легли в основу биостатистики и активно используются при анализе полевых экспериментов до сих пор, покрывая значительную часть потребностей анализа фенотипических данных генотипов. Основу большинства созданных на этом этапе методов составило представление о нормальном распределении исследуемых величин.

К середине XX в. стало ясно, что большое количество характеристик реальных объектов не подчиняется нормальному распределению. Получают развитие робастные методы, то есть нечувствительные к небольшим

отклонениям от нормального распределения (Dubrov et al., 2003), к концу 1940-х гг. приобретают популярность непараметрические методы, пригодные для анализа данных с любой формой распределения (Reznik, 2008).

50-60-е гг. XX века характеризовались развитием компьютерных методов, активно развиваются сложные расчетные процедуры многомерного разведочного анализа, служащие для выявления структуры совокупности объектов и показателей, снижения их размерности, такие как кластерный анализ, метод главных компонент, факторный анализ. Эти методы позволяют сокращать объемы обрабатываемой информации, не теряя при этом сути. Развивается байесовская статистика. Становятся возможными анализ, моделирование и прогнозирование огромных массивов любой информации, в том числе страниц интернета, методами Data Mining – имитационного моделирования, нейронных сетей, размножения выборок (Enslein et al., 1986; Dubrov et al., 2003).

XXI век характеризуется развитием методов биоинформатики (анализ генома, белковой структуры, биологических систем) с использованием инструментария прикладной математики, статистики и информатики.

Обязательным элементом современного биологического исследования является статистическое подтверждение выводов из массовых экспериментальных данных. Однако математическая теория статистических методов сложна для не математиков. С появлением и совершенствованием современных программ обработки данных статистическая обработка поднялась на новый уровень. Теперь исследователь может и не иметь математической подготовки. Практическим решением проблемы статистической обоснованности выводов стало понимание статистической парадигмы и использование апробированных статистических пакетов. Выбор конкретного пакета и метода компьютерного статистического анализа определяется задачей, типом переменных (качественные, количественные), видом распределения переменной (нормальное, отличное от нормального). Статистические программные продукты, которых насчитываются тысячи, делятся на интегрированные пакеты общего назначения (из которых при исследовании коллекций ГРР наиболее часто встречаются пакеты R, Statistica, SPSS, SAS, Statgraphics), методо-ориентированные пакеты (например, только для разведочного анализа, анализа нечисловых данных, как пакет DARwin), предметно-ориентированные пакеты (биомедицинские, сельскохозяйственные, генетические, биоинформационные, агрометеорологические) и обучающие программы. Пакет Statistica хорош огромным количеством реализованных методов, видов графиков, обилием русскоязычной литературы, дружелюбным интерфейсом (Borovikov, 2003, 2013; Vukolov, 2004; Khalafyan, 2010). Статистическая среда R принадлежит к наиболее динамично развивающимся в своем классе, позволяет проводить любой стандартный анализ данных, имеет бесплатную версию.

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) ведет обширный спектр исследований в области генетических ресурсов растений,

что позволяет определить наиболее актуальные задачи и соответствующие им статистические методы (Novikova, 2024). Статистический анализ данных коллекций ГРП имеет ряд особенностей: это возможность поставить активный эксперимент, близость распределения фенотипических характеристик к нормальному. При анализе разнообразия коллекций ГРП можно выделить типовые задачи и определенную последовательность их выполнения.

Целью данного обзора является сводка типовых статистических задач, возникающих при работе с фенотипическими оценками коллекций ГРП, и соответствующих им методов.

Описательная статистика и анализ распределения

При анализе коллекций ГРП базовым элементом является описание качественных и количественных характеристик образцов. Обязательно оцениваются средние значения и стабильность хозяйственно ценных признаков на основе трех или более лет изучения в одном или нескольких пунктах по методическим указаниям ВИР для каждой группы культур. Эти базовые статистики сводятся в базы описательных и оценочных характеристик и затем используются при выделении перспективных образцов для задач селекции, принятии решений о более глубоком изучении генотипов. Обработка первичных данных об исследованном фрагменте коллекции производится методами описательной статистики. Существенным элементом описательной статистики является представление результатов в виде таблиц и графиков.

Первый этап – это визуализация данных. Признаком хорошего статистического качества исследования являются грамотно подобранные компактные графики, позволяющие охватить и осмыслить большие массивы информации (Efimova et al., 2007). Современные статистические пакеты – Statistica, Statgraphics и др., табличный процессор MS Excel – предлагают широкий ассортимент графических подходов. Каждый тип графика предназначен для визуализации определенного типа данных (Efimova et al., 2007; Khalafyan, 2010): линейный график – для представления динамики количественных переменных, связи между количественными переменными; гистограмма – для изображения вариационного ряда как по количественным, так и качественным переменным; секторные диаграммы – для изображения структуры, то есть переменных, представляющих долю или процент целого, дающих в сумме 1 или 100% и т. д. В результате визуализации распределения данных делается вывод об отсутствии/наличии ошибок заполнения базы данных, однородности/неоднородности выборки, корректируется выборка (удаляются явно не принадлежащие ей элементы) или разбивается на несколько однородных выборок в случае выявления неоднородности; делается вывод о визуальной нормальности/отсутствии нормальности распределения количественных переменных.

Следующим этапом (Zaitsev, 1973; Efimova et al., 2007; Khizhnyak, Puchkova, 2019) становится расчет описатель-

ных статистик – точечных и интервальных оценок средних, показателей вариации, вида распределения признаков по образцам, годам, пунктам исследования. Выделяются два типа характеристик вариационного ряда – степенные и структурные (порядковые). Степенные характеристики хорошо описывают вариабельность ряда, близкого к нормальному распределению. Структурные характеристики характеризуют любой вид распределения переменной, измеренной в шкале не ниже порядковой, при любых параметрах распределения, то есть являются непараметрическими. К ним относят такие универсальные характеристики, как минимум, максимум, мода, медиана, квантили и т. д. Если распределение нормально, к нему может быть применен мощный, хорошо разработанный аппарат соответствующих статистических методов; если отличается от нормального, используют, как правило, методы непараметрической статистики. Основой применения таких методов, как дисперсионный, регрессионный, факторный, дискриминантный анализ, является нормальность распределения исследуемой выборки. Хотя все эти методы робастны, то есть хорошо работают и при небольшом отклонении от нормальности, после визуальной проверки однородности выборки приводят численные оценки вероятности гипотезы о нормальности распределения. Критерии согласия предназначены для проверки гипотезы о согласии между анализируемым эмпирическим и теоретическим распределением (Glotov et al., 1982; Eliseeva et al., 2006; Khizhnyak, Puchkova, 2019). Если распределение отлично от нормального, пытаются определить его вид, параметры, преобразовать распределение к нормальному. Нормальность проверяется такими критериями, как Шапиро – Уилка, χ^2 , Колмогорова – Смирнова. Критерии χ^2 и Колмогорова – Смирнова подходят для проверки гипотезы об соответствии формы экспериментального распределения любому теоретическому распределению – нормальному, равномерному, Пуассона и т. д. (Glotov et al., 1982; Dospekhov, 1985; Reznik, 2008).

Описательные и оценочные характеристики образцов фрагментов коллекций, сводки выделяющихся по каким-либо признакам образцов публикуются в каталогах, постоянно издаваемых ВИР.

Сравнение нескольких признаков или вариантов опыта

Если гипотеза о соответствии вида распределения нормальному на заданном уровне значимости может быть принята, переходят к более сложным исследованиям структуры коллекции методами параметрической статистики. Часто встает задача сравнения групп образцов разных видов, разного географического происхождения, результатов испытания в разных эколого-географических условиях, жизнеспособности при разных условиях хранения и т. д. Проверка гипотезы о различии/схождении нескольких признаков или вариантов опыта по выборочным данным осуществляется сравнением средних значений исследуемых выборок (Zaitsev, 1973; Dospekhov, 1985;

Eliseeva et al., 2006; Efimova et al., 2007). Если необходимо доказать различие двух нормально распределенных выборок, наиболее часто используется **t-критерий Стьюдента**. **t-критерий Стьюдента для независимых выборок** показывает, достоверно ли отличие среднего значения признака одной выборки от среднего другой выборки на принятом (как правило, 5-процентном) уровне значимости. **t-критерий Стьюдента для связанных выборок** (Dospekhov, 1985, p. 194–195) используется для анализа различий характеристик выборок до и после некоторого воздействия. Для расчета критерия рассчитывается вспомогательная величина – разница значения признака до и после воздействия для каждого объекта. В случае опыта «до – после» применение критерия для связанных выборок позволяет определить больше достоверных различий, чем использование критерия для независимых выборок, так как значительно уменьшает влияние разнообразия выборки на результат опыта. **t-критерий Стьюдента** не подходит для множественных сравнений, поскольку при каждом последующем сравнении вероятность ошибки множественного сравнения увеличивается, поэтому задачу сравнения более двух выборок решает дисперсионный анализ.

Дисперсионный анализ (Scheffé, 1963; Glotov et al., 1982; Dospekhov, 1985; Eliseeva et al., 2006) является самым востребованным видом статистического анализа при анализе полевого изучения коллекций ГРР. Дисперсионный анализ может быть однофакторным (исследуется влияние одного качественного признака на количественную характеристику, например влияние года на среднюю урожайность коллекции) и многофакторным (исследуется влияние нескольких факторов – года, пункта, сорта). Опыт с числом факторов более трех сложен для осмысления, поэтому, как правило, ограничиваются не более чем трехфакторными планами. Для полноценного многофакторного анализа нужен полный факторный эксперимент: каждый уровень фактора должен быть исследован с каждым, что ставит задачу правильного планирования эксперимента. Для снижения ошибки эксперимента необходимо наличие повторностей в каждом опыте, рандомизированное (случайное) размещение опытных делянок (Dospekhov, 1985). Дисперсионный анализ дает ответ на вопрос, есть ли хотя бы одна выделяющаяся из общей совокупности группа. Чтобы определить, средние каких групп друг от друга отличаются, нужно проводить дальнейший, апостериорный анализ. Множественные сравнения позволяют сделать вывод о достоверном отличии среднего значения одной группы от всех, оставаясь на принятом уровне значимости. Могут быть использованы разные критерии: наименьшей существенной разницы (НСР), Данкана, Шеффе, Тьюки (Scheffé, 1963, p. 115–118). Наиболее распространен критерий Тьюки. Востребованной опцией в российской традиции анализа коллекций ГРР является определение НСР и публикация их значений для каждого признака в таблицах с описательными характеристиками образцов, что дает возможность самостоятельно по таблице подтвердить, например, достоверность отличия средней урожайности образцов друг

от друга и от стандарта на фоне межгодовой вариабельности (Dospekhov, 1985, p. 214–225). Дисперсионный анализ является основой выделения перспективных доноров и источников для задач селекции на разные признаки.

Специальные методы анализа взаимодействия «гено-тип × среда» (GE) отражают существенное развитие дисперсионного анализа, позволяют сравнить стабильность урожайности образцов данной выборки в контрастных средах – пунктах, годах исследования (Eberhart, Russell, 1966; Pakudin, 1976; Kilchevsky, Khotyleva, 1989). Современным развитием метода является подробная оценка особенности реакции генотипа на среду моделями типа AMMI (Zobel et al., 1988), GGE (Yan et al., 2000).

Определение связи нескольких признаков

Создание модели сорта, понимание адаптационных механизмов культур требует выявления связей хозяйственно ценных признаков образцов, таких как урожайность, показатели качества, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, друг с другом и с погодно-климатическими факторами. Оценка этих связей осуществляется методами корреляционно-регрессионного анализа, по сути представляющими собой частный случай дисперсионного анализа (Enslein et al., 1986).

Корреляционный анализ является одним из методов статистической оценки степени связи нескольких признаков (Glotov et al., 1982; Ayvazyan et al., 1985; Dospekhov, 1985; Enslein et al., 1986; Ayvazyan, Mkhitarian, 2001; Eliseeva et al., 2006; Efimova et al., 2007). Парный коэффициент корреляции Пирсона служит мерой линейной связи между двумя признаками, коэффициент множественной линейной корреляции служит для измерения тесноты большего, чем два, числа признаков между собой. Для коэффициента корреляции, как и любой выборочной характеристики, необходимо показать достоверность, то есть значимость его отличия от нуля; кроме того, характеризуют направление (положительная/отрицательная) и силу корреляционной связи. Сильной считается связь при значении модуля коэффициента корреляции $|r| > 0,7$, средней – при $0,3 \leq |r| \leq 0,7$, слабой – при $|r| < 0,3$ (Dospekhov, 1985, p. 271).

Регрессионный анализ – построение уравнения, описывающего зависимость признака-результата от одного или нескольких признаков-факторов (Glotov et al., 1982; Dospekhov, 1985; Enslein et al., 1986; Vuchkov et al., 1987; Ayvazyan, Mkhitarian, 2001; Eliseeva et al., 2006; Efimova et al., 2007). Показателем качества уравнения регрессии является коэффициент детерминации, показывающий, какую долю общей вариабельности результирующего признака объясняет функция регрессии. Поскольку, как правило, уравнение получено по выборочным данным, необходимо определить значимость каждого коэффициента и уравнения в целом. При большом числе возможных влияющих признаков – предикторов – встает вопрос, какие признаки включать в регрессионную модель. Решение может быть осуществлено разными вычислительными процедурами – с последовательным включением

переменных, когда на каждом следующем шаге выбирается наиболее значимая переменная, или с исключением переменных (Enslein et al., 1986). Преимущество метода с последовательным включением переменных заключается в том, что исходное число потенциальных предикторов может быть больше числа измерений.

Начавшееся в 1970-х гг. активное потепление климата вызвало интерес биологов к **анализу временных рядов**, в значительной степени развивавшихся ранее в экономике (Box, Jenkins, 1974; Afanasyev et al., 2006; Eliseeva et al., 2007; Efimov, Kovaleva, 2008; Sirotenko, 2012). Анализ зависимостей хозяйственно ценных признаков растений за последние 30–50 лет осложнен наличием климатических и агротехнических трендов. Устранение трендов из временных рядов позволяет повышать качество регрессионных моделей и удалять ложные корреляции (Box, Jenkins, 1974; Ayvazyan et al., 1985; Eliseeva et al., 2007; Vukolov, 2004; Sirotenko, 2012; Iler et al., 2017).

Классификация объектов

При описании объемной коллекции ГРР, исследовании филогенетических связей, выделении репрезентативной выборки, создании соге-коллекций возникает задача классификации, выделения групп схожих образцов. Возникает вопрос: нельзя ли снизить количество описываемых объектов, выделив однородные группы? Задача классификации решается методами классификации без обучения (кластерный анализ) и с обучением (дискриминантный анализ) (Enslein et al., 1986; Ayvazyan et al., 1989; Dubrov et al., 2003; Vukolov, 2004; Efimov, Kovaleva, 2008; Simchera, 2008; Khizhnyak, Puchkova, 2019).

Кластерный анализ – группа методов, используемых для классификации объектов в гомогенные (однородные) группы – кластеры. Началом кластерного анализа была книга Р. Сокзла и А. Спита «Численная таксономия» 1957 г. (Enslein et al., 1986, p. 19; Dubrov et al., 2003). Кластерный анализ позволяет выделить однородные группы по совокупности всех известных характеристик образцов. Результатом кластерного анализа является дендрограмма (дерево), объединяющая все образцы по мере их сходства. Разработано множество метрик сходства и различия образов и методов выделения однородных групп. Существуют несколько способов рассчитать расстояние между объектами по совокупности изученных количественных показателей: евклидово, Манхэттен, Чебышева, Минковского, для бинарных переменных – процент несогласия и др. При одной и той же матрице расстояний между объектами можно получить разные дендрограммы с использованием разных методов определения близости объектов и групп объектов друг другу (Ayvazyan, Mkhitarayan, 2001; Dubrov et al., 2003; Borovikov, 2003, 2013; Khalafyan, 2010): ближайшего соседа, дальнего соседа, попарного среднего, невзвешенный центроидный, Варда и др. Различные численные методы приводят к разным деревьям классификации, и выбор окончательного решения осуществляется в соответствии с априорными представлениями. Если появляются группы из единичных образ-

цов, можно использовать взвешенные методы, в которых более крупные группы «притягивают» мелкие, так как в качестве весового коэффициента в них используется размер кластера. Метод *k*-средних позволяет разбить исследуемую выборку на заданное число классов *k*.

Дискриминантный анализ решает задачу классификации объектов на заданное количество классов на основании обучающей выборки, у элементов которой известна принадлежность их к классам (популяциям) (Malinovsky, 1979; Enslein et al., 1986, p. 113; Ayvazyan, Mkhitarayan, 2001; Dubrov et al., 2003; Khizhnyak, Puchkova, 2019). Анализируя эти группы объектов, определяют набор наиболее информативных признаков, отвечающих за разделение на классы, дискриминантную функцию и решающее правило (дискриминантную функцию), в соответствии с которым можно однозначно отнести объект к определенному классу по его значениям признаков. О качестве модели можно судить по числу неправильно классифицированных объектов обучающих выборок. Создание дискриминантных функций дает возможность решить вопрос о вероятности принадлежности нового объекта к исследованным популяциям (Enslein et al., 1986, p. 113).

Снижение числа анализируемых признаков и отбор наиболее информативных показателей

При анализе образцов ГРР по большому количеству показателей стоит задача выявления наиболее информативных показателей, то есть снижения размерности пространства признаков. При этом происходит переход от реальных измеренных переменных к небольшому количеству гипотетических величин, называемых факторами (Enslein et al., 1986; Ayvazyan et al., 1989; Ayvazyan, Mkhitarayan, 2001; Borovikov, 2003, 2013; Vukolov, 2004; Simchera, 2008; Efimov, Kovaleva, 2008; Khalafyan, 2010; Khizhnyak, Puchkova, 2019). Основные предпосылки, дающие возможность снижения числа исходных признаков, – дублирование информации сильно связанными признаками; неинформативность признаков, мало меняющихся при переходе от одного объекта к другому; возможность агрегирования (суммирования) некоторых признаков (Ayvazyan, Mkhitarayan, 2001, p. 142).

Метод главных компонент (МГК) был предложен К. Пирсоном в 1901 г., а затем детально разработан американским экономистом и статистиком Г. Хотеллингом. Метод заключается в получении нескольких новых показателей – главных компонент, являющихся линейными комбинациями (взвешенными суммами) исходных признаков, полученных в результате эксперимента (Dubrov et al., 2003, p. 134–171). Главные компоненты упорядочиваются в порядке убывания той дисперсии, которую они объясняют. Первый фактор (главная компонента) объясняет максимальную часть дисперсии исходного многомерного пространства признаков, вторая – меньшую и т. д. Общее число компонент равно исходному количеству переменных, однако некоторые факторы вносят очень маленький вклад в общую дисперсию. От исходного набора признаков переходят к набору факторов (глав-

ных компонент), которые могут объяснить значительную часть дисперсии исходной выборки. Существуют различные способы определения числа факторов (главных компонент), которое надо оставить для анализа. Критерий Кайзера предлагает оставить факторы со значением собственных чисел (числа включенных в него реальных переменных) больше 1; критерий «каменистой осыпи» – то число факторов, после которого добавление новых факторов слабо увеличивает объясненную дисперсию (определяется графически), или оставляются факторы, которые объясняют не менее 60–70% общей дисперсии (Simchera, 2008, р. 112). Коэффициенты, с помощью которых можно узнать, какие исходные переменные наибольшим образом связаны с факторами (главными компонентами), называются факторными нагрузками, они позволяют содержательно интерпретировать факторы. Координаты объектов в пространстве новых признаков – факторов – называются факторными координатами. Графики расположения исследуемых объектов в пространстве первых факторов (главных компонент) позволяют выявить группы схожих объектов. Для достижения лучшего соответствия априорным данным далее может быть использовано вращение системы новых координат.

Факторный анализ выполняет те же задачи снижения размерности пространства переменных и объектов, но в основе лежит другая расчетная процедура – выделяется общая для нескольких переменных дисперсия. Факторный анализ требует, чтобы исследуемые данные подчинялись многомерному нормальному распределению, а зависимости были линейными. В методе главных компонент число исходных переменных равно числу факторов, а в факторном анализе, вообще говоря, существенно меньше. Некоторые исследователи считают МГК разновидностью факторного анализа (Enslein et al., 1986, р. 184).

Непараметрические методы

Изучение коллекций ГРП все более выходит за рамки классических полевых наблюдений урожайности, для которых в начале XX в. были разработаны виды анализа, основанные на предположении о нормальном характере распределения. Все более популярными делаются методы непараметрической статистики, которые не относятся к какому-либо конкретному распределению (Vukolov, 2004; Efimov, Kovaleva, 2008; Reznik, 2008).

Для данных, имеющих существенное отклонение от нормального распределения, возможны 4 подхода к обработке: 1) нормализующее преобразование (логарифмирование, арксин-преобразование и др.) и применение далее параметрических методов; 2) использование робастных методов (усеченные средние, абсолютные отклонения вместо среднеквадратичных); 3) использование непараметрических критериев; 4) использование ресэмплинг-методов имитационного компьютерного моделирования (джекнайф, бутстреп, Монте-Карло и др.).

Методы робастного оценивания параметров распре-

делений устойчивы к выбросам и малым отклонениям от известных распределений. Возникли методы выявления грубых ошибок (метод Смирнова – Граббса), отсекающие грубые ошибки (методы Пуанкаре, Винзора), группировки наблюдений для получения робастных оценок (методы анализа смеси распределений Тьюки – Хубера) (Dubrov et al., 2003, р. 301-303).

В середине XX в. появились непараметрические методы, не обращающиеся к расчету параметров распределения, но решающие те же задачи, что и параметрические (Glotov et al., 1982; Reznik, 2008). Аналогом t-критерия Стьюдента для независимых выборок является U-критерий Манна – Уитни; для зависимых выборок – критерий Вилкоксона, МакНемара; для нескольких зависимых выборок – Q-критерий Кохрана, знаков Фридмана; дисперсионного анализа – Краскела – Уоллиса, медианный; коэффициента корреляции Пирсона – коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла; для сравнения двух эмпирических распределений качественных признаков могут быть использованы критерии χ^2 или точный тест Фишера (для таблицы 2×2 при числе значений меньше 30). Непараметрические методы целесообразнее применять при сочетании трех факторов (Reznik, 2008, р. 55): неизвестен закон распределения; выборка мала; исходные данные представляют собой качественные переменные – порядковые (ранговые) или номинальные (неупорядоченные) данные: дегустационные оценки, балльные оценки устойчивости к болезни, название сорта, вида и т. п.

Анализ связи качественных (категоризированных, текстовых) переменных осуществляется методом анализа таблиц сопряженности (Ayvazyan, Mkhitarian, 2001; Efimova et al., 2007). В случае нелинейной связи между переменными при неизвестном виде зависимости в качестве меры связи между переменными может быть использовано корреляционное отношение η , предложенное К. Пирсоном в 1896 г. (Efimova et al., 2007, р. 240). Расчет корреляционного отношения основан на дисперсионном анализе, квадрат корреляционного отношения определяется как отношение межгрупповой дисперсии выборки к общей, группы определяются по одной из переменных. В качестве критерия наличия связи между качественными показателями с большим количеством градаций может быть использован критерий χ^2 (Efimova et al., 2007, р. 254). На основе χ^2 определяются такие показатели тесноты связи, как коэффициент сопряженности К. Пирсона, коэффициент взаимной сопряженности А. А. Чупрова (Efimova et al., 2007, р. 254-255).

Развитие компьютеров, повышение скорости вычислений привели к возможности использования методов, основанных на множественных расчетах – размножении выборок, моделировании случайных воздействий методом Монте-Карло (Enslein et al., 1986; Dubrov et al., 2003). Например, непараметрический аналог дисперсионного анализа PERMANOVA позволяет применить дисперсионный анализ к данным, обобщенным с помощью любого показателя расстояния (Anderson et al., 2017), и получить статистические оценки с использованием размножения

выборок.

Многомерное шкалирование является непараметрическим аналогом факторного анализа (Enslein et al., 1986, p. 301; Ayvazyan et al., 1989; Efimov, Kovaleva, 2008). Входная информация для анализа представляет собой матрицу чисел, содержащих информацию о порядковых отношениях между объектами. Выходная информация – точки в пространстве небольшой размерности, в графической форме или в виде координат. Фактически метод получил распространение после компьютерной реализации в 1962 г. Б. Шепардом (Enslein et al., 1986, p. 301–304).

Заключение

Каждый из методов статистического исследования решает определенную задачу для определенного типа данных, и можно говорить о типовых подходах в растениеводстве и управлении коллекциями ГРП. Развитие компьютеров позволило создать интегрированные дата-платформы, собирающие огромные массивы разноплановых характеристик ГРП, масштабировать сложные многомерные методы, ранее доступные только математикам, на широкий круг исследователей в различных предметных областях. Методы биостатистики, относящиеся к фенотипическим данным, продолжают развиваться, обеспечивая совершенствование оценок потенциала коллекций ГРП и являясь неотъемлемой информационной составляющей современного геномного анализа.

References / Литература

- Afanasyev V.N., Yuzbashev M.M., Gulyaeva T.I. Econometrics (Ekonometrika). Moscow: Finansy i Statistika; 2006. [in Russian] (Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М., Гуляева Т.И. Эконометрика. Москва: Финансы и статистика; 2006).
- Anderson M.J. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). In: N. Balakrishnan, T. Colton, B. Everitt, W. Piegorsch, F. Ruggeri, J.L. Teugels (eds). *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.; 2017. p.1-15. DOI: [10.1002/9781118445112.stat07841](https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841)
- Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Applied statistics: classification and dimensionality reduction (Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizheniye razmernosti). Moscow: Finansy i Statistika; 1989. [in Russian] (Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. Москва: Финансы и статистика; 1989).
- Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Applied statistics: a study of dependencies (Prikladnaya statistika: issledovaniye zavisimostey). Moscow: Finansy i Statistika; 1985. [in Russian] (Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. Москва: Финансы и статистика; 1985).
- Ayvazyan S.A., Mkhitarian V.S. Applied statistics in tasks and exercises (Prikladnaya statistika v zadachakh i uprazhneniyakh). Moscow: Unity-Dana; 2001. [in Russian] (Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика в задачах и упражнениях. Москва: Юнити-Дана; 2001).
- Borovikov V.P. A popular introduction to modern data analysis in the STATISTICA system (Populyarnoye vvedeniye v sovremennyy analiz dannykh v sisteme STATISTICA). Moscow: Goryachaya Liniya – Telekom; 2013. [in Russian] (Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Москва: Горячая линия – Телеком; 2013).
- Borovikov V.P. STATISTICA. The art of data analysis on a computer: for professionals (STATISTICA. Iskustvo analiza dannykh na kompyutere: dlya professionalov). 2nd ed. St. Petersburg: Piter; 2003. [in Russian] (Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. Санкт-Петербург: Питер; 2003).
- Box G., Jenkins G. Time series analysis. Forecasting and control. Issue 1. Moscow: Mir; 1974. [in Russian] (Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. Москва: Мир; 1974).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Dubrov A.M., Mkhitarian V.S., Troshin L.I. Multidimensional statistical methods (Mnogomernyye statisticheskiye metody). Moscow: Finansy i Statistika; 2003. [in Russian] (Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. Москва: Финансы и статистика; 2003).
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: [10.2135/cropsci1966.0011183X00060001001x](https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X00060001001x)
- Efimov V.M., Kovaleva V.Yu. Multidimensional analysis of biological data: a training manual (Mnogomernyy analiz biologicheskikh dannykh: uchebnoye posobiye). 2nd ed. St. Petersburg: VIZR; 2008. [in Russian] (Ефимов В.М., Ковалева В.Ю. Многомерный анализ биологических данных: учебное пособие. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2008).
- Efimova M.R., Petrova E.V., Rumyantsev V.N. General theory of statistics: a manual (Obshchaya teoriya statistiki: uchebnik). 2nd ed. Moscow: INFRA-M; 2007. [in Russian] (Ефимова М.Р., Петрова Е.В., Румянцев В.Н. Общая теория статистики: учебник. 2-е изд. Москва: ИНФРА-М; 2007).
- Eliseeva I.I., Isotov A.V., Kapralova E.B., Flud N.A., Shchirina A.N. Statistics (Statistika). I.I. Eliseeva (ed.). Moscow: KNORUS; 2006. [in Russian] (Елисеева И.И., Изотов А.В., Капралова Е.Б., Флуд Н.А., Щирина А.Н. Статистика / под ред. И.И. Елисеевой. Москва: КНОРУС; 2006).
- Eliseeva I.I., Kuryshcheva S.V., Kosteeva T.V., Pantina I.V., Mikhailov B.A., Neradovskaya Yu.V., Strohe H.G., Bartels K., Rybkina L.R. Econometrics (Ekonometrika). Moscow: Finansy i Statistika; 2007. [in Russian] (Елисеева И.И., Курышчева С.В., Костеева Т.В., Пантина И.В., Михайлов Б.А., Нерадовская Ю.В., Штрое Г.Г., Бартелс К., Рыбкина Л.Р. Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. Москва: Финансы и статистика; 2007).
- Enslein A., Ralston A., Wilf H.S. (eds). Statistical methods for digital computers. Moscow: Nauka; 1986. [in Russian] (Статистические методы для ЭВМ / под ред. К. Энслейна, Э. Рэлстона, Г.С. Уилфа. Москва: Наука; 1986).
- Glotov N.V., Zhivotovsky L.A., Khovanov N.V., Khromov-Borisov N.N. Biometrics (Biometriya). Leningrad: Leningrad State University; 1982. [in Russian] (Глотов Н.В., Животовский Л.А., Хованов Н.В., Хромов-Борисов Н.Н. Биометрия. Ленинград: Ленинградский государственный университет; 1982).
- Iler A.M., Inouye D.W., Schmidt N.M., Høye T.T. Detrending phenological time series improves climate-phenology analyses and reveals evidence of plasticity. *Ecology*. 2017;98(3):647-655. DOI: [10.1002/ecy.1690](https://doi.org/10.1002/ecy.1690)
- Khalafyan A.A. Statistica 6. Statistical data analysis (Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh). Moscow: Binom; 2010. [in Russian] (Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. Москва: Бином; 2010).
- Khizhnyak S.V., Puchkova E.P. Mathematical methods in agroecology and biology: a training manual (Matematicheskiye metody v agroekologii i biologii: uchebnoye posobiye). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2019. [in Russian] (Хижняк С.В., Пучкова Е.П. Математические методы в агроэкологии и биологии: учебное пособие. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2019).
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Genotype and environment in plant breeding (Genotip i sreda v selektsii rasteniy). Minsk: Nauka i Tekhnika; 1989. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генотип и среда в селекции растений. Минск: Наука и техника; 1989).
- Malinovsky L.G. Classification of objects by means of discriminant analysis (Klassifikatsiya obyektov sredstvami diskriminantnogo analiza). Moscow: Nauka; 1979. [in Russian] (Малиновский Л.Г. Классификация объектов средствами дискриминантного

- анализа. Москва: Наука; 1979).
- Novikova L.Yu. Methods for statistical processing of phenotypic data in plant genetic resources collections. St. Petersburg: VIR; 2024. [in Russian] (Новикова Л.Ю. Методы статистической обработки фенотипических данных коллекций генетических ресурсов растений. Санкт-Петербург: ВИР; 2024).
- Pakudin V.Z. Parameters of environmental plasticity assessment in cultivars and hybrids (Parametry otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov i gibridov). In: L.V. Khotyleva (ed.). *Theory of Selection in Plant Populations (Teoriya otbora v populyatsiyakh rasteniy)*. Novosibirsk: Nauka; 1976. p.178-189. [in Russian] (Пакудин В.З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов. В кн.: *Теория отбора в популяциях растений* / под ред. Л.В. Хотылевой. Новосибирск: Наука; 1976. С.178-189).
- Reznik A.D. A book for those who do not like statistics, but are forced to use it. Nonparametric statistics in examples, exercises, and drawings (Kniga dlya tekhn, kto ne lyubit statistiku, no vyzhuden yeyu polzovatsya. Neparаметричeskaya statistika v primerakh, uprazhneniyakh i risunkakh). St. Petersburg: Rech; 2008. [in Russian] (Резник А.Д. Книга для тех, кто не любит статистику, но вынужден ею пользоваться. Непараметрическая статистика в примерах, упражнениях и рисунках. Санкт-Петербург: Речь; 2008).
- Scheffé H. The analysis of variance. Moscow: State Publishing House of Physico-Mathematical Literature; 1963. [in Russian] (Шеффе Г. Дисперсионный анализ. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы; 1963).
- Simchera V.M. Methods of the multidimensional analysis of statistical data (Metody mnogomernogo analiza statisticheskikh dannykh). Moscow: Finansy i Statistika; 2008. [in Russian] (Симчера В.М. Методы многомерного анализа статистических данных. Москва: Финансы и статистика; 2008).
- Sirotenko O.D. Fundamentals of agricultural meteorology. Vol. II. Methods of calculations and forecasts in agrometeorology. Book 1. Mathematical models in agrometeorology (Osnovy selskokhozyaystvennoy meteorologii. T. II. Metody raschetov i prognozov v agrometeorologii. Kniga 1. Matematicheskiye modeli v agrometeorologii: uchebnoye posobiye). Obninsk: VNIIGMI-MTsD; 2012. [in Russian] (Сиротенко О.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 1. Математические модели в агрометеорологии: учебное пособие. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД; 2012).
- Vuchkov I., Boyadjieva L., Solakov E. Applied linear regression analysis (Prikladnoy lineyny regressionnyy analiz). Moscow: Finansy i Statistika; 1987. [in Russian] (Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. Москва: Финансы и статистика; 1987).
- Vukolov E.A. Fundamentals of statistical analysis: a workshop on statistical methods and operations research using the STATISTICA and EXCEL packages (Osnovy statisticheskogo analiza: praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsiy s ispolzovaniyem paketov STATISTICA i EXCEL). Moscow: FORUM; 2004. [in Russian] (Вуколов Э.А. Основы статистического анализа: практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. Москва: ФОРУМ; 2004).
- Yan W., Hunt L.A., Sheng Q., Szlavnic Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*. 2000;40(3):596-605. DOI: [10.2135/cropsci2000.403597x](https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x)
- Zaitsev G.N. Methodology of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany (Metodika biometricheskikh raschetov. Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1973. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1973).
- Zobel R.W., Wright A.J., Gauch Jr. H.G. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 1988;80(3):388-393. DOI: [10.2134/agronj1988.00021962008000030002x](https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x)

Информация об авторе

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/00000003-4051-3671>

Information about the author

Liubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 19.12.2024.

The article was submitted on 02.12.2024; approved after reviewing on 11.12.2024; accepted for publication on 19.12.2024.

Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья

А. В. Павлов, А. А. Слободкина, Л. П. Подольная, Е. А. Пороховинова

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

Автор, ответственный за переписку: Лариса Петровна Подольная, l.podolnaya@mail.ru

Человечество с незапамятных времен использует волокнистые растения для удовлетворения своих потребностей, собирая их в дикой природе, позже выращивая и постоянно улучшая. Волокно может быть получено из семян (хлопчатник и др.), плодов (капок и др.), стебля (лен и др.), листьев (сизаль и др.). Наибольшее распространение в мире получили десять культур. По данным ФАО, на первом месте находится хлопчатник, суммарная площадь под которым в 2023 г. – 31,8 млн га, или 90,8% всех угодий под волокнистыми культурами в мире. На втором месте – джут (4,4%). На сизаль (0,8%), лен-долгунец (0,7%), абаку (0,5%), капок (0,5%), кенаф (0,4%) и другие культуры в сумме приходится 4,8% угодий. По данным Росстата, в Российской Федерации в 2023 г. возделывали лен-долгунец на площади 35,2 тыс. га, коноплю – 11,4 тыс. га, хлопчатник – 0,2 тыс. га. В наше время, с появлением современных синтетических материалов, эти культуры не утратили своего значения, продолжая занимать важное место в промышленности и жизни каждого человека. В зависимости от особенностей и качественных характеристик, их волокно в изначальном, котонизированном или химически модифицированном виде используют для производства различных тканей бытового и технического назначения, одежды, ниток, веревок, канатов, ваты, одноразовой посуды и пороха, набивки подушек, сидений, при производстве композитных материалов в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Их применение снижает антропогенную нагрузку на природу, обеспечивает промышленность возобновляемым сырьем.

Ключевые слова: натуральные волокна, волокно семян, волокно плодов, волокно листьев, лубяные волокна, хлопчатник, лен-долгунец, джут, кенаф, лубяные культуры

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

Для цитирования: Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А. Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):30-49.

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

© Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А., 2024

Review article

Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials

Andrey V. Pavlov, Anastasia A. Slobodkina, Larisa P. Podolnaya, Elizaveta A. Porokhovinova

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

Corresponding author: Larisa P. Podolnaya, l.podolnaya@mail.ru

Humankind has been exploiting fiber plants to meet its needs since time immemorial: first, collecting them in the wild, and later, cultivating and constantly improving them. Fiber can be obtained from seed (cotton, etc.), fruit (kapok, etc.), stems (flax, etc.), or leaves (sisal, etc.). Ten crops have become the most widespread in the world. FAO reports that cotton is the leader, with a total area of 31.8 million hectares in 2023, or 90.8% of the total land under fiber crops in the world. Jute is the second (4.4%), while sisal (0.8%), flax (0.7%), abacá (0.5%), kapok (0.5%), kenaf (0.4%), etc. aggregately account for a total of 4.8% of the land. According to the Federal Statistics Service, in 2023 flax was cultivated in Russia on an area of 35,200 hectares, hemp on 11,400 hectares, and cotton on 200 hectares. Today, with the advent of modern materials, these crops have not lost their significance, still occupying an important place in industry and in every person's life. Depending on the features and quality characteristics, their fiber in its original, cottonized or chemically modified form is used for the production of various household and industrial fabrics, clothing, threads, ropes, wadding, disposable tableware and gunpowder, for stuffing pillows and seats, and in manufacturing composite materials for the automotive and aerospace industries. Their use reduces anthropogenic pressure on nature and provides industry with renewable raw materials.

Keywords: natural fibers, seed fiber, fruit fiber, leaf fiber, bast fiber, cotton, flax, jute, kenaf, bast crops

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

For citation: Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhovinova E.A. Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials. *VIR Bulletin*. 2024;(243):30-49. (In Russ.).

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

© Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhovinova E.A., 2024

Введение

В природе встречается много видов волокнистых растений, содержащих волокнистое сырье в достаточных объемах и произрастающих в разных географических зонах. Оно пригодно не только для текстильной промышленности, но и для производства строительных материалов, биокomпозитов и других товаров. Природные волокна имели огромное значение в человеческом обществе уже 14 тыс. лет назад. Роль природных волокон стала уменьшаться с 1885 г., когда первые искусственные волокна стали производиться в промышленных масштабах. Однако появление широкого ассортимента искусственных волокон не смогло заменить натуральные, так как последние обладают такими характеристиками, как гигроскопичность, воздухопроницаемость, естественные антибактериальные свойства, способность блокировать ультрафиолетовое излучение, хорошо окрашиваться и т. д. С увеличением населения земли увеличивается и спрос на природные возобновляемые волокна, постоянно расширяется область их применения (Kozłowski et al., 2012b, 2020). Чаще всего люди использовали волокно таких культур, как хлопчатник, лен, конопля, джут и др. В египетских гробницах найдена льняная ткань возрастом более 5 тыс. лет. Считается, что хлопчатобумажное прядение и ткачество зародились в Индии. Хлопчатобумажные ткани использовали в Древнем Китае, Египте, Мексике, Перу. Одним из предметов, которые Колумб привез из Америки королеве Изабелле, был моток хлопчатобумажной пряжи (Kozłowski et al., 2012b).

Группа растений, дающих волокнистый материал для изготовления товаров, называется волокнистыми растениями. Волокна этих растений являются возобновля-

емым и биоразлагаемым материалом. Их можно разделить на следующие группы:

- прядильные, используемые для получения различных тканей (хлопчатник, лен, конопля и др.);
- веревочно-канатные (джут, конопля, кенаф, канатник, агава и др.);
- бумажные (дрок, тутовое дерево, крапива, тростник);
- щеточные (агавы, пальмы);
- набивочные, для набивки мебели, подушек, спасательных поясов и др. (капок, кендырь);
- рогожно-корзиночные (ивы, солома злаков и др.) (Geister, 1934).

В мире культивируется 2288 видов растений (помимо декоративных, лесных). Из них лишь 405 видов (17%) приобрели широкое распространение, остальные являются культурами второстепенной хозяйственной ценности. Примерно 100 (из 2288 видов) относятся к волокнистым культурам и только 10 имеют значительное распространение (Wulff, 1987). На первом месте в мире находится хлопчатник. Так, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО ООН) (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. суммарная площадь под ним составила 31,762 млн га, или 90,8% от всей площади сельскохозяйственных угодий, занятой под основными волокнистыми культурами. На втором месте находится джут – 1,531 млн га, или 4,4% сельскохозяйственных угодий. На сизаль – 0,276 млн га (0,8%), лен-долгунец – 0,249 млн га (0,7%), абаку – 0,181 млн га (0,5%), капок – 0,179 млн га (0,5%), кенаф – 0,153 млн га (0,4%) и другие культуры приходится всего 4,8% сельскохозяйственных угодий, отведенных под эти культуры в мире (табл. 1).

Таблица 1. Основные волокнистые культуры, возделываемые в промышленных масштабах в мире по состоянию на 2023 г. (<https://rosstat.gov.ru>)

Table 1. Basic fiber crops cultivated on a worldwide scale, as of 2023 (<https://rosstat.gov.ru>)

№ п/п	Культура	Площадь	
		тыс. га	%
1	хлопчатник	31 762	90,75
2	джут	1531	4,37
3	агава сизалевая, сизаль (<i>Agave sisalana</i>)	276	0,79
4	лен-долгунец	249	0,71
5	абака	181	0,52
6	капок	179	0,51
7	кенаф	153	0,44
8	конопля	85	0,24
9	агава американская, пита (<i>A. americana</i>)	58	0,17
10	рами	4	0,01
11	другие волокнистые культуры	521	1,49
	Итого	34 999	100

В Федеральном исследовательском центре Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) сохраняется в живом состоя-

нии семенной материал ряда волокнистых культур. Наиболее широко представлены коллекции хлопчатника (6454 образца) и льна (6310 образцов) (табл. 2).

Таблица 2. Коллекции основных волокнистых культур, поддерживаемых в ВИР

Table 2. Main fiber crop collections maintained at VIR

№ п/п	Культура	Количество образцов в постоянном каталоге ВИР
1	хлопчатник	6454
2	лен	6310
3	конопля	491
4	канатник	436
5	кенаф	232
6	джут	162
7	бамия	30

Волокно в растении (табл. 3) может иметь разную природу и находиться на поверхности семени (трихомы – хлопчатник и др.), на эндокарпии плода (трихомы – капок), в околоплоднике (склеренхимные волокна проводящих пучков – кокосовая пальма), в стебле (лубяные волокна – лен, джут, конопля, рами, кенаф, сида, кроталария, мальва и др.), листьях (склеренхимные волокна проводящих пучков – агава, абака, новозеландский лен, ананас и др.). Размеры этих волокон зависят главным образом от их природы и расположения в растении. Волокна плодов и семян (трихомы) име-

ют длину в несколько сантиметров, в то время как техническое волокно стеблей и листьев намного длиннее (табл. 4). За исключением волокон семян и плодов, растительные волокна состоят из удлинённых клеток склеренхимы, которые встречаются в различных частях растения, в основном – стеблях и листьях. Волокна, которые образуются на семенах различных растений, являются выростами наружной эпидермы семенной кожуры и называются волосками или трихомами. В таблице 3 представлены источники растительных волокон разных типов.

Таблица 3. Источники растительных волокон разных типов расположения их в растении
(Ageeva et al., 2009; Kozłowski et al., 2009; Kozłowski et al., 2012b с дополнением)

Table 3. Sources of plant fibers of different types depending on their location in the plant
(Ageeva et al., 2009; Kozłowski et al., 2009; Kozłowski et al., 2012b, supplemented)

Тип волокон	Виды растений	
	широко возделываемые	не имеющие значительных площадей
Волокна семян	хлопчатник (<i>Gossypium hirsutum</i> , <i>G. barbadense</i>)	осина (<i>Populus tremula</i>), калотропис высокий (<i>Calotropis procera</i>), молочай (<i>Euphorbia</i> sp.)
Волокна плодов	кокос (волокно – койр, <i>Cocos nucifera</i>), капок (<i>Ceiba pentandra</i> , <i>Bombax ceiba</i>)	люффа (<i>Luffa aegyptiaca</i>)
Лубяные волокна	джут (<i>Corchorus capsularis</i>), лен (<i>Linum usitatissimum</i>), конопля (<i>Cannabis sativa</i>), кенаф (<i>Hibiscus cannabinus</i>), рами (<i>Boechmeria nivea</i>)	суданская роза (<i>Hibiscus sabdariffa</i>), крапива (<i>Urtica dioica</i>), исора (<i>Helicteres isora</i>), испанский дрок (<i>Spartium junceum</i>), кендырь (<i>Aprocynum cannabinum</i>)
Волокна листа	сизаль (<i>Agave sisalana</i>), агава американская (волокно – пита, <i>Agave americana</i>), абака (<i>Musa textilis</i>)	ананас (волокно – пинья, <i>Ananas bracteatus</i>), виды агав (ложный сизаль <i>Agave decipiens</i> , хенекен <i>Agave fourcroydes</i>), виды пальм (<i>Elaeis guineensis</i> , <i>Astrocaryum chambira</i> , <i>Leopoldina piassaba</i> , <i>Mauritia flexuosa</i>), фуркрея (волокно – Кабуа, <i>Furcraea andina</i> Trel.), юкка (<i>Yucca filamentosa</i>), сансевиерия (<i>Sansevieria</i> sp.), новозеландский лен (<i>Phormium tenax</i>)
Волокна злаков и тростника		бамбук (<i>Bambusa</i> spp.), сахарный тростник (багасс – волокно после отжатия сока, <i>Saccharum officinarum</i>), тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>), тотора (<i>Scirpus californicus</i>), мискантус (<i>Miscanthus sinensis</i>)
Древесные волокна		твёрдые древесные волокна (лиственные породы), мягкие древесные волокна (хвойные породы)

В таблице 4 представлен химический состав натуральных волокон основных технических культур. Больше всего целлюлозы содержит волокно хлопчатника, тогда как для лубоволокнистых культур и культур, у которых волокно получено из листьев, виден сильный разброс по показателям химического состава.

Таблица 4. Химический состав волокна
Table 4. Fiber chemistry

Волокно	Целлюлоза	Лигнин	Пектины и гемицеллюлоза	Источник
Волокно семян				
Хлопчатник	88–96	–	–	Dochia et al., 2012
Волокно из плодов				
Капок	50	20	13	Shao et al., 2024
Кокос (койр)	36–43	41–45	3–4	Kozłowski et al., 2010*
Волокно из стеблей				
Джут	51–78	10–15	37	Kozłowski et al., 2010*
Джут	58–59	13–14	22,5–25,5	Roy, Lutfar 2012a
Кенаф	44–57	15–19	–	Kozłowski et al., 2010*
Лен-долгунец	85–87	2,5–4	8,5–11,5	Kozłowski et al., 2012b
Лен-долгунец	71–86	н. д.**	14–29	Brutch et al., 2008
Конопля	67–78	3,5–5,5	17	Kozłowski et al., 2010*
Конопля	76,12	5,65	12,28	Horne, 2012
Крапива	53–82	0–5	0,9–4,8	Kozłowski et al., 2010*
Рами	67–99	0,5–1	22	Kozłowski et al., 2010*
Рами	69–76	0,6–0,7	15,0–18,6	Roy, Lutfar 2012b
Волокно из листьев				
Сизаль	60–80	6–14	13	Kozłowski et al., 2010*
Абака	60–80	6–14	13	Kozłowski et al., 2010*
Ананас	80	13	–	Kozłowski et al., 2010*
Агава (пита)	80	–	17	Kozłowski et al., 2010*
Волокна злаков и тростника				
Бамбук	26–43	21–31	–	Kozłowski et al., 2010*

Примечание: * – цит. по Kozłowski et al. 2012b; ** н. д. – нет данных
Note: * – cited from Kozłowski et al., 2012b; ** н. д. – no data

В таблице 5 приведен размер волокон некоторых волокнистых культур. Показано, что самое длинное элементарное волокно имеют рами, лен и новозеландский лен. Длина технических волокон, как правило, соответствует длине технической части стебля или длине листа, соответственно тех частей растения, из которых получено техническое волокно.

Таблица 5. Характеристика волокна технических культур
Table 5. Characteristics of industrial crop fibers

Культура	Тип волокна	Размеры волокна		Источник
		длина, мм	диаметр, мкм	
Волокна на семенах				
Хлопчатник	трихомы (волоски)	25–45	15–25	Mirakhmedov, 1985
Волокна в плодах				
Капок	трихомы (волоски)	10–25	15,0–35,0	Sangalang, 2021
Кокос	склеренхимные волокна проводящих пучков	0,3–1,0	12,0–24,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Волокна в стебле				
Джут	техническое	20–500	н. д.**	Roy, Lutfar, 2012a

Таблица 5. Продолжение

Культура	Тип волокна	Размеры волокна		Источник
		длина, мм	диаметр, мкм	
Джут	элементарное	0,8–6,0	12–25	Roy, Lutfar, 2012a
Джут	элементарное, флоэмное, первичное	0,8–7,0	5,0–25,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Джут	элементарное, флоэмное, вторичное	2,2–2,5	16	McDougall et al., 1993*
Лен-долгунец	техническое	600–1000	н. д.	Lavrenteva et al., 2022
Лен-долгунец	элементарное флоэмное первичное	5–70,0 до 120 (25,0)	20–25	Gorshkova et al., 2003*, Elladi, 1940
Кенаф	техническое	1500–2000	14–25	Medvedev, 1940b
Кенаф	элементарное, флоэмное, первичное	1,5–11,0	14,0–33,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Кенаф	элементарное, флоэмное, вторичное	1,0–2,6	20,0–24,0	McDougall et al., 1993*, Lam et al., 2003*
Кенаф	элементарное, флоэмное	1–8	14–25	Medvedev, 1940b
Конопля	техническое	700–1500	н. д.	Lavrenteva et al., 2022
Конопля	элементарное, флоэмное, первичное	3–55 (17,5)	30	Tchernova et al., 2005*
Конопля	элементарное, флоэмное, вторичное	3,0–35,0 (7,6)	8,0	Tchernova et al., 2005*
Рами	техническое	60–250	15–80	Roy, Lutfar, 2012b
Рами	элементарное, флоэмное, первичное	50–200	15–18	van Dam, Gorshkova, 2003*
Рами	элементарное, флоэмное, вторичное	39,0–150,0	31,0	McDougall et al., 1993*
Кроталария	техническое	1000	н. д.	Pereverzev, 1940
Кроталария	элементарное	4–12	26–50	Pereverzev, 1940
Кендырь	элементарное, флоэмное, первичное	2–55	16–50	Zhukovsky, 1982*
Крапива	элементарное, флоэмное, первичное	4,5–55,0	20–70	Zhukovsky, 1982*
Волокна в листьях				
Сизаль	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	0,8–8,0	10,0–40,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Абака	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	3,0–12,0	12,0–36,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Новозеландский лен	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	25,0–56,0	8,0–19,0	Zhukovsky, 1982*

Примечание: * – цит. по Ageeva et al., 2009; ** н. д. – нет данных
 Note: * – cited from Ageeva et al., 2009; ** н. д. – no data

В таблице 6 приведены параметры качества волокна. Показано, что по прочности и упругости (модуль Юнга) лидирует волокно льна-долгунца, по удлинению при разрыве (среди пряжмых) – хлопчатник, а среди всех культур – кокосовое волокно.

В мире существует большое разнообразие волокнистых растений –источников натурального волокна. Цель данной публикации – дать общее представление о волокнистых культурах и провести систематизацию накопленного материала об их возделывании и основном исполь-

зовании.

Распределение по группам культур в публикации основано на наличии значительных промышленных площадей (индексируемых в базе данных ФАО ООН), а также по происхождению волокна. В конце статьи приводятся виды растений, не имеющие на данный момент значительных площадей, но использовавшиеся в прошлом или имеющие локальное применение.

В своей работе мы опирались на систему таксонов APG IV (Chase et al., 2016).

Таблица 6. Физико-механические свойства волокна различных культур

Table 6. Physical and mechanical characteristics of different crop fibers

Культура	Диаметр (mkm)	Прочность на растяжение (МПа)	Модуль Юнга (GPa)	Удлинение при разрыве (%)	Влагопоглощение, %	Источник
Волокна на семенах						
Хлопчатник	15–25	264–800	5,0–12,6	4–8	8–25	Rogovina et al., 2019
Волокна в плодах						
Капок	22–65	45–64	1,73–2,49	2–4	н. д. **	Venkata Reddy et al., 2009*
Кокос (койр)	100–450	131–175	4–6	15–40	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Кокос (койр)	100–450	106–175	4–6	14,2–49	10	Rogovina et al., 2019
Волокна в стебле						
Джут	25–200	393–773	13–26,5	1,16–1,50	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Джут	20–200	200–800	10–55	1,16–8,00	12	Rogovina et al., 2019
Лен	10–40	600–2000	12–85	1–4	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Лен	н. д. **	300–1500	24–80	1,3–10	7	Rogovina et al., 2019
Кенаф	н. д. **	295–1191	2,86	3,5	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Конопля	н. д. **	310–900	30–70	1,6–6,0	8	Rogovina et al., 2019
Конопля	14–50	н. д. **	н. д. **	2,2–3,0	н. д. **	Lavrenteva et al., 2022
Рами	н. д. **	348–938	44–128	1,2–8	12–17	Rogovina et al., 2019
Волокна в листьях						
Сизаль	50–200	468–640	9,4–22,0	3–7	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Сизаль	50–200	80–840	9–38	2–25	11	Rogovina et al., 2019
Ананас	н. д. **	170–1627	60–82	2,4	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Банан (абака)	н. д. **	529–914	27–32	3	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Финиковая пальма	100–1000	58–203	2,0–7,5	5–10	н. д. **	Hakeem et al., 2014*

Примечание: * – цит. по Sangalang, 2021; ** н. д. – нет данных

Note: * – cited from Sangalang, 2021; ** н. д. – no data

Растения с волокном семян и плодов, возделываемые в промышленном масштабе

Хлопчатник

Хлопчатник – важная мировая культура комплексного использования. Его возделывают в тропической и субтропической зонах. По данным ФАО, в 2023 г. его выращивали в 82 странах. Основное значение хлопчатник имеет как прядильная культура, тем не менее объем производства хлопкового масла пищевого и технического назначения в мире уступает только соевому и пальмовому.

Хлопчатник (*Gossypium* L.) принадлежит к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. В настоящее время разные авторы рассматривают в роде 41–46 видов (Strygina et al, 2020). Культивируются 4 вида рода, но наибольшие площади заняты сортами тетраплоидных новосветских видов *G. hirsutum* L. (средневолокнистый хлопчатник, или упланд) и *G. barbadense* L. (тонковолокнистый хлопчатник, или египетский), дающими наиболее длинное волокно с лучшими прядильными характеристиками. Старосветские диплоидные виды *G. arboreum* L., *G. herbaceum* L. занимают небольшие площади в Индии,

так как растения этих видов не приспособлены к машинной уборке и требуют большого количества рабочих рук. Волокно этих видов короткое, но упругое, поэтому оно востребовано для набивки сидений в дорогих автомобилях и мебели. Все виды хлопчатника – древесные растения, но культивируются как однолетние, поэтому при тропическом происхождении (родиной различных культивируемых видов хлопчатника являются Мексика, Перу, Юго-Восточная Азия и Восточная Африка) культурный хлопчатник, особенно вид *G. hirsutum*, смог продвинуться далеко на север – от центра происхождения вплоть до юга России, где находится самая северная зона выращивания этой культуры.

Волокно хлопчатника (выросты наружного слоя семенной кожуры – трихомы) состоит только из целлюлозы, снаружи покрыто воском, оно менее прочное, чем более грубые лубяные волокна других прядильных культур. Но простота получения чистого волокна (механическое отделение волосков от семян) и, как следствие, дешевизна производства вывели хлопчатник на первое место в мире среди других прядильных культур. Волокно хлопчатника делится на длинное (собственно волокно) и короткое, называемое «подпушек», или «линт». Содержание длинного волокна составляет в среднем 35%

от общего урожая хлопка-сырца. Лучшие современные сорта Австралии дают свыше 40% волокна (Podolnaya et al., 2016).

Главные показатели волокна, имеющие значение для прядения, – длина и прочность (удельная разрывная нагрузка) волокна. По общепринятой системе HVI верхняя средняя длина (UHM), колеблется от 25 до 34 мм, наиболее употребительная длина – 27–30 мм, характерная для лучших сортов средневолокнистого хлопчатника. Прочность (Str) – 23–35 гс/текс. Для средневолокнистого хлопчатника наилучшая прочность – 26–27 гс/текс (Kelly et al., 2015).

Под хлопчатник (среди всех прядильных культур) отведено наибольшее количество сельскохозяйственных угодий в мире. Так, в 2023 г., по данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), общая площадь в 82 странах составила 31,8 млн га. На долю Индии при-

ходится 12 927 тыс. га, или 41% всей площади, а на долю США (2859 тыс. га), Китая (2788 тыс. га), Пакистана (2424 тыс. га), Бразилии (1709 тыс. га) и Узбекистана (1036 тыс. га) – 34%. В общей сложности на 6 стран приходится 75% всех площадей, занятых под хлопчатником. Если посмотреть динамику за 10 лет, то посевные площади в мире, занятые под хлопчатником, колебались в незначительных пределах: 2013 – 31,8 тыс. га, 2018 – 32,6 тыс. га, 2023 – 31,8 тыс. га. (рис. 1, А). По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>) по состоянию на 2023 г., на территории Российской Федерации (РФ) хлопчатник возделывают в Республике Дагестан на площади 0,2 тыс. га. Если посмотреть динамику площадей, занятых под хлопчатником в России с 2017 г., то видно, что наибольшая площадь была отведена в 2018 г. и составила 0,36 тыс. га (рис. 1, В).

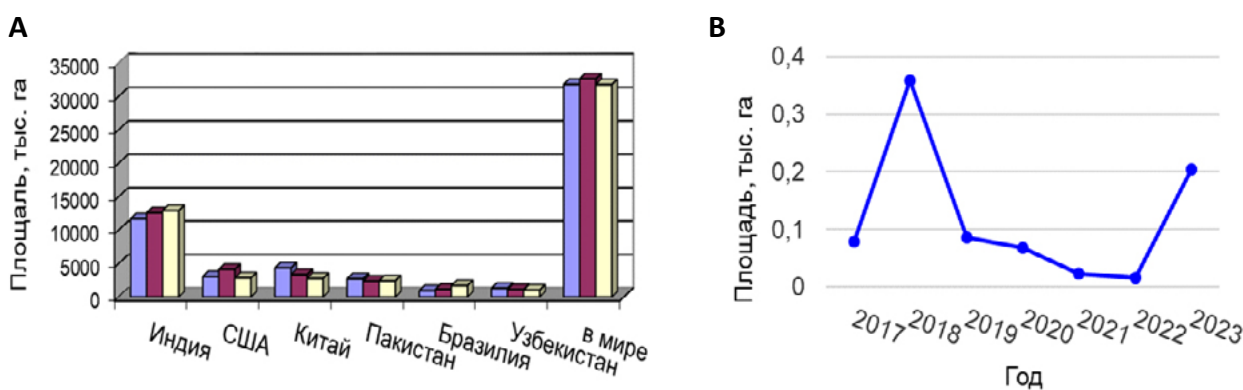


Рис. 1. Площади под хлопчатником в мире (А) и в России (В)

Fig. 1. Cotton cultivation areas in the world (А) and in Russia (В)

Волокно, получаемое из хлопчатника, широко используется в текстильной промышленности для производства различных видов тканей: сатин, ситец, батист и др. Ткани, получаемые из волокна хлопчатника, обладают хорошей прочностью, мягкостью, гигроскопичностью, воздухопроницаемостью, гипоаллергенностью. Они легко окрашиваются, относительно дешевы. Их недостатками являются сминаемость, пиллингуемость (скатываемость), усадка при стирке. Также волокно идет на изготовление ваты, композитных материалов. Линт (хлопковый пух) используется для изготовления искусственного шелка, бумаги, изоляционных материалов, пороха.

Беловолокнистые формы хлопчатника явились результатом естественных мутаций и были отобраны селекционерами (рис. 2, А) (Tuz et al., 2023). В середине прошлого века начали разрабатывать новое направление селекции – создание сортов с цветным волокном. Осно-

вой послужили дикорастущие формы вида *G. hirsutum*, волокно которых имело окраску. В России создан сорт со светло-коричневым волокном – ‘Браун’ (рис. 2, В) (Tuz et al., 2023).

В ФГБУ «Госсорткомиссия» передан сорт с зеленым волокном – ‘Грин’ (рис. 3).

Природно окрашенное волокно обладает преимуществами. Оно не требует ни отбеливания, ни окрашивания, что резко снижает нагрузку на окружающую среду (Yatsu et al., 1983, Dutt et al., 2004). Изделия из натурально окрашенного волокна гипоаллергенны. В силу устойчивости волокна к пекто- и целлюлозолитическим микроорганизмам в изделиях может снижаться уровень продуктов его биодеструкции (афлатоксины) (Illarionova, Grigorev, 2020). В настоящее время сорта с природно окрашенным волокном занимают значительные площади, особенно в Китае (Sun et al., 2009; Zhang et al., 2019).



Рис. 2. Коробочки хлопчатника: А – сорт 'АС-5' с белым и В – сорт 'Браун' с природно окрашенным волокном (Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, с. Солёное Займище, 2018 г.; фото Л. П. Подольной)

Fig. 2. Cotton bolls: cv. 'AS-5' with white fiber (A), and cv. 'Brown' with naturally colored fiber (B) (Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaimishche, 2018; photo by L. P. Podolnaya)



Рис. 3. Коробочка хлопчатника с зеленым волокном (Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, с. Солёное Займище, 2018 г.; фото Л. П. Подольной)

Fig. 3. Cotton bolls with green fiber (Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaimishche, 2018; photo by L. P. Podolnaya)

Капок

Под названием «капок» культивируют два вида тропических деревьев. Хлопковое дерево, или капок настоящий *Bombax ceiba* L. (syn. *B. thorelii* Gagner.), и хлопковое дерево *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. относятся к семейству Malvaceae, подсемейству Bombacoideae. Плоды – крупные (10–12 см) вскрывающиеся коробочки, содержащие семена. Собственно «капок» – это одноклеточные волоски (трихомы), выросшие эпидермы, которые покрывают внутреннюю часть плода. Они, в отличие от волокна хлопчатника, состоящего практически полностью из целлюлозы, имеют в своем составе 50% целлюлозы, около 13% гемицеллюлозы и около 20% лигнина. Во время

раскрытия коробочки волоски отрываются от ее стенки и с помощью выделяемой слизи приклеиваются к семенам, увеличивая их «летучесть», что способствует их распространению. Капок, в отличие от хлопка, – волокно коробочек, оно легко разрушается и практически не прячется (Grudzinskaya, 1981; Shao et al., 2024).

По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. капок выращивали в Индонезии (156 тыс. га) и Таиланде (23 тыс. га). При этом на долю Индонезии приходилось 87% всех площадей, занятых под этой культурой. В динамике за 10 лет площади колебались в незначительных пределах – от 180 и 182 тыс. га в 2013 и 2018 г. к 179 тыс. га в 2023 г. (рис. 4).

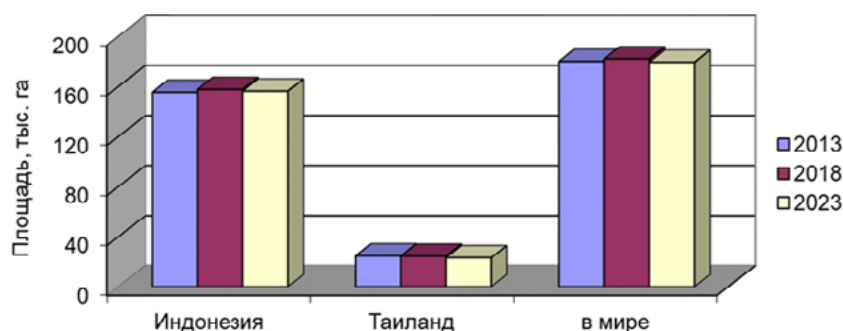


Рис. 4. Площади в Индонезии, Таиланде и в мире, занятые под капком (2013–2023 гг.)

Fig. 4. Kapok cultivation areas in Indonesia, Thailand, and the entire world (2013–2023)

Волокна капока тонкие, мягкие и блестящие, от светло-желтого до светло-коричневого цвета, легкие, так как имеют большие (около 74% от площади) внутренние пространства, заполненные воздухом, поэтому они более чем в 8 раз легче хлопка. Волокна имеют достаточно высокое содержание жира и покрыты гидрофобным восковым слоем, что делает их очень устойчивыми к влаге, водонепроницаемыми и плавучими. Это волокно используют для набивки мягкой мебели, игрушек, спальных мешков, матрасов, а также как звуко- и теплоизоляционный материал. Кроме того, оно применяется для производства гигроскопичной марли, изоляционных материалов и в обивке, в качестве плавающего материала в спасательных жилетах, для получения бумаги. Для биокomпозитов капок может выступать в качестве армирующих структур, после модификации может использоваться для адсорбции ионов тяжелых металлов и красителей из водных растворов (Baraniak et al., 2023).

Койр (кокос)

Кокос – это плод кокосовой пальмы *Cocos nucifera* L., являющейся единственным видом рода, относящимся к семейству Агесасеае. Кокосовая пальма – однодомное дерево до 30 м высотой с розеткой листьев наверху, устойчивое к засолению. В пазухах листьев развиваются соцветия, дающие плоды – крупные (массой до 2 кг) костянки, называемые кокосовыми орехами. Как и другие плоды, кокос имеет три слоя: экзокарпий, мезокарпий и эндокарпий. Экзокарпий – внешний слой околоплодника (или плода), образующий прочную и водонепроницаемую внешнюю стенку плодов кокоса. Мезокарпий содержит большое количество проводящих пучков, окруженных склеренхимными волокнами (или койром), внутри паренхимной ткани. Шелуха кокосовой пальмы на 30% состоит из волокон и на 70% – из паренхимы. Кокосовая скорлупа является сырьем для производства кокосового волокна. Кокосовое волокно делится на две совершенно разные категории – белые и коричневые волокна. Белое волокно получают из зеленой шелухи после процесса замачивания. Кокосовое волокно хорошего качества может быть получено из зеленой шелухи

с меньшим содержанием лигнина и почти таким же количеством целлюлозы. Полученное таким образом белое волокно является мягким, более гладким и эластичным, чем коричневое волокно. Коричневое волокно получают из полностью созревших кокосовых орехов, которые в процессе созревания приобретают коричневую окраску (Grimwood 1975; Kadam et al., 2014).

Волокно из мезокарпия плодов (койр), прочное, эластичное, устойчивое к соленой морской воде, служит для изготовления веревок, канатов, циновок, ковров, щеток, матов, мешков, набивки матрасов. В Камбодже его используют для изготовления метел. Также койр употребляют как субстрат для выращивания орхидей в теплицах (Grimwood, 1975; Ikhmanitskaya, 1982).

Кокосовая пальма – экономически очень важная культура. Она возделывается в той или иной степени в 80 странах. Площади, отводимые под эту культуру в 2023 г., составили 11,245 млн га. Основные производители – Филиппины (3,665 млн га), Индонезия (2,810 млн га) и Индия (2,277 млн га). Однако не известно, какой процент кокосовых орехов используется на производство волокна (<https://www.fao.org/statistics/en>).

Лубоволокнистые растения, возделываемые в промышленном масштабе

Джут

Джут (*Corchorus capsularis* L. и *C. olitorius* L.) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Grewioideae. Волокно белого джута лучшего качества, однако длинноплодный джут занимает большие площади (Pereverzev, Kultiasov, 1940; Vasiliev, 1981).

Джут круглоплодный (*C. capsularis*), известный как белый джут, – это прямостоячий полукустарник до 2 и более метров высотой, с округлыми коробочками. Предполагается, что родина белого джута – Китай (Pereverzev, Kultiasov, 1940).

Джут длинноплодный (*C. olitorius*) – это прямостоячая однолетняя трава, довольно ветвящаяся, до 3 м высотой, но при возделывании на волокно может достигать 4 м, коробочки удлинённые, стручковидные. Считается,

что родина джута длинноплодного – Индия (Pereverzev, Kultiasov, 1940).

Джутовое волокно получают из луба (флоэмы). Содержание волокна в стебле джута достигает 20–25%. Количество клеток в волокнистом пучке у джута колеблется от 8–9 до 20–25. Считается, что такой разброс в их количестве является основной причиной изменения физических и механических свойств волокна и его качества (Roy, Lutfar, 2012a).

Джут занимает второе место среди основных волокнистых культур. Площади, отводимые под эту культуру в 2023 г., составили 1,531 млн га. Его возделыванием занимались 18 стран. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), наибольшее количество сельскохозяйственных угодий занято под джутом в Бангладеш – 730 тыс. га, Индии – 619 тыс. га, Камбодже – 162 тыс. га. На эти страны приходится 98,7% всей площади под этой культурой в мире (рис. 5).

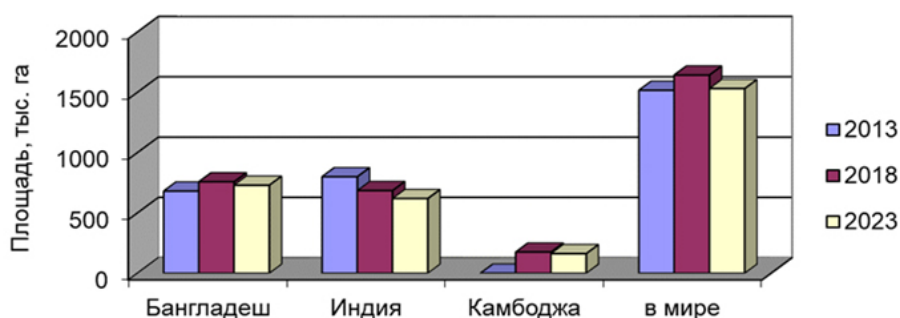


Рис. 5. Изменение посевных площадей, занятых под джутом (2013–2023 гг.)

Fig. 5. Dynamics of jute cultivation areas in the world (2013–2023)

Джут используется для производства волокна в промышленных масштабах. Коммерческое волокно джута может иметь цвет от бледно-кремового до золотисто-желтого и от светло-коричневого до грязно-серого. Оно обладает природным шелковистым блеском, однако довольно грубое, жесткое, неэластичное. Хорошая фрикционная способность, прочность, высокий модуль упругости и низкое удлинение при разрыве делают джут идеальным упаковочным материалом. Джутовое волокно гигроскопично, смоченные волокна могут разбухать до 23% в диаметре. Основными преимуществами джута являются его высокая прочность, умеренный набор влаги, хорошая окрашиваемость с использованием различных красителей, хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства и низкая стоимость. Основные недостатки – грубость, жесткость, низкая прочность во влажном состоянии, умеренная усадка при стирке, высокая линька волокон, фотопожелтение, ломкость складок, подверженность гниению. Применение джута ограничено грубостью получаемых тканей, потому что соотношение длины к диаметру джутовых волокон составляет всего 100–120, что значительно ниже минимума в 1000, необходимого для качественного прядения (Roy, Lutfar, 2012a). Однако проблема в последнее время находит решение в получении котонина из волокна джута и смеси его с хлопковым, вискозным или полиэстерным волокном (Nawaz et al., 2008).

Джут используется для изготовления упаковочных материалов, таких как дерюга, мешковина, геотекстиль и технический текстиль, веревок и бечевков, канатов, для производства летних сумок, домашнего текстиля, оби-

вочных материалов, настенных покрытий, как ковровая основа (нетканый войлок и джутовые ковры), в качестве тканевых подложек для линолеума, изоляционных материалов при прокладывании венцов деревянных домов, армированных волокон для композитов (Roy, Lutfar, 2012a).

Лен

Лен (*Linum usitatissimum* L.) – однолетнее травянистое растение высотой до 140 см, относится к семейству Linaceae. Род *Linum* насчитывает около 200 видов, однако практическое значение имеет только один вид – *L. usitatissimum*. Первобытный человек употреблял волокно дикорастущих видов (*L. perenne* L., *L. angustifolium* Huds. и др.). Первые находки культурного льна относят к неолиту. Лен обыкновенный издавна использовался как прядильная и масличная культура. Для прядильных целей используют две разновидности льна обыкновенного: лен-долгунец для получения длинного волокна хорошего качества и лен-межеумок для короткого волокна как побочного продукта при выращивании масличного льна на семена (Wulff, 1940; Elladi, 1940; Kutuzova, 1998; Kutuzova et al., 2015; Porokhovinova et al., 2021).

Лен-долгунец занимает второе место среди лубоволокнистых культур после джута и четвертое место среди волокнистых культур. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. посевы льна на волокно в мире составили 249 тыс. га. Лидирующую позицию занимает Франция – 131 тыс. га, на долю которой прихо-

дится 52,6% всей площади. Второе и третье место занимают Беларусь и РФ – 36 и 31 тыс. га соответственно. Суммарная площадь, занятая под льном-долгунцом в этих странах, составляет 79,8% (рис. 6, А). В РФ, по данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), за 10-летний период наблюдается сокращение посевных площадей (рис. 6, В).

Основные площади возделывания находятся в Приволжском (12,1 тыс. га), Центральном (10,5 тыс. га), Сибирском (10,4 тыс. га) федеральных округах. На долю Северо-Западного федерального округа приходилось лишь 2,3 тыс. га. Из них на Вологодскую область – 2,1 тыс. га.

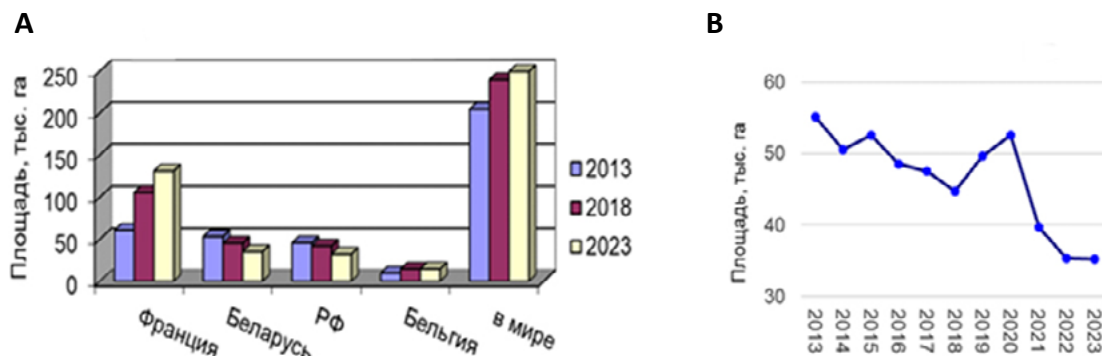


Рис. 6. Динамика посевных площадей льна-долгунца в мире (А) и России (В) за десятилетний период (2013–2023 гг.)

Fig. 6. Dynamics of flax cultivation areas in the world (A) and in Russia (B) over a ten-year period (2013–2023)

Лен-долгунец обладает самым ценным среди других лубяных культур волокном. Волокна льна имеют только первичное происхождение (первичная флоэма), что обеспечивает более высокое их качество. Общее содержание волокна в стебле, в зависимости от сорта, может колебаться от 25 до 40%. Длина технического волокна льна – от 60 до 100 см, оно прочнее хлопкового в два – три раза. Ткани, получаемые из льна, обладают высокой гигроскопичностью, хорошей теплопроводностью, химической инертностью, износостойкостью, антистатичностью, гипоаллергенностью. Недостатки – сильная сминаемость, усадка при стирке. Из волокна льна получают широкий ассортимент тканей: от батиста до брезента, которые идут на изготовление широкого ассортимента текстильных и трикотажных изделий. Короткое волокно применяется при производстве нетканых материалов, утеплителей, льняной ваты, биокomпозитов в аэрокосмической и автомобильной промышленности, для изготовления изоляции, строительных материалов. Другие сферы применения коротких грубых волокон – производство целлюлозы, пороха, папиросной бумаги, упаковки, ламината, древесностружечных плит и нетканых материалов различного назначения: от мебели до гео- и хемотекстиля. Из волокна льна любой длины можно получить модифицированное волокно (котонин) для выработки тонких бытовых тканей и трикотажа в смеси с другими волокнами (Ageeva et al., 2009; Brutch et al., 2008; Kozłowski et al., 2012a; Kutuzova et al., 2020; Lavrenteva et al., 2022).

Масличный лен (лен-межеумок). В мире под данной культурой в 2023 г. было занято 3,088 млн га. На долю двух стран – России (1,290 млн га) и Казахстана

(0,726 млн га) – приходилось 65,3% посевной площади. По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), на территории РФ больше всего эта культура занимала площади в 2023 г. в Сибирском (562,2 тыс. га), Приволжском (263,1 тыс. га), Уральском (246,3 тыс. га), Южном (214,0 тыс. га) федеральных округах.

В ВИР ведется работа по оценке физико-механических свойств волокна льна, которая показала, что лен-межеумок может иметь приемлемое качество волокна (Pavlov et al., 2022).

Кенаф

Кенаф (*Hibiscus cannabinus* L.) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение, стебель прямой, высотой до 3–4 м (Medvedev, 1940b).

В 2023 г., по данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), мировые посевы кенафа составили 153 тыс. га. Лидером является Индия, где посевы занимают 86,6 тыс. га, что соответствует 56% площадей (рис. 7).

В стеблях кенафа содержится 16–20% волокна. Волокно кенафа грубое, но имеет высокие показатели прочности, гибкости и гигроскопичности. Его используют при производстве мешковины, упаковочных материалов, брезентовых тканей, скатертей, ковров, канатов, шпагатов, веревок, рыболовных принадлежностей, бумаги и целлюлозы, биокomпозитов, изоляционных матов, абсорбционных материалов (Medvedev, 1940b; Ayadi et al., 2017).

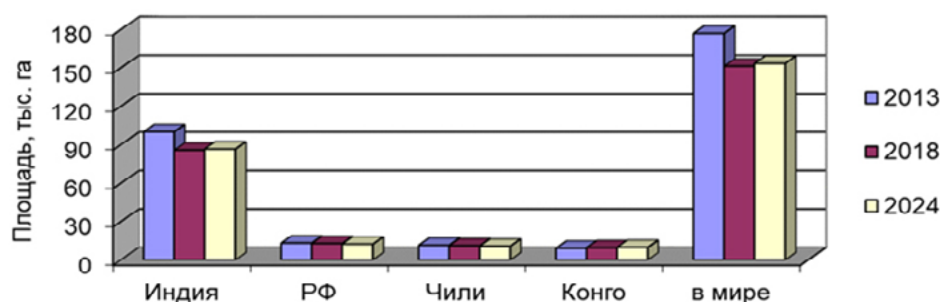


Рис. 7. Посевные площади, занятые под кенафом в мире (2013–2023 гг.)

Fig. 7. Kenaf cultivation areas in the world (2013–2023)

Конопля

Конопля (*Cannabis sativa* L.) принадлежит к семейству Cannabaceae. Это однолетнее ветроопыляемое, в основном двудомное растение. Конопля – культура комплексного использования. Из семян извлекают масло. До начала производства подсолнечного масла конопляное было самым распространенным растительным маслом в Российской империи. Мужские особи называют «поскось», женские – «матерка». Из стеблей поскось получается волокно лучшего качества по сравнению с тем, что дают растения матерки. Однако поскось созревает значительно раньше матерки и полегает, поэтому ее надо удалять сразу после цветения. В настоящее время созданы однодомные сорта конопли, более пригодные к механизированной уборке. Однодомность – генетически неустой-

чивый признак, пока не созданы сорта конопли, стабилизированные по этому признаку. Стебли растения конопли борозчатые снаружи, полые, длиной от 1 до 5 м, диаметром от 5 до 25 мм в зависимости от условий выращивания и от сорта (Pylnev, 2005; Horne, 2012; Serkov et al., 2019). По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), площади под коноплей в 2023 г. составили 85,0 тыс. га. Наибольшее количество земли под культурой отведено в КНДР – 22 тыс. га, Франции – 19,4 тыс. га, Китае – 19 тыс. га. Меньшую площадь посевы конопли занимают в США, Чили, РФ – 4,9, 4,5 и 3,5 тыс. га соответственно. На долю этих стран приходится 70% посевных площадей в мире (рис. 8, А). По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), на территории РФ под коноплей в 2023 г. было занято 11,4 тыс. га. (рис. 8, В), главным образом в Приволжском и Центральном федеральных округах.

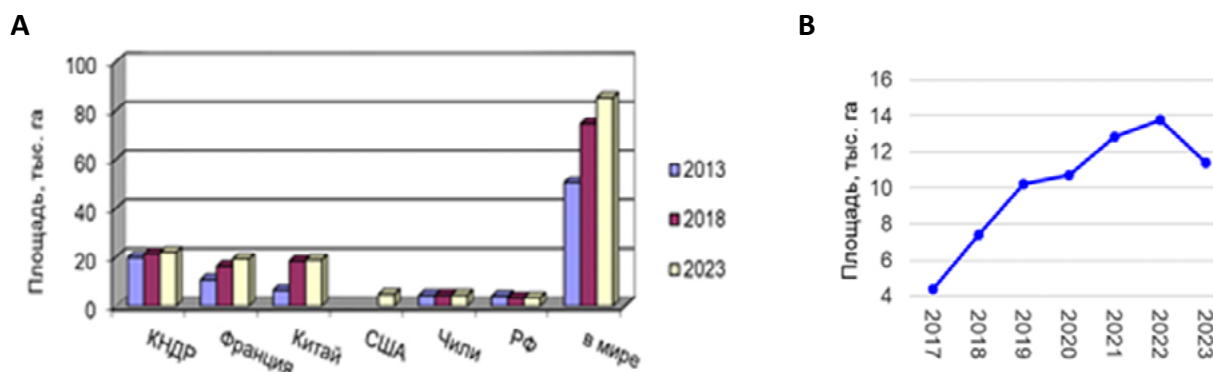


Рис. 8. Динамика посевных площадей конопли в мире (А) и в России (В)

Fig. 8. Dynamics of hemp cultivation areas in the world (А) and in Russia (В)

Содержание волокна в стебле конопли – от 16 до 35% (Pylnev, 2005). По гигроскопическим и физико-механическим свойствам волокно конопли (пенька) близко к волокну льна, однако оно более грубое и сильнее мнется. Волокно конопли используется для производства бумаги, изоляционных материалов, брезента, парусины,

канатов, веревок, биокмпозитов, а также в текстильном и мебельном производстве. Конопляную ткань применяют для пошива постельного белья и одежды. Конопляная вата используется в медицине, автомобильной и строительной отраслях (Serebryakova, Sizov, 1940; Horne, 2012; Serkov et al., 2019).

Рами

Рами (*Boehmeria*) принадлежит семейству Urticaceae. Культивируются два типа рами – белое рами (*B. nivea* (L.) Gaudich.) и зеленое рами, или рея (*B. nivea* var. *tenacissemata* (Gaudich.) Miq.). Белое рами, или настоящее рами, или китайская трава, является китайским культурным растением. Считается, что зеленое рами, или рея, – это гибрид с участием белого рами в качестве одного из родителей, и он появился на Малайском полуострове. Белое и зеленое рами различаются по месту произрастания: белое рами лучше всего растет в умеренных и субтропических зонах, а зеленое рами – в тропических регионах.

Рами – прямостоячее, обычно неветвящееся, высокое, быстрорастущее травянистое или полукустарниковое

многолетнее растение, достигающее в зрелом возрасте 1,0–2,5 м в высоту. Листья сердцевидной формы, длиной 7–15 см, шириной 6–12 см, белые с нижней стороны у белой рами и зеленые – у зеленой рами, с густыми мелкими волосками, что придает им серебристый оттенок (Medvedev, 1940a).

Считается, что зеленое рами имеет более высокий выход и прочность волокна, однако волокно белого рами превосходит его по плотности и ценится за приятный цвет (Medvedev, 1940a; Roy, Lutfar, 2012a).

Рами – одна из старейших прядильных культур и известна не менее 6000 лет. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), возделыванием рами занимается Китай – 3,7 тыс. га. Причем в 2023 г. (по сравнению с 2013 г.) произошло сокращение посевных площадей в 17 раз. Небольшие площади находятся в Лаосе – 0,68 тыс. га, по данным за 2023 г. (рис. 9).

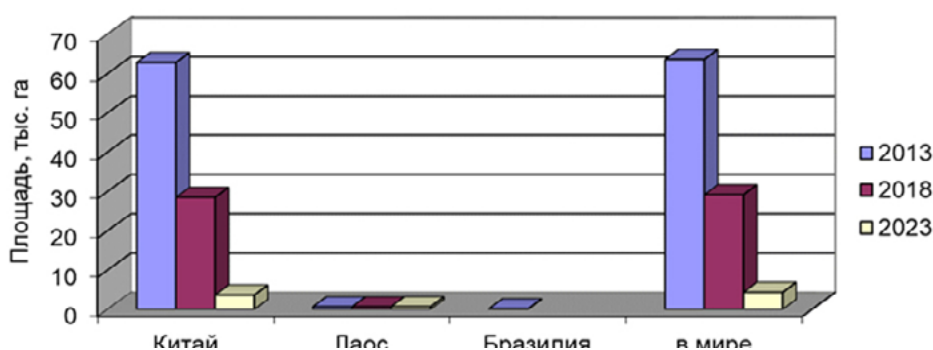


Рис. 9. Изменение посевных площадей рами в мире (2013–2023 гг.)

Fig. 9. Dynamics of ramie cultivation areas in the world (2013–2023)

Содержание волокна в стебле составляет около 20%. Волокна рами достаточно длинные, 130–150 мм в среднем (Roy, Lutfar, 2012b). Волокно рами обладает прочностью и устойчивостью к гниению. Недостатки – сминаемость, образование заломов на сгибах (Medvedev, 1940a).

Исторически волокно рами использовалось для изготовления очень тонкой ткани для верхней одежды, в том числе высококачественных кимоно, особенно в Японии и Корее. Блеск волокна рами напоминает шелк и лен, оно легко поддается окрашиванию, благодаря чему используется в производстве дорогих тканей для пошива костюмов, рубашек, постельного белья. Грубые волокна рами из-за высокой прочности и отсутствия растяжения чаще используются для изготовления шпагатов и ниток. Благодаря своей высокой прочности при намокании, способности быстро высыхать и значительной устойчивости к бактериальной деструкции, рами применяется для изготовления парусной ткани, рыболовных сетей, пожарных шлангов, поясов, брезента, упаковки для морских шахт, тканей для фильтров. Более короткие волокна и отходы, называемые poils, смешанные с хлопком/вискозой, используются для изготовления низкосорт-

ных тканей и высококачественной специальной бумаги, такой как папиросная бумага, бумага для банкнот и т. д. (Medvedev, 1940a). В последнее время намечается тенденция к производству смесовых тканей на основе волокна рами и хлопка (Chattopadhyay et al., 2008). Волокна рами используют для производства пластика, который применяется, в частности, для отделки автомобилей (Netravali, 2004).

Растения с волокном из листьев, возделываемые в промышленном масштабе

Агава

Род *Agave* L. относится к семейству Asparagaceae. С целью получения волокна в основном возделываются 3 вида агавы – сизаль (*Agave sisalana* Perrine), пита (*A. americana* L.) и флоридская агавы, или фальшивый сизаль (*A. decipiens* Baker). Центром происхождения всех видов агавы является Центральная Америка и юг США, но европейцы интродуцировали эту культуру в страны тропической Африки и Юго-Восточной Азии.

Растения *A. sisalana* и *A. americana* имеют короткий стебель, образующий розетку крупных мясистых жестких листьев, до 90–130 см и 80–120 см длиной и 9–12 см и 15–25 см шириной соответственно^{1, 2}. Растения *A. decipiens* древесные³, стволы высотой 1–3 (4) м, Листья длиной 70–100 (200) см и шириной – 7–10 см. Все три вида – монокарпики. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. площадь под агавой сизалевой составила 276 тыс. га. Наибольшие территории под агавой сизалевой заняты в Бразилии (104 тыс. га) и Танза-

нии (73 тыс. га), что составляет 63,8% мировой площади посева. На долю Кении, Гаити и Мадагаскара приходится 26,1% посева (рис. 10).

В 2023 г. площадь под агавой американской составила 58 тыс. га (<https://www.fao.org/statistics/en>). Ее возделывали 8 стран. Больше всего площадей под данной культурой занято в Колумбии (19,6 тыс. га) и Мексике (13,4 тыс. га). На эти страны приходится 57% сельскохозяй-

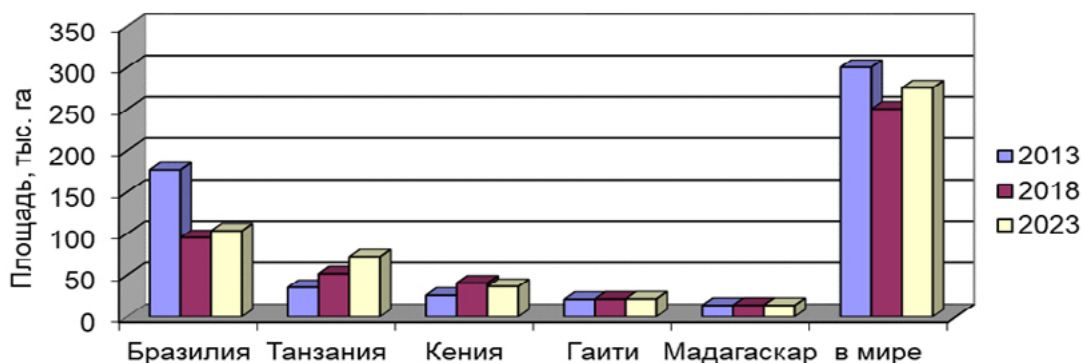


Рис. 10. Изменение посевных площадей агавы сизалевой в 2013–2023 гг.

Fig. 10. Dynamics of *Agave sisalana* cultivation areas in 2013–2023

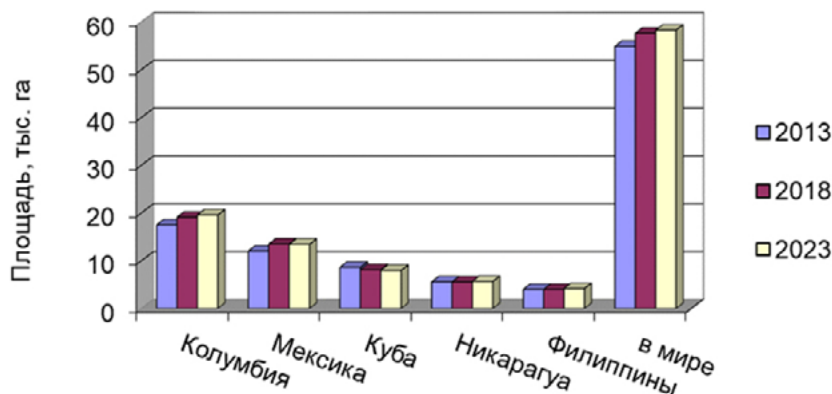


Рис. 11. Изменение посевных площадей агавы американской в 2013–2023 гг.

Fig. 11. Dynamics of *Agave americana* cultivation areas in 2013–2023

¹ eFloras.org. Flora of North America. *Agave sisalana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028033

² eFloras.org. Flora of North America. *Agave americana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028030

³ eFloras.org. Flora of North America. *Agave decipiens*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242101303

Волокно агав (агавы сизалевой – сизаль, агавы американской – пита, агавы флоридской – фальшивый сизаль): прочное, износостойкое, устойчивое к ультрафиолету, (Quinaya, d'Almeida, 2018), плохо прядомое, легко окрашивается, идет на изготовление веревок, канатов, сетей, шпагата, упаковочных тканей, холстов, используется в качестве наполнителя в ортопедических матрасах, а также для ковров в смеси с шерстью или акрилом. Отходы от производства применяются в изготовлении строительных материалов и т. д. (Kadolph, Langford, 2001; Kozłowski et al., 2012b).

Абака

Абака, или банан текстильный (*Musa textilis* Nee), относится к семейству Musaceae. Многолетнее травянистое растение. Известен под названием манильская конопля. Общая площадь посева в 2023 г. составила 181 тыс. га. Основная доля посева приходится на Филиппины – 148 тыс. га, что составляет 82% всей площади посева (рис. 12).

Волокно абаки очень прочное, эластичное, износо-

стойкое, устойчиво к ультрафиолету и морской воде, воздухопроницаемо, гипоаллергенно, обладает длительным сроком эксплуатации. Оно используется для изготовления ткани, которая идет на пошив блузок, рубашек, туник, брюк, платьев. Грубое волокно идет на изготовление головных уборов, циновок, гамаков, парусов и канатов, а также на производство бумаги (Kozłowski et al., 2005).

Прочие волокнистые растения, не имеющие значительных посевных площадей

Среди прочих волокнистых растений отдельно можно отметить лубоволокнистые растения: канатник, крапиву, кроталарию, дрок испанский, мальву, кендырь, а также новозеландский лен, у которого волокно производят из листьев.

Бамия (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) (Indian Okra) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Стебли используются как побочный продукт при выращивании плодов в Индии. Выход волокна – 10–25% (Kolte, Shivankar, 2024).

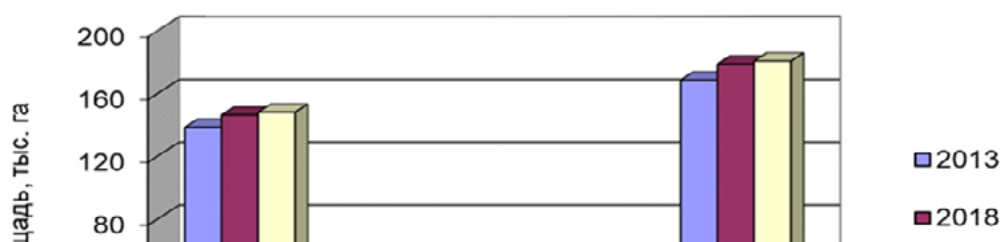


Рис. 12. Площади, занятые под абакой в 2013–2023 гг.

Fig. 12. Dynamics of abacá cultivation areas in 2013–2023

Канатник (*Abutilon theophrasti* Medik.) принадлежит семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение до 4,5 м высоты, выход волокна – 14,5–27,0%. Получаемое из него волокно грубое, ломкое и непрочное, годное для производства мешковины, шпагатов, веревок, рыболовных сетей и т. д. (Lysova, 1940).

Крапива (*Urtica dioica* L.) принадлежит семейству Urticaceae. Двудомное многолетнее травянистое растение до 2 м высотой. Крапива как прядильная культура известна давно. Изделия из волокна крапивы найдены на стоянках человека Бронзовой эры в Дании. Позже из него делали одежду, сети, паруса. В начале XX века ее волокно применяли для изготовления бельевых и более грубых тканей, веревочно-канатных изделий. Так как выход волокна у крапивы – 7,5–13,0% (Medvedev, 1940d; Sfiligoj Smole et al., 2013), ее выращивание с появлением искусственных волокон стало невыгодно, и сейчас она не возделывается в промышленных масштабах. Однако проводятся работы по ее изучению: так, в Италии в 2006–2007 гг. показано, что крапива может быть рентабельна, так как ее волокно похоже на волокно конопли по диаметру, содержанию лигнина и относительному удлинению,

а также на волокно льна и хлопчатника по прочности при растяжении (Bacci et al., 2009).

Кроталария прядильная (*Crotalaria juncea* L.) принадлежит семейству Fabaceae. Однолетнее травянистое растение высотой 2–3 м, возделывалось в Индии. Выход волокна – 8–12%. Волокно носило название «индийская пенька», которую использовали для изготовления холста, мешков, веревки, в том числе сетей, а также бумаги. Его качество не уступало волокну из джута (Pereverzev, 1940).

Дрок испанский (*Spartium junceum* L.) относится к семейству Fabaceae. Кустарник, реже дерево до 5 м высотой. Лубяные волокна, которые добывают из стеблей, обладают большой прочностью, устойчивостью против инсоляции и влаги. Они идут на изготовление грубых тканей (полотна, дерюги, холста и парусины), а также на производство бумаги, изоляционных материалов, линолеума, могут использоваться для котонизации. Древние греки и римляне применяли волокно дрока для изготовления грубых, а также более тонких тканей (Muratova, 1940).

Мальва мелюка (*Malva meluca* Graebn.) принадлежит к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение высотой 2–3 м, инт-

родуцирована в СССР в начале 1930-х годов. Имеет грубое, жесткое, ломкое волокно, пригодное для веревочно-канатного производства. Выход волокна – 13–21% (Medvedev, 1940c).

Кендырь (*Arosynum cannabinum* L. и другие виды) относится к семейству Аросунасеае. Многолетнее травянистое растение имеет прямостоячий стебель длиной до 1 м и более. Выход волокна – 9,0–12,2%. Техническое волокно отличается прочностью эластичностью, длиной. В Казахстане и Монголии из него изготавливали ткани, веревки, рыболовные сети, в Северной Америке – ткани, тетиву луков, веревку, рыболовную леску. В современных условиях может использоваться для производства котонина, бумаги (Kaminer, 1940a).

Новозеландский лен (*Phormium tenax* J.R. Forst. & G. Forst.) – травянистое многолетнее растение семейства Asphodelaceae, растущее в Новой Зеландии и на острове Норфолк. Имеет длинные (до 2–3 м в длину и 5–12 см в ширину) узколанцетные листья, расположенные веерообразно, которые содержат тонкие, но крепкие волокна. Выход волокна достигает 22% от веса зеленого листа (Kaminer, 1940b). Целые листья и извлеченные из них (содранные с живого листа) волокна используются для традиционного ткачества. Маори из новозеландского льна изготавливают одежду, сетки, сумки, корзины и циновки, сплетенные из полосок листьев или сотканые из волокна, содранного с листьев (Kaminer, 1940b; Wehi, Clarkson, 2007). В связи с развитием производства биокomпозитов волокно новозеландского льна является перспективным для использования в качестве армирующего компонента. Новозеландский лен сейчас активно используется в качестве декоративного растения в условиях мягкого климата (Furtado et al., 2023).

Заключение

В данной публикации рассмотрены волокнистые культурные растения, многие из которых возделываются на значительных площадях (хлопчатник, джут, лен-долгунец и др.), другие имеют только локальное применение (новозеландский лен, бамбук, юкка и др.), третьи почти забыты или остались только в фольклоре (крапива, кендырь и др.). Волокна одних культур являются источником дохода (хлопчатник, лен-долгунец, сизаль), других – побочной продукцией (кокос, лен масличный, сахарный тростник, бамбук, бамия). Есть культуры, которые большей частью имеют декоративное применение (агавы, новозеландский лен), многие участвуют в биоремедиации почв (лен-долгунец, конопля). Часто волокнистые культуры используют в производстве биокomпозитов (лен-долгунец, джут, конопля, рами). Все они являются возобновляемым источником сырья.

References / Литература

Ageeva M.V., Amenitsky S.I., Gorshkova T.A., Guryanov O.P. Biogenesis of plant fibers: a monograph (Biogeneza rastitelnykh volokon: monografiya). T.A. Gorshkova (ed.). Moscow: Nauka; 2009. [in Russian] (Ageeva M.B., Аменицкий С.И., Горшкова Т.А.,

Гурьянов О.П. Биогенез растительных волокон: монография / под ред. Т.А. Горшковой. Москва: Наука; 2009).

Yadi R., Hanana M., Mzid R., Hamrouni L., Khouja M.L., Hanachi A.S. *Hibiscus Cannabinus* L. – Kenaf: a review paper. *Journal of Natural Fibers*. 2017;14(4):466-484. DOI: 10.1080/15440478.2016.1240639

Bacci L., Baronti S., Predieri S., di Virgilio N. Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Industrial Crops and Products*. 2009;29(2-3):480-484. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.09.005

Baraniak J., Kania-Dobrowolska M. Multi-purpose utilization of kapok fiber and properties of *Ceiba pentandra* tree in various branches of industry. *Journal of Natural Fibers*. 2023;20(1):2192542. DOI: 10.1080/15440478.2023.2192542

Brutch N.B., Soret-Morvan O., Porokhovina E.A., Sharov I.Y., Morvan C. Characters of fibre quality in lines of flax genetic collection. *Journal of Natural Fibers*. 2008;5(2):95-126. DOI: 10.1080/15440470801928939

Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W., Judd W.S., Soltis D.E. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20. DOI: 10.1111/boj.12385

Chattopadhyay S.K., De S., Venugopal B. Value added knits from ramie-cotton blended yarns spun using short staple (cotton) spinning system. In: *Proceedings Book of the International Conference on Flax and Other Bast Plants; 2008 July 20–23; Saskatoon, Saskatchewan, Canada*. Saskatoon; 2008. p.1-9.

Dochia M., Sirghie C., Kozłowski R.M., Roskwitalski Z. Cotton fibres. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012. p.11-23. DOI: 10.1533/9780857095503.1.9

Dutt Y., Wang X.D., Zhu Y.G., Li Y.Y. Breeding for high yield and quality in colored cotton. *Plant Breeding*. 2004;123(2):145-151. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00938.x

eFloras.org. Flora of North America. *Agave americana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028030 [accessed Dec. 01, 2024].

eFloras.org. Flora of North America. *Agave decipiens*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242101303 [accessed Dec. 01, 2024].

eFloras.org. Flora of North America. *Agave sisalana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028033 [accessed Dec. 01, 2024].

Elladi E.V. *Linum usitatissimum* L. Vav. consp. nov. – Flax (Len). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.109-208. [in Russian] (Эллади Е.В. *Linum usitatissimum* L. Vav. consp. nov. – Лен. В кн.: *Культурная Флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.109-208).

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics: [website]. Available from: <https://www.fao.org/statistics/en> [accessed Dec. 01, 2024].

Federal State Statistics Service (Rosstat): [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики (Росстат): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru> [дата обращения: 01.12.2024].

Furtado F., Flores-Sahagun T.H.S., Franco T.S. Analysis of polymeric composites of *Phormium tenax*. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023;13(2):124. DOI: 10.33263/BRIAC132.124

Geister A.I. (ed.). *Agricultural glossary and reference directory (Selskokhozyaystvenny slovar-spravochnik)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1934. [in Russian] (Сельскохозяйственный словарь-справочник / под ред. А.И. Гайстера. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1934). URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/agriculture/513/ВОЛОКНИСТЫЕ> [дата обращения: 01.12.2024].

Grimwood B.E. *Coconut palm products: their processing in developing countries*. Rome: FAO; 1975.

Grudzinskaya I.A. The bombax family (Bombacaceae) (Semeystvo bombakovykh [Bombacaceae]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1981. Vol. 5, pt. 2. p.128-132. [in Russian] (Грудзинская И.А. Семейство бомбаксовые (Bombacaceae). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1981. Т. 5, ч. 2. С.128-132).

Horne M.R.L. Bast fibres: hemp cultivation and production. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1:*

- Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012. p.114-145. DOI: [10.1533/9780857095503.1.114](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.114)
- Ikhmanitskaya N.N. The palm tree order (Arecales) (Poryadok palmy [Arecales]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1982. Vol. 6. p.410-447. [in Russian] (Ихманицкая Н.Н. Порядок пальмы (Arecalis). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1982. Т. 6. С.410-447).
- Illarionova K., Grigorev S. Micromycetes-resistant colored cotton is promising material to reduce mycotoxins amounts in textiles. *E3S Web of Conferences*. 2020;164(6):06015. DOI: [10.1051/e3sconf/202016406015](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016406015)
- Kadam V., Chattopadhyay S.K., Bharimalla A., Venugopal B. Mechanical characterization of brown and green coconut husk. *Journal of Natural Fibers*. 2014;11(4):322-332. DOI: [10.1080/15440478.2013.879086](https://doi.org/10.1080/15440478.2013.879086)
- Kadolph S.J., Langford A.L. *Textiles*. 9th ed. Harlow: Pearson Education Ltd.; 2001.
- Kaminer L.V. *Apocinum* L. – Dogbane (Kendyr). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940a. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.278-289. [in Russian] (Каминер Л.В. *Апоцинум* L. – Кендырь. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940а. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.278-289).
- Kaminer L.V. *Phormium* Forst. – New Zealand flax (Novozelandskiy len). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940b. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.304-308. [in Russian] (Каминер Л.В. *Формиум* Forst. – Новозеландский лен. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940b. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.304-308).
- Kelly B., Abidi N., Ethridge D., Hequet E.F. Fiber to fabric. In: D.D. Fang, R.G. Percy (eds). *Agronomy Monographs*. 2nd ed. Madison, WI; 2015. Vol. 57: Cotton. p.665-744. DOI: [10.2134/agronmonogr57.2013.0031](https://doi.org/10.2134/agronmonogr57.2013.0031)
- Kolte P.P., Shivankar V.S. Some studies on *Abelmoschus esculentus* (Indian Okra) fiber characteristics. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*. 2024;19(1):39. DOI: [10.1186/s40712-024-00188-2](https://doi.org/10.1186/s40712-024-00188-2)
- Kozłowski R., Baraniecki P., Barriga-Bedoya J. Bast fibres (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca). In: R.S. Blackburn (ed.). *Biodegradable and Sustainable Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2005. p.36-88. DOI: [10.1533/9781845690991.36](https://doi.org/10.1533/9781845690991.36)
- Kozłowski R., Kicińska-Jakubowska A., Muzyczek M., Natural fibres for interior textiles. In: T. Rowe (ed.). *Interior Textiles: Design and Developments*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009. p.3-38. DOI: [10.1533/9781845696870.1.3](https://doi.org/10.1533/9781845696870.1.3)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M., Allam A.M. Bast fibres: flax. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres*. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Cambridge Woodhead Publishing; 2012a. p.56-113. DOI: [10.1533/9780857095503.1.56](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.56)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M., Barriga-Bedoya J. Natural fibers production, processing, and application: inventory and future prospects. In: L. Korugic-Karasz (ed.). *ACS Symposium Series*. Vol. 1061. *Contemporary Science of Polymeric Materials*. Washington, DC: American Chemical Society; 2010. p.41-51. DOI: [10.1021/bk-2010-1061.ch003](https://doi.org/10.1021/bk-2010-1061.ch003)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M. Introduction to natural textile fibres. In: R.M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk (eds). *Handbook of Natural Fibres*. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2020. p.1-13. DOI: [10.1016/B978-0-12-818398-4.00001-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00001-3)
- Kozłowski R., Muzyczek M., Kregielczak A. Natural fibers. In: *Wiley Encyclopedia of Composites*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2012b. p.1953-1963. DOI: [10.1002/9781118097298.weoc161](https://doi.org/10.1002/9781118097298.weoc161)
- Kutuzova S.N. The genetics of flax (Genetika lna). In: *Genetics of Cultivated Plants (Flax, Potato, Carrot, Greens, Gladiolus, Apple, and Alfalfa) (Genetika kulturnykh rasteniy [len, kartofel, morkov, zelenyye kultury, gladiolus, yablonya, lyutserna])*. St. Petersburg: VIR; 1998. p.6-96. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетика льна. В кн.: *Генетика культурных растений (лен, картофель, морковь, зеленные культуры, гладиолус, яблоня, люцерна)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.6-96).
- Kutuzova S.N., Porokhovina E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):57-64. [in Russian] Кутузова С.Н., Пороховина Е.А., Бруч Н.Б., Павлов А.В. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):57-64. DOI: [10.30901/2227-8834-2020-2-57-64](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64)
- Kutuzova S.N., Porokhovina E.A., Pendinen G.I. Origin and evolution of *Linum usitatissimum* L. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(2):436-455. [in Russian] (Кутузова С.Н., Пороховина Е.А., Пендинен Г.И. Происхождение и эволюция *Linum usitatissimum* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(4):436-455). DOI: [10.30901/2227-8834-2015-4-436-455](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2015-4-436-455)
- Lavrenteva E.P., Sanina O.K., Belousov R.O. The deep processing of bast fibers as the way to the revival of the national traditions of Russia. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2022;3(399):130-139. [in Russian] (Лаврентьева Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022;3(399):130-139). DOI: [10.47367/0021-3497_2022_3_130](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_3_130)
- Lysova E.I. *Abutilon avicennae* Gaertn. – Abutilon (Kanatnik). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.258-270. [in Russian] (Лысова Е.И. *Абутилон авиценнае* Gaertn. – Канатник. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.258-270).
- Medvedev P.F. *Boehmeria* Jacq. – Ramie (Rami). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940a. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.66-83. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Бохмерия* Jacq. – Рами. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940а. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С. 66-83).
- Medvedev P.F. *Hibiscus cannabinus* L. – Kenaf. In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940b. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.241-257. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Хибикус каннабис* L. – Кенаф. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940b. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С. 241-257).
- Medvedev P.F. *Malva* L. – Mallow (Malva). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940c. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.272-277. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Мальва* L. – Мальва. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940с. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.272-277).
- Medvedev P.F. *Urtica* L. – Nettle (Krapiva). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940d. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.55-66. [in Russian] (*Urtica* L. – Крапива. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940d. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.55-66).
- Mirakhmedov S.M. (ed.). *Encyclopedia of cotton production in 2 volumes*. Vol. 1 (Entsiklopediya khlopkovodstva v 2 tomakh. T. 1). Tashkent; 1985. [in Russian] (Энциклопедия хлопководства в 2- томах. Т. 1 / под ред. С.М. Мирахмедова. Ташкент; 1985).
- Muratova V.S. *Spartium junceum* L. – Spanish broom, or weaver's broom (Drok ispanskiy, ili pryadilny). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.85-87. [in Russian] (Муратова В.С. *Спартиум юнсеум* L. – Дрок испанский, или прядильный. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.85-87).
- Nawaz S.M., Farooq A., Baig S.A. Studies on cottonized jute composite structures spun on ring, rotor and air jet spinning systems. In: *Proceedings Book of the International Conference on Flax and Other Bast Plants; 2008 July 20–23; Saskatoon, Saskatchewan, Canada*. Saskatoon; 2008. p.290-298.
- Netravali A.N. Ramie fiber reinforced natural plastics. In: F.T. Wallenberger, N.E. Weston (eds). *Natural Fibers, Plastics and Composites*. Boston, MA: Springer; 2004. p.321-343. DOI: [10.1007/978-1-4419-9050-1_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9050-1_18)
- Pavlov A.V., Porokhovina E.A., Novikova L.Yu., Kutuzova S.N., Brutch N.B. New linseed accessions in the VIR collection, suitable for dual utilization (seed and fiber) in the North-Western Region of the Russian Federation. *Journal of Natural Fibers*. 2022;19(14):7553-7565. DOI: [10.1080/15440478.2021.1952137](https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952137)
- Pereverzev G.A. *Crotalaria* L. – Rattlebox (Krotalyariya). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.87-96. [in Russian] (Переверзев Г.А.

- Crotalaria* L. – Кроталария. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.87-96).
- Pereverzev G.A., Kultiasov N.V. *Corchorus* (Tourn.) L. – Jute (Dzhut). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.212-224. [in Russian] (Переверзев Г.А., Культиасов Н.В. *Corchorus* (Tourn.) L. – Джут. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.212-224).
- Podolnaya L., Ivanova N., Abaldov A., Kushnareva T., Hodjaeva N. The variability of cotton accessions (*Gossypium hirsutum* L.) with different leaf forms under non-irrigated conditions. *Biological Communications*. 2016;(2):70-86. DOI: [10.21638/11701/spbu03.2016.205](https://doi.org/10.21638/11701/spbu03.2016.205)
- Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Yakusheva T.V., Brutch N.B. Collection of flax genetic resources of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(2):75-90. [in Russian] (Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Бруч Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(2):75-90). DOI: [10.18699/LettersVJ2021-7-09](https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-09)
- Pylnev V.V. (ed.). Special breeding of field crops (Chastnaya selektsiya polevykh kultur). Moscow: KolosS; 2005. [in Russian] (Частная селекция полевых культур / под ред. В.В. Пыльнева. Москва: КолосС; 2005).
- Quinaya D.C.P., d'Almeida J.R.M. Effect of surface treatments on the cross-section area and on the tensile properties of sisal fibers. *Journal of Natural Fibers*. 2019;16(6):817-824. DOI: [10.1080/15440478.2018.1439427](https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1439427)
- Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Composite materials based on synthetic polymers reinforced with natural fibers. *Polymer Science, Series A*. 2019;61(4):417-438. DOI: [10.1134/S0965545X19040084](https://doi.org/10.1134/S0965545X19040084)
- Roy S., Lutfar L.B., Bast fibres: jute. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012a. p.24-46. DOI: [10.1533/9780857095503.1.24](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.24)
- Roy S., Lutfar L.B. Bast fibres: ramie. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012b. p.47-55. DOI: [10.1016/B978-1-84569-697-9.50004-7](https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-697-9.50004-7)
- Sangalang R.H. Kapok fiber – Structure, characteristics and applications: a review. *Oriental Journal of Chemistry*. 2021;37(3):513-523. DOI: [10.13005/ojc/370301](https://doi.org/10.13005/ojc/370301)
- Serkov V.A., Belousov R.O., Alexandrov R.M., Davydova O.K. Latest directions of common hemp selection for solving modern problems of domestic economy and import substitution. *Volga Region Farmland*. 2019;3(3):24-30. DOI: [10.26177/VRF.2019.3.3.005](https://doi.org/10.26177/VRF.2019.3.3.005)
- Serebryakova T.Ya., Sizov I.A. Fam. Cannabiaceae Lindl. – Hemp family (Konoplyanye). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.1-53. [in Russian] (Серебрякова Т.Я., Сизов И.А. Сем. Cannabiaceae Lindl. – конопляные. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.1-53).
- Sfiligoi Smole M., Hribernik S., Kleinschek K.S., Kreže T. Plant fibres for textile and technical applications. In: S. Grundas, A. Stepniewski (eds). *Advances in Agrophysical Research*. London: IntechOpen; 2013. p.369-398. DOI: [10.5772/52372](https://doi.org/10.5772/52372)
- Shao L., Jin S., Chen J., Yang G., Fan R., Zhang Z. et al. High-quality genomes of *Bombax ceiba* and *Ceiba pentandra* provide insights into the evolution of Malvaceae species and differences in their natural fiber development. *Plant Communications*. 2024;5(5):100832. DOI: [10.1016/j.xplc.2024.100832](https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100832)
- Strygina K., Khlestkina E., Podolnaya L. Cotton genome evolution and features of its structural and functional organization. *Biological Communications*. 2020;65(1):15-27. DOI: [10.21638/spbu03.2020.102](https://doi.org/10.21638/spbu03.2020.102)
- Sun D.L., Sun J.L., Jia Y.H., Ma Z.Y., Du X.M. Genetic diversity of colored cotton analyzed by simple sequence repeat markers. *International Journal of Plant Science*. 2009;170(1):76-82. DOI: [10.1086/593037](https://doi.org/10.1086/593037)
- Tuz R.K., Asfandiurova M.Sh., Podolnaya L.P. 'Braun': the first Russian cotton cultivar with naturally colored fiber. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):154-162. [in Russian] (Туз Р.К., Асфандиярова М.Ш., Подольная Л.П. 'Браун' – первый российский сорт хлопчатника с природно-окрашенным волокном. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):154-162). DOI: [10.30901/2227-8834-2023-1-154-162](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-154-162)
- Vasiliev I.V. The linden family (Tiliaceae) (Semeystvo lipovye [Tiliaceae]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1981. Vol. 5, pt. 2. p.117-120. [in Russian] (Васильев И.В. Семейство липовые (Tiliaceae). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1981. Т. 5, ч. 2. С.117-120).
- Wehi P.M., Clarkson B.D. Biological flora of New Zealand 10. *Phormium tenax*, harakeke, New Zealand flax. *New Zealand Journal of Botany*. 2007;45(4):521-544. DOI: [10.1080/00288250709509737](https://doi.org/10.1080/00288250709509737)
- Wulff E.V. Cultivated flora of the globe. Lists of taxa by floristic complexes (Kulturnaya flora Zemnogo shara. Spiski taksonov po floristicheskim kompleksam). M.G. Agaev (ed.). Leningrad: VASKhNIL; 1987. [in Russian] (Вульф Е.В. Культурная флора Земного шара. Списки таксонов по флористическим комплексам / под ред. М.Г. Агаева. Ленинград: ВАСХНИЛ; 1987).
- Wulff E.V. Linaceae (DC.) Dumort. – Flax family (Lnovye). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.97-108. [in Russian] (Вульф Е.В. Linaceae (DC.) Dumort. – Льновые. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.97-108).
- Yatsu L.Y., Espelie K.E., Kolattukudy P.E. Ultrastructural and chemical evidence that the cell wall of green cotton fiber is suberized. *Plant Physiology*. 1983;73(2):521-524. DOI: [10.1104/pp.73.2.521](https://doi.org/10.1104/pp.73.2.521)
- Zhang X., Pan L.P., Du M., Chen Z., Hua W.C., Yuan C. et al. Physiological characteristics associated with fiber development in two naturally colored cotton cultivars. *Agronomy Journal*. 2019;111(3):1190-1197. DOI: [10.2134/agronj2018.03.0166](https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0166)

Информация об авторах

Андрей Валерьевич Павлов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Анастасия Александровна Слободкина, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.slobodkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2333-1980>

Лариса Петровна Подольная, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.porokhovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Information about the authors

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Anastasia A. Slobodkina, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.slobodkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2333-1980>

Larisa P. Podolnaya, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 03.12.2024; одобрена после рецензирования 12.12.2024; принята к публикации 22.12.2024.

The article was submitted on 03.12.2024; approved after reviewing on 12.12.2024; accepted for publication on 22.12.2024.



Низкотемпературное хранение семян. Становление метода и его роль в сохранении генетических ресурсов растений

Г. И. Филипенко

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

Автор, ответственный за переписку: Галина Ивановна Филипенко, g.filipenko@vir.nw.ru

Около 90% генетических ресурсов культурных растений Земли сохраняется в виде коллекций семян. Низкотемпературное хранение образцов семян позволяет уменьшить число пересевов, поддерживать жизнеспособность семян на высоком уровне длительные сроки. В статье обсуждаются исследования влияния различных факторов на долговечность семян, ставшие методической основой при организации низкотемпературного хранения семян в генных банках растений. Рассмотрены случаи чрезвычайного долголетия семян, расширяющие наши представления о возможностях живых организмов. Приведены сведения из стандартов генных банков (Genebank Standards, 1994, Genebank Standards..., 2014) о выделении нескольких типов коллекций (активная, базовая, дублетная), что позволяет рационально организовать хранение и использовать имеющийся материал, а также о современных требованиях к условиям низкотемпературного хранения.

Ключевые слова: генетические ресурсы растений, стандарты генных банков, условия хранения, всхожесть семян, влажность семян

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

Для цитирования: Филипенко Г.И. Низкотемпературное хранение семян. Становление метода и его роль в сохранении генетических ресурсов растений. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):50-56.

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

© Филипенко Г.И., 2024

Review article

Low-temperature storage of seeds. Establishment of the method and its role in plant genetic resources conservation

Galina I. Filipenko

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

Corresponding author: Galina I. Filipenko, g.filipenko@vir.nw.ru

About 90% of the global cultivated plant genetic resources are preserved as seed collections. The low-temperature storage of seed accessions allows for the reduction of the number of regenerations and for long term maintenance of high level seed viability. The article considers studies of the influence of various factors on seed longevity, which became the methodological basis for organizing low-temperature seed storage in plant genebanks. The presented cases of extreme seed longevity expand our knowledge of the capabilities of living organisms. The Genebank Standards (1994) and Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (2014) provide information on the subdivision of collections into active, basic, and duplicate ones, which allows rational organization of storage and use of available material, as well as describe modern requirements to low-temperature storage conditions.

Keywords: plant genetic resources, genebank standards, storage conditions, seed germination, seed moisture

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

For citation: Filipenko G.I. Low-temperature storage of seeds. Establishment of the method and its role in plant genetic resources conservation. *VIR Bulletin*. 2024;(243):50-56. (In Russ.).

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

© Filipenko G.I., 2024

Введение

В настоящее время человечеством осознана важнейшая проблема – многим видам животных и растений грозит исчезновение. Происходит это из-за отрицательного воздействия цивилизации на природу: распашки целинных и залежных земель, вырубки лесов, интенсивных методов ведения сельского хозяйства, развития технологий, нарушающих экологическое равновесие. В противовес этому процессу для сохранения видов животных и растений создаются заповедники, заказники (сохранение *in situ*, т. е. сохранение экосистем и естественных мест обитания), а также поддержание и восстановление жизнеспособных популяций видов в их естественной среде), коллекции животных, семян растений (сохранение *ex situ*, т. е. сохранение компонентов биологического разнообразия вне их естественных мест обитания) (The Convention on Biological..., 1993).

В мире около 90% генетических ресурсов культурных растений сохраняется в виде коллекций семян. Долгое время поддержание их в живом виде осуществлялось путем регулярных пересевов. Но во второй половине двадцатого столетия во многих научно-исследовательских учреждениях, занимающихся сбором и изучением растительных ресурсов, назрела серьезная необходимость пересмотра принципов работы с коллекциями семян. На это повлияло в основном два фактора: первый – необходимость ежегодного расходования огромных средств на пересевы, второй – большая вероятность генетической эрозии или биологического засорения образцов семян, возникающая при каждом переосеве. Технология низкотемпературного хранения семян позволяет увеличить продолжительность периода, когда семена имеют высокую жизнеспособность и нет необходимости их пересевать. Именно поэтому были организованы генетические банки, использующие низкотемпературное хранение: в США в 1958 году, Японии в 1966 году (Roberts, 1972), в СССР в 1976 году (Khoroshailov, 1978), Турции и в Скандинавских странах в 1978 году. К 2009 г. в мире насчитывалось более 1750 учреждений, в которых на низкотемпературном хранении находилось в общей сложности 7,4 миллиона образцов семян. Среди ведущих генбанков растений ВИР, коллекция которого в то время составляла 328 727 образцов, занимал четвертое место (FAO, 2010). XXI век ознаменовался осуществлением таких крупных проектов в области сохранения генетических ресурсов растений, как партнерство Банк семян тысячелетия (Millennium Seed Bank Partnership), координируемое Королевским ботаническим садом Кью (Великобритания) и Всемирное хранилище семян на Шпицбергене (Svalbard Global Seed Vault), созданное по инициативе правительства Норвегии. В настоящее время в Банке семян тысячелетия хранится более 2,4 миллиарда семян диких растений со всего мира, представляющих почти 40 000 различных видов (Royal Botanic..., 2024). Во Всемирном хранилище семян на Шпицбергене на депозитарном хранении находится 1 331 458 образцов семян 6297 видов от 123 депозиторов (Svalbard Global..., 2024).

Созданию генных банков растений, использующих низкотемпературное хранение семян, предшествовала большая научно-методическая работа. Надо было представлять, насколько долго семена могут сохранять жизнеспособность, и от каких факторов это зависит. Необходимо было продумать организацию хранения семян так, чтобы гарантировать надежное сохранение генетического материала растений и обеспечение селекционеров исходным материалом для селекции.

Случаи поразительной долговечности семян

Рассмотрим случаи невероятной долговечности семян в порядке увеличения срока сохранения семенами жизнеспособности.

Пьер Беккерель исследовал жизнеспособность семян, полученных им из хранилищ парижского Национального музея. Семена были собраны в период с 1819 по 1853 г., а способность их к прорастанию изучалась в 1906 г. и затем в 1934 г. Для 13 видов П. Беккерель установил длительность жизни, равную 55–158 годам, а для *Mimosa glomerata* Forsk., *Astragalus massiliensis* Lam., *Dioclea pauciflora* Rusby., *Leucaena leucocephala* L., *Cassia bicaularis* L., семена которых сохраняли всхожесть ко второй проверке, он оценил вероятную продолжительность жизни семян соответственно в 221, 100, 121, 155 и 199 лет (Besquerel, 1934). Большинство исследованных семян относилось к семейству Fabaceae, представители которого, как известно, обладают плотной семенной кожурой, с чем, возможно, связана большая продолжительность жизни этих семян.

На дне высохшего озера в Маньчжурии были найдены семена индийского лотоса, пролежавшие там, как предполагалось сначала, 160 лет. Их удалось прорастить (Ohga, 1926). Позже при помощи метода определения распада радиоактивного углерода было показано, что возраст этих семян 1040 ± 210 лет (Libby, 1951). Эти семена обладали прочными покровами, которые надо было разрушить, чтобы началось прорастание, появились нормальные проростки.

В 1963 г. при раскопках дворца Ирода Великого на Масаде (Израиль) в старинном кувшине найдено несколько семян финиковой пальмы (хранились в очень сухом и защищенном пространстве). В университете Цюриха радиоуглеродный анализ показал возраст семян в промежутке от 155 года до н. э. до 64 года н. э. Семена переданы на хранение в университет Бар-Илан в Рамат-Гане. В 2005 г. три семени пальмы посадили, и восемь недель спустя одно из древних семян проросло. В 2008 г. дерево стало высотой почти 2 метра, и на нем появилось около десятка листьев. Сегодня это единственное дерево иудейской финиковой пальмы, которая вымерла 1800 лет назад. Плоды этой разновидности пальмы были одним из основных источников питания в Древней Иудее, также эти плоды были основной экспортной культурой (Sallon et al., 2008). Пальму назвали Мафусаил. Растет она в кибуце Кетура, в пустыне Арава. В 2011 г. на пальме появились цветы, таким образом

было установлено, что это дерево мужского пола. Ученые взяли пыльцу, чтобы оплодотворить одну из финиковых пальм, и им удалось получить плоды.

Семя, найденное во время археологических раскопок пещеры в Иудейской пустыне, проросло, и радиоуглеродный анализ показал возраст 993 – 1202 г. н. э. Секвенирование ДНК и филогенетический анализ определили, что этот сеянец принадлежит к роду покрытосеменных растений *Commiphora* Jacq., родственному трем южноафриканским видам *Commiphora*, но уникальному среди всех других видов, изученных на сегодня. Предлагается несколько гипотез, объясняющих происхождение и этноботаническое значение этого неизвестного вида *Commiphora*, одна из которых отождествляет его с деревом, производившим смолу, использовавшуюся для получения иудейского (гилеадского) бальзама, упоминаемого в библейских источниках (Sallon et al., 2024).

В 1954 году в северо-западной части Канады при археологических раскопках на плато Юкон в толще промерзшего ила были обнаружены семена люпина арктического. Их возраст был определен в 14860 ± 840 лет. Семена прорастили в 1966 году, шесть проросли, дали всходы, и из них выросли здоровые растения (Porsild, Harington, 1967).

В 1990–2001 годах при исследовании лессово-ледовых отложений приморских низменностей севера Якутии, относимых к эпохе позднего плейстоцена, неоднократно встречались погребенные норы грызунов, содержащие плоды и семена растений. Их численность в отдельных норах достигала 600–800 тысяч штук. С использованием культуры тканей *in vitro* и клонального микроразмножения из материнских незрелых тканей плодов, возраст которых по данным радиоуглеродного анализа составлял 31800 ± 300 лет, были регенерированы фертильные растения *Silene stenophylla* Ledeb. (Caryophyllaceae) Растения-регенеранты были доведены до цветения и плодоношения и заложили жизнеспособные семена (Yashina et al., 2012).

Эти случаи раздвигают наши представления о возможностях сохранения генетических ресурсов растений. Но в целом следует заметить, что старение семян – процесс неизбежный, идущий даже при самых благоприятных для семян условиях.

Факторы, влияющие на скорость старения семян

Старение семян связано с накоплением структурных и метаболических повреждений, вызывающих нарушение функций и снижение устойчивости к неблагоприятным внешним условиям вплоть до потери жизнеспособности (McDonald, 1999). В основе повреждений, приводящих к старению семян, лежат процессы неферментативного гликозилирования белков, генерация активных форм кислорода и свободных радикалов, перекисное окисление липидов (Walters, 1998; Bailly, 2007; Choudhury, Bordolui, 2023). Интересное направление исследований – поиск биохимических и генетических маркеров старения (или долголетия) у разных видов растений (Shvachko, Khlestkina, 2020).

Долговечность семян определяется взаимодействием биологических факторов, присущих семенам, и условий хранения, среди которых ведущую роль играют температура хранения, контролируемое содержанием влаги в семенах (относительная равновесная влажность) и, в несколько меньшей степени, парциальное давление кислорода. Установлено, что, чем ниже температура хранения и парциальное давление кислорода, тем длиннее период жизнеспособности семян (Roberts, 1972; Justice, Bass, 1978).

На изменение влажностного режима семена разных видов реагируют по-разному. У большинства сельскохозяйственных культур семена хорошо переносят подсушивание до влажности 2–5% или даже ниже. Такие семена называют ортодоксальными. Но есть растения, семена которых нельзя высушивать ниже характерного для них, обычно высокого, уровня влажности (12–31%) – тропические древесные растения, цитрусовые, кофе, какао, некоторые каучуконосы и др. Их семена называют рекальцитрантными (Roberts, 1973). Долговечность ортодоксальных семян повышается при снижении их влажности в определенных пределах (Roberts, 1972; Roberts, Ellis, 1989; Walters, 1998). Для сохранения рекальцитрантных семян используют технологии *in vitro* и криохранения. Определить, являются семена ортодоксальными, рекальцитрантными, или относятся промежуточной группе, можно используя специальный протокол (Hong, Ellis, 1996).

Важную роль в поддержании низкой влажности семян в процессе хранения играет герметичная упаковка (Zhukova, Khoroshailov, 1981; Ellis, Hong, 2006; Gomez-Campo, 2006).

Положительное влияние снижения температуры, парциального давления кислорода и влажности семян на их долговечность связаны с тем, что в сухих семенах при низкой температуре и низком содержании кислорода в среде хранения снижается интенсивность дыхания, замедляется обмен веществ в целом. Однако он не прекращается полностью: в сухих семенах возможно неферментативное гликозилирование белков. Оптимизируя условия хранения можно замедлить процесс старения семян, но невозможно его остановить (McDonald, 1999).

Среди биологических факторов долголетия семян можно выделить генетические (присущие данному виду, сорту), матричные (связанные с условиями формирования и созревания семян) и экологические (связанные с условиями выращивания, заболеваниями) (Strona, 1966).

Виды растений различаются по способности семян к длительному хранению. Альфред Юарт разделил семена по продолжительности их жизни в лабораторных условиях, которые он принимал за оптимальные, на три группы. Микробиотиками он назвал семена, продолжительность жизни которых не превышает 3 лет, мезобиотиками – семена с продолжительностью жизни от 3 до 15 лет и макробиотиками – с продолжительностью от 15 до 100 лет и больше (Ewart, 1908). Разумеется, при изменении условий хранения изменяется продолжительность

жизни семян. Однако различия между видами остаются. Определение принадлежности семян к той или другой группе зависит также от того, что понимают под термином долголетие. Различают биологическое долголетие – период от созревания семян на материнском растении до потери ими жизнеспособности при хранении в естественных или контролируемых условиях, и хозяйственное долголетие – период хранения в естественных или контролируемых условиях, когда семена сохраняют всхожесть в пределах норм, установленных стандартом (Zhukova, Khoroshailov, 1981).

Различия по долговечности семян существуют не только между видами, но и между сортами (Justice, Bass, 1978; Zhukova, Khoroshailov, 1981). Более того, различия по этому показателю могут быть даже между семенами одного растения. Например, темно-коричневые семена люцерны сорта 'Северянка' хранились лучше, чем зеленые, собранные с тех же соцветий (Zhukova, Khoroshailov, 1981), что, вероятно, связано с антиоксидантной ролью каротиноидов (Smolikova, Medvedev, 2015).

Условия формирования семян: почвенно-климатические особенности места их репродукции, погодные условия года выращивания влияют на способность семян к длительному хранению. Так, семена сои ташкентской репродукции при одинаковых исходных показателях с семенами, выращенными на Кубани, дольше сохраняли высокий уровень всхожести (Zhukova, Khoroshailov, 1981). Семена сои разных мест репродукции различались по всхожести до и после низкотемпературного хранения, и, в среднем, наивысшие значения характеризовали семена, полученные на Дальневосточной опытной станции, где температурный режим ближе к оптимальному для этой культуры (Seferova et al., 2024).

Большое значение для сохранности семян имеет степень их спелости. Недозрелые семена содержат больше воды и быстро теряют всхожесть при хранении (Walters-Vertucci et al., 1996). Также они сильнее подвержены влиянию патогенных микроорганизмов. Во время обезвоживания при созревании в семенах происходит клеточная вакуолизация, синтез белков позднего эмбриогенеза и белков теплового шока, накопление олигосахаридов и активация антиоксидантной системы (Corbineau, 2012).

Основной показатель качества семян – их всхожесть. Это интегральный показатель, в котором находит отражение генетический потенциал вида/сорта, влияние условий выращивания, подсушивания, транспортировки, наличие или отсутствие повреждений (механических или вызванных болезнями и вредителями) и т. п. В процессе хранения семян по мере их старения наблюдается снижение, а затем и потеря всхожести. Семена высокого качества обычно хранятся дольше семян низкого качества (Roberts, 1972, Delouche, Baskin, 1973; Zhukova, Khoroshailov, 1981).

О стандартах генных банков

Обнаруженные закономерности в изменениях жизнеспособности семян при хранении в зависимости от раз-

личных факторов были учтены при организации *ex situ* сохранения генетических ресурсов растений в различных странах, нашли отражение в руководствах и стандартах для генных банков (Genebank Standards, 1994, Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture, 2014).

Стандарты генных банков заслуживают отдельного обсуждения. В этой статье остановимся только на терминологии – определениях разных типов коллекций и рекомендуемых условиях хранения.

Типы коллекций. В настоящее время в генетических банках растений для удобства управления коллекции принято подразделять на три типа: базовые, активные, дублетные.

В Стандартах для генбанков 1994 года базовая коллекция определяется как набор образцов, каждый из которых должен быть уникальным и с точки зрения генетической целостности максимально приближенным к первоначально предоставленному образцу, который сохраняется на отдаленное будущее. Базовая коллекция генофонда сельскохозяйственных культур или любого другого вида может быть рассредоточена по нескольким учреждениям – практика, которая, вероятно, увеличится с развитием посевных сетей.

Активные коллекции включают в себя образцы, которые немедленно доступны для размножения и предоставления для использования. Таким образом, роль базовых коллекций не заключается в том, чтобы предоставлять пользователям образцы семян: обычно они предоставляются через активные коллекции (Genebank Standards, 1994).

Как правило, семена из базовых коллекций берут только для восстановления образца, когда жизнеспособность семян снижается ниже допустимого уровня или когда образец не может быть получен ни из какого другого источника. Дублетные коллекции представляют собой дублетные образцы базовой коллекции, которые хранят отдельно от нее, чтобы увеличить надежность хранения.

Термины «базовая» или «активная» коллекция не являются синонимами условий хранения образцов. Однако обычно базовые коллекции хранят в условиях, обеспечивающих их длительное хранение (long-term conservation). Активные коллекции хранят в более мягких условиях, что связано, в основном, с экономическими причинами и, отчасти, с удобством пользования. Такие условия обеспечивают среднесрочное хранение коллекций (medium-term conservation) – обычно не менее 10–20 лет (Genebank Standards, 1994).

В Стандартах генных банков для генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства 2014 года определения базовой коллекции не дано. Активная коллекция характеризуется как образец зародышевой плазмы, который используется для восстановления, размножения, распространения, описания и оценки (Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture, 2014).

Условия хранения ортодоксальных семян. Согласно современным Стандартам генных банков для гене-

тических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства длительное хранение коллекций семян должно осуществляться при температуре $-18 \pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности $15 \pm 3\%$. Все образцы семян должны быть высушены до равновесной влажности в контролируемых условиях при $5\text{--}20^\circ\text{C}$ и $10\text{--}25\%$ относительной влажности и после этого герметично упакованы. Условия среднесрочного хранения образцов таковы: температура $5\text{--}10^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха $15 \pm 3\%$. Высушивание образцов должно проводиться так же, как при подготовке к длительному хранению, должна использоваться герметичная упаковка. В тех случаях, когда к образцам коллекции требуется частый доступ или когда велика вероятность, что запасы семян будут исчерпаны задолго до прогнозируемого времени утраты жизнеспособности, можно хранить семена в негерметичных контейнерах (Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome, 2014).

Следует сказать, что Стандарты генных банков для генетических ресурсов растений ФАО носят рекомендательный характер. Требование поддерживать низкую влажность воздуха в хранилищах, когда используется герметичная упаковка образцов, — всего лишь дополнительная мера безопасности на тот случай, если герметичность упаковки будет нарушена. Кроме того, хранение активных коллекций при низкой относительной влажности воздуха позволяет выполнять ряд манипуляций с ними, не перенося образцы в сушильную камеру, что весьма удобно. Однако, если влажность в хранилище не поддерживается на низком уровне, это не критично. Главное, тщательно соблюдать технологию упаковки образцов. Температура -18°C рекомендована стандартами генных банков для долгосрочного хранения в связи с тем, что это самая низкая температура, которую обеспечивает обычный одноступенчатый компрессор морозильной камеры. В принципе, может быть использована и более высокая и более низкая температура. Многолетний опыт ВИР свидетельствует о том, что даже хранение при $4,5^\circ\text{C}$ (в Кубанском генетическом банке семян — филиале ВИР) дает хорошие результаты, если семена были высокого качества и прошли правильную подготовку к хранению.

В хранилищах ВИР, построенных в Санкт-Петербурге в 2000 г., в камерах для длительного хранения семян поддерживается температура -10°C . При такой температуре находятся на среднесрочном хранении семена микробиотиков, например, сои, риса. В камерах для среднесрочного хранения семян макро- и мезобиотиков поддерживается температура 4°C . Семена подсушивают в сушилке при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 12% . Равновесная влажность семян в этих условиях составляет $3\text{--}7\%$ в зависимости от культуры.

В хранилищах образцов Национального каталога, построенных в ВИР в 2023 г., поддерживается температура -18°C . Условия в сушилке такие же, как и при подготовке к закладке на хранение образцов семян коллекции ВИР. В качестве упаковки используются фольговые ламинированные пакеты, которые запаивают при помощи

вакуумного упаковщика.

Заключение

В целом можно заключить, что низкотемпературное хранение коллекций семян играет в мире огромную роль в сохранении генетических ресурсов растений, жизненно необходимых для экономического и социального развития человечества. Организации современных генных банков растений предшествовала большая научно-методическая организационная работа, лишь небольшая часть которой освещена в этом обзоре. В перспективе ученым еще предстоит более глубокое изучение физиолого-биохимических, генетических изменений при хранении семян, что важно не только для совершенствования технологии хранения, но и для понимания общебиологической проблемы старения живых организмов.

References / Литература

- Bailey C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*. 2007;14 (2):93-107. DOI: 10.1079/SSR2004159
- Becquerel P. La longevité des graines macrobiotiques. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. 1934;194:2158-2159.
- Choudhury A., Bordolui S.K. Concept of seed deterioration: reason, factors, changes during deterioration and preventive measures to overcome seed degradation. *American International Journal of Agricultural Studies*. 2023;7(1):41-56. DOI: 10.46545/aijas.v7i1.291
- Corbineau F. Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research*. 2012;22(1):61-68.
- Delouche J.C., Baskin C.C. Accelerated aging techniques for predicting relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*. 1973;1(2):427-452.
- Ellis R.H., Hong T.D. Temperature sensitivity of the low-moisture-content limit to negative seed longevity-moisture content relationships in hermetic storage. *Annals of Botany*. 2006;97(5):785-791.
- Ewart A.J. On the longevity of seeds. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*. 1908;21(1):1-210.
- FAO. The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: Commission on genetic resources for food and agriculture FAO; 2010. URL: <http://www.fao.org/4/i1500e/i1500e.pdf> [accessed Dec. 01, 2024].
- Genebank Standards. 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: International Plant Genetic Resources Institute; 1994. URL: https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/genebank_standards.pdf [accessed Dec. 01, 2024].
- Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO; 2014. URL: <https://www.fao.org/4/i3704e/i3704e.pdf> [accessed Dec. 01, 2024].
- Gomez-Campo C. Erosion of genetic resources within seedbanks: the role of seed containers. *Seed Science Research*. 2006;16:291-294.
- Hong T.D., Ellis R.H. A protocol to determine seed storage behaviour. Rome: International Plant Genetic Resources Institute; 1996.
- Justice O.L., Bass L.N. Principles and practices of seed storage. Washington: U.S. Government Printing Office; 1978.
- Khoroshailov N.G. National repository of seeds of world plant resources in Kuban (Natsional'noye khranilishche semyan mirovykh rastitel'nykh resursov na Kubani). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1978;77:3-9. [in Russian] (Хорошайлов Н.Г. Национальное хранилище семян мировых растительных ресурсов на Кубани. *Бюллетень научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова*. 1978;77:3-9).
- Libby W.F. Radiocarbon dates, II. *Science*. 1951;114:291-196.
- McDonald M.B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*. 1999;27(1):177-237.
- Ohga I. The germination of century old and recently harvested Indian lotus fruits, with special references to the effect of oxygen

- supply. *American Journal of Botany*. 1926;13:754-759.
- Porsild A.E., Harrington C.R., Mulligan G. *Lupinus arcticus* Wats. grown from seeds of Pleistocene age. *Science*. 1967;158:113-114.
- Roberts E.H. Viability of seeds. London: Chapman and Hall Ltd.; 1972. 448 p.
- Roberts E.H. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*. 1973;1:499-514.
- Roberts E.H., Ellis R.H. Water and seed survival. *Annals of Botany*. 1989;63:39-52. DOI: [10.1093/oxfordjournals.aob.a087727](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087727)
- Royal Botanic Gardens. Seed Collection. URL: <https://www.kew.org/science/collections-and-resources/collections/seed-collection> [accessed Dec. 01, 2024].
- Sallon S., Solowey E., Cohen Y., Korchinsky R., Egli M., Woodhatch I., Simchoni O., Kislev M.E. Germination, Genetics, and Growth of an Ancient Date Seed. *Science*. 2008;320(5882):1464. DOI: [10.1126/science.1153600](https://doi.org/10.1126/science.1153600)
- Sallon S., Solowey E., Gostel M.R., Egli M., Flematti G.R. Bohman B., Schaeffer P., Adam P., Weeks A. Characterization and analysis of a *Commiphora* species germinated from an ancient seed suggests a possible connection to a species mentioned in the Bible. *Communications Biology*. 2024;7(1):1-13. DOI: [10.1038/s42003-024-06721-5](https://doi.org/10.1038/s42003-024-06721-5)
- Seferova I.V., Filipenko G.I., Zabegaeva O.N., Boyko A.P., Nekrasov A. Yu., Novikova L.Yu. Germination of soybean seeds after low-temperature storage and its dependence on weather and climate conditions in the places of reproduction of accessions. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(3):42-52. [in Russian] (Сеферова И.В., Филипенко Г.И., Забегаева О.Н., Бойко А.П., Некрасов А.Ю., Новикова Л.Ю. Всхожесть семян сои после низкотемпературного хранения и ее зависимость от погодноклиматических условий в местах репродукции образцов. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(3): 42-52). DOI: [10.30901/2658-6266-2024-3-06](https://doi.org/10.30901/2658-6266-2024-3-06)
- Smolikova G.N., Medvedev S.S. Seed carotenoids: synthesis, diversity, and functions. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2015;62(1):1-13. [in Russian] (Смоликова Г.Н., Медведев С.С. Каротиноиды семян: синтез, разнообразие и функции. *Физиология растений*. 2015;62(1):1-13). DOI: [10.7868/S0015330315010133](https://doi.org/10.7868/S0015330315010133)
- Strona I.G. General seed science of field crops. Moscow: Kolos; 1966. 464 p. [in Russian] (Строна И.Г. Общее семеноведение полевых культур. Москва: Колос; 1966).
- Shvachko N.A., Khlestkina E.K. Molecular genetic bases of seed resistance to oxidative stress during storage. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(5):451-458. DOI: [10.18699/VJ20.47-0](https://doi.org/10.18699/VJ20.47-0)
- Svalbard Global Seed Vault. URL: <https://www.seedvault.no/> [accessed Dec. 01, 2024].
- The Convention on Biological Diversity. Article 2. Use of Terms. 1993. URL: <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02> [accessed Dec. 01, 2024].
- Walters C. Understanding the mechanisms and kinetics of seed aging. *Seed Science Research*. 1998;8:223-244.
- Walters-Vertucci C., Crane J., Vance N.C. Physiological aspects of *Taxus brevifolia* seeds in relation to seed storage characteristics. *Physiologia Plantarum*. 1996;98(1):1-12.
- Yashina S., Gubin S., Maksimovich S., Yashina A., Gakhova E., Gilichinsky D. Regeneration of whole fertile plants from 30,000-y-old fruit tissue buried in Siberian permafrost. *PNAS*. 2012;109(10):4008-4013. DOI: [10.1073/pnas.1118386109](https://doi.org/10.1073/pnas.1118386109)
- Zhukova N.V., Khoroshailov N.G. Guidelines for long-term storage of seeds (Metodicheskiye ukazaniya po dlitel'nomu khraneniyyu semyan). N.G. Khoroshailov (ed.). Leningrad: VIR; 1981. [in Russian] (Жукова Н.В., Хорошайлов Н.Г. Методические указания по длительному хранению семян / под ред. Н.Г. Хорошайлова. Ленинград: ВИР; 1981).

Информация об авторе

Галина Ивановна Филипенко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, g.filipenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8419-1518>

Information about the author

Galina I. Filipenko, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, g.filipenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8419-1518>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 20.12.2024.

The article was submitted on 04.12.2024; approved after reviewing on 11.12.2024; accepted for publication on 20.12.2024.



Видовое разнообразие и хозяйственное значение рода *Linum* L.

Н. Б. Брач

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

Автор, ответственный за переписку: Нина Борисовна Брач, n.brutch@vir.nw.ru

Лен (*Linum* L.) – род растений семейства льновые Linaceae подсемейства Linoideae – насчитывает по разным классификациям 180–230 видов. Льны распространены на всех континентах, кроме Антарктиды, преимущественно в умеренных и субтропических областях и очень разнообразны. Наиболее значимую хозяйственную ценность имеет культурный вид *Linum usitatissimum* L., однако в последнее время другие виды стали приобретать все большее хозяйственное значение в качестве декоративных культур, для рекультивации земель и подкормки популяций насекомых-опылителей.

Ключевые слова: лен, виды *Linum*, использование *L. usitatissimum* L.

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

Для цитирования: Брач Н.Б. Видовое разнообразие и хозяйственное значение рода *Linum* L. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):57-61.

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

© Брач Н.Б., 2024

Original article

Species diversity and economic importance of the genus *Linum* L.

Nina B. Brutch

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

Corresponding author: Nina B. Brutch, n.brutch@vir.nw.ru

Flax (*Linum* L.) is a genus of Linaceae subf. Linoideae, which numbers from 180 to 230 species according to different classifications. Flaxes inhabit all continents, except Antarctica, but grow mainly in temperate and subtropical regions. Also, the species are extremely variable. Only the cultivated species *Linum usitatissimum* L. has economic importance. However, significance of other species, which can be used as ornamental plants, for soils remediation, and as additional feeding resource for pollinators, started increasing recently.

Keywords: flax, *Linum* species, utilization *L. usitatissimum* L.

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

For citation: Brutch N.B. Species diversity and economic importance of the genus *Linum* L. *VIR Bulletin*. 2024;(243):57-61. (In Russ.).

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

© Brutch N.B., 2024

Лен (*Linum*) – род растений семейства льновые (Linaceae, подсемейство Linoideae), являющийся самым большим и разнообразным в подсемействе. Согласно различным классификациям он насчитывает от 180 до 230 видов. Несмотря на более чем 170-летние усилия по совершенствованию внутривидовой классификации видов льна (включая использование современных методов ДНК-паспортизации), окончательный вариант, учитывающий все особенности видов и признанный всеми систематиками, пока не создан. Кроме того, даже не все описанные в литературе секции рода внесены в International Plant Names Index (International Plant..., 2024). Неясными остаются и филогенетические связи между видами внутри рода (Planchon, 1847, 1848, Yuzepchuk, 1974; McDill et al., 2009; Svetlova, 2010; Bolsheva et al, 2017; Plants life, 1981, etc.). Одной из причин сложившейся ситуации, возможно, является то, что род полифилетичен по своему происхождению (хотя и этот факт признают не все систематики). По мнению большинства ученых, он состоит из двух сестринских клад: желтоцветковой *Linum* sects. *Linopsis* (Rchb.) C.M. Rogers, *Syllinum* Griseb., *Cathartolinum* Griseb. и голубоцветковой (Rchb.) Griseb. (*Linum* sects. *Linum* и *Dasylinum* (Planch.) Juz.).

Географически лен ведет свое происхождение из Евразии, откуда затем распространился на все континен-

ты, кроме Антарктиды, и в настоящее время произрастает преимущественно в умеренных и субтропических зонах. Большая часть видов рода – многолетние травы, но есть и немногочисленные кустарниковые многолетние формы. В род входят также древовидный вид – *L. arboretum* L., двулетний – *L. bienne* L. Однолетние виды признаются эволюционно более молодыми. Среди них наибольшее распространение получили *L. grandiflorum* Desf. и культурный – *L. usitatissimum* L. Побеги льна имеют моноподиальное ветвление, листья цельные, сидячие в основном ланцетные, цветки пятичленные, актиноморфные, обоеполые.

Для многих многолетних льнов характерна гетеростилия, сопровождаемая диморфизмом пыльцевых зерен и самонесовместимостью. Однако цветки гомостильных видов самофертильны и их пыльца морфологически сходна с пылью короткостолбчатых растений гетеростильных видов. Принято считать, что гетеростилия эволюционно вторична. Она распространена в основном среди американских видов, в то же время 57 американских видов гомостильны. Однолетние виды льна обычно гомостильные. Из 36 европейских видов льна 22 вида – гетеростильные многолетники, 4 – гомостильные многолетники, 7 – гомостильные однолетники, 3 – гетеростильные однолетники (Egorova, 1981). Плоды льнов – пятигнездные септицидные коробочки.

В каждом из гнезд образуется по 2 семени, которые разделены ложными перегородками. Размер семян у разных видов сильно варьирует. У наиболее мелкосемянных видов 1000 семян весят менее 1 грамма, например, у *L. pubescens* Banks & Sol., *L. hirsutum* L. У крупносемянных форм культурного льна (*L. usitatissimum*) этот показатель достигает 13 г. (Yuzepchuk, 1949; Svetlova, 2010; Poliakova et al., 2017; etc.)

Наиболее известным и распространенным возделываемым видом является лен обыкновенный (*L. usitatissimum*). Самая древняя на данный момент находка волокна тогда еще дикого льна в пещере, расположенной в предгорьях Кавказа на территории современной Грузии, имела возраст около 30 000 лет (Kvavadze et al., 2009). Важным открытием оказалось то, что некоторые волокна были скручены и окрашены в разные цвета. Более поздние археологические находки на юго-восточном побережье Средиземного моря показали, что древние люди, жившие там, уже широко использовали как льняные семена, так и волокно за 8700–7000 лет до н. э. Затем культура распространилась на север и достигла британских островов к четвертому тысячелетию до н. э. (Harris, 2014). С этими данными согласуются представления Н.И. Вавилова (Vavilov, 1987) о возникновении культурного льна в Средиземноморском центре происхождения культурных растений. Кроме того, анализ внутривидового разнообразия нуклеотидной последовательности локуса *sad2* культурного льна позволил предположить, что его domestикация была единичным событием (Allaby et al., 2005). В настоящее время культурный лен возделывают на всех континентах, кроме Антарктиды. Когда лен начали выращивать на территории нашей страны, доподлинно не известно. Раскопки на территории Поволжья, проведенные еще в 30-х годах прошлого века, показали, что местное население в IV–V веках выращивало лен и занималось прядением (Sizov, 1955).

Культурный лен – однолетнее травянистое растение. Корневая система состоит из главного корня и большого количества боковых ответвлений. Она располагается в верхнем слое почвы, достигая глубины 1,5 метров. Стебли тонкие, цилиндрические, прямые, светло-зеленого цвета, в зрелом состоянии – желтеющие, покрыты восковым налетом, ветвятся в верхней части.

По мере роста стебля, в его верхней части под зачатками листьев, из прокамбия начинают дифференцироваться проводящие пучки – листовые следы – при формировании которых клетки первичной флоэмы утолщаются и частично одревесневают, образуя волокнистые пучки, которые и используют в промышленности (Esau, 1980).

Листья сидячие, линейно-ланцетные, расположены на стебле поочередно по спирали. Соцветие – зонтико-видная кисть – располагается в верхней части стеблей. Цветки пятичленные, распускаются на рассвете и заканчивают цветение к полудню. Имеют 5 чашелистиков, 5 лепестков, 5 тычинок. У большинства сортов лепестки, тычинки и столбики – голубые. Однако встречаются формы с белыми, розовыми и фиолетовыми лепестками, желтыми пыльниками, а также гофрированными

и/или продольно сложенными лепестками. Завязи формируются преимущественно от самоопыления, но с вероятностью около 5%, возможно перекрестное опыление насекомыми. Плод – пятигнездная септицидная коробочка с 10 семенами. При созревании она приобретает светло-коричневый цвет. Обычно не растрескивается, однако у некоторых, в основном примитивных форм, коробочки раскрываются и рассыпают семена. Семена яйцевидной, плоской формы с несколько суженным и загнутым носиком, преимущественно красно-коричневого цвета, у некоторых сортов – желтые, реже – с пятном. Семена гладкие, довольно мелкие (масса 1000 семян от 3,5 до 13 г), поверхность семян сильно ослизняется в воде (Sizov, 1955; Vekhov, 1978; Takhtadjan, 1981; Doronin, Tikhvinskiy et al., 2003; Nozkova, 2016).

В зависимости от основного направления использования выделяют три главных так называемых типа льна.

Долгунец (*L. usitatissimum* L. var. *elongata* Vav. et Ell.) используют для получения волокна. Это одностебельные, неветвящиеся растения высотой 70–140 см. Долгунцы возделывают в высоких широтах с умеренным климатом или на высокогорьях, так как они имеют короткий вегетационный период: самые скороспелые формы на Северо-Западе нашей страны созревают чуть более чем за два месяца. Соцветие – зонтико-видная кисть с 5–7 коробочками. Содержание волокна в стебле у современных сортов может достигать 40%. Поэтому его выращивают главным образом на волокно. Однако семена этой группы растений также представляют большую ценность, так как содержат много масла и белка. Листья льна-долгунца длиной 36–40 мм и шириной 2–4,4 мм. Диаметр раскрытого цветка 15–24 мм. Коробочки мелкие, 6,2–8,3 мм длиной и 5,7–6,8 мм шириной (Sizov, 1955; Vekhov, 1978).

Лен-кудряш (*L. usitatissimum* L. var. *humile* (Mill.) Pers.) – низкорослое растение (25–50 см). Его стебель сильно ветвится у основания и на одном растении бывает 100 коробочек и более. Основная продукция льна-кудряша – семена (до 20 ц/га). Урожай волокна, причем короткого, не прядильного, очень низкий. В семенах льна-кудряша обычно содержится от 41 до 45% масла, поэтому его относят к масличным культурам. Это растение южных широт. Его вегетационный период на юге составляет 80–100 дней. Лен-кудряш в настоящее время практически нигде не возделывают, и под масличным льном обычно подразумевают лен-межеумок.

Лен-межеумок (*L. usitatissimum* L. var. *intermedia* Vav. et Ell.) по основным признакам и географическому распространению занимает промежуточное положение между двумя описанными выше типами. Это растение средней высоты (50–70 см). Стебель, нередко ветвящийся у основания, с более развитым, чем у долгунцов, соцветием и большим числом коробочек. Выращивают его преимущественно на масло, реже на волокно. Различные сорта льна-межеумка обычно содержат от 39 до 48% масла в семенах и 12–17% волокна (Sizov, 1955). Но в настоящее время селекционерами уже выведены новые сорта льна с содержанием масла до 50% (Brutch et al., 2016a) и волокна – до 25% (Pavlov et al., 2022).

Традиционное льняное масло содержит пять основных жирных кислот: пальмитиновую ~5%, стеариновую ~3%, олеиновую ~15–25%, линолевою ~15%, линоленовую ~50–60% (Kutuzova, Brutch, 1998). Такой состав создает основу для ряда хозяйственно ценных свойств масла и обеспечивает его широкое использование в пищевой промышленности, создании лакокрасочных покрытий высокого качества и пр. (Cunnane, 1995), но имеет короткий срок хранения. Однако в настоящее время создаются сорта с различным соотношением жирных кислот, в том числе с низким содержанием полиненасыщенной линоленовой кислоты (Brutch et al., 2016b).

Некоторые ученые выделяют в отдельную группу так называемые озимые льны, которые высевают под зиму в южных широтах (Sizov, 1955, Sinskaya, 1954). Однако в специальных экспериментах было показано, что «озимые» льны не требуют обязательной стратификации для инициации цветения и могут успешно развиваться при яровом посеве. При осеннем посеве они лишь задерживаются в развитии на период холодов (Brutch, 2007).

Дикие виды рода *Linum* пока еще слабо изучены. Однако известно, что, по крайней мере, некоторые из них содержат большое количество масла – от 25% веса семени и выше (*L. hirsutum*, *L. hispanicum* Mill. и др.). Содержание белка в них варьирует от 17% у *L. narbonense* L. до ~25% у *L. pubescens*. Основу масла составляют полиненасыщенные ω -3 жирные кислоты. Многие виды льна отличаются высоким содержанием линоленовой кислоты в масле семян – около 60%. Основу масла *L. thracicum* Degen. составляет линолевая кислота (Poliakova et al., 2017). Потенциально они могут быть использованы в фармацевтике, однако лимитирующим фактором является признак растрескиваемости коробочек, который ведет к полной потере урожая семян при поздней уборке.

Особенно популярным в XXI веке стало использование дикорастущих видов льна в качестве декоративных культур в садах и на срезку. Это в основном многолетние виды с голубыми, белыми или сиреневыми цветками: *L. austriacum* L., *L. perenne* L., *L. narbonense*, *L. hirsutum* (Diederichsen, Richards, 2003, Tork et al., 2019, Tork et al., 2022); желтоцветковый *L. flavum* L., а также однолетний *L. grandiflorum*, цветки которого бывают красными, белыми и с комбинированной красно-белой окраской. Для озеленения лен привлекателен тем, что многолетние виды начинают вегетацию рано весной и непрерывно цветут до поздней осени. Хотя каждый цветок открывается только на один день, большое количество бутонов на постоянно растущем индетерминантном побеге обеспечивает непрерывное цветение и декоративность в течение нескольких месяцев.

Как бы «побочным эффектом» озеленения с использованием диких многолетних видов льна является предотвращение эрозии почвы и повышение качества водных ресурсов на засеянных территориях (Diederichsen, Richards, 2003). Кроме того, пыльца льна служит пищей для пчел, шмелей и других насекомых. Таким образом, посадки многолетних льнов постоянно поддерживают популяции опылителей сельскохозяйственных культур

(Tork et al., 2022).

В настоящее время в Российской Федерации официально зарегистрированы несколько сортов декоративного льна, но их семеноводство прекращено. Однако в цветочных магазинах можно найти сорта частных селекционеров. Это сорта однолетнего вида *L. grandiflorum*, различающиеся по окраске лепестков: красные, белые и двухцветные (красно-белые). В качестве декоративных предлагаются и сорта культурного льна – *L. usitatissimum* – с голубыми, розовыми, сиреневыми и белыми лепестками. Многолетние виды льна представлены в основном видом *L. perenne* с голубыми, реже белыми цветками. Растения в достаточной степени неприхотливы и не требуют высоких доз удобрений.

Заключение

Виды рода *Linum* широко распространены в различных климатических зонах. Культурный вид широко используется человеком на протяжении многих тысячелетий. Дикие виды очень разнообразны и в последнее время находят все новые сферы применения.

References / Литература

- Allaby R.G., Peterson G.W., Merriwether D.A., Fu Y.B. Evidence of the domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic diversity of the *sad2* locus. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;112:58-65. DOI: [10.1007/s00122-005-0103-3](https://doi.org/10.1007/s00122-005-0103-3)
- Bolsheva N.L., Melnikova N.V., Kirov I.V., Speranskaya A.S., Krinitina A.A., Dmitriev A.A. et al. Evolution of blue-flowered species of genus *Linum* based on high-throughput sequencing of ribosomal RNA genes. *BMC Evolution Biology*. 2017;17 (Suppl 2):23-36. DOI: [10.1186/s12862-017-1105-x](https://doi.org/10.1186/s12862-017-1105-x)
- Brutch N. Intraspecific diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) and its utilization in genetic research and breeding (Vnutrividovoye raznoobrazie l'na (*Linum usitatissimum* L.) i yego ispol'zovaniye v geneticheskikh issledovaniyakh i selektsii). [dissertation] St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Брач Н.Б. Внутривидовое разнообразие льна (*Linum usitatissimum* L.) и его использование в генетических исследованиях и селекции: дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Brutch N., Porokhovinova E., Shelenga T. Perspectives of the creation of oil flax varieties for the specialized purpose. *Agrarian reporter of the South-East*. 2016a;(1-2(14-15)):50-53. [in Russian] (Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Шеленга Т.В. Перспективы создания сортов масличного льна специализированного назначения. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2016a;(1-2(14-15)):50-53).
- Brutch N., Porokhovinova E., Shelenga T. Innovative possibilities of oil flax breeding orientated at the different oil composition. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016b;30(6):5-7. [in Russian] (Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Шеленга Т.В. Инновационные возможности селекции масличного льна, ориентированной на различный состав масла. *Достижения науки и техники АПК*. 2016b;30(6):5-7).
- Cunnane S.C. Metabolism and function of α -linolenic acid in humans. Cunnane S.C., Thompson L.U. (eds.), *Flaxseed in human nutrition*, AOAC Press, Champaign, IL; 1995. p.99-127.
- Diederichsen A., Richards K. Cultivated flax and the genus *Linum* L. Taxonomy and germplasm conservation. In: A.D. Muir, N.D. Westcott (eds). *Flax: The genus Linum*. CRC Press. Boca Raton. FL. USA; 2003. p.22-54.
- Doronin S.V., Tikhvinskiy S.F. Long-fibre flax. Technology of cultivation and breeding (Len-dolgunets. Tekhnologiya vozdel'yvaniya i selektsiya). Kirov: VSAA; 2003. [in Russian] (Доронин С.В., Тихвинский С.Ф. Лен-долгунец. Технология возделывания и селекция. Киров: ВГСА; 2003).
- Egorova T.V. The *Linum* genus (Rod len). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants. (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1981. Vol. 5,

- Pt 2. p. 270-274. [in Russian] (Еропова Т.В. Род лен (*Linum*). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1981. Т. 5, ч. 2. С.270-274).
- Esau K. Anatomy of Seed Plants. Pt. 1. A.E. Vasilyeva, Yu.V. Gamalei, M.F. Danilovoi (transl.); A.L. Takhtadjan (ed.). Moscow: Mir; 1980. [in Russian] (Эзай К. Анатомия семенных растений. Кн. 1 / перевод с англ. А.Е. Васильева, Ю.В. Гамалей, М.Ф. Даниловой; под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Мир; 1980).
- Gorshkova T., Brutch N., Chabbert B., Deyholos M., Hayashi T., Lev-Yadun S., Mellerowicz E.J., Morvan C., Neutelings G., Pilate G. Plant fibre formation: state of the Art, recent and expected progress, and open questions. *Critical reviews in plant science*. 2012;31(3):201-228.
- Harris S. Flax fibre: innovation and change in the early Neolithic. A technological and material perspective. In: *Textile society of America 2014: Biennial symposium proceedings: New Directions: Examining the Past, Creating the Future*; 2014 September 10-14; Los Angeles, California. 2014; 913. Available from: <https://digitalcommons.unl.edu/tsaconf/913/> [accessed Dec. 01, 2024].
- International Plant Names Index. *Linum*. [website]. Available from: <https://www.ipni.org/search?perPage=500&q=Linum> [accessed Oct. 12, 2024].
- Kutuzova S.N., Gavrilova V.A., Shchelko L.G., Dubovskaya A.G., Kartamysheva E.V., Vakhrusheva T.E., Brutch N.B., Grigoryev S.V., Matveeva G.V., Podolnaia L.P. Flax (*Linum*) In: *Oil crops for food use in Russia (problems of breeding, assortment) (Maslichnye kul'tury dlya pishchevogo ispolzovaniya v Rossii (problemy selektsii, sortiment))*. St. Petersburg; 1998. [in Russian] Кутузова С.Н., Гаврилова В.А., Щелко Л.Г., Дубовская А.Г., Картамышева Е.В., Вахрушева Т.Е., Броч Н.Б., Григорьев С.В., Матвеева Г.В., Подольная Л.П. Лен. В кн.: *Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998).
- Kvavadze E., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A., Boaretto E., Jakeli N., Matskevich Z., Meshveliani T. 30,000 Years old wild flax fibers. *Science*. 2009;325(5946):1359-1405. DOI: [10.1126/science.1175404](https://doi.org/10.1126/science.1175404)
- McDill J., Repplinger M., Simpson B.B., Kadereit J.W. The phylogeny of *Linum* and Linaceae Subfamily Linoideae, with implications for their systematics, biogeography, and evolution of heterostyly. *Systematic Botany*. 2009;34(2):386-405. DOI: [10.1600/036364409788606244](https://doi.org/10.1600/036364409788606244)
- Nozkova J., Pavelek M., Bjelkova M., Brutch N., Tejklova E., Porokhovinova E., Brindza J. Descriptor list for flax *Linum usitatissimum* L. Slovak University of Agriculture in Nitra; 2016.
- Pavlov A.V., Porokhovinova E.A., Novikova L., Kutuzova S.N., Brutch N.B. New linseed accessions in the VIR collection, suitable for dual utilization (seed and fiber) in the North-Western Region of the Russian Federation. *Journal of Natural Fibers*. 2022;19(14):7553-7565. DOI: [10.1080/15440478.2021.1952137](https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952137)
- Planchon J.E. Sur la famille des Linées. *The London Journal of Botany*. 1847;6:588-603. [In French].
- Planchon J.E. Sur la famille des Linées. *The London Journal of Botany*. 1848;7:165-186, 473-501, 507-528. [In French].
- Poliakova I., Lyakh V. Comparative characteristics of vegetative and generative sphere in plants of wild flax species. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 2017;3(5):3743-3754.
- Sinskaya E.N. Problems of flax development and growth in connection with organ formation and yield accumulation (Voprosy razvitiya i rosta l'na v svyazi s organoobrazovaniem i nakopleniem urozhaya). In: *Sbornik. rabot po biologii razvitiya i fiziologii l'na = Collection of works on flax biology of development and physiology*. Moscow: Selkhozgiz; 1954. p.5-44. [in Russian] (Синская Е.Н. Вопросы развития и роста льна в связи с органиообразованием и накоплением урожая. В сб.: *Сборник работ по биологии развития и физиологии льна*. Москва: Сельхозгиз; 1954. С.5-44).
- Sizov I.A. Flax (*Linum*). Moscow: Selkhozgiz; 1955. [in Russian] (Сизов И.А. Лен. Москва: Сельхозгиз; 1955).
- Svetlova A.A. The taxonomic review of the genus *Linum* L. (*Linaceae*) in the flora of Russia and adjacent states. *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*. 2010;41:99-165. [in Russian] (Светлова А.А. Таксономический обзор рода *Linum* L. (*Linaceae*) флоры России и сопредельных государств. *Новости систематики высших растений*. 2010;41:99-165). DOI: [10.31111/novitates/2010.41.99](https://doi.org/10.31111/novitates/2010.41.99)
- Tork D.G., Anderson N.O., Wyse D.L., Betts K.J. Domestication of perennial flax using an ideotype approach for oilseed, cut flower, and garden performance. *Agronomy*. 2019;9(11):707. DOI: [10.3390/agronomy9110707](https://doi.org/10.3390/agronomy9110707)
- Tork D.G., Anderson N.O., Wyse D.L., Betts K.J. Ideotype selection of perennial flax (*Linum* spp.) for herbaceous plant habit traits. *Agronomy*. 2022;12(12):3127. DOI: [10.3390/agronomy12123127](https://doi.org/10.3390/agronomy12123127)
- Yuzepchuk S.V. Genus *Linum* (Rod Lyon) In: *Flora of the USSR*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of sciences; 1949. Vol. 14. p.67-112. [in Russian] (Юзепчук С.В. Род лен. В кн.: *Флора СССР*. Москва; Ленинград: Издательство АН СССР; 1949. Т. 14. С.67-112).
- Vekhov V.N., Gubanov I.A., Lebedeva G.F. Cultivated plants of the USSR (Kul'turnye rasteniya SSSR). Moscow: Mysl; 1978. p.193-196. [in Russian] (Вехов В.Н., Губанов И.А., Лебедева Г.Ф. Культурные растения СССР. Москва: Мысль; 1978. С.193-196).

Информация об авторе

Нина Борисовна Броч, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов масличных и прядильных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Information about the author

LNina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Oil and Fiber Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 10.12.2024; принята к публикации 19.12.2024.

The article was submitted on 02.12.2024; approved after reviewing on 10.12.2024; accepted for publication on 19.12.2024.

Характеристика образцов коллекции льна-долгунца ВИР, включенных в национальный каталог Российской Федерации по происхождению

Е. А. Пороховинова, Н. Б. Брач, А. В. Павлов

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

Автор, ответственный за переписку: Нина Борисовна Брач, n.brutch@vir.nw.ru

Лен – древнейшее культурное растение, которое на протяжении тысячелетий остается важнейшей технической культурой. Коллекция льна-долгунца ВИР насчитывает 2487 образцов и состоит из 825 староместных и 667 селекционных сортов, 774 селекционных и 103 инбредных линий, 29 линий мутагенного происхождения, 85 других образцов. Все они вошли в национальный каталог. Образцы получены из 49 стран, из них 51% – из Российской Федерации, 38% – из стран Европы, 7% – Азии, 0,7% – Северной Америки, 2% – Южной Америки, 0,3% – Австралии, и у 1% происхождение не установлено. В коллекцию включены 1274 образца из всех Федеральных округов (ФО) Российской Федерации. Более 43% российских образцов приходится на Центральный ФО, около 30% – Северо-Западный ФО, почти 11% – Сибирский ФО, более 8% – Приволжский ФО, более 7% – Дальневосточный ФО. По одному образцу приходится на Северо-Кавказский и Южный ФО. В коллекции хранятся 1203 образца из зарубежных стран, 938 из которых происходят из 26 стран, представляющих все части Европы: Восточную (375), Северную (302), Западную (247), Южную (14); 177 образцов из всех регионов Азии: Восточного (152), Среднего (17), Западного (6), Южного (2). Северная Америка представлена 19 образцами из США и Канады, Южная Америка – 46 образцами из Аргентины, Уругвая, Чили, Перу, Бразилии, Венесуэлы и Колумбии; Австралия – 7 сортами. Местные образцы и селекционный материал льна-долгунца коллекции ВИР востребованы для разных целей селекции.

Ключевые слова: лен-долгунец, *Linum usitatissimum*, биоресурсный центр, коллекция генетических ресурсов растений, генный банк, образцы коллекции, местные образцы, сорта, географическое происхождение

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

Для цитирования: Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В. Характеристика образцов коллекции льна-долгунца ВИР, включенных в национальный каталог Российской Федерации по происхождению. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):62-73.

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

© Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В., 2024

Original article

Characterization of fiber flax accessions from the VIR collection, included in the Russian national catalogue according to their origin

Elizaveta A. Porokhovinova, Nina B. Brutch, Andrey V. Pavlov

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

Corresponding author: Nina B. Brutch, n.brutch@vir.nw.ru

Flax is one of the oldest cultivated plants. For thousands of years, it has remained the most important industrial crop.

VIR's fiber flax collection incorporates 2487 accessions, consisting of 825 landraces, 667 commercial cultivars, 774 breeding lines and 103 inbred lines, 29 lines of mutagenic origin, and 85 other accessions.

The geography of their origin expands to 49 countries. The germplasm arrived to the collection from the Russian Federation (51%), Europe (38%), Asia (7%), North America (0.7%), South America (2%), and Australia (0.3%), while the origin of 1% was not identified.

The collection includes 1274 accessions representing all the Federal Districts (FD) of Russia. More than 43% of Russian accessions came from the Central FD, about 30% from the Northwestern FD, almost 11% from the Siberian FD, more than 8% from the Volga FD, and more than 7% from the Far Eastern FD. The North Caucasian FD and the Southern FD are represented by only one landrace each.

The collection also contains 938 accessions from 26 countries, covering all parts of Europe: Eastern (375), Northern (302), Western (247) and Southern (14); 177 accessions came from all regions of Asia: Eastern (152), Central (17), Western (6) and Southern (2). North America is represented by 19 accessions from the U.S. and Canada; South America by 46 accessions from Argentina, Uruguay, Chile, Peru, Brazil, Venezuela, and Colombia; Australia by 7 commercial cultivars.

The collection of fiber flax is in demand: both the landraces and the material developed by breeders are promising for various breeding purposes.

Keywords: fiber flax, *Linum usitatissimum*, bioresource center, plant genetic resources collection, gene bank, germplasm accessions, landrace material, cultivars, geographic origin

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

For citation: Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Characterization of fiber flax accessions from the VIR collection, included in the Russian national catalogue according to their origin. *VIR Bulletin*. 2024;(243):62-73. (In Russ.).

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

© Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V., 2024

Введение

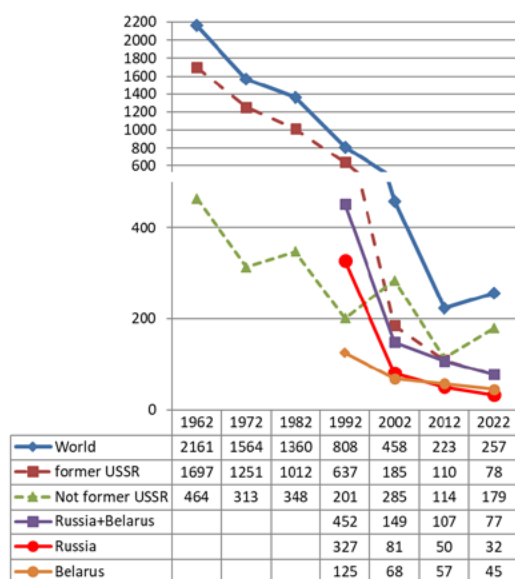
Лен (*Linum usitatissimum* L.) – древнейшее культурное растение, которое на протяжении нескольких тысячелетий остается важнейшей технической культурой (Brutch et al., 2015). Лен-долгунец традиционно возделывается в Российской Федерации. Благодаря тому, что из растения можно получать как волокнистую, так и семенную продукцию, лен нашел применение в самых разных сферах народного хозяйства (Bazanov et al., 2023). Эта культура имеет стратегическое значение. Продукция из льна является источником сырья для текстильной, оборонной, строительной, лакокрасочной, фармацевтической, аэрокосмической, электротехнической и других отраслей промышленности (Kishlyan et al., 2020).

Лен-долгунец, по данным FAO, в 2022 г. выращивали на площади почти 260 тыс. га, среди прядильных культур он занимал третье место после хлопчатника и джута. России принадлежит третье место в мире по площади возделывания прядильного льна после Франции и Беларуси (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).

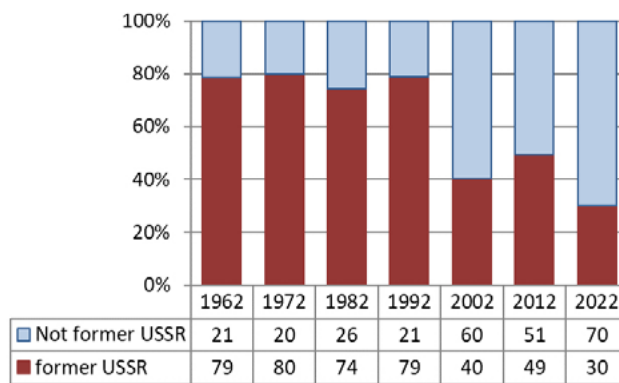
В настоящее время в мировом масштабе льноводство находится в стадии кризиса. Ведущая роль в возрождении отрасли, наряду с экономическими факторами, принадлежит селекции, направленной на создание сортов льна с заданными свойствами (Kishlyan et al., 2020). В 2024 г. в России наметилась тенденция к увеличению

посевных площадей под льном-долгунцом: так, в 2024 г., по сравнению с 2023 г., посевная площадь в РФ увеличилась на 10% с 36 до 40 тыс. га, без учета 11 основных регионов возделывания – закрытая информация в соответствии с Федеральным законом от 29.11.2007 № 282-ФЗ (ст. 4, п. 5; ст. 9. П. 1; <https://rosstat.gov.ru/search?q=посевные+площади>).

Анализ динамики изменения посевных площадей под льном с 1962 г. показывает их снижение в мире в 8,4 раза – с 2,16 до 0,26 млн. га, что, вероятнее всего, связано с замещением льняного волокна хлопковым и синтетическим. До своего распада СССР был лидером по производству льноволокна и занимал более 70% от всех посевных площадей по льну-долгунцу в мире за счет РСФСР, Белорусской, Украинской, Латышской и Литовской ССР. После распада СССР, помимо общего сокращения площадей, положение стран основных производителей тоже изменилось, и в 2022 г. на страны бывшего СССР, в основном Беларусь и Россию, для которых лен является исконной культурой, приходилось только 30% от общемировых площадей (Bazanov et al., 2023; Bogdan et al., 2023). Площади под льном-долгунцом на Украине составляют 0,24 тыс. га, а Латвия и Литва из-за запрета его возделывания со стороны ЕС прекратили выращивать лен (рис. 1) (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).



А



В

Рис. 1. Посевные площади льна-долгунца в мире, тыс. га: (А) посевные площади в мире, в странах бывшего СССР (Россия, Беларусь, Украина, Литва, Латвия, Эстония) и в странах, не входивших в состав СССР, Беларуси, России, тыс. га; (В) распределение площадей возделывания льна-долгунца между странами, входившими или не входившими в состав СССР, % (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>)

Fig. 1. Flax cultivation areas in the world: (A) acreage in the world, in the former USSR (Russia, Belarus, Ukraine, Lithuania, Latvia, and Estonia) and non-USSR countries; Belarus, and Russia, thousands of hectares; (B) distribution of cultivation areas between the countries of the former USSR and those that were not part of the USSR, % (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>)

Ситуация усугубляется еще и тем, что растут площади под масличным льном: за последние 10 лет они увеличились почти в два раза – до 4,5 млн га. Его солому также можно использовать на волокно, которое, хоть и более короткое и грубое, чем у льна-долгунца, но тем не менее пригодное для изготовления смесовых тканей и биокomпозитов. Таким образом, масличный лен конкурирует с льном-долгунцом за посевные площади. Последний, по нашему мнению, сейчас начинает возвращать позиции в производстве тканей высокого качества, что в скором времени скажется на ассортименте сортов, так как последние десятилетия селекция была направлена на повышение урожайности, а качеству волокна не уделяли должного внимания.

Коллекция льна-долгунца ВИР на февраль 2022 г. (дата создания Национального центра) насчитывала 2487 образцов. Наиболее ценный материал коллекции ВИР – это 825 староместных сорта, которые выращивали до начала эры научной селекции, и так называемые кряжи – льны, возделывавшиеся на территории Российской империи с давних времен, созданные в результате народной селекции – ежегодного отбора крестьянами семян с лучших растений. Селекционный материал представлен 774 селекционными линиями, созданными в процессе отбора селекционерами, и более проработанными 103 инбредными линиями, 29 мутантными линиями, для которых описан тип мутагенеза, и 85 расщепляющимися образцами. В коллекции льна-долгунца сохраняются 667 селекционных сортов, среди них практически все районированные когда-либо на территории бывшего СССР, а также большинство зарубежных сортов разных этапов и направлений селекции.

Начало научной селекции льна-долгунца в России было положено в 1908 г., однако первые сорта районировали только в 1932 г. Сорта льна ранее были условно разделены на четыре исторически сложившиеся группы, различающиеся по времени районирования. В первую вошли сорта, созданные в довоенные и первые послевоенные годы – с 1932 по 1951 г., выведенные методом отбора из лучших российских кряжевых льнов. Они отличаются низкими показателями урожайности и выхода волокна, но превосходят другие группы по скороспелости. Во вторую группу – 1960–1973 гг. – вошли сорта, созданные в большинстве на основе позднеспелого сорта Л-1120; у них повысились показатели урожайности, но увеличилась длина вегетационного периода. В третью группу (1978–1991 гг.) входят высокопродуктивные сорта с пониженным качеством волокна. Четвертую образуют сорта, выведенные после распада СССР (Kutuzova et al., 2005). Первые 3 группы охватывают периоды по 14 лет селекционного процесса, а четвертая – 30 лет.

В настоящей статье мы группировали по периодам поступления в коллекцию ВИР не только селекционные сорта, как это было сделано ранее С. Н. Кутузовой с соавторами (Kutuzova et al., 2005), но и местные образцы и другой селекционный материал, созданный до начала научной селекции. Поэтому в данной работе мы объединили второй и третий периоды, выделенные С. Н. Кутузо-

вой с соавторами (Kutuzova et al., 2005). Таким образом, первый период продлился с 1924 г. – года создания каталога ВИР – по 1950 г. (27 лет), когда в основном использовали отборы из местных сортов и начали проводить первые опыты по гибридизации, второй – с 1951 по 1991 г. (41 год), когда за рубежом, а позже и в СССР, стала преобладать гибридная селекция, в практику вошел мутагенез и развивалась инструментальная оценка качества волокна. Начало третьего периода (с 1992 по 2021 г., 30 лет) совпало с распадом СССР. В это время вычислительная техника стала доступна рядовым ученым, начали развиваться ДНК-технологии, ускоряющие селекционный отбор. С середины 1990-х годов, в связи с развитием химической промышленности, улучшением качества и снижением стоимости тканей из вискозы и полиэстера, производство волокна льна стало менее рентабельно, что привело к сокращению площадей под этой культурой и, как следствие, к сворачиванию селекционных программ в ряде стран.

Данное деление образцов по периодам включения в коллекцию довольно условно, так как в их паспортных данных фиксируется время поступления в ВИР, а дата выведения сорта/линии известна не всегда. Часто материал, особенно зарубежный, поступает в коллекцию через десятки лет после создания. Для экспедиционных сборов, проведенных после 1950-х гг., невозможно определить, является ли данный образец истинно местным или это семена какого-то современного сорта, используемого в посевах местными сельскохозяйственными производителями.

Согласно указу об образовании на базе ВИР первого Национального биоресурсного центра по отдельному направлению (Указ Президента Российской Федерации № 44 от 8 февраля 2022 г. «О Национальном центре генетических ресурсов растений») (Decree of the President..., 2022) на базе ВИР создан Национальный каталог растений для обеспечения гарантированного долгосрочного сохранения, поддержания и воспроизводства наиболее ценных образцов. В него будут входить образцы большинства из 82 коллекций сельскохозяйственных растений, зарегистрированных в Российской Федерации, для обеспечения сохранения и развития коллекций в соответствии с мировыми стандартами, а также эффективно и рационально их использования в интересах России (Khlestkina et al., 2022).

Все образцы льна-долгунца ВИР признаны наиболее ценными, так как включение в коллекцию осуществляется после обязательного 3-летнего предварительного изучения с проверкой однородности по основным морфологическим, хозяйственно ценным и другим признакам. Как правило, образцы обладают различными важными для селекции культуры характеристиками, такими как высокая адаптивность, устойчивость к неблагоприятным условиям среды, показатели качества волокна и др. Одновременно с изучением проводится уточнение и проверка данных об их происхождении (страна и район сбора, дата передачи в коллекцию, фамилия коллектора или селекционера, название учреждения, передавшего обра-

зец и т. д.), а также поиск возможных дублетов данного образца в коллекции.

Большая часть современных сортов льна получена с помощью традиционных методов селекции. Для создания новых сортов необходимо широкое генетическое разнообразие исходного селекционного материала. Генетические ресурсы служат основой для поиска перспективных комбинаций признаков (урожайности, выхода волокна и его качества, высокой адаптивности, устойчивости к неблагоприятным условиям и др.), новых аллелей генов, определяющих их, и создания сортов с заданными свойствами. Эффективность всех этапов селекционного процесса зависит от возможности оценить генетический полиморфизм исходного материала (Bazanov et al., 2023).

На современном этапе развития науки для основных сельскохозяйственных культур все большее распространение получает анализ «пангенома – всей совокупности нуклеотидных последовательностей, найденных в различных представителях одного вида или популяции» (Dmitriev et al., 2024, p. 535). Геном льна масличного сорта 'Bethune' был секвенирован в 2012 г. (Wang et al., 2012), а геном льна-долгунца – в 2021 г. (Sa et al., 2021). Сравнение последовательностей генов из референсного генома с генами других образцов льна показывает высокий полиморфизм (Arkhipov et al., 2024). Поэтому лен-долгунец как стратегически важная культура будет одним из первых объектов, привлеченных для разработки пангенома на основе российской коллекции (Government of the Russian Federation..., 2023). Для создания пангенома из 2487 коллекционных образцов будет отобрано около 200, представляющих все мировое разнообразие культуры. Использование морфологического скрининга образцов требует значительных затрат, так как признаки варьируют под действием экологических факторов и нужно проводить многолетние исследования (Korolev et al., 2023). Однако вложения будут оправданы, если к морфологическому фенотипированию добавят молекулярно-генетические исследования. Для создания пангенома всех разновидностей *L. usitatissimum*, охватывающего образцы разного типа использования, в дальнейшем планируется привлечь в изучение образцы льна масличного – льна-межеумка и льна-кудряша.

На данном этапе принципиально важно отобрать генотипы именно льна-долгунца. Это утверждение основано на полученных ранее результатах геномного секвенирования 191 образца разных разновидностей льна, в ходе которого установлено, что при определении полиморфизма 424 генов, участвующих в биосинтезе компонентов клеточной стенки, лигнанов, жирных кислот и транспорте ионов, у трети из них (143) один или несколько вариантов полиморфизма имели сильную корреляцию с типом льна (долгунец, межеумок или кудряш) (Povkhova et al., 2021).

Генетическая однородность образца для создания пангенома не является обязательной, но для дальнейшего его использования в селекционной работе желательна, поэтому образцы необходимо изучить с использованием современных методов и отобрать те из них,

которые охватывают максимальное разнообразие культуры. В связи с этим целью первого этапа работы по отбору репрезентативной выборки для создания пангенома *L. usitatissimum* является структурирование коллекции льна-долгунца ВИР.

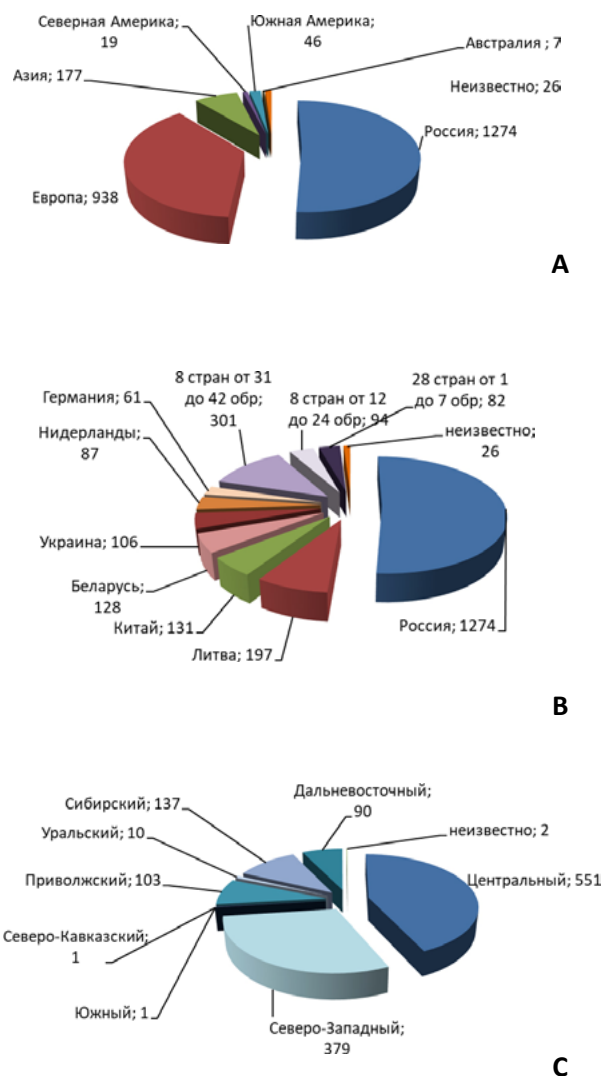


Рис. 2. Состав коллекции льна-долгунца ВИР: (А) количество образцов по континентам и из России отдельно; (В) распределение стран по количеству образцов в коллекции ВИР; (С) количество образцов по Федеральным округам России

Fig. 2. The structure of VIR's fiber flax collection: (A) numbers of accessions by continents, and separately from Russia; (B) distribution of countries according the number of accessions in the VIR collection; (C) numbers of accessions from the Federal Districts of Russia

Степень представленности разнообразия образцов льна-долгунца по континентам и странам в коллекции ВИР

Для полной представленности разнообразия льна-долгунца необходимо охватить все зоны его возделывания. В разных регионах сформировались различные комплексы хозяйственно ценных и адаптивных признаков, большое значение имеют научные школы той или иной страны. Так, северные льны издавна отличаются хорошим качеством волокна, льны Сибири имеют высокое содержание волокна, многие льны Франции способны возделываться там как озимая культура и т. д.

Коллекция льна-долгунца на дату создания Национального центра (февраль 2022 г.) включала 2487 образ-

цов из 49 стран (рис. 2, табл. 1). Пятьдесят один процент (1274 образца) поступил из Российской Федерации, 38% (938) – из стран Европы, 7% (177) – из Азии, 0,7% (19) – из Северной Америки, 2% (46) – из Южной Америки, 0,3% (7) – из Австралии, и у 1%(26) происхождение до конца не установлено.

Больше 50% коллекции составляют образцы из России (1274 обр.), от 8 до 3% приходится на образцы из Литвы (197), Китая (131), Беларуси (128), Украины (106), Нидерландов (87), Германии (61). Латвия, Великобритания, Аргентина, Польша, Франция, Чехия, Швеция и бывшая Чехословакия имеют по 42–31 образцов, или 1,5% от общего числа каждая. Остальные 28 стран представлены менее чем 1% образцов каждая.

Таблица 1. Динамика поступления образцов льна-долгунца в коллекцию ВИР из различных стран
Table 1. Dynamics of adding fiber flax accessions from various countries to the VIR collection

Регион	Число образцов				Регион	Число образцов			
	1922–1950	1951–1991	1992–2021	Всего		1922–1950	1951–1991	1992–2021	Всего
Россия	809	210	255	1274	Азия	17	19	141	177
Европа	195	466	277	938	Восточная Азия		11	141	152
Восточная Европа	77	224	74	375	Китай		3	128	131
Беларусь	48	48	32	128	Корея		3		3
Болгария		2	2	4	Монголия		2		2
Венгрия	2	22		24	Япония		3	13	16
Польша	4	29	5	38	Западная Азия		6		6
Румыния		6		6	Грузия		2		2
Украина	19	57	30	106	Турция		4		4
Чехия	4	29	5	38	Средняя Азия	17			17
Чехословакия		31		31	Казахстан	15			15
Западная Европа	57	168	22	247	Таджикистан	1			1
Австрия		5		5	Узбекистан	1			1
Бельгия		14		14	Южная Азия		2		2
Великобритания	11	28		39	Афганистан		1		1
Германия	14	42	5	61	Индия		1		1
Ирландия	2			2	Северная Америка	7	12		19
Нидерланды	30	53	4	87	Канада	4	3		7
Франция		25	13	38	США	3	9		12
Швейцария		1		1	Южная Америка	2	43	1	46
Северная Европа	61	61	180	302	Аргентина		37	1	38
Дания		5	1	6	Бразилия		1		1
Латвия	36	5	1	42	Венесуэла		2		2
Литва	15	26	156	197	Колумбия	1			1
Норвегия		1		1	Перу		1		1
Финляндия	1	5		6	Уругвай	1	1		2
Швеция	2	13	22	37	Чили		1		1
Эстония	7	6		13	Австралия и Океания		6	1	7
Южная Европа		13	1	14	Австралия		6	1	7
Испания		1	1	2	Неизвестно	16	6	4	26
Италия		3		3	Общий итог	1046	762	679	2487
Португалия		4		4					
Югославия		5		5					

Образцы льна-долгунца Российской Федерации

Несмотря на то что лен-долгунец преимущественно возделывается в северных регионах, в коллекции ВИР есть образцы из всех Федеральных округов (ФО) России (рис. 2, табл. 2).

Более 43% (551) образцов российского происхождения приходится на **Центральный ФО**, так как в нем находятся 3 основных льносеющих области – Тверская, Смоленская и Ярославская, в связи с чем из этого региона в коллекцию поступило много местных сортов льна. В первых двух областях находятся ведущие селекционные центры по льну-долгунцу – ВНИИЛ¹ и Смоленская опытная станция².

Таблица 2. Динамика поступления образцов льна-долгунца в коллекцию ВИР из Федеральных округов Российской Федерации

Table 2. Dynamics of adding fiber flax accessions from the Federal Districts of the Russian Federation to the VIR collection

Регион / Region	Число образцов / Numbers of accessions				Регион / Region	Число образцов / Numbers of accessions			
	1922–1950	1951–1991	1992–2021	Всего		1922–1950	1951–1991	1992–2021	Всего
Центральный ФО	247	134	170	551	Приволжский ФО	88	10	5	103
Брянская обл.	4			4	Волго-Вятский р-н	7			7
Владимирская обл.	5			5	Кировская обл.	33	9	5	47
Ивановская обл.	2			2	Нижегородская обл.	2			2
Костромская обл.	4			4	Пензенская обл.	6			6
Курская обл.	1			1	Пермский край	13			13
Московская обл.	22	29	92	143	Республика Удмуртия	25			25
Орловская обл.	2			2	Республика Чувашия	1	1		2
Смоленская обл.	37	30	4	71	Ульяновская обл.	1			1
Тверская обл.	111	73	74	258	Уральский ФО	10			10
Тульская обл.	3			3	Тюменская обл.	9			9
Ярославская обл.	56	2		58	Челябинская обл.	1			1
Северо-Западный ФО	259	49	71	379	Сибирский ФО	113	15	9	137
Архангельская обл.	14		1	15	Алтайский край	61			61
Вологодская обл.	38			38	Иркутская обл.	11			11
Ленинградская обл.	62	22	59	143	Кемеровская обл.	2			2
Новгородская обл.	8			8	Красноярский край	12	1		13
Псковская обл.	126	25	11	162	Новосибирская обл.	5			5
Республика Карелия	8			8	Омская обл.	4			4
Республика Коми	3	2		5	Республика Тыва	12			12
Южный ФО		1		1	Томская обл.	6	14	9	29
Краснодарский край		1		1	Дальневосточный ФО	90			90
Северо-Кавказский ФО		1		1	Забайкальский край	2			2
Дагестан		1		1	Приморский край	86			86
					Якутия	1			1
					Хабаровский край	1			1
					Неизвестно	2			2
					Итого	809	210	255	1274

¹ Современное название: Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур (Тверская обл., г. Торжок); <https://fncl.ru/company/struktura-instituta/institut-lna>

² Современное название: Смоленский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур (г. Смоленск); <https://fncl.ru/company/struktura-instituta/smolenskiy-institut-selskogo-khozyaystva>

В Московской области, в бывшем Московском отделении ВИР³, с 1988 по 2005 г. активно занимались мутагенезом льна, что позволило создать много селекционного материала с хорошим качеством волокна. Не менее ценны и единичные образцы из Брянской, Владимирской, Ивановской, Костромской, Курской, Орловской и Тульской областей (см. рис. 2, табл. 2).

Около 30% (379) образцов Российского происхождения приходится на **Северо-Западный ФО**, являющийся исконно льносеющей территорией. В основном это кражевые формы и сорта разного времени создания из Псковской области, где находится ведущий селекционер по льну – Псковский НИИСХ⁴, а также Ленинградской области, где располагается НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»⁵ и где уже более 100 лет ученые отдела генетических ресурсов масличных и прядильных культур ВИР активно изучают наследование различных признаков льна. Вологодская и Архангельская области также хорошо представлены староместными формами. Есть образцы с территории современной Новгородской области, республик Карелии и Коми. Интересно, что небольшое число новгородских долгунцов (8 обр.), казалось бы, исконной территории возделывания, объясняется переподчинением районов Новгородской области соседним областям после образования СССР (см. рис. 2, табл. 2).

Почти 11% (137) российских образцов приходится на **Сибирский ФО**, исконно возделывающий как лен-долгунец, так и лен масличный. В первые годы после своего образования коллекция прирастала местными образцами с Алтая, из Новосибирской, Омской и Кемеровской областей, Красноярского края, местными образцами и первыми линиями из Тувинской республики, образцами из Иркутской области, как местными, так и первыми селекционными линиями Тулунской опытной станции⁶. Первые местные образцы Томской области датируются началом 1920-х годов, затем, с открытием Томской селекционной станции⁷, в коллекцию ВИР стали поступать ее селекционные сорта (см. рис. 2, табл. 2).

Более 8% (103) образцов российского происхождения составляют долгунцы **Приволжского ФО**. Если до 1950 г. это были в основном местные формы Волго-Вятского района, в том числе Кировской и Нижегородской областей, а также Пензенской и Ульяновской областей, Пермского края, республик Удмуртии и Чувашии, то после 1950 г. это были сорта Фаленской опытной станции⁸ и Кировско-СХИ⁹ Кировской области (см. рис. 2, табл. 2).

Дальневосточный ФО (более 7% (90) образцов из России) представлен в основном образцами из Приморского края и единичными из Забайкальского, Хабаровского краев и Якутии (см. рис. 2, табл. 2).

Северо-Кавказский ФО (Дагестан) и **Южный ФО** (Краснодарский край) имеют в коллекции ВИР по одному местному образцу, которые интересны тем, что это зона крайне неблагоприятна для формирования волокна льна (см. рис. 2, табл. 2).

Образцы льна-долгунца Европы

Коллекция ВИР насчитывает 938 образцов льна-долгунца из всех регионов Европы. Больше всего образцов происходят из Восточной Европы (375), немного меньше – из Северной (302), Западной (247) и, в незначительном количестве, из Южной (14) Европы (см. рис. 2, табл. 1).

Восточная Европа (375 обр.) представлена в коллекции льна-долгунца ВИР образцами из Беларуси, Украины, Чехии (бывшей Чехословакии), Польши, Венгрии, Румынии и Болгарии.

Беларусь (128 обр.) – на данный момент лидер в производстве льна-долгунца – представлена как местными образцами сборов из всех ее областей, так и селекционным материалом, включая лучшие мировые сорта из Института льна Беларуси (Витебская обл.)¹⁰, Белорусского НИИ земледелия (Минская обл.)¹¹,

³ Земли и имущество Московского отделения ВИР (пос. Истра Московской области) в 2007 г. присоединены к Федеральному научному селекционно-технологическому центру садоводства и питомниководства; <https://vstisp.org/vstisp/index.php/2-uncategorized/215-tsentr-genofonda-i-bioresursov-rastenij>

⁴ Современное название: Псковский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур (Псковская обл., дер. Родина); <https://fncl.ru/company/struktura-instituta/pskovskiy-institut-selskogo-khozyaystva>

⁵ Современное название: Научно-производственная база (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР); <https://www.vir.nw.ru/vir/podrazdeleniya-instituta/otdely/otdel-geneticheskikh-resursov-maslichnyh-i-pryadilnyh-kultur>

⁶ Современное название: Отдел селекции Иркутского научно-исследовательского института сельского хозяйства в п. Писарево Тулунского района; <https://old.rosselhoccenter.ru/index.php/otchjoty-22/6354-otdel-selektcii-irkutskogo-niiskh-v-p-pisarevo-tulunskogo-rajona?ysclid=m4yo6faqc3926246005>

⁷ Современное название: Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук (СибНИИСХИТ – филиал СФНЦА РАН), Богашевский отдел селекции и семеноводства

⁸ Современное название: Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудникова, Фаленская селекционная станция; <https://fssnauka.narod.ru>

⁹ Современное название: Вятский государственный агротехнологический университет; <https://vgatu.ru/kafedra-pochvovedeniya-zemleustrojstva-i-rasteniyevodstva>

¹⁰ Современное название: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; <https://institut-lina.by/index.php/ru/>

¹¹ Современное название: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию»; <https://izis.by/?ysclid=m4yopocrcw984796652>

Могилевской сельскохозяйственной опытной станции¹².

Украина (106 обр.) – традиционная зона возделывания долгунца – представлена местными образцами всех ее регионов, а также селекционным материалом и сортами Житомирского НИИСХ нечерноземной зоны Украины¹³, Украинского НИИ земледелия¹⁴, НИИ земледелия западных районов Украины¹⁵, Института лубяных культур¹⁶.

Чехия (38 обр.) и бывшая Чехословакия (31) представлены местными формами, а также двумя образцами льна-прыгунца *L. usitatissimum* subsp. *crepitans* (Boenn.) Elladi. Этот таксон не определен окончательно. Считается, что лен-прыгунец – это либо предковая форма культурного льна, либо боковая ветвь его эволюции (Kutuzova, Chukhina, 2017). Также в коллекции много селекционного материала и сортов из этих стран, поскольку ВИР имел тесные связи с селекционными учреждениями бывшей Чехословакии.

Польша (38 обр.) представлена местными образцами в основном Белостокской области (бывш. Белорусская ССР) и других областей, а также селекционными линиями и 25 сортами, так как эта страна исконно возделывает лен.

В коллекции ВИР есть образцы, в основном селекционные линии и сорта, из Венгрии (24 обр.), Румынии (6) и Болгарии (4).

Западная Европа (247 обр.) представлена в коллекции льна-долгунца ВИР образцами из Нидерландов, Германии, Великобритании, Ирландии, Франции, Бельгии, Австрии и Швейцарии.

Нидерланды (87 обр.) – страна, где зарождалась генетика льна, представлена в коллекции ВИР большей частью селекционными и генетическими линиями, полученными Т. Tamme, первым генетиком льна. Также в кол-

Литва (197 обр.) представлена местными образцами, большинство из которых поступили в коллекцию в 1939 г., 174 селекционными линиями и 6 сортами, полученными

¹² Современное название: Республиканское унитарное предприятие «Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция Национальной академии наук Беларуси»; <https://mogilevoshos.by/?ysclid=m4yoqgv6ddy378940010>

¹⁴ Современное название: Институт земледелия УАН; <https://kievskaya-oblast.bizly.ru/1373126039-institut-zemledeliya-uaan/?ysclid=m4ypnvme18570214058>

¹⁶ Современное название: Институт лубяных культур НААН Украины; https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%BB%D1%83%D0%B1%D1%8F%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BA%D1%83%D0%B%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80_%D0%9D%D0%90%D0%90%D0%9D_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%B-D%D1%8Bwiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%BB%D1%83%D0%B1%D1%8F%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80_%D0%9D%D0%90%D0%90%D0%9D_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D1%8Bwiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%BB%D1%83%D0%B1%D1%8F%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80_%D0%9D%D0%90%D0%90%D0%9D_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D1%8B

¹⁷ Современное название: The Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK); <https://www.ipk-gatersleben.de/en/institute/about-us>

¹⁸ Современное название: INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement); <https://www.inrae.fr/en/about-us>

с 1984 по 2019 г. из Упитской опытной станции Литовского НИИ земледелия¹⁹. Эта станция специализируется на мутагенезе льна, поэтому полученные линии и сорта разнообразны по морфологическим и хозяйственно важным признакам.

Латвия (42 обр.) представлена местными образцами, в основном поступившими в коллекцию в 1939 и 1948 г., и селекционным материалом – линиями, созданными Л. Ф. Альтгаузенем и полученными коллективом Стендовской опытной станции²⁰, а также 4 сортами. **Эстония (13 обр.)** – местными образцами, зарегистрированными в коллекции в 1939 и 1952 г., а также сортами Йыгевской опытной станции²¹. **Швеция (37 обр.)** – 2 местными образцами, 22 селекционными линиями и 13 сортами. Многие из линий и сортов, судя по их названиям, созданы на Свалёфской селекционной станции²². **Финляндия (6), Дания (6) и Норвегия (1)** представлены двумя местными образцами из ботанических садов Финляндии и Норвегии, селекционными линиями и сортами.

Южная Европа (14 обр.) представлена в коллекции льна-долгунца ВИР образцами бывшей **Югославии (5), Италии (3), Португалии (4) и Испании (2)**. Каждая из этих стран имеет только местные формы. В коллекции также есть три португальские селекционные линии и один испанский сорт.

Образцы льна-долгунца из Азии

В коллекции ВИР собраны 177 образцов льна-долгунца, представителей всех регионов Азии. Подавляющее большинство получено из Восточной Азии (152), намного меньше – из Средней (17), Западной (6) и Южной (2) (см. рис. 2, табл. 1).

Восточная Азия (152 обр.) представлена в коллекции льна-долгунца ВИР образцами из Китая, Японии, Кореи и Монголии.

Китай (131 обр.) до начала 1990-х годов не занимался селекцией льна-долгунца. В коллекции ВИР есть три местных образца, два из которых собраны экспедицией ВИР, а один получен по выписке из Румынии. С начала 2000-х годов ВИР активно сотрудничает с ведущими селекционными учреждениями Китая (Institute of Bast Fiber Crops, провинция Хунань, г. Чанша²³; Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences²⁴, провинция Хэйлунцзян, г. Харбин). По обмену из этих учреждений получено 108 линий и 20 современных сортов.

В коллекции ВИР имеются 16 сортов из **Японии** разных периодов селекции, 3 сорта из **Кореи** и два местных образца из **Монголии**.

Средняя Азия (17 обр.) представлена большей частью местными образцами **Казахстана (14 обр.)** и **Таджикистана (1 обр.)**, а также двумя линиями из Казахстана и **Узбекистана**.

Западная Азия (6 обр.) представлена местными образцами **Турции (2)** и **Грузии (2)**, а также турецкими линиями и сортом.

Южная Азия (2 обр.) представлена местными образцами из **Индии** и **Афганистана**.

Образцы льна-долгунца Северной Америки

Северная Америка представлена 19 образцами из США и Канады (см. рис. 2, табл. 1): **США (12 обр.)** – селекционными линиями (устойчивыми к болезням) и сортами 1940-х – 1970-х годов селекции, **Канада (7 обр.)** – одним местным образцом и 6 сортами 1920-х и 1950-х годов селекции.

Образцы льна-долгунца Южной Америки

Южная Америка представлена 46 образцами из Аргентины (38 обр.), Уругвая (2), Чили (1), Перу (1), Бразилии (1), Венесуэлы (2) и Колумбии (1) (см. рис. 2, табл. 1).

Происхождение из **Аргентины** имеют только селекционные линии и сорта. Интересно, что подавляющее большинство их получено через Францию (INRA, 26 обр.) или другие страны, и только 8 – непосредственно из Аргентины.

Венесуэла и **Колумбия** представлены только местными образцами, **Перу** и **Чили** – селекционными линиями, **Уругвай** и **Бразилия** – сортами.

Образцы льна-долгунца Австралии

В коллекции льна-долгунца ВИР есть 7 сортов из **Австралии** (см. рис. 2, табл. 1). Один из них – Currong (к-6608) – лидер по количеству эффективных генов устойчивости к ржавчине и используется как их источник в селекционном процессе РФ.

В коллекции ВИР на февраль 2022 г. не зарегистрирован ни один образец льна-долгунца из **Африки**, одна-

¹⁹ Современное название: Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry; <https://www.researchgate.net/institution/Lithuanian-Research-Centre-for-Agriculture-and-Forestry>

²⁰ Современное название: State Stende Cereal Breeding Institute; https://www.researchgate.net/publication/271052466_State_Stende_Cereal_Breeding_Institute_From_the_Origins_to_the_Present

²¹ Современное название: Estonian Crop Research Institute; https://www.researchgate.net/institution/Estonian_Crop_Research_institute

²² Современное название: Svalöf Weibull AB; <https://svalofconsulting.se/about-us/> (мог быть поглощен BASF); <https://www.chemeurope.com/en/news/519/basf-plant-science-to-acquire-us-plant-biotechnology-and-genetics-company.html>

²³ <https://ibfc.caas.cn/en>

²⁴ <http://www.haas.cn>

ко на основе образца льна-межеумка к-6263 (Giza Purple, Египет) в ВИР отобрана линия долгунцового типа гк-375 (к-8971), которая внесена в постоянный каталог в конце 2022 г. То есть формально возможно отобрать из высоко-рослых Африканских межеумочных форм лен-долгунец.

Образцы льна-долгунца неизвестного происхождения

Данная группа насчитывает 26 образцов, их происхождение нуждается в уточнении, так как страна и учреждение, из которого они получены, не являются их оригиналами. В эту группу входят как староместные сорта, так и селекционный материал – селекционные линии и селекционные сорта (см. рис. 2, табл. 1).

Заключение

Стратегия сбора коллекции льна, как и большинства культур в ВИР, заключается в максимально полном охвате всего возможного разнообразия вида. В ее состав входят различные типы генетических ресурсов: местные стародавние сорта, селекционный материал различной степени проработанности, старые и новые районированные сорта, мутантные по различным хозяйственно ценным, морфологическим, физиологическим и другим важным признакам формы.

С появлением новых методов исследований продолжается углубленное изучение как наследственной изменчивости вида, так и особенностей проявления признаков в меняющихся условиях среды. Коллекция льна-долгунца востребована среди научных и селекционных учреждений. По запросам под конкретные цели заказчика предоставляется как местный, так и проработанный селекционерами материал. Обычно перспективными оказываются образцы разного селекционного статуса. Созданный Национальный центр генетических ресурсов растений будет способствовать объединению усилий держателей коллекций всей России, научных учреждений и селекционеров в деле всестороннего изучения и эффективного использования генетических ресурсов.

References / Литература

Arkhipov A.A., Pushkova E.N., Bolsheva N.L., Rozhmina T.A., Borkhert E.V., Zhernova D.A. et al. Nanopore data-driven chromosome-level assembly of flax genome. *Plants*. 2024;13(24):3465. DOI: [10.3390/plants13243465](https://doi.org/10.3390/plants13243465)

Bazanov T.A., Uschapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):163-176. [in Russian] (Базанов Т.А., Ущеповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):163-176). DOI: [10.30901/2227-8834-2023-1-163-176](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176)

Bogdan V.S., Bogdan T.M., Litarnaya M.A., Ivanov S.A. Agroecological adaptedness of fiber flax specimens. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2023;6(3):5-13. [in Russian] (Богдан В.С.,

Богдан Т.М., Литарная М.А., Иванов С.А. Агроэкологическая адаптированность коллекционных образцов льна-долгунца. *Биотехнология и селекция растений*. 2023;6(3):5-13. DOI: [10.30901/2658-6266-2023-3-02](https://doi.org/10.30901/2658-6266-2023-3-02)

Brutch N.B., Domantovich A.V., Koshkin V.A., Sanin A.A., Kosykh L.A. Intensity of growth and development of flax lines with different photosensitivity in the latitudes traditional for flax and linseed. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(2):210-224. [in Russian] (Брutch Н.Б., Домантович А.В., Кошкин В.А., Санин А.А., Косых Л.А. Интенсивность роста и развития линий льна с различной фотопериодической чувствительностью на широтах, традиционных для выращивания льна-долгунца и межеумка. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(2):210-224). DOI: [10.30901/2227-8834-2015-2-210-224](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2015-2-210-224)

Cultivated areas in the Russian Federation in 2024 (springtime records) (Posevnye ploshchadi Rossiyskoy Federatsii v 2024 godu [vesennego ucheta]): [website]. [in Russian] (Посевные площади Российской Федерации в 2024 году (весеннего учета): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru/search?q=посевные+площади> [дата обращения: 10.11.2024].

Decree of the President of the Russian Federation No. 44 dated Feb. 8, 2022 "On the National Center for Plant Genetic Resources (O Natsionalnom tsentre geneticheskikh resursov rasteniy)". *Official Internet Portal of the Legal Information*. 2022. [in Russian] (Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 44 «О Национальном центре генетических ресурсов растений». *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2022. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202080014> [дата обращения: 10.11.2024].

Dmitriev A.A., Pushkova E.N., Melnikova N.V. Plant genome sequencing: modern technologies and novel opportunities for breeding *Molecular Biology*. 2022;56(4):495-507. DOI: [10.31857/S0026898422040048](https://doi.org/10.31857/S0026898422040048)

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [website]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed Dec. 01, 2024].

Government of the Russian Federation. Directive of September 16, 2023, No. 2496-r (Pravitelstvo Rossiyskoy Federatsii. Rasporyazheniye ot 16 sentyabrya 2023 g. N 2496-r). Moscow; 2023. [in Russian] (Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 16 сентября 2023 г. № 2496-р. Москва; 2023). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202309190026> [дата обращения: 10.11.2024].

Khlestkina E.K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):9-30. [in Russian] (Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):9-30). DOI: [10.30901/2227-8834-2022-1-9-30](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30)

Kishlyan N.V., Melnikova N.V., Rozhmina T.A. The mechanisms of fiber flax adaptation to high soil acidity (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):205-212. [in Russian] (Кишлян Н.В., Мельникова Н.В., Рожмина Т.А. Механизмы адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):205-212). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-205-212>

Korolev K.P., Bome N.A., Kolokolova N.N. Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):102-117. [in Russian] (Королев К.П., Боме Н.А., Колоколова Н.Н. Фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):102-117). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-102-117>

Kutuzova S.N., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Sharov I.Ya., Pavlov A.V. Comparative characteristics of fiber flax cultivars zoned in 1932-2000 (Svratelnaya kharakteristika sortov lina-dolguntsa, rayonirovannykh s 1932 po 2000 gg.). In: *Problems of Fiber Flax Technological Quality Improvement (Problemy povysheniya tekhnologicheskogo kachestva lina-dolguntsa)*: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*; 2004 November 2-3; Torzhok, Russia. Torzhok; 2005. p.40-48. [in Russian] (Кутузова С.Н., Брutch Н.Б., Пороховинова Е.А., Шаров И.Я., Павлов А.В. Сравнительные характеристики сортов льна-долгунца, районированных с 1932 по 2000 гг.). В: *Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца*: *Труды международной научной и практической конференции*; 2004 Ноябрь 2-3; Торжок, Россия. Торжок; 2005. с.40-48. [in Russian] (Кутузова С.Н., Брutch Н.Б., Пороховинова Е.А.,

- Шаров И.Я., Павлов А.В. Сравнительная характеристика сортов льна-долгунца, районированных с 1932 по 2000 гг. В кн.: *Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца: материалы Международной научно-практической конференции*; 2-3 ноября 2004 г.; Торжок, Россия. Торжок; 2005. С.40-48).
- Kutuzova S.N., Chukhina I.G. Updating the intraspecific classification of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) using methods of classical genetics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(3):97-109. [in Russian] (Кутузова С.Н., Чухина И.Г. Уточнение внутривидовой классификации культурного льна (*Linum usitatissimum* L.) методами классической генетики. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(3):97-109). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-3-97-109>
- Novakovskiy R.O., Povkhova L.V., Krasnov G.S., Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Kudryavtseva L.P. et al. The cinnamyl alcohol dehydrogenase gene family is involved in the response to *Fusarium oxysporum* in resistant and susceptible flax genotypes *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(7):896-901. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.564>
- Povkhova L.V., Melnikova N.V., Rozhmina T.A., Novakovskiy R.O., Pushkova E.N., Dvorianinova E.M. et al. Genes associated with the flax plant type (oil or fiber) identified based on genome and transcriptome sequencing data. *Plants*. 2021;10(12):2616. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10122616>
- Sa R., Yi L., Siqin B., An M., Bao H., Song X. et al. Chromosome-level genome assembly and annotation of the fiber flax (*Linum usitatissimum*) genome. *Frontiers in Genetics*. 2021;12:735690. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.735690>
- Wang Z., Hobson N., Galindo L., Zhu S., Shi D., McDill J. et al. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled *de novo* from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology*. 2012;72(3):461-473. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.05093.x>

Информация об авторах

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Нина Борисовна Бреч, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Андрей Валерьевич Павлов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Information about the authors

Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 03.12.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 21.12.2024.

The article was submitted on 03.12.2024; approved after reviewing on 13.12.2024; accepted for publication on 21.12.2024.



Генофонд черной смородины Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

О. А. Тихонова

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

Автор, ответственный за переписку: Ольга Анатольевна Тихонова, o.tikhonova@vir.nw.ru

Черная смородина истари является одним из наиболее почитаемых и любимых ягодных садовых растений. Она ценится за высокую зимостойкость, продуктивность, скороплодность, относительную неприхотливость при возделывании. Среди ягодных культур она занимает одно из лидирующих положений по содержанию питательных и биологически активных веществ, необходимых для сбалансированного питания человека.

Наша страна занимает ведущие позиции в мире как по производству ягод смородины, так и по числу выведенных сортов этой культуры. Генофонд черной смородины ВИР содержит разнообразный генетический материал рода *Ribes* L., включающий образцы, являющиеся носителями известных генов, сорта – источники важнейших хозяйственно ценных признаков, которые могут быть использованы в селекции для решения проблемных вопросов культуры, а также ценные видовые образцы.

Обширный генетический потенциал коллекции является надежным источником ценного исходного материала для современной селекции. В Национальный каталог входят 360 образцов коллекции. Это в первую очередь сорта с известными генами, отвечающими за определенные признаки, сорта – источники важнейших хозяйственно-биологических признаков и наиболее ценные видовые образцы.

Ключевые слова: сорт, образец, вид, районированный сортимент, таксон

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

Для цитирования: Тихонова О.А. Генофонд черной смородины Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):74-84.

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

© Тихонова О.А., 2024

Original article

The gene pool of black currant preserved at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Olga A. Tikhonova

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

Corresponding author: Olga A. Tikhonova, o.tikhonova@vir.nw.ru

Black currant has long been one of the most revered and beloved berry garden plants. It is valued for its high winter hardiness, productivity, fruiting precocity, and relatively undemanding cultivability. Among berry crops, black currant occupies one of the leading positions in terms of the content of nutrients and bioactive compounds necessary for a balanced human diet.

Russia is the world's leader both in the production of black currant berries and in the number of released cultivars.

The gene pool of black currant maintained at VIR contains diverse genetic material of *Ribes* L., including accessions with well-known genes, cultivars serving as sources of important agronomic traits promising for breeding, and valuable species representatives.

The extensive genetic potential of the collection is a reliable cache of valuable source material for contemporary breeding.

The National Catalogue includes 360 accessions of the collection. These are primarily cultivars with known genes responsible for certain traits, sources of the most important agronomic and biological traits, and the most valuable species representatives.

Keywords: cultivar, accession, species, zoned assortment, taxon

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

For citation: Tikhonova O.A. The gene pool of black currant preserved at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). *VIR Bulletin*. 2024;(243):74-84. (In Russ.).

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

© Tikhonova O.A., 2024

Краткая таксономическая справка

Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) относится к обширному роду *Ribes* L., насчитывающему около 150 видов, произрастающих в умеренной зоне Европы, Азии, Северной Америки, в Северной Африке и горах Южной Америки. Большинство их распространено в Юго-Восточной Азии и Северной Америке. Главное сосредоточие видов рода – Дальний Восток России, Япония, Китай, Маньчжурия, Гималаи и Северная Америка (Sedov, 2009).

Род впервые был описан в 1737 г. К. Линнеем.

Вопрос о месте рода *Ribes* в системе с давних пор являлся предметом разногласий между учеными. В течение длительного времени существовали споры по поводу принадлежности смородины к определенному семейству. По сведениям Н. М. Павловой, род вначале рассматривался в семействе Portulacaceae (Adanson, 1763), затем был отнесен в семейство Nopaleae (de Jussieu, 1789). В 1799 г. Е. Р. Ventenat присоединил род к семейству Saxifragaceae (Ventenat, 1799). Ряд ученых (Bentham, Hooker, 1862; Engler, 1930; Poyarkova, 1939; Lozina-Lozinskaya, 1954; Lu, Crinan, 2001) поддержал эту точку зрения, и в течение длительного времени род рассматривался в пределах семейства Камнеломковые – Saxifragaceae L. Однако уже Декандоль (De Candolle, 1804), даже при своем очень широком понимании семейства, считал возможным выделить род в отдельное семейство Grossulariaceae DC. В дальнейшем эту точку зрения поддержали другие исследователи (Berlandier, 1826; Coville, Britton, 1908; Takhtajan, 1966; Cronquist, 1981; Sinnot, 1985; Czerepanov, 1995).

Не существует единого мнения и о количестве родов в семействе – считать ли его монотипным, включающим один род *Ribes*, либо подразделять род на два самостоятельных таксона – *Ribes* и *Grossularia* (Tourn.) Mill.

Первый монограф рода Э. Янчевский (Janczewski, 1907) признавал только один род *Ribes*, подразделяя его на 6 подродов. А. Rehder (Rehder, 1954) и М. Weigend (Weigend, 2007) также считают, что все существующее многообразие видов может быть отнесено к одному роду *Ribes*. Анатомические исследования, проведенные W. L. Stern, E. M. Sweitzer и др. (Stern et al., 1970), свидетельствуют о правильности суждений в пользу одного рода *Ribes*. Противоположной точки зрения придерживаются монограф рода А. Berger (Berger, 1924), А. И. Пояркова (Poyarkova, 1939), А. С. Лозина-Лозинская (Lozina-Lozinskaya, 1954), которые рассматривают в пределах семейства 2 рода: *Ribes* L. и *Grossularia* (Tourn.) Mill.

Разные точки зрения существуют и на количество подродов в семействе. А. Rehder (Rehder, 1954) выделяет лишь 4 подрода; смородину черную он рассматривает в составе подрода *Ribesia* (Berl.) Jancz. (красные смородины), в секции *Eucoreosma*. А. И. Пояркова (Poyarkova, 1939) подразделяет род на 7 подродов и относит *Ribes nigrum* L. к подроду *Eucoreosma* (Jancz.) Berg. (черные смородины). Согласно системе А. Бергера (Berger, 1924), виды рода *Ribes* объединены в 8 подродов. Смороди-

ну черную он также рассматривает в составе подрода *Eucoreosma*, в который включает 20 видов. Данный подрод, по мнению разных исследователей, объединяет от 6 до 16 видов рода *Ribes*.

Неоднозначно понимается и объем самого рода *Ribes*. Спорные мнения сложились относительно существования в качестве самостоятельных видов *R. armenum* Poyark., *R. canadense* Rich., *R. ussuriense* Jancz. и др.

Ареал видов, входящих в состав подрода *Eucoreosma*, очень обширен. В нашей стране он охватывает почти всю европейскую часть России, включает арктическое побережье и Кавказ, Среднюю Азию, Западную и Восточную Сибирь, Дальний Восток (Sedov, 2009).

Общие сведения о культуре. Некоторые особенности биологии и морфологии

Черная смородина истари является одним из наиболее почитаемых и любимых ягодных садовых растений. Она ценится за высокую зимостойкость, продуктивность, скороплодность, относительную неприхотливость при возделывании. Среди ягодных культур черная смородина занимает одно из лидирующих положений по содержанию питательных и биологически активных веществ, необходимых для сбалансированного питания человека. (Strel'tsina, Tikhonova, 2010). Главным достоинством ягод является высокое содержание в них аскорбиновой кислоты при низком содержании ферментов, разрушающих ее. Этим обеспечивается высокая сохранность витамина С в продуктах переработки (Sokolov, Zamotaev, 1988). Ягоды черной смородины содержат до 350 мг/100 г аскорбиновой кислоты, Р-активные вещества (флавонолы, флаваны, фенолкарбоновые кислоты). Сочетание витаминов С и Р очень важно для человека, организм которого неспособен синтезировать ни то, ни другое соединение (Samorodova-Bianki et al., 1992). Содержание растворимых сухих веществ в ягодах составляет 13,7–24,8%. Ягоды являются источником благоприятно сбалансированных сахаров (10–14%) с высоким содержанием глюкозы и фруктозы и низким содержанием сахарозы. Титруемая кислотность ягод варьирует от 2 до 4,3%. Они содержат в основном лимонную, яблочную, винную кислоты; из минеральных веществ – калий (4,5%), кальций (9%), магний (4%), кремний (4%), фосфор (0,7%); провитамин А, витамины группы В: В₁, В₂, В₆, В₉ (0,16 мг/100 г), К₁ (0,7–1,2 мг/100 г), Е, РР₁, кумарины, фурукумарины, дубильные, пектиновые и красящие вещества, эфирные масла (Vitkovsky, 2003).

Листья и почки черной смородины по сравнению с ягодами содержат в 1,5–3,5 раза больше Р-активных соединений и аскорбиновой кислоты.

Смородина черная – это многолетний кустарник, от невысоких растений с прилегающими к земле побегами до мощных кустов, достигающих в высоту и ширину 2,0–2,5 м. Взрослый куст черной смородины состоит из 15–25 разновозрастных ветвей. При правильном уходе он может плодоносить до 25–30 лет. Продолжительность продуктивного периода каждой отдельной ветви в кусте

значительно короче – до 4–5 лет, после чего происходит сокращение приростов, а затем постепенное отмирание ветви.

Урожай черной смородины формируется на плодовых образованиях нескольких типов, которые различаются долговечностью у разных видов. *Смешанные побеги* имеют длину от 15 до 35 см, верхушечная и боковые почки могут быть как цветковыми, так и вегетативными. *Плодовые побеги* имеют длину от 10 до 15 см, с генеративными почками по всей длине. Верхушечная почка может быть и вегетативной, и генеративной. *Кольчатки* – плодовые образования до 3 см длиной, имеющие до 3 боковых почек со сближенными междоузлиями. У черной смородины кольчатки недолговечны, через 2–3 года они усыхают или дают побег ростового типа (Sedov, 2009).

Основной урожай ягод формируется на смешанных и плодовых побегах, поэтому уменьшение приростов при плохом уходе приводит к резкому снижению продуктивности.

Почки на побегах располагаются достаточно разреженно и равномерно. Листья 3–5-лопастные, от светло-

до темно-зеленых, иногда с бронзовым или голубоватым отливом, крупные, средние и мелкие, имеют очередное расположение на побеге. В зависимости от сортовых особенностей они могут быть кожистыми, грубыми либо травянистыми, тонкими, гладкими или морщинистыми, выпуклыми или вогнутыми по средней жилке, часто с подогнутыми внутрь краями. Нижняя сторона листовой пластинки усеяна многочисленными мелкими желтовато-коричневыми эфирномасличными железками, имеющими характерный специфический аромат. Железки покрывают побеги, почки, цветки и плоды черной смородины. Эта характерная особенность в числе прочих отличает черную смородину от красной.

Морфологические особенности листьев служат надежным апробационным признаком, позволяющим отличить один сорт от другого.

Цветки обоеполые, 5-мерные, неяркие, колокольчатые или бокаловидные, с двойным околоцветником. Соцветие – кисть, состоящая из 3–15 цветков (рис. 1). В пределах кисти цветки распускаются от основания соцветия к верхушке. Продолжительность цветения зависит от погодных условий и длится в среднем 7–11 дней.

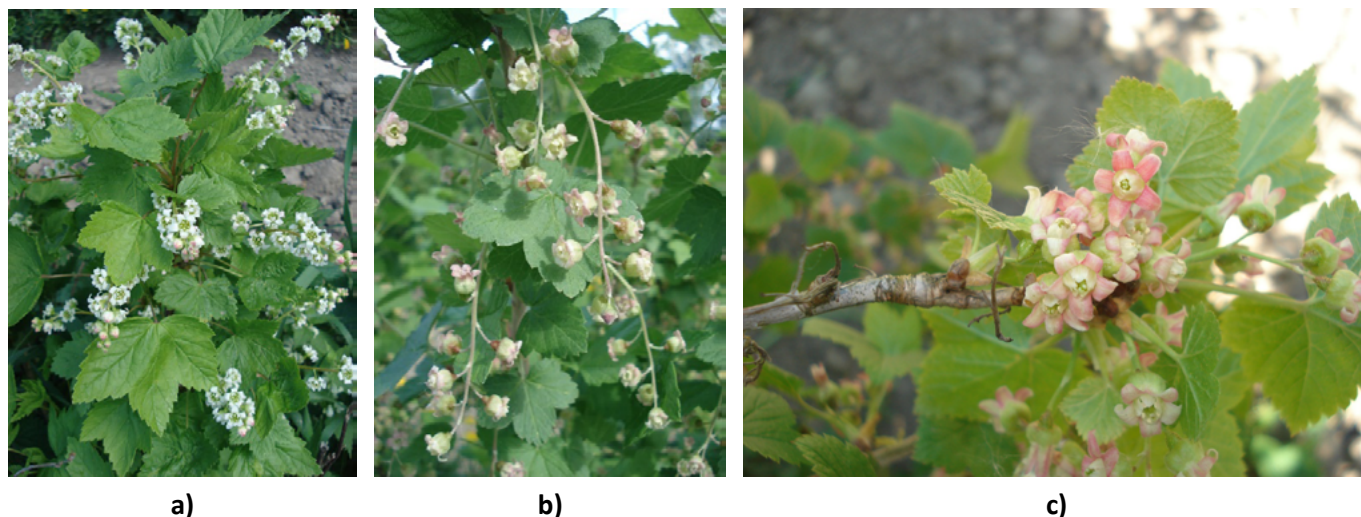


Рис. 1. Цветки черной смородины:
а) межвидовой гибрид 048 *Petjancz* 33; б) 'Бурая Дальневосточная'; в) 'Лазурь'

Fig. 1. Black currant flowers:
а) interspecific hybrid 048 *Petjancz* 33; б) 'Buraya Dalnevoostohnaya'; в) 'Lazur'

Плод – многосемянная ягода. Подавляющее большинство сортов имеет плоды черной окраски, однако они не всегда могут быть черными (рис 2). У сортов, полученных с участием смородины дикуши, ягоды кажутся синевато-черными или даже голубоватыми из-за сильного воскового налета. Для сорта 'Розовая' характерна светлая, розовато-коричневая окраска плодов, унаследованная от смородины моховки (*R. procumbens* Pall.). Бурые или буровато-черные ягоды присущи сортам 'Пилот Алек-

сандр Мамкин', 'Шоколадная'. Светло-зеленую окраску плодов в зрелом состоянии имеют сорта 'Vertti', 'Снежная Королева', 'Слеза Иисиды', 'Изумрудное ожерелье', 'Золото Инков'. Среди дикорастущей черной смородины можно встретить формы с плодами самой разнообразной окраски – от ярко-зеленых и зеленовато-бурых в зрелом состоянии до грязно-желтых, буроватых, розовато-коричневых, красноватых и черно-фиолетовых (Tikhonova, 2005).



‘Лентяй’ (‘Lentyay’)



‘Снежная Королева’
(‘Snezhnaya Koroleva’)



Ribes dikuscha Fisch. ex Turcz.
(фото А. Ш. Сабитова)

Рис. 2. Окраска ягод черной смородины

Fig. 2. Coloring of black currant berries

Культивирование черной смородины

Высокая пластичность и относительная неприхотливость обеспечивают возможность выращивания черной смородины практически повсеместно, начиная от западных и кончая восточными границами России. При подборе оптимальных сортов смородина способна давать высокие урожаи даже за Полярным кругом. В настоящее время интерес к этой культуре стали проявлять и в южных

регионах страны – там, где она никогда не была традиционной. Но лучше всего смородина удается в широтах, ограниченных 47–60°с. ш. (Tikhonova, 1997).

Смородину выращивают более чем в 25 странах мира, преимущественно в Европе и незначительно в Новой Зеландии, Австралии и США (Vitkovsky, 2003). В нашей стране, согласно данным ФАО ООН (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>), она занимает наибольшие площади (рис. 3).

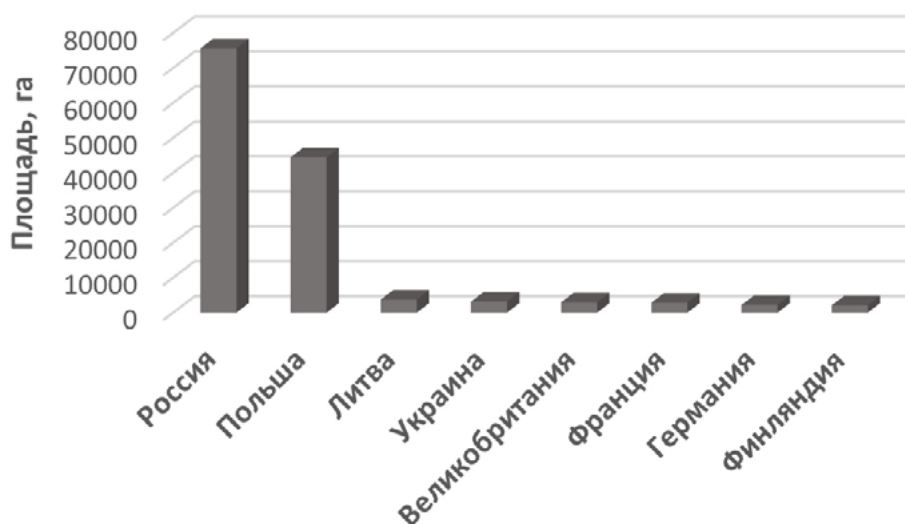


Рис. 3. Площади, занятые посадками смородины в странах мира на 2023 г.
(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

Fig. 3. Areas occupied by currant plantings in the world's countries, as of 2023
(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

Основная доля площадей, занятых посадками смородины в нашей стране, приходится на личные подсобные хозяйства и садовые участки, в Польше – на фермерские сады.

Россия также является одним из лидеров мирового производства ягод черной смородины, производя 65% от

общего валового сбора (Nebro, 2023). Второе место по производству ягод занимает Польша. Крупными производителями ягод смородины являются Украина, Франция и Германия (рис. 4).

Россия занимает лидирующие позиции в мире и по урожайности смородины (рис. 5).

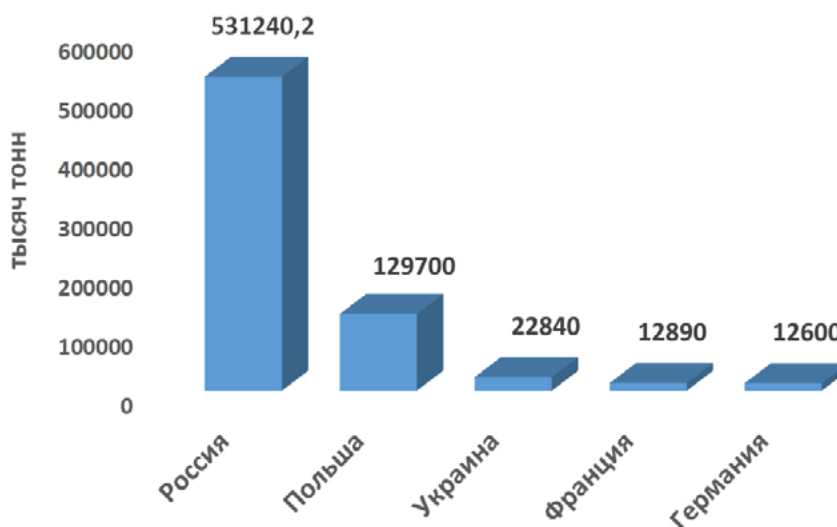


Рис. 4. Крупнейшие производители смородины на 2023 г.

(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

Fig. 4. Leading currant producers, as of 2023

(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

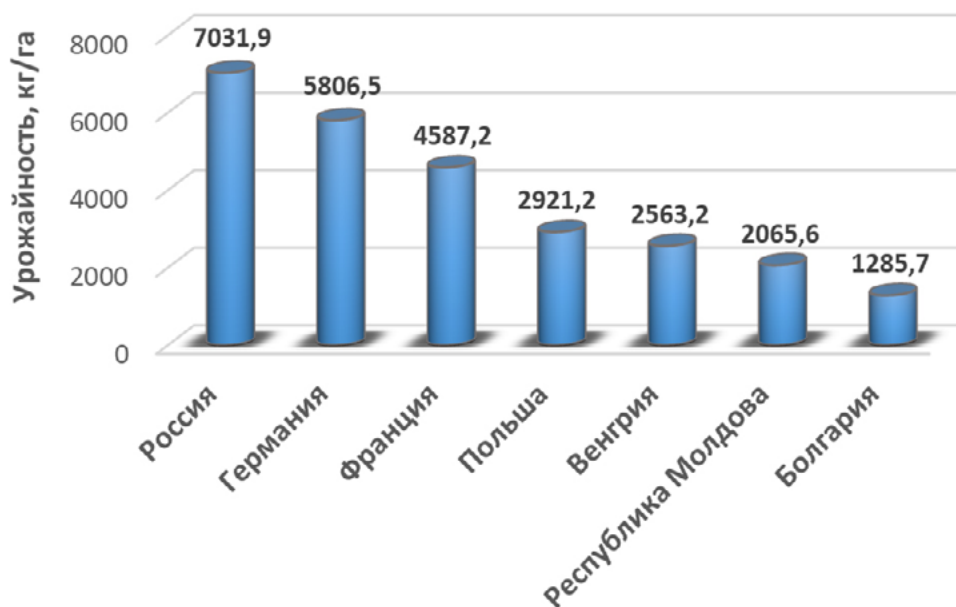


Рис. 5. Урожайность смородины в странах мира на 2023 г.

(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

Fig. 5. Currant yields in the world's countries, as of 2023

(<https://www.fao.org/faostat/en/#home>)

Однако часто большой потенциал, заложенный в сорте, не реализуется на практике. Фактическая урожайность смородины оказывается значительно ниже ее потенциальных возможностей. Наряду с несоблюдением агротехнических норм при возделывании причинами низкой урожайности сортов могут служить серьезные повреждения бутонов и цветков возвратными весенними заморозками, подмерзание смешанных почек в зимы с резкими перепадами температур, неблагоприятные погодные условия в период цветения, которые затрудняют процессы опыления и оплодотворения сортов. Урожайность также значительно снижается из-за поражаемости растений болезнями и вредителями, в том числе американской мучнистой росой, пятнистостями листьев, реверсией, почковым клещом. Последнее обстоятельство усугубляется еще и тем, что вместе с расширением и становлением сортимента идет и процесс непрерывной изменчивости патогена. За счет возникновения новых рас становятся восприимчивыми к ним ранее устойчивые сорта. При возделывании таких сортов необходимо применение средств химической защиты, что ведет не просто к увеличению себестоимости продукции, но и к ухудшению ее качества и в конечном итоге влечет за собой загрязнение окружающей среды.

Сортимент черной смородины

В настоящее время известны более 1200 сортов черной смородины. Ведущая роль в селекции культуры принадлежит ученым России, сумевшим за непродолжительный период времени для каждого региона огромной страны вывести свой, оригинальный набор сортов, в наибольшей степени отвечающих почвенно-климатическим условиям и запросам производства (Ogol'tsova, 1992).

Родоначалником большинства сортов явилась дикорастущая смородина черная *R. nigrum* L. В европейской части России и Западной Сибири распространен высокорослый, с сильным ароматом ягод ее европейский подвид (*R. nigrum* subsp. *europaeum* Jancz.). К востоку от р. Енисей, на обширной территории Восточной Сибири, в Бурятии и на Алтае европейский подвид сменяется другим, более холодостойким, низкорослым, уступающим по ароматичности ягод сибирским подвидом (*R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf.). Многочисленные дикорастущие формы подвида отличает большое разнообразие не только по окраске, но и по величине плода, толщине кожицы, вкусовым качествам, консистенции мякоти и содержанию в ней аскорбиновой кислоты. На стыках ареалов европейский и сибирский подвиды легко скрещиваются между собой, давая фертильные гибриды. Эти два подвида дали начало большому числу сортов черной смородины. Существовавшие на первоначальном этапе селекции сорта были окультуренными формами этих подвидов или гибридами между ними (Tikhonova, 2005).

Качественно новый этап в селекции отечественной культуры смородины начался, когда в скрещивания стали привлекать другой дикорастущий вид – смородину дикушу (*R. dikuscha* Fisch. ex Turcz.), обладающую высо-

кой зимостойкостью, необычайно высокой продуктивностью, самоплодностью, крупноплодностью, устойчивостью к грибным болезням и махровости, одномерностью и сухим отрывом ягод – ценными признаками, которые она передает потомству. Сочетание генов европейского, сибирского подвидов и смородины дикуши дали начало большинству современных сортов черной смородины (Tikhonova, 2000). Родословные большинства известных сортов включают, помимо перечисленных видов, скандинавский экотип смородины черной, реже в скрещиваниях использовались смородина малозимостойкая (*R. pauciflorum* Turcz.), смородина моховка (*R. procumbens*) и смородина уссурийская (*R. ussuriense* Turcz.). С участием североамериканских видов: смородины американской (*R. americanum* Mill.), смородины клейкой (*R. glutinosum* Benth.) и смородины прицветниковой (*R. bracteosum* Dougl.) выведены лишь единичные сорта (Sedov, 2009).

Районированный сортимент

В Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию в РФ, на 2024 г. включено 230 сортов смородины черной, районированных в 12 регионах России (State Register..., 2024). При этом регионы значительно различаются между собой по количеству районированных сортов (табл. 1).

Государственный реестр содержит как широко известные и популярные сорта смородины черной, включенные в перечень еще в XX веке, так и новые, допущенные к использованию в последние годы – 'Лиза', 'Чая', 'Тикзо', 'Светланка', 'Академическая' и др.

Самое большое количество сортов находится в районированном сортименте Западно-Сибирского региона России (см. табл. 1).

Значительное количество сортов допущено к использованию в Восточно-Сибирском (61 сорт) и Центральном (58 сортов) регионах России.

Районированный сортимент Западно-Сибирского, Восточно-Сибирского и Уральского регионов включает сорта, созданные на Новосибирской зональной плодово-ягодной опытной станции им. И.В. Мичурина ('Августа', 'Алеандр', 'Глариоза', 'Карачинская'), на Свердловской селекционной станции садоводства ('Аккорд'), в НИИИСС им. М. В. Лисавенко ('Алтайская поздняя', 'Геркулес', 'Агата', 'Лама'), в Южно-Уральском НИИСК ('Аргазинская') и др.

Обширный сортимент, насчитывающий 49 сортов, имеет Волго-Вятский регион. Он представлен сортами селекции Свердловской селекционной станции садоводства ('Вымпел', 'Глобус', 'Пилот', 'Славянка', 'Фортуна', 'Удалец', 'Шаман'), сортами, выведенными в ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров) ('Ариэль', 'Аркадия', 'Мулатка', 'Шаганэ') и др.

Достаточно большое количество сортов допущено к использованию по Уральскому и Центрально-Черноземному регионам (см. табл. 1).

Таблица 1. Количество сортов черной смородины, включенных в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений по регионам Российской Федерации (2024 г.)

Table 1. The number of black currant cultivars included in the State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants, clustered by regions of the Russian Federation (2024)

№ п/п	Регионы РФ	Количество районированных сортов
1.	Северный	15
2.	Северо-Западный	35
3.	Центральный	58
4.	Волго-Вятский	49
5.	Центрально-Черноземный	31
6.	Северо-Кавказский	12
7.	Средневолжский	21
8.	Нижневолжский	4
9.	Уральский	39
10.	Западно-Сибирский	71
11.	Восточно-Сибирский	61
12.	Дальневосточный	17

По Северо-Западному региону России районировано 35 сортов, в число которых входят как широко известные: 'Багира', 'Белорусская Сладкая', 'Вологда', 'Пилот Александр Мамкин', 'Сеянец Голубки', 'Катюша', 'Детскосельская', 'Московская', 'Ожебун', 'Церера', так и включенные в Государственный реестр относительно недавно: 'Гулливёр', 'Селеченская 2', 'Шалунья', а также сорта, выведенные в ВИР – 'Александрина', 'Бинар', 'Велой', 'Володинка', 'Деликатес', 'Петербурженка', 'Трилена' и 'Нежданчик'.

Относительно небольшое число сортов (17) входит в состав районированного сортимента по Дальневосточному региону. Из них сорта 'Акур', 'Амурский Консервный', 'Богатая', 'Длиннокистная', 'Новосел', 'Нора', 'Подарок Октябрю', 'Хвойный Аромат' созданы на Дальнем Востоке.

Число сортов, входящих в перечень районированных по Северному региону, относительно невелико – 15. Основу данного сортимента составляют сорта селекции Полярной опытной станции ВИР, адаптированные к специфическим условиям Крайнего Севера – 'Имандра 2', 'Кольский Сувенир', 'Мурманчанка', 'Сюрприз Елсаковой', 'Памяти Бредова', 'Подарок Заполярья'.

В Северо-Кавказском регионе районировано 12 сортов: 'Бирюлевская', 'Воспоминание', 'Зеленая Дымка', 'Татьянин День' и др.

Невелик сортимент Нижневолжского региона, в перечне районированных сортов которого всего 4 сорта – 'Тамерлан', 'Белорусская Сладкая', 'Память Мичурина' и 'Сеянец Голубки'.

Такие хорошо известные и популярные сорта, как 'Селеченская 2', 'Пигмей', 'Багира', 'Вологда', 'Зеленая Дымка', 'Лентяй', 'Ожебун', 'Черный Жемчуг', включены в перечень сортов, районированных в большинстве регионов России, а сорт 'Сеянец Голубки' рекомендован для возделывания в 10 регионах из 12 имеющихся (за исключением только Северо-Кавказского и Дальневосточного).

Генофонд черной смородины ВИР

Началом создания коллекции черной смородины во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) считается 1925 г., когда при Всесоюзном институте прикладной ботаники и новых культур была создана экспериментальная база «Красный Пахарь», переименованная впоследствии в Павловскую опытную станцию ВИР (ныне – научно-производственная база (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»).

Коллекция черной смородины вначале была небольшой и насчитывала всего 39 сортов (78 сортообразцов), собранных в России, в том числе из бывшего питомника Регеля и Кессельринга (Pavlova et al., 1966), а также выписанных из Америки и ряда стран Европы. Наиболее известными сортами были 'De Naples' ('Неаполитанская') и 'Lees Prolific' ('Лия Плодородная'). Впоследствии коллекция пополнилась сортами 'Baldwin', 'Boskoop Goliath' и 'Laxtons Blacksmith'. В тридцатых годах ВНИИ садоводства им. И.И. Мичурина интродуцировал сорта 'Davison's Eight' ('Восьмая Дэвисона') и 'Daniel's September' ('Сентябрьская Даниэльса'), которые затем поступили в коллекцию ВИР (Pavlova, 1963).

Формирование генофонда смородины проводили планомерно и последовательно с момента основания станции. Этому способствовало возникновение научных школ в 1930-е годы, в последующем – становление и развитие адаптивной селекции культуры. Активное сотрудничество с селекционными центрами и обмен материалом создавали благоприятные возможности для расширения генетического потенциала коллекции (Tikhonova, Volodina, 2007).

Огромное значение придавалось сбору дикорастущих форм рода *Ribes*.

Первый доктор наук, защитившая диссертацию по черной смородине и возглавлявшая отдел в те годы, Нина

Михайловна Павлова, придавала исключительную важность сбору дикорастущих форм из различных уголков страны, изучению их в условиях культуры и включению наиболее ценных в селекционный процесс. Этому была посвящена большая часть ее жизни.

В настоящее время генофонд черной смородины ВИР насчитывает 1167 образцов, сосредоточенных в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» и на четырех опытных станциях – филиалах ВИР: Дальневосточной, Полярной, Майкопской и Крымской опытно-селекционной, расположенных в различных географических зонах страны.

По числу сохраняемых образцов наиболее крупной является НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», находящаяся в 30 км южнее Санкт-Петербурга и насчитывающая 812 образцов, в том числе 526 сортообразцов, 155 дикорастущих форм 12 видов рода *Ribes*, 84 гибридных сеянца и 47 номерных образцов.

Поскольку формирование генофонда проходило в разные временные периоды, в настоящее время в коллекции, наряду с современными отечественными и зарубежными сортами, сохраняются в живом виде образцы, привлеченные в самые первые годы сбора коллекции: 'Casis Blanč' ('Белоплодная'), 'Голиаф', 'Saunders', 'Длиннокистная Поздняя', 'De Naples' ('Неаполитанская'), 'Тусклолистная' (1926 г.); интродуцированные в предвоенные – 'Игарка' (1933 г.), 'Сеянец Лены' (1937 г.), 'Новодезенская' (1940 г.) – и первые послевоенные годы – 'Барнаулка', 'Дивная', 'Дочь Алтая', 'Красная Ветка', 'Надежда', 'Нарядная' (1945 г.), 'Выставочная', 'Детская', 'Неосыпающаяся' (1946 г.), 'Достойная' (1947 г.).

Современные отечественные сорта получены из ведущих селекционных учреждений России – ВНИИ селекции плодовых культур (г. Орел), ФНЦ им. И.В. Мичурина (бывш. ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск), НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (г. Барнаул), ФНЦ садоводства (бывш. Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства, г. Москва), Свердловской опытной селекционной станции садоводства (г. Екатеринбург), ВНИИ люпина (г. Брянск), Южно-Уральского НИИ садоводства и картофелеводства (г. Челябинск), Новосибирской зональной плодово-ягодной опытной станции им. И.В. Мичурина (г. Новосибирск) и др.

Зарубежные сорта привлечены путем выписки из научно-исследовательских учреждений 17 стран – Швеции, Финляндии, Великобритании, Шотландии, Канады, Нидерландов, США, Польши, Германии и др. На их долю приходится 14% от общего объема сортового генофонда. В коллекции сохраняются также сорта из НИУ стран ближнего зарубежья – Украины (38 сортов), Беларуси (19), Литвы (15), Эстонии (9).

Анализ родословных позволил объединить имеющиеся в коллекции сорта в 25 генетических групп, которые значительно различаются между собой по числу представленных в них образцов.

Самыми многочисленными являются группы сортов на базе 2–4 таксонов. В первую очередь, это группа,

включающая 114 сортов – потомков смородины дикуши и двух подвидов смородины черной (*R. nigrum* subsp. *europaeum* и *R. nigrum* subsp. *sibiricum*). Вторая по численности группа объединяет четырехгеномные сорта, созданные с использованием *R. nigrum* subsp. *europaeum*, *R. nigrum* subsp. *sibiricum*, *R. dikuscha* и скандинавского экотипа смородины черной (103 сорта).

К числу основных генетических групп сортовой коллекции относятся и производные *R. nigrum* subsp. *europaeum* (84 сорта), *R. nigrum* subsp. *sibiricum* (28), гибриды между этими подвидами (50), гибриды европейского подвида и смородины дикуши (23).

Сортовой генофонд включает и новейшие сорта, созданные на более широкой генетической основе (5–7 таксонов), с использованием *R. glutinosum*, *R. petiolare* Dougl., *R. glandulosum* Grauer, *Grossularia reclinata* (L.) Mill. (Tikhonova, 2012).

Видовая коллекция объединяет представителей 19 видов рода *Ribes* из подродов *Eucoreosma*, *Berisia* Spach, *Heritiera* Jancz., *Symphocalyx* Berl.

Самая богатая коллекция дикорастущих видов смородины собрана на Дальневосточной опытной станции ВИР. Она включает формы *R. dikuscha*, *R. pauciflorum*, *R. nigrum* subsp. *sibiricum*, *R. procumbens*, *R. sachalinense* (Fr. Schmidt) Nakai, *R. americanum* и др. Эндемом Дальнего Востока является *R. fontaneum* Boczarnikova, представленная в коллекции 7 формами из Приморского и южной части Хабаровского краев.

В видовой коллекции НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» поддерживаются образцы *R. nigrum* subsp. *europaeum*, *R. nigrum* subsp. *sibiricum* и их спонтанные гибриды, формы *R. pauciflorum* и *R. dikuscha*. Их собрали при экспедиционных обследованиях обширных территорий Западной и Восточной Сибири, Алтая, Дальнего Востока и Казахстана в тридцатые и сороковые годы XX столетия. В настоящее время популяций, в которых проводился сбор, возможно, уже не существует в силу природных катаклизмов и усиливающегося влияния антропогенных факторов. В коллекции представлены также *R. glandulosum*, *R. sachalinense*, *R. aureum* Pursh, *R. hudsonianum* Richardson и др.

Ценность видовой коллекции заключается еще и в том, что большинство представленных в ней форм отличаются высокой устойчивостью к грибным болезням, почковому клещу и махровости. Эта часть коллекции по праву может считаться национальным достоянием России.

Неоценимый вклад в создание видовой коллекции внесли доктор биологических наук Н. М. Павлова и ее ученица, кандидат биологических наук Е. В. Володина; великопленный знаток дикорастущей черной смородины, сотрудник Дальневосточной опытной станции ВИР, кандидат биологических наук Н. М. Бочкарникова и ее достойный преемник и последователь, кандидат биологических наук А. Ш. Сабитов; кандидат сельскохозяйственных наук, талантливый селекционер С. Д. Елсакова, посвятившая всю жизнь изучению, популяризации, распространению культуры за Полярным кругом и созданию

новых сортов для специфических условий Заполярья.

Генофонд черной смородины ВИР включает 63 образца с 20 известными генами. Из 9 известных олигогенов, контролирующих устойчивость к американской мучнистой росе, в коллекции представлены следующие: M_1 и M_2 ('Brödtorp' и 'Leraan musta'), которые обеспечивают среднюю степень устойчивости к болезни; Sph_2 ('Öjebyn'), контролирующей более высокий уровень устойчивости; R ('Sunderbyn II'), передающий генотипам устойчивость ко всем 14 известным расам мучнистой росы. В коллекции также имеются сорта – носители генов: P и Ce , которые обеспечивают устойчивость к наиболее опасному вредителю черной смородины – почковому клещу (*Cecidiophyes ribis* Kleb.); Dt , детерминирующий устойчивость к листовой галлице (*Perissia tetensi* Rubs); Cr , обеспечивающий устойчивость к ржавчинным грибам; Pr_1 и Pr_2 , отвечающие за устойчивость к антракнозу; R_1 и R_2 , передающие устойчивость к септориозу (расам 1 и 2) (Vitkovsky et al., 2005).

В Национальный каталог входят 360 образцов коллекции. Это в первую очередь сорта с известными генами, отвечающими за определенные признаки, сорта – источники важнейших хозяйственно-биологических признаков и наиболее ценные видовые образцы.

Заключение

Генофонд черной смородины ВИР содержит разнообразный генетический материал, включающий образцы, являющиеся носителями известных генов; сорта – источники важнейших хозяйственно ценных признаков, которые могут быть использованы в селекции для решения проблемных вопросов культуры, а также ценные видовые образцы.

Все образцы, поступающие в коллекцию, проходят всестороннее изучение, цель которого – выделение исходного материала для последующего использования селекции. Это направление работы, наряду с мобилизацией и сохранением образцов, является одним из наиболее приоритетных.

Сфера исследований охватывает широкий круг проблем, включающих изучение зимостойкости и устойчивости растений к болезням и вредителям, оценку самоплодности, скороплодности, взаимоопыляемости, продуктивности и ее слагаемых, определение механического и биохимического состава плодов, оценку их вкусовых качеств, вопросы криогенного хранения образцов и др.

Обширный генетический потенциал коллекции является надежным источником ценного исходного материала для современной селекции.

References / Литература

- Adanson M. Familles des plantes. Paris: Vincent; 1763. [in French] DOI: [10.5962/bhl.title.271](https://doi.org/10.5962/bhl.title.271)
- Bentham G., Hooker J.D. Genera plantarum: ad exemplaria imprimis in Herbariis Kewensibus servata definita. London: Reeve & Co.; 1862. [in Latin] DOI: [10.5962/bhl.title.747](https://doi.org/10.5962/bhl.title.747)
- Berger A.A. A taxonomic review of currants and gooseberries. *New York State Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin*. 1924;109:1-118.
- Berlandier J.L. Mémoire sur la famille des Grossulariées. *Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*. 1826;3(2):43-60. [in French]
- Coville F.V., Britton N.L. Grossulariaceae. In: *North American Flora*. Vol. 22. New York, NY: New York Botanical Garden; 1908. p.193-225.
- Cronquist A. An integrated system of classification of flowering plants. New York, NY: Columbia University Press; 1981.
- Czerepanov S.K. Plantae vasculares Rossicae et civitatum collimitaneorum (in limicis USSR olim). 3rd ed. St. Petersburg: Mir i Semya; 1995. [in Russian] (Чепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). 3-е изд. Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995).
- De Candolle A.P. Essai sur les propriétés médicales des plantes, comparées avec leurs formes extérieures et leur classification naturelle. Paris: L'imprimerie de Didot Jeune; 1804. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.112422>
- De Jussieu A.L. Genera plantarum secundum ordines naturales disposita, juxta methodum in horto region parisiensi exaratum, anno M.DCC.LXXIV. Paris: Apud Viduam Herissant et Theophilum Barrois; 1789. [in Latin] DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.127435>
- Engler A. Saxifragaceae. In: A. Engler, K. Prantl (eds). *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*. 2nd ed. Leipzig: Wilhelm Engelmann; 1928. Vol. 18a. p.74-226. [in German]
- Janczewski Ed. Monographie des Groseilliers *Ribes* L. *Mémoires de la Société de physique et d'histoire Naturelle de Genève*. 1907;35(3):199-517. [in German]
- Lozina-Lozinskaya A.S. Currant (Smorodina) – *Ribes* L. Gooseberry (Kryzhovnik) – *Grossularia* Mill. In: S.Ya. Sokolov, B.K. Shishkin (eds). *Trees and Shrubs of the USSR (Derevya i kustarniki SSSR)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1954. Vol. 3. p.177-225. [in Russian] (Лозина-Лозинская А.С. Смородина – *Ribes* L. Крыжовник – *Grossularia* Mill. В кн.: *Деревья и кустарники СССР* / под ред. С.Я. Соколова, Б.К. Шишкина. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1954. Т. 3. С.177-225).
- Lu L., Crinan A. *Ribes* L. In: *Flora of China*. Vol. 8. *Brassicaceae through Saxifragaceae*. St. Louis, MO: Missouri Botanical Garden; Beijing: Science Press; 2001. p.428-452.
- Nebroy K.Y. Modern directions in black currant breeding research and possible ways of their implementation. *Contemporary Horticulture*. 2023;(1):15-30. [in Russian] (Неброй К.Ю. Современные направления селекционных исследований культуры смородины черной и возможные пути их реализации. *Современное садоводство*. 2023;(1):15-30). DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0102
- Ogoltsova T.P. Black currant breeding: past, present, and future (Selektsiya chernoy smorodiny – proshloye, nastoyashcheye, budushcheye). Tula; 1992. [in Russian] (Огольцова Т.П. Селекция черной смородины – прошлое, настоящее, будущее. Тула; 1992).
- Pavlova N.M. A review of the literature on the genus *Ribes* (Obzor literatury po rodu *Ribes*). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1927;17(4):463-513. [in Russian] (Павлова Н.М. Обзор литературы по роду *Ribes*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1927;17(4):463-513).
- Pavlova N.M. Breeding of black currants for winter hardiness (Selektsiya chernoy smorodiny na zimostoykost). *Agrarian Science*. 1963;(2):119-121. [in Russian]. (Павлова Н. М. Селекция черной смородины на зимостойкость. *Аграрная наука*. 1963;(2):119-121).
- Pavlova N.M., Mosolova A.V., Volodina E.V. (comp.). Catalogue-guide of the VIR global collection. Issue 28. Currant and gooseberry (Katalog-spravochnik mirovoy kolleksii VIR. Vypusk 28. Smorodina i kryzhovnik). N.M. Pavlova (ed.). Leningrad: VIR; 1966. [in Russian] (Каталог-справочник мировой коллекции ВИР. Выпуск 28. Смородина и крыжовник / сост. Н.М. Павлова, А.В. Мосолова, Е.В. Володина; под ред. Н.М. Павловой. Ленинград: ВИР; 1966).
- Poyarkova A.I. Black currant – *Ribes* L. (Chernaya smorodina – *Ribes* L.). In: V.L. Komarov, S.V. Yuzepchuk (eds). *Flora of the USSR (Flora SSSR)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1939 Vol. 9. p.226-267. [in Russian] (Пояркова А.И. Смородина –

- Ribes L. В кн.: *Флора СССР* / под ред. В.Л. Комарова, С.В. Юзепчука. Москва; Ленинград: АН СССР; 1939. Т. 9. С.226-267).
- Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America: exclusive of the subtropical and warmer temperate regions. Toronto: Macmillan; 1954.
- Samorodova-Bianki G.B., Strel'tsina S.A., Zdorenko N.A. Fruits and berries as a valuable source of substances that increase the human body's resistance to extreme factors (Plody i yagody kak tsenny istochnik veshchestv, povyshayushchikh ustoychivost organizma cheloveka k ekhstremalnym faktoram). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1992;(229):65-68. [in Russian]. (Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А., Здоренко Н.А. Плоды и ягоды как ценный источник веществ, повышающих устойчивость организма человека к экстремальным факторам. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1992;(229):65-68).
- Sedov E.N. (ed.). Pomology. In 5 volumes. Vol. 4. Currants. Gooseberries (Pomologiya: v 5-tomakh. T. 4. Smorodina. Kryzhovnik). Orel: VNIISP; 2009. [in Russian] (Помология. В 5 томах. Т. 4. Смородина. Крыжовник / под ред. Е.Н. Седова. Оrel: ВНИИСПК; 2009).
- Sinnot Q.P. A revision of *Ribes* L. subg. *Grossularia* (Mill.) Pers. sect. *Grossularia* (Mill.) Nutt. (Grossulariaceae) in North America. *Rhodora*. 1985;87(850):189-286.
- Sokolov S.Ya., Zamotaev I.P. Reference manual on medicinal plants (Spravochnik po lekarstvennym rasteniyam). Moscow: Meditsina; 1988. [in Russian] (Соколов С.Я., Замотаев И.П. Справочник по лекарственным растениям. Москва: Медицина; 1988).
- State Register of varieties and hybrids of agricultural plants admitted for usage (national list): official publication. Moscow: Rosinformagrotekh; 2024. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2024). URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektcionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni> [дата обращения: 21.11.2024].
- Stern W.L., Sweitzer E.M., Phipps R.E. Comparative anatomy and systematics of woody Saxifragaceae. *Ribes. Botanical Journal of the Linnean Society*. 1971;63:215-237.
- Strel'tsina S.A., Tikhonova O.A. Nutritious and biologically active substances of berries and leaves of a black currant (*Ribes nigrum* L.) in conditions of Northwest of Russia. *Agrarian Russia*. 2010;(1):24-31. [in Russian] (Стрельцина С.А., Тихонова О.А. Питательные и биологически активные вещества ягод и листьев смородины черной (*Ribes nigrum* L.) в условиях Северо-Запада России. *Аграрная Россия*. 2010;(1):24-31).
- Takhtajan A.L. The system and phylogeny of flowering plants (Sistema i filogeniya tsvetkovykh rasteniy). Moscow; Leningrad: Nauka; 1966. [in Russian] (Тахтаджян А.Л. Система и филогения цветковых растений. Москва; Ленинград: Наука; 1966).
- Tikhonova O.A. Black currant (Chernaya smorodina). In: A.A. Yushev (ed.). *Horticulturist's Table Book (Nastolnaya kniga sadovoda)*. St. Petersburg; 2000. p.337-391. [in Russian] (Тихонова О.А. Черная смородина. В кн.: *Настольная книга садовода* / под ред. А.А. Юшева. Санкт-Петербург; 2000. С.337-391).
- Tikhonova O.A. Black currant (Chernaya smorodina). In: A.A. Yushev (ed.). *Minor Encyclopedia of a Horticulturist (Malaya entsiklopediya sadovoda)*. St. Petersburg; 2005. p.434-506. [in Russian] (Тихонова О.А. Черная смородина. В кн.: *Малая энциклопедия садовода* / под ред. А.А. Юшева. Санкт-Петербург; 2005. С.434-506).
- Tikhonova O.A. Black currant (Chernaya smorodina) In: A.A. Yushev, M.N. Plekhanova (eds). *The Very Best (Samye luchshiye)*. St. Petersburg; 1997. p.84-106. [in Russian] (Тихонова О.А. Черная смородина. В кн.: *Самые лучшие* / под ред. А.А. Юшева, М.Н. Плехановой. Санкт-Петербург; 1997. С.84-106).
- Tikhonova O.A. Black currant's genefund of VIR. In: *N.I. Vavilov's Ideas in the Modern World: Abstracts of the III International Vavilov Conference*. St. Petersburg: VIR; 2012. p.216-217. [in Russian] (Тихонова О.А. Генофонд черной смородины ВИР. В кн.: *Идеи Н.И. Вавилова в современном мире: тезисы докладов III Вавиловской международной конференции*. Санкт-Петербург: ВИР; 2012. С.216-217).
- Tikhonova O.A., Volodina E.V. Black currant breeding at the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry (Selektiya smorodiny chernoy vo VNII rasteniyevodstva im. N.I. Vavilova). In: *Current Status of Currant and Gooseberry Crops: Collection of Scientific Papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.191-200. [in Russian] (Тихонова О.А., Володина Е.В. Селекция смородины черной во ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника: сборник научных трудов*. Мичуринск; 2007. С.191-200).
- Ventenant E.P. Tableau du Règne Végétal, selon la Méthode de Jussieu. Vol. 2. Paris: J. Drisonnier; 1799.
- Vitkovsky V.L. Fruit plants of the world (Plodovye rasteniya mira). St. Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan; 2003. [in Russian] (Витковский В.Л. Плодовые растения мира. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань; 2003).
- Vitkovsky V.L., Yushev A.A., Ponomarenko V.V., Burmistrov L.A., Tikhonova O.A., Pukova N.A. Fruit plants (Plodovye rasteniya) In: *Identified Plant Genetic Diversity and Breeding (Identifitsirovanny genofond rasteniy i selektiya)*. St. Petersburg; 2005. p.885-895. [in Russian] (Витковский В.Л., Юшев А.А., Пономаренко В.В., Бурмистров Л.А., Тихонова О.А., Пупкова Н.А. Плодовые растения. В кн.: *Идентифицированный генофонд растений и селекция*. Санкт-Петербург; 2005. С.885-895).
- Weigend M. Grossulariaceae. In: K. Kubitzki (ed.). *The Families and Genera of Vascular Plants. Flowering Plants – Eudicots*. Berlin; Heidelberg: Springer; 2007. Vol. 9. p.168-176. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-32219-1_20

Информация об авторе

Ольга Анатольевна Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Information about the author

Olga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 20.12.2024.

The article was submitted on 02.12.2024; approved after reviewing on 11.12.2024; accepted for publication on 20.12.2024.



Fragaria L. в коллекции ВИР

А. А. Харченко, И. Г. Чухина

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

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Анатольевна Харченко, akkhara47@yandex.ru

Среди видов рода *Fragaria* L. земляника ананасная (*Fragaria* × *ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) наиболее распространена и занимает ведущее положение в промышленном ягодоводстве. Значительные успехи селекции, направленные на создание сортов с высокой урожайностью, транспортабельностью, крупноплодностью и устойчивостью к болезням, привели к утрате генетического разнообразия земляники. Использование ограниченного числа предков в селекционных программах вызвало снижение аллельного разнообразия, что негативно сказалось на важных характеристиках, таких как вкус, аромат и стрессоустойчивость. Сохранение генетического разнообразия становится критически важным для будущей селекции и обеспечения качества продуктов. Все виды рода *Fragaria* различаются по своим свойствам и признакам, степени выраженности этих признаков, контролируемых разными генами и комбинациями генов. В целом они образуют генофонд рода, который представляет большую ценность для современной и последующей селекции земляники. В связи с этим его нужно собирать, сохранять, изучать и использовать в селекцентрах и других научных учреждениях, работающих с этой культурой.

Ключевые слова: генетические ресурсы растений, земляника, сохранение, пополнение, селекция

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

Для цитирования: Харченко А.А., Чухина И.Г. *Fragaria* L. в коллекции ВИР. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):85-93.

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

© Харченко А.А., Чухина И.Г., 2024

Original article

Fragaria L. in the VIR collection**Anastasiia A. Kharchenko, Irena G. Chukhina****N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia****Corresponding author:** Anastasiia A. Kharchenko, akkhara47@yandex.ru

Garden strawberry (*Fragaria* × *ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) is the most widespread among *Fragaria* L. spp., with a leading position in industrial small-fruit cultivation. Significant progress in breeding high-yielding, transportable, large-fruited and disease-resistant cultivars led to losses in strawberry genetic diversity. The use of a limited number of ancestors in breeding programs caused a decrease in allelic diversity, which negatively affected such important characteristics as taste, flavor, and stress resistance. Genetic diversity conservation becomes critically important for the future of strawberry breeding and for ensuring product quality. All *Fragaria* spp. differ in their properties and traits controlled by various genes and combinations of genes, as well as in the degree of their expression. In general, they form the gene pool of the genus, which is of great value for contemporary and future strawberry breeding. In view of this, breeding centers and other scientific institutions working with this crop need to take upon themselves the mission to collect, preserve, study and utilized its genetic diversity.

Keywords: plant genetic resources, strawberry, conservation, replenishment, breeding

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

For citation: Kharchenko A.A., Chukhina I.G. *Fragaria* L. in the VIR collection. *VIR Bulletin*. 2024;(243):85-93. (In Russ.).

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

© Kharchenko A.A., Chukhina I.G., 2024

Введение

Среди видов рода *Fragaria* L. земляника ананасная (*Fragaria × ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) наиболее распространена и занимает ведущее положение в промышленном ягодоводстве (Liston et al., 2014; Kharchenko et al., 2024). Плоды земляники отличаются прекрасным вкусом и ароматом, привлекательным внешним видом, целебными свойствами, в них содержится до 10% сахаров, 1,8% органических кислот, 120 мг/100 г аскорбиновой и 1 мг/100 г фолиевой кислот, 1,3% белков, 1% пектиновых и Р-активных веществ, соли кальция и микроэлементов (Zubov, 2004).

Земляника – экологически пластичное растение, легко приспосабливается к различным природно-климатическим условиям, чем и объясняется широкий ареал ее возделывания. По данным FAO, в 2023 г. общая площадь возделывания земляники в мире составляла 434 977 га. Наибольшие площади под культивирование земляники были отведены в Китае – 15 6316 га, что составляет 36% от общей площади возделывания земляники в мире. Второе место по площади возделывания занимала Россия с 39 690 га, что составляет 9% от общемировой площади (https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL) (рис. 1).

Ведущими производителями земляники в мире явля-

ются Китай и США, совместно занимая 52% от общемирового объема производства. Данные 2023 г. (https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL) показывают, что Китай произвел 421 6716 т, что составляет 40% от общемирового объема производства, США – 1 250 100 т, что составляет 12%. В том же году Россия собрала 261 168 т земляники, заняв 7-е место по объему производства, что составляет 9% от общемирового объема (https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL) (рис. 2).

Из-за растущего спроса за последние тридцать лет объем производства и площадь культивирования земляники увеличилась как в мире, так и в нашей стране (https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL) (рис. 3). Тем не менее наиболее высокие показатели урожайности демонстрируют такие государства, как Нидерланды (55,6 т/га), США (54 т/га) и Албания (53,3 т/га), тогда как Россия занимает лишь 62-е место с показателем 6,5 т/га. Эти различия объясняются активным внедрением сортов интенсивного типа и агротехники, а также благоприятными климатическими условиями в странах-лидерах. Кроме того, благодаря выведению нейтральнодневных сортов и применению технологий, таких как гидропоника и технология «фриго» (Rachenko et al., 2021), достигается круглогодичное снабжение ягодной продукцией.

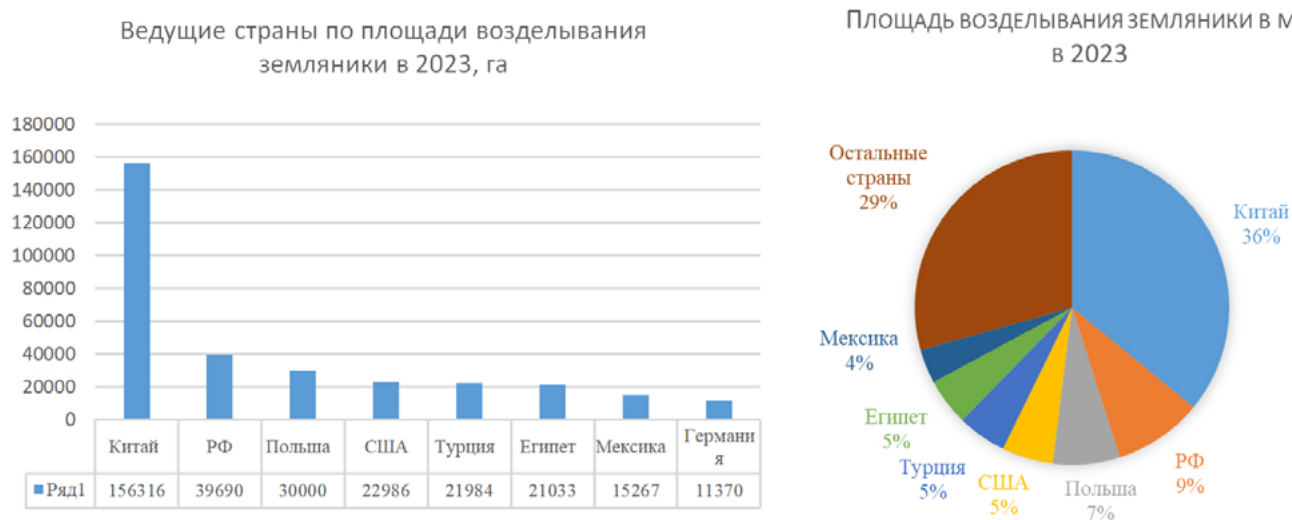


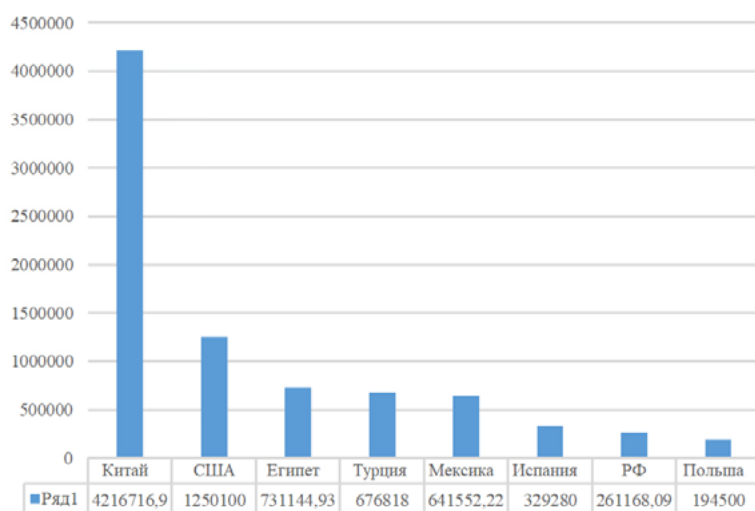
Рис. 1. Площади возделывания земляники садовой в мире

Fig. 1. Garden strawberry cultivation areas over the world

Род *Fragaria* относится к семейству Rosaceae Juss., подсемейству Rosoideae и, по оценкам разных авторов, включает в себя от 20 (Staudt, 1989) до 27 видов (Nathewet et al., 2009; Hummer et al., 2011; Johnson et al., 2014). Считают, что род начал формироваться в период плиоцена и плейстоцена (с 1,0 до 4,1 миллионов лет назад) в Восточной Азии, где появились диплоидные, а позже – первые тетраплоидные виды (Belozor, 1991; Njuguna et al., 2013). В дальнейшем представители рода расселились в Европу и Америку, где со временем появились уже

октоплоидные виды. Земляника садовая представляет собой спонтанный гибрид двух октоплоидных видов, который возник в середине XVIII века, когда растения *Fragaria chiloensis* (L.) Mill., завезенные из Чили, высадили во Франции вблизи растений *F. virginiana* (Duchesne) Mill., интродуцированных с востока Северной Америки. В 1817 г. в Англии местные селекционеры вывели первые сорта земляники садовой, используя клоны *F. virginiana* и *F. chiloensis*. В дальнейшем 95% сортов земляники создавались путем внутривидовой гибридизации (Zubov, 2004).

Ведущие страны по объему производства земляники в мире в 2023 г., т



Объем производства земляники садовой в мире в 2023 г.

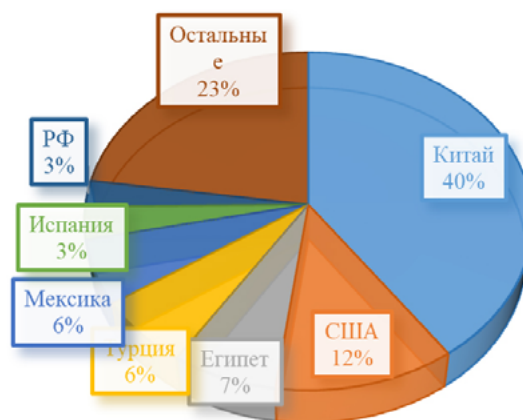


Рис. 2. Объем производства земляники садовой в мире

Fig. 2. Garden strawberry production outputs in the world

Динамика урожайности, площади возделывания, валового сбора земляники в России 1992-2023 гг., га

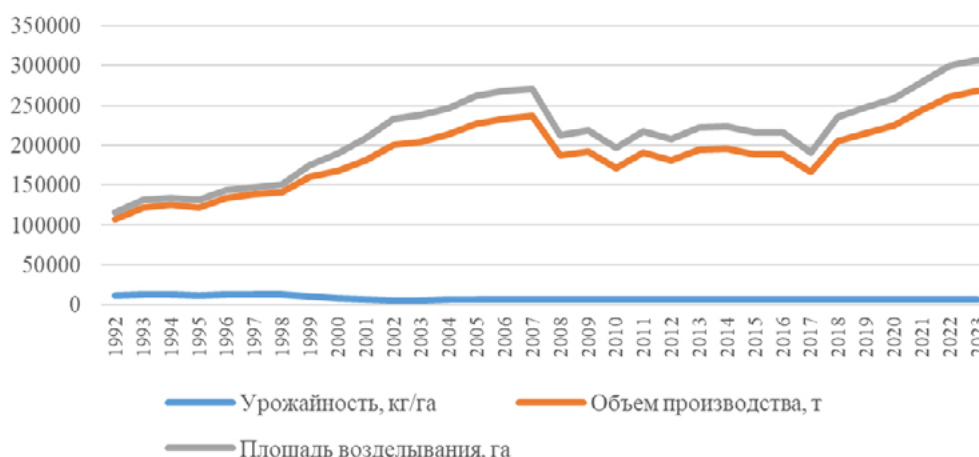


Рис. 3 Динамика урожайности, площади возделывания, валового сбора земляники в России за 1992–2023 гг.

Fig. 3. Dynamics of strawberry yield, cultivation acreage, and gross harvest in Russia for 1992–2023

Род *Fragaria* характеризуется четко выраженным полиплоидным рядом от диплоида до декаплоида с базовым числом хромосом $n = 7$.

В России род представлен 8 видами: диплоиды *F. viridis* (Duchesne) Weston, *F. vesca* L., *F. mandshurica* Staudt, *F. yezoensis* Hara, *F. iinumae* Makino, тетраплоид *F. orientalis* Losinsk., гексаплоид *F. moschata* Duchesne ex Weston, декаплоид *F. iturupensis* Staudt.

F. vesca ($2n = 14$) – земляника лесная – имеет самый широкий ареал из всех видов рода, который охватывает Голарктику, за исключением североатлантических остро-

вов Гренландии и Фарерских островов, Шпицбергена и арктической зоны Евразии (Shmidt, 1990; Hilmarsson et al., 2017). Земляника лесная произрастает в лесах, по их опушкам, лесным лугам, среди кустарников в лесной зоне, реже в степной, в тенистых и влажных местообитаниях. В горах поднимается до среднего и нижнего поясов (Brezhnev, Korovina, 1981; Kamelin, 2001). Земляника лесная раньше всех была введена в культуру: в настоящее время в культуре есть несколько десятков сортов данного вида. Благодаря высокой зимостойкости, раннему созреванию плодов, а также значительному содержанию

фолиевой кислоты и ароматических соединений в ягодах, некоторые экотипы обладают ценностью как лечебное средство и перспективны в качестве исходного материала для селекции (Zubov, 2004). В 2011 г. *F. vesca* была выбрана для секвенирования в качестве геномного эталона для рода *Fragaria* (Shulaev et al., 2011).

F. viridis ($2n = 14$) – земляника зеленая, или полуница, – распространен в Средней и Атлантической Европе, Скандинавии, Средиземноморье (кроме южной части), в Прибалтике, Средней Азии (на юге до Тянь-Шаня), в Крыму, на Кавказе, во всех районах европейской части России (кроме севера), в Западной и Восточной Сибири (по югу до озера Байкал) (Brezhnev, Korovina, 1981; Kamelin, 2001). Произрастает на суходольных и остепненных пойменных лугах, на степных участках в лесостепи, по опушкам лесов, в борах, на склонах гор. *F. viridis* отличается от других представителей рода *Fragaria* двумя уникальными характеристиками: неповторимым вкусом и наиболее плотной структурой плодов (Gruner et al., 2017). Отдельные экотипы могут служить ценным источником для селекции на зимостойкость (Kharchenko, Novikova, 2024, prepr.).

F. iinumae ($2n = 14$) – земляника Ийнумы – распространена в Японии, на юге острова Сахалин и на Южных Курилах (Vorobiev et al., 1974; Yakubov, 1996; Barkalov, Taran, 2004). Вид произрастает на опушках и лесных полянах в смешанных лесах, зарослях кустарников, по скалам и каменистым склонам, травянистым склонам морских террас (Yakubov, 1996). Среди всех диплоидов вид имеет свой уникальный признак – сизые листья. Растение с симподиальными столонами, цветки имеют от шести до восьми лепестков (Staudt, 1989; Yakubov, 1996). Предполагается, что *F. iinumae* может быть одним из диплоидных предков октоплоидных земляник (Liston et al., 2014).

F. yezoensis ($2n = 14$, – земляника иезская – распространена в Японии, на юге Сахалина, на Южных Курилах (Vorobiev et al., 1974; Yakubov, 1996; Barkalov, Taran, 2004). Вид произрастает на разнотравных лугах, в лиственных лесах и на их опушках (Yakubov, 1996).

F. mandshurica ($2n = 14$) – земляника маньчжурская – вид, выделенный G. Staudt из тетраплоидного вида *F. orientalis* Losinsk. (Staudt, 2003). G. Staudt предложил все гермафродитные диплоидные растения с признаками *F. orientalis*, произрастающие в Якутии, на юго-востоке оз. Байкал, от Монголии до Хабаровского края, а также в Хэйлунцзяне, Цилине и Северной Корее, считать *F. mandshurica* Staudt. Вид имеет разнообразные формы, различающиеся по силе роста, урожайности и вкусовым качествам. Ввиду высокой зимостойкости, раннеспелости, устойчивости к грибным болезням, высоким вкусовым качествам земляника восточная представляет ценный исходный генофонд для создания высокозимостойких сортов и гибридов (Kharchenko et al., 2024).

Тетраплоидный вид *F. orientalis* ($2n = 28$) – земляника восточная – широко распространен на азиатской территории России, его ареал охватывает Приморский и Хабаровский края, Амурскую область и Хэйлунцзян в Китае (Staudt, 2003). Земляника восточная произрастает в лес-

ной и лесостепной зонах, в сухих осветленных лесах, хвойных, лиственных и смешанных, на лесных опушках, на задернованных склонах, в горных районах – на травянистых и каменистых склонах лесного пояса, часто – на песчаных почвах и на каменистом субстрате (Belozor, 1991; Yakubov, 1996).

F. moschata ($2n = 42$) – земляника мускатная, или клубника, – единственный гексаплоид в роде *Fragaria*, распространена в южной части Скандинавии, Средней и Атлантической Европе, на северо-востоке Средиземноморья, в европейской части России до Урала (Kamelin, 2001; Buschmann et al., 2021). Вид произрастает в лесах, на опушках, среди кустарников, в парках (Kamelin, 2001). Растения в основном двудомные, но встречаются сорта и формы с обоеполюми цветками (Zubov, 2004). Плоды используются для приготовления варенья и кондитерских изделий, отличается от других видов мускатным ароматом.

F. iturupensis ($2n = 70$) – земляника итурупская – первый найденный в природе декаплоидный вид земляники. Вид имеет ограниченный ареал и был обнаружен на горе Ацунупури на острове Итуруп в южной части Большого Курильского архипелага. Учитывая географическое расположение, данная область, вероятно, служила убежищем во время последнего оледенения (Hummer et al., 2009). Данная находка представляет значительную ценность, так как может предоставить новые данные для дальнейших исследований в области эволюции земляники.

Биологические особенности земляники. Основными погодно-климатическими факторами, влияющими на эффективность вегетации земляники садовой, являются температура, осадки и фотопериод (Kharchenko et al., 2022). Вегетационный период земляники связан с периодом с температурой выше +5°C. Процесс цветения происходит лучше при температуре воздуха +15...+22°C, а для роста листьев и усов оптимум лежит в пределах +20...+25°C. При теплой и сухой погоде ягоды созревают быстрее, чем при прохладной и дождливой. Ягоды не завязываются и не созревают при температуре ниже +3°C, подсыхают и осыпаются при +30°C. Земляника – влаголюбивое растение, нормально растет при 70–80% полной влагоемкости почвы, не переносит переувлажнение. Оптимальная относительная влажность – 65–75%, во время цветения – 60–65%.

Земляника плохо переносит морозные зимы. Поверхностная корневая система земляники повреждается при минус 8°C, надземная часть растений может выдерживать –8°C без повреждений, в бесснежные зимы земляника погибает при понижении температуры до –12...–18°C, но может переносить температуру до –25...–35°C при наличии снежного покрова не менее 20–30 см (Kharchenko et al., 2023).

Селекция и селекционный материал. Свою популярность земляника садовая приобрела отчасти из-за своего аромата, который является результатом объедине-

ния сахаров, кислот и летучих органических соединений. Однако для коммерческого производства перед селекционерами поставили задачу выведения новых сортов с более высокой урожайностью, крупноплодностью, однородностью, транспортабельностью и устойчивостью к болезням и вредителям. Так, успехи селекционеров привели к увеличению прибыли фермеров и доступности продуктов для конечных потребителей (Folta, Klee, 2016). Результатом такой селекции стала огромная изменчивость среди коммерческих сортов земляники. Фактически новые генотипы, полученные европейскими и североамериканскими селекционными программами в XIX–XX веках, культивировались по всему миру до начала XXI века, но огромное количество новых разработанных генотипов было отброшено, и даже некоторые старые сорта были заменены новыми генотипами, демонстрирующими лучшие агрономические характеристики (Mezzetti, 2018). Такой подход привел к сильному сокращению генетических ресурсов земляники в селекцентрах, вызвав непоправимую потерю некоторых признаков, которые теперь могли бы играть важную роль в разработке новых сортов. Примером негативных последствий являются снижение ароматичности и стрессоустойчивости земляники (Ulrich et al., 1997; Aharoni et al., 2004). В частности, сравнительный анализ старых и современных сортов земляники показал уменьшение аллельного разнообразия на 35%, что связано с использованием ограниченного числа предков при начальной гибридизации в XVIII веке (Gil-Ariza et al., 2009; Horvath et al., 2011). Фокусировка на узком генофонде способствует ускоренной утрате генетического разнообразия, что требует пополнения доноров и источников для селекции.

Коллекция генетических ресурсов земляники в ВИР. Генофонд ягодных растений представляет собой сложную структуру генотипов и включает огромное число видов, сортов, гибридов, форм и т. д. (Yushev et al., 2016).

Работу по созданию генофонда земляники начали в 1926 г. на базе Ленинградского опорного пункта Всесоюзного института растениеводства «Красный пахарь», в настоящее время – научно-производственная база (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Павловск). Коллекционный сортовой материал для сохранения и изучения поступал из США (Spring Hill, Scarff, Gurney, Allen, Experimental Station Geneva), Англии (Bath, Bernard, Burnham), Франции (Levavasseur, Barbier, Vilmorin, Groux), Германии (Späth, Bensch, Schmidt, Mülleklein, Frahm), Голландии (Ruys), Италии (Fratelli Ingegnolli, Er. Sgaravatti), Швеции (Alnårp's Trädgårdar), Латвии (Schoch), Украины (Млиевская опытная станция), России (Шушарская ферма, садоводство Регеля и Кессельринга, Обоянского плодового питомника, Барнаульской опытной станции и др.) (Rožanova, 1935). Образцы диких видов и форм, в том числе североамериканского и евразийского происхождения, были собраны в ходе экспедиций ВИР и получены от научно-исследовательских учреждений. С 1926 г. началась работа по сортоизучению и генетике, с 1930 г. – работа по селекции. По результатам исследований выведены первые сорта земляники для нашей страны, а в 1954 г. Ю. К. Катинская создала сорт 'Фестивальная', который получил широкое признание и распространение (с 1965 г. по настоящий момент включен в Госреестр по 11 регионам России).

В настоящее время коллекция генетических ресурсов земляники ВИР сохраняется и изучается в различных природно-климатических зонах нашей страны в полевых генных банках на Майкопской, Полярной опытных станциях, Крымской опытно-селекционной станции, а также на НПБ

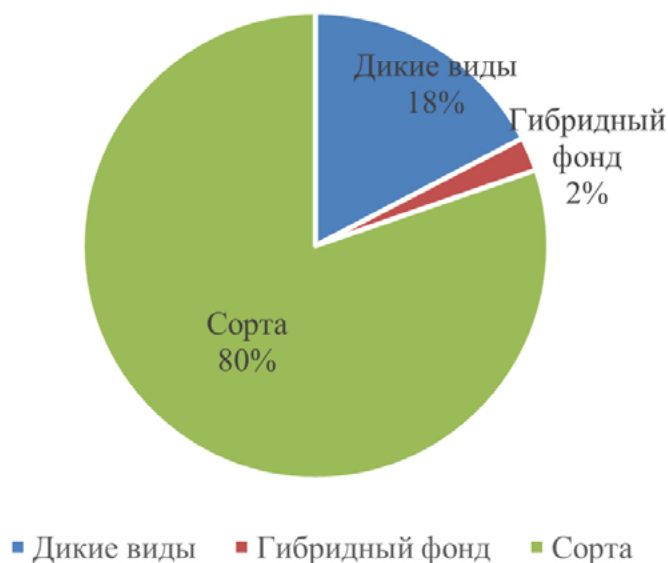


Рис. 4. Состав коллекции земляники ВИР по биологическому статусу

Fig. 4. Composition of VIR's strawberry collection in the context of its biological status

«Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» – филиалах Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Коллекция насчитывает по состоянию на декабрь 2024 г. 582 образца, представляющих все группы генофонда: сорта, межвидовые гибриды, дикие виды (рис. 4).

По географическому происхождению 60% образцов коллекции – из России, 9% – из США, 6% – из Украины (рис. 5).

По состоянию на 2024 г. В Государственный реестр

селекционных достижений включено 128 сортов земляники и один сорт земклуники (*F. anaschata* Kantor), из которых 86% составляют сорта отечественной селекции. В коллекции земляники ВИР сохраняются 39 сортов, зарегистрированных в Госсортреестре.

На НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в живом виде сохраняются представители всего полиплоидного ряда рода *Fragaria*, от диплоида до декаплоида, а также все виды, произрастающие на территории России (рис. 6).

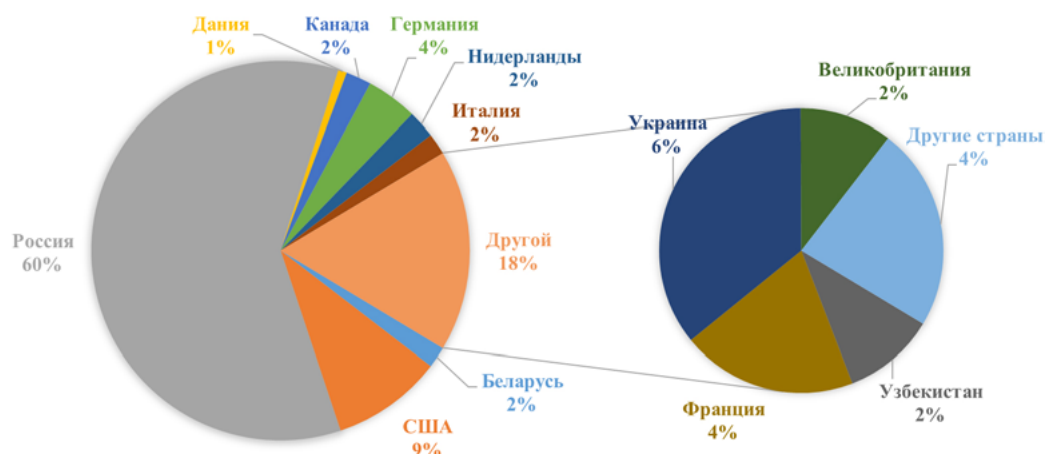


Рис. 5. Состав коллекции земляники ВИР по географическому происхождению
Fig. 5. Composition of VIR's strawberry collection in the context of its geographic origin



Рис. 6. Сверху, слева направо: а) 'Александра' (*Fragaria vesca* subsp. *vesca* f. *semperflorans* × *F. orientalis*) (к-49701); б) *Fragaria virginiana* (Duchesne) Mill. (к-14393); в) *F. mandshurica* Staudt (к-49726); д) *F. viridis* (Duchesne) Weston (к-49754); е) коллекция земляники на НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»; ф) *F. moschata* Duchesne ex Weston (к-49730)

Fig. 6. Top to bottom and left to right: a) 'Alexandra' (*Fragaria vesca* ssp. *vesca* f. *semperflorans* × *F. orientalis*) (k-49701); b) *F. virginiana* (Duchesne) Mill. (k-14393); c) *F. mandshurica* Staudt (k-49726); d) *F. viridis* (Duchesne) Weston (k-49754); e) strawberry collection maintained at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR; f) *F. moschata* Duchesne ex Weston (k-49730)

В национальный каталог особо ценных образцов генетических ресурсов растений вошли 395 образцов коллекции земляники ВИР, включающие староместные сорта, сорта, являющиеся источниками и донорами хозяйственно ценных признаков, старые и новые районированные сорта, межвидовые гибриды, а также дикие виды из автохтонных ареалов.

Заключение

Все виды рода *Fragaria* различаются по своим свойствам и признакам, степени выраженности этих признаков, контролируемых разными генами и комбинациями генов. В целом они образуют генофонд рода, который представляет большую ценность для современной и последующей селекции земляники. В связи с этим его необходимо собирать, сохранять, изучать и использовать в селекционных и других научных учреждениях, работающих с этой культурой.

References / Литература

- Aharoni A., Giri A.P., Verstappen F.W.A., Berteaux C.M., Sevenier R., Sun Z. et al. Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. *The Plant Cell*. 2004;16(11):3110-3131. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.104.023895>
- Barkalov V.Yu., Taran A.A. A checklist of vascular plants of Sakhalin Island. In: *Flora and Fauna of Sakhalin Island (Materials of International Sakhalin Island Project)*. Vladivostok: Dalnauka; 2004. Pt. 1. p.39-66. [in Russian] (Баркалов В.Ю., Таран А.А. Список видов сосудистых растений острова Сахалин. В кн.: *Растительный и животный мир острова Сахалин (Материалы Международного сахалинского проекта)*. Владивосток: Дальнаука; 2004. Ч. 1. С.39-66).
- Belozor N.I. Eastern strawberry (*Fragaria orientalis* Losinsk.) and its intraspecific taxa. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1991;139:80-85. [in Russian] (Белозор Н.И. Земляника восточная (*Fragaria orientalis* Losinsk.) и ее внутривидовые таксоны. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1991;139:80-85).
- Brezhnev D.D., Korovina O.N. Crop wild relatives in the USSR flora (Dikiye sorodichi kulturnykh rasteniy flory SSSR). Leningrad: Kolos; 1981. [in Russian] (Брежнев Д.Д., Коровина О.Н. Дикие сородичи культурных растений флоры СССР. Ленинград: Колос; 1981).
- Buschmann S., Schrieffer J., Bölke N., Herklotz V., Neinhuis C., Olbricht K. et al. Origin, structure and genetic diversity of synanthropic populations of *Fragaria moschata* in Germany. *Flora*. 2021;275:151762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151762>
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Data: [website]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL> [accessed Nov. 15, 2024].
- Folta K.M., Klee H.J. Sensory sacrifices when we mass-produce mass produce. *Horticulture Research*. 2016;3:16032. DOI: <https://doi.org/10.1038/hortres.2016.32>
- Gil-Ariza D.J., Amaya I., López-Aranda J.M., Sánchez Sevilla J.F., Botella M.A., Valpuesta V. Impact of plant breeding on the genetic diversity of cultivated strawberry as revealed by expressed sequence tag-derived simple sequence repeat markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2009;134:337-347. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.337>
- Gruner P., Ulrich D., Neinhuis C., Olbricht K. *Fragaria viridis* Weston: diversity and breeding potential of an underutilised strawberry species. *Acta Horticulturae*. 2017;1156:203-208. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1156.31>
- Hilmarsson H.S., Hytönen T., Isobe S., Göransson M., Toivainen T., Hallsson J.H. Population genetic analysis of a global collection of *Fragaria vesca* using microsatellite markers, *PLoS One*. 2017;12(8):e0183384. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183384>
- Horvath A., Sánchez-Sevilla J.F., Punelli F., Richard L., Sesmero-Carrasco R., Leone A. et al. Structured diversity in octoploid strawberry cultivars: importance of the old European germplasm. *Annals of Applied Biology*. 2011;159(3):358-371. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00503.x>
- Hummer K.E., Bassil N., Njuguna W. *Fragaria*. In: Ch. Kole (ed.). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Temperate Fruits*. Berlin; Heidelberg: Springer; 2011. p.17-44. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8_2
- Hummer K.E., Nathewet P., Yanagi T. Decaploidy in *Fragaria iturupensis* (Rosaceae). *American Journal of Botany*. 2009;96(3):713-716. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.0800285>
- Johnson A.L., Govindarajulu R., Ashman T.L. Bioclimatic evaluation of geographical range in *Fragaria* (Rosaceae): consequences of variation in breeding system, ploidy and species age. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2014;176(1):99-114. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12190>
- Kamelin R.V. *Fragaria* L. In: *Flora Europae Orientalis. Vol. 10*. St. Petersburg: Mir i Semya; 2001. p.452-456. [in Russian] (Камелин Р.И. *Fragaria* L. В кн.: *Флора Восточной Европы. Т. 10*. Санкт-Петербург: Мир и Семья; 2001. С.452-456).
- Kharchenko A.A., Belevtsova V.I., Chukhina I.G. Strawberry cultivars with *Fragaria orientalis* Losinsk. in their pedigrees. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):189-200. [in Russian] (Харченко А.А., Белевцова В.И., Чухина И.Г. Сорта земляники с использованием *Fragaria orientalis* Losinsk. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):189-200). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-2-189-200>
- Kharchenko A.A., Novikova L.Yu. Comparison of winter hardiness components in *Fragaria* L. accessions with different phenorhythmotypes in an artificial climate chamber. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. [preprint] 2024. [in Russian] (Харченко А.А., Новикова Л.Ю. Сравнение компонентов зимостойкости образцов рода *Fragaria* L. с разным феноритмом в камере искусственного климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. [в печати] 2024).
- Kharchenko A.A., Novikova L.Yu., Khudonogova E.G. Dependence of winter hardiness of garden strawberries on soil temperature in the North-Western region of Russia. *Vestnik IrGSHA*. 2023;1(114):49-58. [in Russian] (Харченко А.А., Новикова Л.Ю., Худоногова Е.Г. Зависимость зимостойкости земляники садовой от температуры почвы в Северо-Западном регионе России. *Вестник ИрГХА*. 2023;1(114):49-58). DOI: <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2023-114-49-58>
- Kharchenko A.A., Novikova L.Yu., Khudonogova E.G. Ecological and phenological features and yield of garden strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) in the North-Western region of Russia. *Vestnik IrGSHA*. 2022;2(109):55-63. [in Russian] (Харченко А.А., Новикова Л.Ю., Худоногова Е.Г. Эколого-фенологические особенности и урожайность земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в Северо-Западном регионе России. *Вестник ИрГХА*. 2022;2(109):55-63). DOI: <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2022-109-55-63>
- Liston A., Cronn R., Ashman T.L. *Fragaria*: a genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany*. 2014;101(10):1686-1699. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>
- Mezzetti B., Giamplieri F., Zhang Y.T., Zong C.F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. *Journal of Berry Research*. 2018;8(3):205-221. DOI: <https://doi.org/10.3233/jbr-180314>
- Nathewet P., Yanagi T., Hummer K.E., Iwatsubo Y., Sone K. Karyotype analysis in wild diploid, tetraploid and hexaploid strawberries, *Fragaria* (Rosaceae). *Cytologia*. 2009;74(3):355-364. DOI: <https://doi.org/10.1508/cytologia.74.355>
- Njuguna W., Liston A., Cronn R., Ashman T.L., Bassil N. Insights into phylogeny, sex function and age of *Fragaria* based on whole chloroplast genome sequencing. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2013;66(1):17-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.08.026>
- Rachenko M.A., Rachenko A.M., Kiseleva E.N., Kamyshova L.E. Prospects for year-round cultivation of large-fruited strawberries in the conditions of the Southern Pre-Baikal region. *Vestnik IrGSHA*. 2021;2(103):42-52. [in Russian] (Раченко М.А., Раченко А.М., Киселева Е.Н., Камышова Л.Е. Перспективы круглогодичного выращивания крупнофруктовых земляник в условиях южного Предбайкалья. *Вестник ИрГХА*. 2021;2(103):42-52).

- Киселева Е.Н., Камышова Л.Е. Перспективы круглогодичного выращивания земляники крупноплодной в условиях южного Предбайкалья. *Вестник ИРГСХА*. 2021;2(103):42-52. DOI: <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2021-103-42-52>
- Rozanova M.A. Berry crops (Yagodnye kultury). In: *Krasny Pakhar. Northern Experimental Base of VIR (Krasny Pakhar. Severnaya eksperimentalnaya baza VIR)*. Leningrad; Moscow, 1935. p.54-65. [in Russian] (Розанова М.А. Ягодные культуры. В кн.: *Красный Пахарь. Северная экспериментальная база ВИР*. Ленинград; Москва; 1935. С.54-65).
- Shmidt V.M. (ed.). Areas of medicinal plants and their relatives in the USSR: an atlas (Arealy lekarstvennykh i rodstvennykh im rasteniy SSSR: atlas). 2nd ed. Leningrad: Leningrad University; 1990. p.35-36. [in Russian] (Ареалы лекарственных и родственных им растений СССР: атлас / под ред. В.М. Шмидта. 2-е изд. Ленинград: Ленинградский университет; 1990. С.35-36).
- Shulaev V., Sargent D.J., Crowhurst R.N., Mockler T.C., Folkerts O., Delcher A.L. et al. The genome of woodland strawberry (*Fragaria vesca*). *Nature Genetics*. 2011;43(2),109-116. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.740>
- Staudt G. Notes on Asiatic *Fragaria* species: III. *Fragaria orientalis* Losinsk. and *Fragaria mandshurica* spec. nov. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*. 2003;124(4):397-419. DOI: <https://doi.org/10.1127/0006-8152/2003/0124-0397>
- Staudt G. The species of *Fragaria*, their taxonomy and geographical distribution. *Acta Horticulturae*. 1989;265:23-34. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.265>
- Ulrich D., Hoberg E., Rapp A., Kecke S. Analysis of strawberry flavour – discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung*. 1997;205(3):218-223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002170050154>
- Vorobiev D.P., Woroshilov V.N., Gurzenkov N.N., Doronina J.A., Egorova E.M., Neczaeva T.I., Probatova N.S., Tolmatchev A.I., Czernjaeva A.M. Key for the Vascular Plants of Sakhalin and Kurile Islands. Leningrad: Nauka; 1974. [in Russian] (Воробьев Д.П., Ворошилов В.Н., Гурзенков Н.Н., Доронина Ю.А., Егорова Е.М., Нечаева Т.И., Пробатова Н.С., Толмачев А.И., Черняева А.М. *Определитель высших растений Сахалина и Курильских островов*. Ленинград: Наука; 1974).
- Yakubov V.V. Strawberry – *Fragaria* L. (Zemlyanika – *Fragaria* L.). In: S.S. Kharkevich (ed.). *Vascular Plants of the Soviet Far East (Sosudistye rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka)*. St. Petersburg: Nauka; 1996. Vol. 8. p.163-165. [in Russian] (Якубов В.В. Земляника – *Fragaria* L. В кн.: *Сосудистые растения советского Дальнего Востока* / под ред. С.С. Харкевича. Санкт-Петербург: Наука; 1996. Т. 8. С.163-165).
- Yushev A.A., Sorokin N.A., Tikhonova O.A., Orlova S.Yu., Kislin E.N., Radchenko O.E., Pupkova N.A., Shlyavas A.V. The collection of fruit and berry plant genetic resources: preservation, replenishment, and study: Guidelines (Kollektsiya geneticheskikh resursov plodovykh i yagodnykh rasteniy: sokhraneniye, popolneniye, izucheniye: Metodicheskiye ukazaniya). A.A. Yushev, I.G. Chukhina (eds). St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Юшев А.А., Сорокин Н.А., Тихонова О.А., Орлова С.Ю., Кислин Е.Н., Радченко О.Е., Пупкова Н.А., Шлявас А.В. Коллекция генетических ресурсов плодовых и ягодных растений: сохранение, пополнение, изучение: Методические указания / под. ред. А.А. Юшева, И.Г. Чухиной. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).
- Zubov A.A. Theoretical foundations of strawberry breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii zemlyaniki). Michurinsk; 2004. [in Russian] (Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. Мичуринск; 2004).

Информация об авторах

Анастасия Анатольевна Харченко, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

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

Information about the authors

Anastasiia A. Kharchenko, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

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

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 21.12.2024.

The article was submitted on 02.12.2024; approved after reviewing on 13.12.2024; accepted for publication on 21.12.2024.

Культура винограда (*Vitis* L.) в коллекции ВИР

М. М. Агаханов¹, Е. Н. Кислин²

¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Краснослободск, Россия

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

Автор, ответственный за переписку: Магомедгусейн Магомедганифович Агаханов, m.agahanov@vir.nw.ru

В статье кратко охарактеризованы классификация рода *Vitis* L., пищевая ценность и хозяйственно ценные признаки винограда. Рассмотрены регионы выращивания винограда. За последние десятилетия селекционерами-виноградарами проведена огромная работа по выведению и отбору новых, перспективных, устойчивых к экстремальным условиям и раннеспелых гибридов винограда различного происхождения, которые успешно произрастают далеко за пределами естественной границы ареала. К настоящему времени накоплен большой опыт возделывания винограда в Черноземной и Нечерноземной зонах России, Прибалтике, на Дальнем Востоке. В последние десятилетия с появлением новых, морозоустойчивых сортов с коротким периодом вегетации культура винограда значительно продвинулась на север. Теперь виноград выращивают не только в южных регионах, но также и в Московской, Тверской и даже Новгородской и Ленинградской областях, Приморском и Хабаровском краях.

Кроме того, в статье освещена история создания и формирования ампелографической коллекции ВИР. На основании сведений, полученных на опытных станциях ВИР, расположенных в Дагестане, Приморском и Краснодарском краях, приводится описание структуры ампелографической коллекции. Предложены перспективные направления для сохранения редких сортов и видов в будущем. Представлены данные о современных исследованиях образцов коллекции и об ученых, внесших свой вклад в развитие коллекции винограда ВИР.

Ключевые слова: генетические ресурсы растений, виноград, селекция, сорт

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

Для цитирования: Агаханов М.М., Кислин Е.Н. Культура винограда (*Vitis* L.) в коллекции ВИР. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):94-102.

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

Brief communication

Cultivated grapevine (*Vitis* L.) in the VIR collection

Magamedgusein M. Agakhanov¹, Evgeny N. Kislin²

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, Krasnoslobodsk, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Magamedgusein M. Agakhanov, m.agahanov@vir.nw.ru

The classification of the genus *Vitis* L., food value of grapevine, and its agronomic characteristics are discussed. In the past decades, grapevine breeders and viticulturists have made great efforts to develop and select new promising early-ripening grapevine hybrids of various origin, with resistance to extreme weather conditions. They are successfully cultivated far beyond the natural area of distribution. Rich experience has been accumulated by viticulturists of the Black Earth and Non-Black Earth Regions, the Baltic States, and the Far East of Russia. Recently released grapevine cultivars with frost resistance and a short growing season shifted the area of their cultivation far from the southern areas of Russia: to Moscow and Tver and even Novgorod and Leningrad Provinces, to Primorsky and Khabarovsk Territories.

The history of the establishment and development of the ampelographic collection at the Vavilov Institute (VIR) is also highlighted. The data obtained at VIR's experiment stations, situated during the Soviet period in Turkmenistan and Uzbekistan, and presently in Dagestan, Primorsky and Krasnodar Territories, have been used to describe the structure of this collection. Promising measures to save and conserve rare grapevine cultivars and wild *Vitis* spp. are offered for the future.

Keywords: plant genetic resources, grapevine, breeding, cultivar

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the Development Program for the National Center for Plant Genetic Resources supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. № 075-02-2024-1090 of Feb. 15, 2024.

For citation: Agakhanov M.M., Kislin E.N. Cultivated grapevine (*Vitis* L.) in the VIR collection. *VIR Bulletin*. 2024;(243):94-102. (In Russ.).

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

© Agakhanov M.M., Kislin E.N., 2024

Виноград (*Vitis* L.) – род растений семейства виноградовых. Это многолетняя лиана, одно из древнейших экономически важных растений. Его возделывают между 34–52° с. ш. и 20–40° ю. ш. В диком виде европейско-азиатский виноград (*Vitis vinifera* ssp. *sylvestris*)¹ произрастает по лесистым берегам рек и долинам бассейна Средиземного моря Европы, Западной Азии и Северной Африки, а также в долинах Рейна, по берегам Дуная, в низовьях Днепра, в Закавказье и Крыму, на восточном побережье Черного моря и в Средней Азии. В горной местности этот вид достигает высоты 1000 м над уровнем моря.

По имеющимся историческим данным, подтвержденным современными молекулярно-генетическими методами, родиной культурного винограда являются страны Средней и Малой Азии. К ним относятся: Туркменистан, Таджикистан, Грузия, Азербайджан, Иран, Ирак, Саудовская Аравия и ряд других стран.

Род включает в себя более 70 видов, входящих в состав двух подродов – *Euvitis* и *Muscadinia*.

В подрод *Euvitis* входят 68 видов, имеющих диплоидный набор хромосом ($2n = 38$). *Euvitis* разделяется на 3 группы по эколого-географическому происхождению:

- *восточноазиатская группа* включает 39 видов, большинство из которых отличается повышенной морозоустойчивостью и резистентностью к грибным заболеваниям. Восточноазиатские виды винограда, включая *V. amurensis*, растут в Северном Китае, Северной Корее;

- *американская группа* включает 28 видов, некоторые из них имеют практическое значение благодаря повышенной резистентности к вредителям, болезням и морозоустойчивости, например виноград прибрежный (*V. riparia*), виноград скальный (*V. rupestris*), виноград Берландье (*V. berlandieri*), виноград лабруска (*V. labrusca*). Североамериканские виды произрастают в США и Канаде. Самые морозоустойчивые формы винограда прибрежного встречаются в Канаде (провинция Манитоба);

- *европейско-азиатская группа* включает один вид – виноград культурный (*V. vinifera*), который делится на 2 подвида: дикий виноград (*V. vinifera* ssp. *sylvestris*) и культурный виноград (*V. vinifera* ssp. *sativa*). У *V. vinifera* основные культивируемые сорта характеризуются полиморфностью листа, грозди и ягод. Кроме того, культурный виноград неустойчив к грибным болезням, низким температурам и вредителям, но иногда встречаются сорта, показывающие относительную устойчивость на высоком инфекционном фоне. Плоды не имеют посторонних привкусов и по соотношению содержания сахара и кислотности, а также по вкусу более пригодны для столового потребления и технической переработки. Все сорта вида *V. vinifera*, согласно классификации Негруля (Negrul et al., 1979), разбиваются на 3 эколого-географические группы: восточная, группа бассейна Черного моря и западноевропейская группа сортов.

Подрод *Muscadinia*, согласно классификации Планшона, включает два вида: *V. rotundifolia* Michaux и *V. munsoniana* Simpson. *V. Rotundifolia* – растение дву-

домное, с мужскими и функционально женскими цветами. Побеги без диафрагмы, с плотной прилегающей корой; молодые побеги голые или со слабым опушением; усики простые, неразветвленные. Очень мощные лианы, достигающие 1 м в диаметре. *V. rotundifolia* растет дико и культивируется по побережью Мексиканского залива, в Техасе, Луизиане, поднимаясь по Миссисипи до Кентукки, в Алабаме, Джорджии, Каролине и на юге Виргинии. Этот так называемый «ягодный виноград» введен в культуру примерно 200 лет назад. Качество плодов низкое. Наиболее замечательным свойством *V. rotundifolia* является его абсолютная устойчивость против филлоксеры и против грибных болезней. Однако этот вид практически не размножается черенкованием и имеет очень низкую морозоустойчивость, что не позволяет его культивировать без укрытия севернее зоны субтропиков. *V. munsoniana* – растение двудомное, с мужскими и функционально женскими цветами. Растения меньше, чем у *V. rotundifolia*, часто стелются по земле или взбираются по кустарникам. Этот вид произрастает в южных районах США и приурочен к тропическим условиям, поэтому не выращивается в Европе и более северных условиях Америки. Получены гибриды *V. rotundifolia* с *V. munsoniana*, среди которых отобраны обоеполые сорта с крупными гроздьями и равномерным созреванием ягод (Ampelography of the USSR..., 1946; Negrul, 1952).

В России в диком виде произрастают: виноград амурский (*V. amurensis*), виноград Куанье (*V. coignetiae*) – на Дальнем Востоке (Приморский и Хабаровский края, Курилы и Сахалин) и виноград дикий, или лесной (*V. vinifera* ssp. *sylvestris*), – в предгорьях Кавказа и Крыма. (Merzhanian, 1967; Lebedeva, 1989).

В государстве Урарту виноград был известен еще в IX–VI вв. до нашей эры. История возникновения виноградарства отображена в греческой мифологии в легенде о погибшем юноше Ампеле, которого бог виноградарства и виноделия Дионис превратил в виноградную лозу. Родиной культурного винограда являются Закавказье, Средняя Азия, Иран, Афганистан, Северный Китай.

В европейских странах (Франция, Италия, Испания) культура винограда насчитывает порядка 10 тысяч лет, а первые сорта пришли с Востока и были получены из азиатских стран, что подтверждают современные генетические исследования.

Интерес к выращиванию винограда в северных областях, то есть за пределами его промышленного возделывания (выше 48–52° с. ш.), не иссякает в течение многих десятилетий. В России виноград впервые появился во времена правления Петра Великого, по приказу которого в Астрахани и на Дону были посажены первые виноградники. В Пскове Петр I наряду с дубами высаживал и виноградные лозы. Во второй половине XVIII в. были широко известны Чугуевские и Измайловские виноградники под Москвой. Первая статья о винограде появилась в России в 1756 г. За последние десятилетия селекционерами виноградарями проведена огромная работа по выве-

¹ Названия видов приводятся в авторской редакции

дению и отбору новых, перспективных, устойчивых к экстремальным условиям и, естественно, раннеспелых гибридов винограда различного происхождения, которые успешно произрастают далеко за пределами естественной границы ареала. Некоторые дикорастущие виды винограда благодаря красивым листьям и быстрому росту с успехом выращиваются как декоративные растения. К настоящему времени имеется большой опыт возделывания винограда в Черноземной и Нечерноземной зонах России, в Прибалтике, на Дальнем Востоке. В последние десятилетия с появлением новых, морозоустойчивых сортов с коротким периодом вегетации культура винограда значительно продвинулась на север. Теперь виноград выращивают в Канаде, Швеции, Финляндии, Белоруссии, а также в северных провинциях Китая. В России виноград выращивают не только в Воронежской, Ростовской, Волгоградской, Саратовской областях, но и в Московской, Тверской, даже в Новгородской и Ленинградской. На Дальнем Востоке виноградарство развито в Приморском и Хабаровском краях (Лоуко, 1988).

Выращивание южных виноградников сопряжено с большим количеством обработок от болезней и вредителей в течение вегетационного сезона. В северных же районах болезни и вредители развиваются слабо или же просто отсутствуют, поэтому полученные ягоды, хотя и уступают по размерам, красоте и сахаристости южным, имеют одно важное преимущество: они экологически чистые.

Деревянистые лианы винограда с мощной корневой системой живут до 50–300 лет. Образуют длинные (3–5 м), тонкие, с желто-коричневой сердцевинкой, утолщенные на узлах однолетние побеги. В каждом узле побега развиваются листья, а в их пазухах – пасынковые и зимующие почки. На нижних узлах образуются соцветия, на вышерасположенных – усики (видоизмененные побеги), с помощью которых растение цепляется за опору. Листья цельные или 3- и 5-лопастные, очередные. Цветки мелкие, зеленые, собраны в метелку, у диких видов винограда – женские или мужские, у культурных сортов – обоеполые или женские (нуждаются в перекрестном опылении). Плоды – ягоды с 1–4 семенами и хорошо развитым околоплодником, имеют различные размеры, форму и окраску. Они собраны в кисти (грозди), которые отличаются по величине, форме, степени разветвления и по плотности сложения в них ягод. Семена мелкие, твердые, грушевидной формы, с клювиком.

Виноград возделывают на площади (данные ФАО, 2022 г.) около 7,3 млн га, из них: 3,3 млн га – в Европейском союзе (Испания, Франция, Италия, Греция, Болгария, Португалия), более 2 млн га – в Азии (Китай, Турция, Иран), 874 тыс. га – в Америке (США, Аргентина, Чили, Бразилия), 124 тыс. га – в ЮАР, 146 тыс. га – в Австралии. В России под виноградом занято более 99 тыс. га, что в два раза больше, чем в 2013 г. Основными экспортными вина в мире являются (млн гл): Италия (21,9), Испания (21,2), Франция (14,0), Чили (8,3), Австралия (6,4), ЮАР

(4,4), Германия (3,5), Португалия (3,3), США (2,8), Новая Зеландия (3,0), Аргентина (2,7) и Канада (2,1). В 2022 г. производство вина в мире, без учета сока и сусла, оценивалось в 258 млн гл, что означает сокращение почти на 3 млн гл (–1%) по сравнению с 2021 г. Основными производителями вина в мире являются (млн гл): Италия (49,8), Франция (45,6), Испания (35,7), США (22,4), Австралия (12,7), Чили (12,4), Аргентина (11,5), ЮАР (10,2), Германия (8,9), Португалия (6,8), Россия (4,7), Китай (4,2), Грузия (2,1), Молдавия (1,4). Основные производители винограда в мире (млн т): Китай (14,8), Италия (8,2), США (7,1), Франция (6,2), Испания (5,9). Россия производит 0,6 млн т (24-е место).

К настоящему времени во многих странах мира выращивается большое количество сортов винограда: по некоторым оценкам, более 20 тысяч (рис. 1), которые широко используются для производства столовых и винных сортов. К основным столовым сортам относятся стародавние сорта: Кишмиш белый², Кишмиш черный, Коринка греческая, Тайфи розовый, Хусайне белый, к винным – Алиготе, Арамон белый, Айрен, Мальвазия, Монастрель, Пино нуар, Пино блан, Санджовезе, Каберне Совиньон, Мерло, Саперави, Ркацители, Шардоне и целый ряд других сортов, которые возделываются во многих странах. В Европе (Франция, Италия, Испания) основное производство винограда (свыше 90%) направлено на производство вина. В настоящее время в США и странах Южной Америки широко используются новые, комплексно устойчивые и транспортабельные столовые сорта, такие как Ред глоуб.

В Китае, где насчитывается около 1 млн га виноградников, в последние годы получили широкое распространение сорта местной селекции, созданные на основе *V. amurensis*, из которого производят «ледяное» вино (Бэйми, Бинг Хонг и др.); в Японии популярны столовые сорта, полученные на основе *V. labrusca*.

В Госреестре РФ на 2022 г. насчитывалось более 412 сортов винограда, из них: 155 сортов столового винограда ('Агадаи', 'Восторг', 'Кардинал', 'Ляна', 'Молдова' и др.), 257 технических сортов винограда ('Алиготе', 'Бианка', 'Каберне' 'Совиньон', 'Мускат розовый', 'Рислинг Рейнский', 'Ркацители', 'Саперави', 'Саперави северный', 'Шардоне' и др.). Зарегистрировано 20 подвоев.

Ягоды винограда содержат от 10 до 30% сахаров (глюкоза, фруктоза и иногда, в незначительных количествах, сахароза), от 0,5 до 3% органических кислот (винная, яблочная и др.), 0,15–0,9% белков, 0,3–1% пектинов, 0,3–0,5% минеральных веществ, включая фосфор, калий, железо, а также витамины А, В1, В2, В6, С, РР, фолиевую кислоту. Исследования последних лет, проведенные в России и Китае, показали, что плоды винограда дикорастущих видовых форм, в первую очередь *V. amurensis*, содержат биологически активные соединения, которые обладают ингибиторной активностью против вируса гриппа. Из ягод *V. amurensis* было выделено также несколько десятков соединений полифенолов, которые

² Названия сортов приводятся в авторской редакции



Сорт 'Агат Донской'



Сорт 'Маршал Фош'

Рис. 1. Сорта винограда

Fig. 1. Grapevine cultivars

обладают антиоксидантной активностью и могут использоваться в медицинских целях в области кардиологии и онкологии. В частности, было доказано, что экстракты из *V. amurensis* способны тормозить рост злокачественных опухолей у мышей.

Род *Vitis* L. известен своими хозяйственно ценными признаками.

К значимым показателям хозяйственно ценных признаков винограда относятся: коэффициент плодоношения, процент плодоносных побегов, масса грозди и ягоды, крупноплодность (для столовых сортов), содержание сахаров и органических кислот, а также их соотношение, органолептическая оценка ягод и вина, урожайность с куста, морозо- и зимостойкость.

Культура винограда является ключевой в производстве вина и безалкогольных продуктов переработки (соки, джемы, изюм) во многих странах мира.

Помимо высоких вкусовых качеств винограда столовых и технических сортов, не менее важна экологическая чистота свежей продукции и продуктов переработки (вино, соки и проч.). В настоящее время виноградники, особенно европейско-азиатских сортов, обрабатываются пестицидами фактически на всех фазах развития растений, начиная от распускания почек и заканчивая полным созреванием урожая. Поэтому актуальным остается выведение и внедрение в производство комплексно устойчивых к основным болезням и вредителям сортов винограда, что свело бы к минимуму число химических обработок или привело к полному отказу от них (Troshin, Sviridenko, 1988). Помимо этого, замена химических обработок растений винограда на безопасные для животных и человека биологические препараты служит хорошей альтернативой в борьбе с вредными организмами.

Широко распространено виноградолечение при таких заболеваниях, как нефрит, нефроз, гастрит, колит, легочный туберкулез, хронический бронхит, астма. Хинные

препараты против малярии содержат экстрактивные вещества, полученные из виноградного сока. В настоящее время приблизительно 80% урожая идет на изготовление вина, 16% – на столовые нужды и 4% – на сушку.

Коллекция винограда ВИР: сбор, сохранение, изучение, использование

Ампелографическая коллекция ВИР до 1991 г. включала 3270 образцов винограда (без учета дублетных – 2840 образцов). Она размещалась в разных природно-климатических условиях (Кавказ, Средняя Азия, Дальний Восток), что позволяло более объективно оценивать реакцию генотипов на различные условия внешней среды (Encyclopedia of viticulture..., 1986-1987). Коллекция Среднеазиатской опытной станции ВИР (позднее – Среднеазиатского филиала ВИР) насчитывала 1625 образцов винограда, Туркменской опытной станции ВИР – 1040, Дальневосточной опытной станции ВИР – 800, Дагестанской опытной станции ВИР – 450, Крымской опытно-селекционной станции ВИР – 600 образцов (Kislin et al., 2015).

В настоящее время в филиалах ВИР (на Дагестанской и Дальневосточной опытных станциях, Крымской опытно-селекционной станции) сохраняется около 1247 образцов винограда (Agakhanov et al., 2024). В состав ампелографической коллекции ВИР входят более 400 сортов *V. vinifera* (около 50% которых – автохтонные), 52 сорта других видов рода *Vitis*, 262 сорта неизвестного происхождения, около 509 межвидовых гибридов и 25 образцов дикорастущих форм (Agakhanov et al., 2024). В межвидовой группе наибольшая доля приходится на сорта, полученные путем скрещивания: *V. vinifera* × 'Seyve-Villard'³, *V. vinifera* × *V. labrusca*, *V. vinifera* × *V. amurensis* и *V. vinifera* × *V. amurensis* × гибрид 'Seyve-Villard'.

Относительно небольшая на сегодняшний день коллекция винограда ВИР отличается высокой долей цен-

³ 'Seyve-Villard' – сложный межвидовой гибрид (*V. vinifera* × *V. rupestris* × *V. labrusca*)

ного исходного материала для совершенствования конкурентоспособного сортимента, устойчивого к нестабильным погодным условиям и патогенам. Сохранение дикорастущих видов и межвидовых гибридов винограда особенно ценно, так как они являются источниками хозяйственно ценных признаков, таких как морозоустойчивость, устойчивость к наиболее опасным вредителям и грибным заболеваниям. Высокий потенциал в агро-

экологических условиях конкретной области проявляют автохтонные (староместные) сорта, их использование в селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды также перспективно (Agakhanov, 2022).

На рисунке 2 изображены сорта различного происхождения из коллекции ВИР.



Сорт 'Маркетт'



Сорт 'Марс'

Рис. 2. Сорта винограда различного происхождения

Fig. 2. Grapevine cultivars of various origin

Сорта Маркетт и Марс, фотографии которых представлены на рисунке 2, и сорта Агат Донской, Маршал Фош сохраняются на Крымской ОСС, а также в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР».

Отметим, что коллекция ВИР до 1992 г. по количеству и разнообразию сортов и форм винограда не уступала крупнейшим ампелографическим коллекциям Грузии, Молдавии, Украины (Крым), при этом образцы были локализованы в различных эколого-географических условиях. С 1995 г. началась широкомасштабная мобилизация генофонда винограда в Краснодарский край. Инициатором этой программы стал ВИР. Необходимость мобилизации была вызвана распадом

СССР и в связи с этим – резким сокращением генофонда винограда в системе ВИР (от 2900 до 600 образцов). ВИР обосновал необходимость перемещения генофонда на юг России. Приказом РАСХН № 50 от 13.04.1995 были созданы генетико-ампелографическая лаборатория при Северо-Кавказском зональном НИИ садоводства и виноградарства (СКЗНИИСИВ), которой руководил В. А. Носульчак (рис. 3), и Анапский опорный пункт ВИР при Крымской ОСС. Так, работа в направлении мобилизации генофонда винограда с 1995 г. продолжилась на Крымской опытно-селекционной станции, где Василий Андрианович Носульчак активно начал интродукцию и сохранение генофонда винограда совместно с сотруд-



Рис. 3. Василий Андрианович Носульчак – опытный хранитель коллекции винограда, эксперт отрасли
Fig. 3. Vasily A. Nosulchak, an experienced curator of the grapevine collection and an expert in viticulture

никами кафедры виноградарства Кубанского ГАУ.

В. А. Носульчак на протяжении ряда лет был директором Туркменской опытной станции ВИР, где создал уникальную ампелографическую коллекцию, насчитывавшую более 1100 образцов, включая дикорастущие формы и аборигенные сорта винограда восточной группы европейско-азиатского винограда. После распада Советского Союза российская коллекция винограда значительно сократилась и составляла всего порядка 600 образцов. В 1990-х годах, благодаря энтузиазму и огромной работе В. А. Носульчака и его коллег, на территории России (Анапская станция виноградарства и виноделия) была воссоздана новая российская ампелографическая коллекция, которая на 2010 г. насчитывала более 3000 образцов различного происхождения, полученных как из бывших республик СССР, так и из-за рубежа (США, Канада, Италия, Франция, Германия, Греция и др.). Ряд ценных элитных форм винограда, к которым, например, относятся ДК красный мужской, Тайфи красный, были привнесены в коллекцию ВИР благодаря усилиям В. А. Носульчака (Troshin et al., 2021). Им же создана большая коллекция видовых форм американского происхождения, которая в настоящее время представлена в полевом генбанке Крымской опытно-селекционной станции (Крымская ОСС ВИР).

В настоящее время В. А. Носульчак занимается на Крымской ОСС ампелографическим изучением коллекции винограда, которая насчитывает более 700 образ-

цов, с целью выделения как ценных сортов и клонов для производства, так и источников хозяйственных и биологических признаков для создания новых сортов (Nosulchak et al., 2006; Nosulchak, 2015, 2022, 2024). Имя В. А. Носульчака известно у нас в стране и за рубежом среди специалистов по сортоизучению винограда. Им опубликовано более 70 научных публикаций, в числе которых пять монографий.

Образцы коллекции ВИР в настоящее время востребованы в фундаментальных научных исследованиях по изучению происхождения и разнообразия форм винограда, механизмов устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам (Kislin, 2012; Novikova, Ozerski, 2022; Agakhanov, 2022). Образцы винограда из коллекции ВИР генотипированы с применением микросателлитных маркеров, ранее рекомендованных для сортовой идентификации у винограда (Agakhanov et al., 2018), происхождение автохтонных сортов также изучается с применением молекулярно-генетических методов (Sekridova et al., 2022). Кроме того, применяется спектр биотехнологических подходов к получению высококачественного посадочного материала винограда (Batukaev et al., 2023). Работы по интродукции винограда в северные регионы (Kislin, 2012) продолжают традиции Н. И. Вавилова по расширению ареалов возделывания важнейших сельскохозяйственных культур (Nosulchak, 2013).

Ученые ВИР, кроме изучения образцов коллекции ВИР, проводят научные работы прогнозно-аналитиче-

ского характера (Chistyakov, Novikova, 2020; Novikova, Ozerski, 2022). Так, акценты исследований сосредоточены на условиях изменения климата и возрастающей роли цифровизации сельского хозяйства, а также связаны с внедрением геоинформационных систем (ГИС). В результате анализа установлено, что «рост теплообеспеченности вегетационного периода на европейской территории России создает предпосылки продвижения промышленного виноградарства к северу от современной предельной широты 46.6° до 51.8° в текущих условиях, а к 2050 г. – до 60.7° N. Кроме того, уже сейчас виноградарство возможно в районе Калининграда (54° N, 20° E). При дополнительных мерах по укрытию на зиму до –35°C виноградарство возможно до 53.3° N в текущих условиях и до 60.7° N – в прогнозируемых» (Novikova, Ozerski, 2022). Эти исследования позволили создать программу для прогнозирования реакции сортов винограда на изменения климата VITIS TIME SERIES (свидетельство № 2019664805), востребованную специалистами отрасли (Novikova, Lebedeva, 2019).

Таким образом, коллекция винограда ВИР продолжает свое развитие в эпоху генетических технологий, изменения климата и усиления цифровизации.

References / Литература

- Agakhanov M.M. Genetic diversity and breeding value of accessions from the ampelographic collection of VIR (Geneticheskoye raznoobrazie i selektsionnaya tsennost' obraztsov ampelograficheskoy kolleksii VIR) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2022. [in Russian] (Араханов М.М. Генетическое разнообразие и селекционная ценность образцов ампелографической коллекции ВИР: дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2022).
- Agakhanov M.M., Bagmet L.V., Tikhonova N.G., Erastenkova M.V., Kislin E.N., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K. The plant germplasm and herbarium (WIR) collections maintained at VIR as contributors to grape genetic diversity conservation, expansion and utilization. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):191-211. [in Russian] (Араханов М.М., Багмет Л.В., Тихонова Н.Г., Ерастенкова М.В., Кислин Е.Н., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Коллекция ВИР и гербарий ВИР (WIR) для сохранения, расширения и использования генетического разнообразия винограда. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):191-211). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-191-211
- Agakhanov M.M., Volkov V.A., Ulianich P.S., Abdullaev K.M., Kislin E.N. Polymorphism of microsatellite loci within the grape germplasm collection maintained at the Dagestan Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):224-234. [in Russian] (Араханов М.М., Волков В.А., Ульянич П.С., Абдуллаев К.М., Кислин Е.Н. Полиморфизм микросателлитных локусов в коллекции винограда дагестанского филиала ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):224-234). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-224-234
- Ampelography of the USSR: in 6 volumes. Vol. 1 (Ampelografiya SSSR: v 6-ti tomakh. T. 1). Moscow: Pishchepromizdat; 1946. [in Russian] (Ампелография СССР: в 6-ти томах. Т. 1. Москва: Пищепромиздат, 1946).
- Batukaev A.A., Palaeva D.O., Kurkiev K.U., Sobralieva E.A., Batukaev A.A. Biotechnological methods for improving and micropropagating promising grape cultivars and apple rootstocks (Biotehnologicheskiye priyemy ozdorovleniya i mikroklonalnogo razmnzheniya perspektivnykh sortov vinograda i podvoyev yabloni). Grozny; Makhachkala: ALEF; 2023. [in Russian] (Батукаев А.А., Палаева Д.О., Куркиев К.У., Собралиева Э.А., Батукаев А.А. Биотехнологические приемы оздоровления и микроклонального размножения перспективных сортов винограда и подвоев яблони. Грозный; Махачкала: АЛЕФ; 2023).
- Chistyakov P.N., Novikova L.Y. Assessment of the climate needs of grapes on the ETR using GIS technologies. *Viticulture and Winemaking*. 2020;49:201-203. [in Russian] (Чистяков П.Н., Новикова Л.Ю. Оценка климатических потребностей винограда на ЕТР с использованием ГИС-технологий. *Виноградарство и виноделие*. 2020;49:201-203).
- Encyclopedia of viticulture: [in 3 volumes]. Chisinau; 1986-1987. [in Russian] (Энциклопедия виноградарства: [в 3 т.]. Кишинев; 1986-1987).
- Kislin E.N. Results and prospects of the introduction of some representatives of the grapevine genus (*Vitis* L.) in the Northwest of Russia (Itogi i perspektivy introduktsii nekotorykh predstaviteley roda vinograd (*Vitis* L.) na Severo-Zapade Rossii). In: *Interactive Ampelography and Grapevine Breeding: Proceedings of the International Symposium; Krasnodar, Russia; September 20–22, 2011 (Interaktivnaya ampelografiya i selektsiya vinograda: sbornik materialov mezhdunarodnogo simpoziuma; Krasnodar, Rossiya; 20–22 sentyabrya 2011 g.)*. Krasnodar; 2012. p.121-123. [in Russian] (Кислин Е.Н. Итоги и перспективы интродукции некоторых представителей рода виноград (*Vitis* L.) на Северо-Западе России. В кн.: *Интерактивная ампелография и селекция винограда: сборник материалов международного симпозиума; Краснодар, Россия; 20–22 сентября 2011 г.* Краснодар; 2012. С.121-123).
- Kislin E.N., Nosulchak V.A., Dzyubenko N.I. Ampelographic collection of the Vavilov Institute: past, present and future. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2015;(3):14-16. [in Russian] (Кислин Е.Н., Носульчак В.А., Дзюбенко Н.И. Ампелографическая коллекция ВИР им. Н.И. Вавилова. Прошлое, настоящее и будущее. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2015;(3):14-16).
- Lebedeva L.Ya. Grapevine in the Far East (Vinograd na Dalnem Vostoke.). Vladivostok: Far East Book Publishers; 1989. [in Russian] (Лебедева Л.Я. Виноград на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство; 1989).
- Loyko R.E. Grapevine cultivation in Belarus (Vyrashchivaniye vinograda v Belorussii.). 2nd ed. Minsk: Uraja; 1988. [in Russian] (Лойко Р.Э. Выращивание винограда в Белоруссии. 2-е изд. Минск: Ураджай; 1988).
- Merzhanian A.S. Viticulture (Vinogradarstvo). 3rd ed. Moscow: Kolos; 1967. [in Russian] (Мержаниан А.С. Виноградарство. 3-е изд. Москва: Колос; 1967).
- Negrul A.M. Viticulture with the fundamentals of ampelography and breeding (Vinogradarstvo s osnovami ampelografii i selektsii.). Moscow: Selkhozgiz; 1952. [in Russian] (Негрюль А.М. Виноградарство с основами ампелографии и селекции. Москва: Сельхозгиз; 1952).
- Negrul A.M., Gordееva L.N., Kalmykova T.I. Ampelography with the fundamentals of viticulture (Ampelografiya s osnovami vinogradarstva). Moscow: Vysshaya shkola; 1979. [in Russian] (Негрюль А.М., Гордеева Л.Н., Калмыкова Т.И. Ампелография с основами виноградарства. Москва: Высшая школа; 1979).
- Nosulchak V.A. Ampelographic collection at the Turkmen Experimental Station of VIR (Ampelograficheskaya kolleksiya Turkmenskoy opytnoy stantsii VIR). In: *Histories of the Establishment of Ampelographic Collections in Russia and Some Foreign Countries (Istorii sozdaniya ampelokollektsiy Rossii i nekotorykh zarubezhnykh stran)*. Krasnodar; 2024. p.51-190. [in Russian] (Носульчак В.А. Ампелографическая коллекция Туркменской опытной станции ВИР. В кн.: *Истории создания ампелоколлекций России и некоторых зарубежных стран*. Краснодар; 2024. С.51-190).
- Nosulchak V.A. Grapes in the scientific works of Academician N.I. Vavilov (Vinograd v nauchnykh trudakh akademika N.I. Vavilova). Krasnodar; 2013. [in Russian] (Носульчак В.А. Виноград в научных трудах академика Н.И. Вавилова. Краснодар; 2013).
- Nosulchak V.A. Varietal composition of grapevine plantations in Krasnodar Territory: past and present (Sortovoy sostav vinogradnykh nasazhdeniy Krasnodarskogo kraia: proshloye i nastoyashcheye). Krasnodar; 2022. [in Russian] (Носульчак В.А. Сортовой состав виноградных насаждений Краснодарского края: прошлое и настоящее. Краснодар; 2022).
- Nosulchak V.A. Varietal composition of grapevine plantations in the USSR: based on the All-Union census of 1940, 1947, 1953, 1970, and 1984 (Sortovoy sostav vinogradnykh nasazhdeniy

- SSSR: po materialam Vsesoyuznoy perepisi 1940, 1947, 1953, 1970 i 1984 gg.). Krasnodar; 2015. [in Russian] (Носульчак В.А. Сортовой состав виноградных насаждений СССР: по материалам Всесоюзной переписи 1940, 1947, 1953, 1970 и 1984 гг. Краснодар; 2015).
- Nosulchak V.A., Smurygin A.S., Troshin L.P. Collection, preservation and analysis of the grapevine genepool in Russia (Sbor, sokhraneniye i analiz genofonda vinograda Rossii). *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2006;(19):107-134. [in Russian] (Носульчак В.А., Смургин А.С., Трошин Л.П. Сбор, сохранение и анализ генофонда винограда России. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2006;(19):107-134).
- Novikova L.Yu., Lebedeva E.G. Program for forecasting the response of grapevine cultivars to climate change VITIS TIME SERIES (Programma dlya prognozirovaniya reaktsii sortov vinograda na izmeneniya klimata VITIS TIME SERIES). Russian Federation; computer program state registration certificate number: 2019664805; 2019. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Лебедева Е.Г. Программа для прогнозирования реакции сортов винограда на изменения климата VITIS TIME SERIES. Российская Федерация; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664805; 2019).
- Novikova L.Yu., Ozerski P.V. Forecast for the zone of viticulture in European Russia under climate change. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(3):264-271. DOI: [10.18699/VJGB-22-33](https://doi.org/10.18699/VJGB-22-33)
- Sekridova A.V., Kislin E.N., Zaharin V.A., Kharchenko P.N., Shilov I.A. Molecular genetic analysis of autochthonous grape varieties (*Vitis vinifera* L.) from different ecological and geographical proles. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;(2):13-18. [in Russian] (Секридова А.В., Кислин Е.Н., Захарин В.А., Харченко П.Н., Шилов И.А. Молекулярно-генетический анализ автохтонных сортов винограда (*Vitis vinifera* L.) различных эколого-географических групп. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022;(2):13-18). DOI: [10.31857/S250026272202003X](https://doi.org/10.31857/S250026272202003X)
- Troshin L.P., Sviridenko I.A. Resistant grapevine cultivars (Ustoychivye sorta vinograda). Simferopol: Tavria; 1988. [in Russian] (Трошин Л.П., Свириденко И.А. Устойчивые сорта винограда. Симферополь: Таврия; 1988).
- Troshin L.P., Talash A.I., Nosulchak V.A. Tolerance of Kuban grapevine cultivars (Tolerantnost sortov vinograda Kubani). Krasnodar; 2021. [in Russian] (Трошин Л.П., Талаш А.И., Носульчак В.А. Толерантность сортов винограда Кубани. Краснодар; 2021).

Информация об авторах

Магамедгусейн Магамедганифович Агаханов, кандидат биологических наук, директор филиала, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, 404160 Россия, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, Краснослободск, квартал Опытная станция ВИР, 30, m.agahanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2438-9156>

Евгений Николаевич Кислин, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.kislin@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1832-894X>

Information about the authors

Magamedgusein M. Agakhanov, Cand. Sci. (Biology), Branch Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, 30 VIR Exp. Station Block, Krasnoslobodsk 404160, Russia, m.agahanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2438-9156>

Evgeny N. Kislin, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.kislin@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1832-894X>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 20.12.2024.

The article was submitted on 04.12.2024; approved after reviewing on 13.12.2024; accepted for publication on 20.12.2024.



К 90-летию почетного члена ВОГиС академика РАН Сергея Васильевича Шестакова

А. А. Нижников^{1, 2, 3}, Е. К. Хлесткина^{2, 4}, А. В. Кочетов^{2, 5}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Новосибирск, Россия

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

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

⁵ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Антон Александрович Нижников, a.nizhnikov@spbu.ru

В статье освещаются некоторые этапы жизненного пути, научные достижения и организационная деятельность академика РАН Сергея Васильевича Шестакова в связи с его 90-летним юбилеем. Сергей Васильевич Шестаков, доктор биологических наук, академик РАН, лауреат Государственной премии СССР и Золотой медали имени Н. И. Вавилова РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации и заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, является признанным специалистом в области геномики, молекулярной, радиационной и эволюционной генетики, геной инженерии микроорганизмов и растений. С. В. Шестаков внес значимый вклад в подготовку кадров и организацию науки, сыграл важную роль в восстановлении и развитии отечественной генетики: с 1980 г. заведовал кафедрой генетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), где способствовал модернизации учебного процесса, привлекая новое поколение преподавателей и оснащая кафедру современным оборудованием, развивая новые научные направления; в 1988–1991 гг. возглавлял Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова РАН (ИОГен), где разработал государственную программу «Приоритетные направления генетики», подготовил более 40 кандидатов и 5 докторов наук.

От лица Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС) сердечно поздравляем Сергея Васильевича с юбилеем и желаем крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов и развития возглавляемой им научной школы!

Ключевые слова: ВОГиС, биотехнология, генетика, геном прокариот, молекулярная биология, Московский государственный университет, научная школа, Российская академия наук

Для цитирования: Нижников А.А., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В. К 90-летию почетного члена ВОГиС академика РАН Сергея Васильевича Шестакова. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):103-108.

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

© Нижников А.А., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В., 2024

Brief communication

On the 90th anniversary of academician Sergei Vasilievich Shestakov, full member Russian Academy of Sciences and honorary member of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders

Anton A. Nizhnikov^{1,2,3}, Elena K. Khlestkina^{2,4}, Alexey V. Kochetov^{2,5}

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

² Vavilov Society of Geneticists and Breeders, Novosibirsk, Russia

³ All-Russia Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

⁴ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

⁵ Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Corresponding author: Anton Alexandrovich Nizhnikov, a.nizhnikov@spbu.ru

This article highlights several stages in the life, scientific achievements, and organizational activities of Academician Sergei Vasilievich Shestakov, full member of the Russian Academy of Sciences (RAS) on the occasion of his 90th birthday. Sergei Vasilievich Shestakov, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, laureate of the USSR State Prize and the N.I. Vavilov Gold Medal of the RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, and Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, is a recognized expert in the fields of genomics, molecular, radiation genetics and evolutionary genetics, and genetic engineering of microorganisms and plants. S.V. Shestakov made a significant contribution to the training of researchers and organization of science, and played a key role in the restoration and development of genetics in Russia: since 1980, he has headed the Department of Genetics at Lomonosov Moscow State University (MSU), where he contributed to the modernization of the educational process, attracting a new generation of faculty, equipping the department with modern equipment, and developing new research areas; From 1988 to 1991, he headed the N.I. Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences (IOGen), where he developed the state program «Priority Areas of Genetics» and supervised over 40 PhD candidates and 5 doctors of science. On behalf of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), we congratulate Academician Sergei Vasilyevich Shestakov on his anniversary and wish him good health, continued creative success, and the development of the scientific school he leads!

Keywords: VOGiS, biotechnology, genetics, prokaryotic genome, molecular biology, Moscow State University, scientific school, Russian Academy of Sciences

For citation: Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., Kochetov A.V. On the 90th anniversary of academician Sergei Vasilievich Shestakov, full member Russian Academy of Sciences and honorary member of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders. *VIR Bulletin*. 2024;(243):103-108. (In Russ.).

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

© Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., Kochetov A.V., 2024

23 ноября 2024 года выдающийся биолог, академик РАН Сергей Васильевич Шестаков отметил 90-летний юбилей. Его научная деятельность, охватывающая более полувека, стала неотъемлемой частью истории отечественной и мировой генетики (Shestakov, 1964; Shestakov, 1974; Academician Sergei..., 2024; Biographical information..., 2024; Honorary members..., 2024; Sergei Vasilyevich..., 2024;).

Сергей Васильевич Шестаков родился 23 ноября 1934 года в Ленинграде. В 1957 году окончил биолого-почвенный факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова), а в 1960 был принят на кафедру генетики МГУ в качестве младшего научного сотрудника. В 1964 году Сергей Васильевич защитил кандидатскую диссертацию на тему «Стабилизация мышечной пироватдегидрогеназы имидазольными соединениями» (Shestakov, 1964), в 1974 году защитил докторскую диссертацию на тему «Генетика одноклеточных синезеленых водорослей» (Shestakov, 1974). В 1978 году С. В. Шестаков получил звание профессора, в 1987 избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 2000 году стал действительным членом Российской академии наук (Sergei Vasilyevich..., 2024).

Сергей Васильевич Шестаков – признанный специалист в области геномики, молекулярной, радиационной и эволюционной генетики, геномной инженерии микроорганизмов и растений. Среди его ключевых открытий: открытие явления генетической трансформации у цианобактерий (Shestakov, Khyen, 1970); разработка основ генетики и генетической инженерии цианобактерий; построение физической и генетической карт модельной цианобактерии; клонирование и изучение функций ранее неизвестных генов, создание системы генетических векторов цианобактерий; получение мутантных штаммов-продуцентов аммиака, водорода и биологически активных соединений; формирование уникальной коллекции мутантов азотфиксирующих фототрофных бактерий; экспериментальное обоснование схемы генетического контроля взаимодействия систем генетического и азотистого метаболизма у фототрофных бактерий (Academician Sergei..., 2024). Его работы по мутагенезу, рекомбинации, регуляции действия генов, генетике фотосинтеза и азотфиксации получили международное признание (Shestakov, Khyen, 1970; Anbudurai et al., 1994; Churin et al., 1995; Shestakov et al., 1994; Shestakov, 2002; Sokolenko et al., 2002; Ravin, Shestakov, 2013).

Академик Шестаков внес весомый вклад в организацию научной деятельности: в 1966 году стал ученым секретарем Учредительного съезда Всесоюзного общества генетиков и селекционеров, созданного в связи с реабилитацией генетики для содействия развитию отечественной генетики после нескольких десятилетий гонений на нее. Являлся вице-президентом Общества. Внес огромный вклад в развитие ВОГиС. В 2004 году кафедра генетики МГУ совместно с Институтом общей генетики им. Н.И. Вавилова осуществили организацию и проведение третьего, а в 2009 г. – пятого съезда ВОГиС; в 2016 г. С. В. Шестаков был председателем юбилейной Всерос-

сийской конференции «50 лет ВОГиС: успехи и перспективы» (Shestakov, 1974; Academician Sergei..., 2024) (рис. 1, рис. 2). Исторический факт: удостоверение Всесоюзного общества генетиков и селекционеров за номером 1 выдано в 1966 году Шестакову Сергею Васильевичу. В 2014 году Сергею Васильевичу было присвоено звание «Почетный член ВОГиС».

С 1980 г. С.В. Шестаков заведовал кафедрой генетики МГУ, где способствовал модернизации учебного процесса, привлекая новое поколение преподавателей и оснащая кафедру современным оборудованием, развивая новые научные направления, включая генетику фотосинтеза и азотфиксации, генетику соматических клеток, генетику развития растений и геномную инженерию (Academician Sergei..., 2024).

В 1988–1991 гг. Сергей Васильевич Шестаков возглавлял Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова РАН, где разработал государственную программу «Приоритетные направления генетики». В 1991–2003 гг. руководил Международным биотехнологическим центром МГУ. Много лет возглавлял Координационный совет «Науки о жизни» в МГУ (Biographical information..., 2024).

Сергей Васильевич в течение многих лет являлся главным редактором журнала «Генетика», состоит в редакционных советах ключевых отечественных рецензируемых журналов по профилю «Генетика» и «Молекулярная биология», редактором целого ряда других значимых научных периодических изданий. С 2013 года является членом редакционного совета «Большой Российской Энциклопедии» (Academician Sergei..., 2024).

Огромное внимание Сергей Васильевич уделяет педагогической деятельности и вопросам подготовки кадров, а также популяризации науки. На протяжении десятилетий С. В. Шестаков читал курсы лекций по молекулярной генетике, метагеномике, генетике. Организовал первый практикум по биохимической генетике в МГУ (1961). Сергей Васильевич подготовил более 40 кандидатов и 5 докторов наук (Academician Sergei..., 2024; Sergei Vasilyevich..., 2024). Он является заслуженным профессором МГУ и приглашенным профессором ряда зарубежных университетов.

Научные достижения С. В. Шестакова отмечены престижными наградами:

- Государственная премия СССР (1987) за цикл работ по биологии и биотехнологии фотосинтезирующих микроорганизмов;
- Ломоносовская премия МГУ (1995) за цикл работ «Молекулярная генетика фотосинтеза и азотфиксации»;
- Золотая медаль имени Н. И. Вавилова РАН (1997);
- звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (1997);
- звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации» (2011);
- Звание «Заслуженный профессор Московского университета» (2000);
- медаль Пауля Эрлиха (ФРГ, 2006);
- серебряная медаль Международного биографи-

ческого центра в Кембридже (2000) (Academician Sergei..., 2024).

Отмечая юбилей Сергея Васильевича Шестакова, научное сообщество отмечает и вклад его поколения – поколения исследователей, внесших неоценимый вклад в возрождение, становление и развитие отечественной генетики. Его жизнь и профессиональная деятельность остаются примером беззаветного служения науке и стремления к познанию. Научная школа С. В. Шестакова развивается, идеи находят применение в современных

исследованиях, а ученики работают в научных учреждениях России и многих стран мира. В возрасте 90 лет Сергей Васильевич остается активным участником научного сообщества, продолжая вносить вклад в развитие генетики и организацию генетической науки.

От лица Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС) сердечно поздравляем Сергея Васильевича с Юбилеем и желают крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов и развития возглавляемой им научной школы!



Рис. 1. С. В. Шестаков открывает юбилейную Всероссийскую конференцию «50 лет ВОГиС: успехи и перспективы», которая состоялась в Президиуме РАН и ИОГен РАН 8–10 ноября 2016 г.

Fig. 1. S. V. Shestakov opens the Anniversary All-Russian Conference “50 Years of VOGiS: Achievements and Prospects”, which took place in the Presidium of the Russian Academy of Sciences and the Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences on November 8–10, 2016.



Рис. 2. С. В. Шестаков вручает юбилейные медали «50 лет ВОГиС».
Слева направо академики РАН Г. П. Георгиев, С. В. Шестаков, С. Г. Инге-Вечтомов

Fig. 2. S. V. Shestakov presents the jubilee medals "50 years of VOGiS".
From left to right: RAS academicians G. P. Georgiev, S. V. Shestakov, S. G. Inge-Vechtomov

References / Литература

- Academician Sergei Vasilyevich Shestakov turns 90! (Akademiku Shestakovu Sergeyu Vasil'yevichu - 90 let!). *Russian Academy of Sciences*: [website]. [in Russian] (Академику Шестакову Сергею Васильевичу - 90 лет! *Российская академия наук*: [сайт]). URL: <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=1107b659-d870-4c2d-acc3-93c23a1bfb0c> [дата публикации: 23.11.2024].
- Anbudurai P.R., Mor T.S., Ohad I., Shestakov S.V., Pakrasi H.B. The *ctpA* gene encodes the C-terminal processing protease for the D1 protein of the photosystem II reaction center complex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1994;91(17):8082-8086. DOI: [10.1073/pnas.91.17.8082](https://doi.org/10.1073/pnas.91.17.8082)
- Biographical information and list of scientific works of S. V. Shestakov (Biograficheskaya spravka i spisok nauchnykh trudov S. V. Shestakova). Archive of the Department of Genetics, Faculty of Biology, Moscow State University. Москва; 2024. [in Russian] (Биографическая справка и список научных трудов С. В. Шестакова. Архив кафедры генетики биологического факультета МГУ. Москва; 2024).
- Churin Y.N., Shalak I.N., Börner T., Shestakov S.V. Physical and Genetic Map of the Chromosome of the Unicellular Cyanobacterium *Synechocystis* sp. Strain PCC 6803. *Journal of bacteriology*. 1995;177(11):3337-3343. DOI: [10.1128/jb.177.11.3337-3343.1995](https://doi.org/10.1128/jb.177.11.3337-3343.1995)
- Honorary members of VOGiS. Shestakov Sergey Vasilievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State University (Moscow). *Vavilov Society of Geneticists and Breeders*: [website]. [in Russian] (Почетные члены ВОГиС. Шестаков Сергей Васильевич, академик РАН, МГУ (Москва). *Вавиловское общество генетиков и селекционеров*: [сайт]). URL: https://vogis.org/?page_id=34 [дата обращения: 16.11.2025].
- Ravin N.V., Shestakov S.V. Prokaryotic genome (Genom prokariot). *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(4-2):972-984. [in Russian] (Равин Н.В., Шестаков С.В. Геном прокариот. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(4-2):972-984. URL: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/216> [дата обращения: 16.11.2025].
- Sergei Vasilyevich Shestakov is 90 years old (90 let Sergeyu Vasil'yevichu Shestakovu). *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology*: [website]. [in Russian] (90 лет Сергею Васильевичу Шестакову. *Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*: [сайт]). URL: <https://bio.msu.ru/2024/11/23/90-let-sergeyu-vasilyevichu-shestakovu/> [дата публикации: 23.11.2024].
- Shestakov S. V. Gene-targeted and site-directed mutagenesis of photosynthesis genes in cyanobacteria. *Photosynthesis Research*. 2002;73:279-284. DOI: [10.1023/A:1020432004692](https://doi.org/10.1023/A:1020432004692)
- Shestakov S. V. Genetics of unicellular blue-green algae (Genetika odnokletochnykh sinezelenykh vodorosley): [dissertation]. Moscow: Moscow State University; 1974. [in Russian] (Шестаков С. В. Генетика одноклеточных синезеленых водорослей: дис. ... д-ра биол. наук. Москва: МГУ; 1974).
- Shestakov S. V. Stabilization of muscle pyruvate dehydrogenase by imidazole compounds (Stabilizatsiya myshechnoy piruvatdegidrogenazy imidazol'nyimi soyedineniyami): [dissertation]. Moscow: Moscow State University; 1964. [in Russian] (Шестаков С. В. Стабилизация мышечной пироватдегидрогеназы имидазольными соединениями: дис. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ; 1964).
- Shestakov S.V., Anbudurai P.R., Stanbekova G.E., Gadzhiev A., Lind L.K., Pakrasi H.B. Molecular cloning and characterization of the *ctpA* gene encoding a carboxyl-terminal processing protease. Analysis of a spontaneous photosystem II-deficient mutant strain of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803. *The Journal of biological chemistry*. 1994;269(30):19354-19359.
- Shestakov S.V., Khyen N.T. Evidence for genetic transformation in blue-green alga *Anacystis nidulans*. *Molecular and General Genetics*. 1970;107(4):372-375. DOI: [10.1007/BF00441199](https://doi.org/10.1007/BF00441199)
- Sokolenko A., Pojidaeva E., Zinchenko V., Panichkin V., Glaser V.M., Herrmann R.G., Shestakov S.V. The gene complement for proteolysis in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 and *Arabidopsis thaliana* chloroplasts. *Current genetics*. 2002;41(5):291-310. DOI: [10.1007/s00294-002-0309-8](https://doi.org/10.1007/s00294-002-0309-8)

Информация об авторах

Антон Александрович Нижников, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор, заведующий кафедрой генетики биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; вице-президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, 3; заведующий лабораторией протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, 3; a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

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

Алексей Владимирович Кочетов, доктор биологических наук, академик РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 10; президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), Россия, Новосибирск-Санкт-Петербург, ak@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

Information about the authors

Anton A. Nizhnikov, Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Embankment, Saint Petersburg, 199034 Russia; Vice-President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), 3 Podbelskogo Highway, Pushkin 8, Saint Petersburg, 196608 Russia; Head of the Laboratory of Proteomics of Supraorganismal Systems, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology (VNIISKHM), 3 Podbelskogo Highway, Pushkin 8, Saint Petersburg, 196608 Russia; a.nizhnikov@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

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

Alexey V. Kochetov, Dr. Sci. (Biology), Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, Institute of Cytology and Genetics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentieva Ave., 10; President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk-St. Petersburg, Russia, ak@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 20.12.2024.

The article was submitted on 04.12.2024; approved after reviewing on 13.12.2024; accepted for publication on 20.12.2024.

Журнал основан в 1956 г. / The journal was founded in 1956
Издание возобновлено в 2024 г. / Its publication was restarted in 2024
Периодичность: 4 выпуска в год / Publication frequency: 4 issues a year
Языки: русский, английский / Languages: Russian, English
Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts:
<https://vir-bulletin.ru/>

Сетевое издание (научный журнал) «Бюллетень ВИР» / «VIR Bulletin» – правопреемник научного журнала «Бюллетень Всесоюзного института растениеводства», издаваемого в г. Ленинграде с 1956 г.

До 2003 г. журнал несколько раз менял название: «Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина института растениеводства имени Н.И. Вавилова», «Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова», «Бюллетень Всесоюзного ордена Ленина и ордена Дружбы народов научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова» (1968–1982); «Научно-технический бюллетень Всесоюзного ордена Ленина и ордена Дружбы народов научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», «Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», «Научно-технический бюллетень Научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова», «Научно-технический бюллетень Всероссийского института растениеводства имени Н.И. Вавилова» (1983–1999); Научно-информационный бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова (2000–2003).

Сетевое издание (научный журнал) «Бюллетень ВИР» / «VIR Bulletin» – это рецензируемое научное периодическое издание открытого доступа (Open Access Journal), не имеющее печатной формы, в котором публикуются оригинальные результаты исследований, обзорные статьи, протоколы и методы в сфере создания, формирования, сохранения, изучения и использования коллекций генетических ресурсов растений на основе современных знаний и методов систематики, генетики, селекции и биотехнологии.

Цель журнала – обеспечение возможности российским и зарубежным ученым, специалистам оперативной публикации результатов научных исследований при условии качественного рецензирования рукописей по основным предметными областям: биологические ресурсы растений, ботаника, генетика, селекция.

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

Прием статей осуществляется через электронную почту редакции virbulletin@vir.nw.ru
За обработку и опубликование материалов средства с авторов не взимаются /
Please send your manuscripts to the editors' email virbulletin@vir.nw.ru
No fee is charged for processing and publication of your manuscripts

Научные редакторы: д.б.н. Е.А. Соколова, к.б.н. И.Г. Чухина
Редактор: И.В. Котелкина
Переводчики: А.Г. Крылов, С.В. Шувалов
Корректоры: Ю.С. Чепель-Малая, А.Г. Крылов
Компьютерная верстка: Г.К. Чухин

Адрес редакции:
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42
Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: virbulletin@vir.nw.ru; i.kotielkina@vir.nw.ru

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

Подписано в печать 25.12.2024.
Дата выхода в свет 29.12.2024.
Формат 70×100¹/₈

Издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР)
Издание подготовлено редакционно-издательским сектором ВИР

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

