

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА (ВИР)**

---

**ТРУДЫ  
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,  
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 183  
выпуск 3**

**(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2022**

---

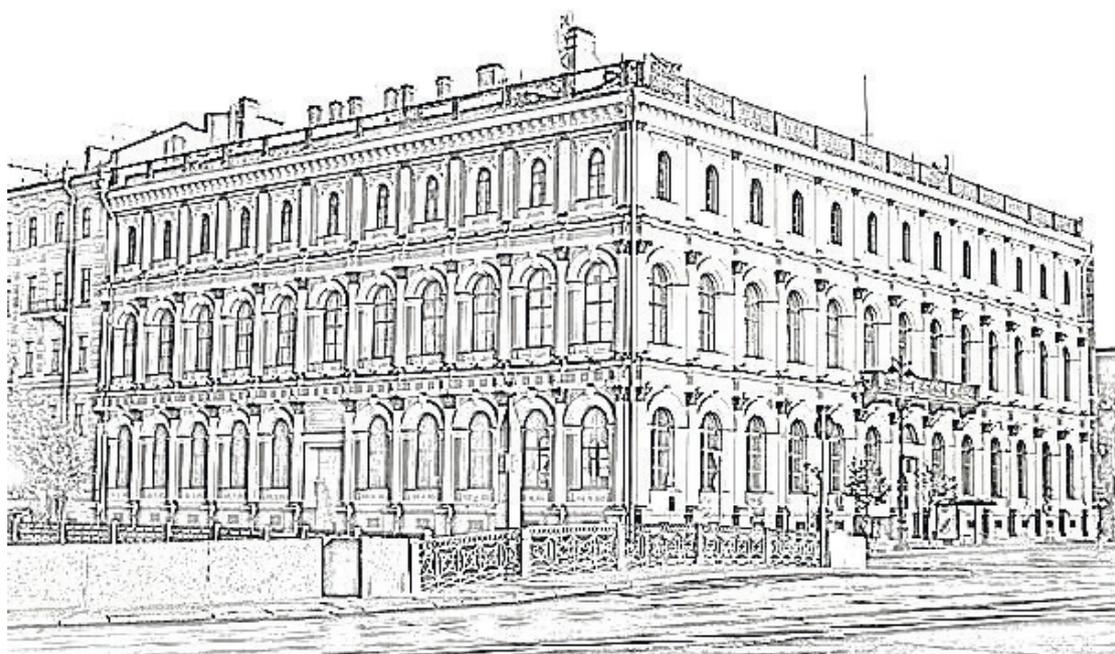
**PROCEEDINGS  
ON APPLIED BOTANY, GENETICS  
AND BREEDING, vol. 183  
issue 3**

**(founded by Robert Regel in 1908)**

**ST. PETERSBURG  
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений  
имени Н.И. Вавилова (ВИР)

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)





Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
**Свидетельство о регистрации** ПИ № ФС 77 - 57455 от 27.03.2014  
**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

**Главный редактор**

*Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)*

**Заместители главного редактора**

*Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)  
Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)  
Митрофанова Ольга Павловна, д-р биол. наук (Россия)*

**Ответственный секретарь**

*Шпилина Лилия Юрьевна, канд. биол. наук (Россия)*

**Редакционная коллегия**

*Анисимова Ирина Николаевна, д-р биол. наук (Россия)  
Брач Нина Борисовна, д-р биол. наук (Россия)  
Гавриленко Татьяна Андреевна, д-р биол. наук (Россия)  
Голохваст Кирилл Сергеевич, д-р биол. наук, профессор РАН, чл.-кор. РАО (Россия)  
Горина Валентина Милентьевна, д-р с.-х. наук (Россия)  
Добровольская Оксана Борисовна, д-р биол. наук (Россия)  
Дорофеев Владимир Иванович, д-р биол. наук (Россия)  
Зотеева Надежда Мубаровна, д-р биол. наук (Россия)  
Корзун Виктор Николаевич, д-р биол. наук (Германия)  
Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)  
Матвеева Татьяна Валерьевна, д-р биол. наук (Россия)  
Медведев Сергей Семенович, д-р биол. наук (Россия)  
Мироненко Нина Васильевна, д-р биол. наук (Россия)  
Митрофанова Ирина Вячеславовна, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН (Россия)  
Радченко Евгений Евгеньевич, д-р биол. наук (Россия)  
Рашаль Исаак, д-р биол. наук, профессор (Латвия)  
Родионов Александр Викентьевич, д-р биол. наук (Россия)  
Силантьева Марина Михайловна, д-р биол. наук (Россия)  
Солодухина Ольга Владимировна, д-р биол. наук (Россия)  
Турусбеков Ерлан Кенесбекович, канд. биол. наук, профессор (Казахстан)  
Ухатова Юлия Васильевна, канд. биол. наук (Россия)  
Филипенко Галина Ивановна, канд. с.-х. наук (Россия)  
Хатевов Эдуард Балилович, д-р биол. наук (Россия)  
Чухина Ирина Георгиевна, канд. биол. наук (Россия)*

**Редакционный совет**

*Афанасенко Ольга Сильвестровна, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)  
Баталова Галина Аркадьевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)  
Бервилле Андре, д-р (Франция)  
Бёрнер Андреас, д-р (Германия)  
Беспалова Людмила Андреевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)  
Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)  
Голубец Войтех, д-р (Чехия)  
Гончаров Николай Петрович, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)  
Дидерихсен Аксель, д-р (Канада)  
Дука Мария Васильевна, д-р биол. наук, профессор, академик АН Молдовы (Молдова)  
Еремин Геннадий Викторович, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)  
Кильчевский Александр Владимирович, д-р биол. наук, профессор, академик НАН Беларуси (Беларусь)  
Левитин Марк Михайлович – д-р биол. наук, профессор, академик РАН (Россия)  
Морзунов Алексей Иванович, д-р (Турция)  
Муминджанов Хафиз Абдувахобович, д-р биол. наук, профессор (Турция, Таджикистан)  
Тихонович Игорь Анатольевич, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)  
Фризен Николай Вальтерович, д-р биол. наук, профессор (Германия)  
Хаммер Карл, д-р, профессор (Германия)*

**Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**

**2022 Volume 183 issue 3**

**DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3**  
**<https://elpub.vir.nw.ru>**

**Scientific Peer-Reviewed Journal**  
**Founded in 1908**



**Founder:** Federal Research Center  
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources

**Editor-in-chief**

*Elena K. Khlestkina*, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia

**Deputy editor-in-chief**

*Margarita A. Vishnyakova*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Igor G. Loskutov*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Olga P. Mitrofanova*, Dr. Sci. (Biology), Russia

**Executive secretary**

*Lilia Yu. Shipilina*, Cand. Sci. (Biology), Russia

**Editorial board**

*Irina N. Anisimova*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Nina B. Brutch*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Irena G. Chukhina*, Cand. Sci. (Biology), Russia

*Oxana B. Dobrovolskaya*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Vladimir I. Dorofeev*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Galina I. Filipenko*, Cand. Sci. (Agriculture), Russia

*Tatjana A. Gavrilenko*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Kirill S. Golokhvast*, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Corr. Member of the RAE, Russia

*Valentina M. Gorina*, Dr. Sci. (Agriculture), Russia

*Eduard B. Khatefov*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Viktor N. Korzun*, Dr. Sci. (Biology), Germany

*Igor G. Loskutov*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Tatyana V. Matveeva*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Sergey S. Medvedev*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Nina V. Mironenko*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Irina V. Mitrofanova*, Dr. Sci. (Biology), Corr. Member of the RAS, Russia

*Evgeny E. Radchenko*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Īzaks Rašals*, Dr. Sci. (Biology), Professor, Latvia

*Aleksandr V. Rodionov*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Marina M. Silantjeva*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Ol'ga V. Soloduhina*, Dr. Sci. (Biology), Russia

*Erlan K. Turuspekov*, Cand. Sci. (Biology), Professor, Kazakhstan

*Yulia V. Ukhatova*, Cand. Sci. (Biology), Russia

*Nadezhda M. Zoteeva*, Cand. Sci. (Biology), Russia

**Editorial council**

*Olga S. Afanasenko*, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Galina A. Batalova*, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Andre Jean Berville*, Dr., France

*Lyudmila A. Bespalova*, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Andreas Börner*, Dr., Germany

*Axel Diederichsen*, Dr., Canada

*Maria V. Duca*, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the Academy of Sciences of Moldova, Republic of Moldova

*Gennady V. Eremin*, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Nikolai Friesen*, Dr. habil., Professor, Germany

*Nikolay P. Goncharov*, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Karl Hammer*, Dr., Professor, Germany

*Vojtech Holubec (Vojtěch Holubec)*, Dr., Czech Republic

*Alexander V. Kilchevsky*, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

*Mark M. Levitin*, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Alexey I. Morgounov*, Dr., Turkey

*Hafiz Muminjanov*, Dr. Sci. (Biology), Professor, Turkey, Tajikistan

*Igor A. Tikhonovich*, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

*Margarita A. Vishnyakova*, Dr. Sci. (Biology), Russia

**Ответственные редакторы выпуска**

*Хлесткина Елена Константиновна*, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)

*Соколова Елена Александровна*, д-р биол. наук (Россия)

**Редактор-переводчик**

*Крылов Антон Георгиевич* (Россия)

Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции / Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2022. Т. 183, вып. 3. 228 с.

Показана возможность использования транскрипционного фактора риса OsGATA в трансгенных линиях продуктивных сортов пшеницы для повышения их толерантности к засолению. Рассмотрена генотипическая вариабельность функционирования фотосистемы II листьев пленчатого и голозерного овса. Определено качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана. Дана оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro*. Проанализирована зависимость качества волокна хлопчатника от погодных условий восточной зоны Ставропольского края. Описаны химический состав и антибактериальная активность эфирных масел образцов *Amomum longiligulare* из Вьетнама. В условиях Среднего Поволжья исследована скороспелость образцов яровой мягкой пшеницы. Изучено разнообразие окраски зерновки ячменя в коллекции ВИР. Индексы засухоустойчивости использованы при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актыубинской области. Исследованы алюмотолерантность и микроэлементный состав зерновки сортов овса из коллекции ВИР с различной степенью селекционной проработки. Создан исходный материал для селекции гороха методом химического мутагенеза, и оценено его генетическое разнообразие с использованием SSR-маркеров. У нового сорта овса посевного 'Тобольяк' изучено аллельное состояние проламинов-кодирующих локусов. Дана характеристика межлинейных гибридов F<sub>1</sub> арбуза столового по степени доминирования и величине истинного и гипотетического гетерозиса. Описан новый сорт кострца безостого 'Гвардеец' Тюменской селекции. Охарактеризованы представители рода *Opuntia* (Cactaceae), натурализовавшиеся в Крыму, и показано их распространение. По гербарным коллекциям и результатам экспедиций составлен конспект рода *Juniperus* L., произрастающего в Казахстане. В природных местообитаниях и в условиях культуры на Южном Урале проведен сравнительный анализ показателей морфологии и семенной продуктивности редких видов рода *Iris* L. Обсуждаются отдельные важные положения Международного кодекса номенклатуры культурных растений, способствующие разрешению проблем таксономии и номенклатуры, с которыми сталкиваются работающие с культурными растениями специалисты. Разработана оценка размеров и формы ягод жимолости с использованием программы ImageJ. Изучена ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений к мучнистой росе. *Solanum nigrum* L. впервые выявлен как резервуар вириода веретеновидности клубней картофеля. Публикуется «Выборочный список "Каталогов мировой коллекции ВИР" по зернобобовым культурам за 1963–2022 гг. и кормовым культурам за 1961–2019 гг.».

Для ресурсоведов, ботаников, генетиков, селекционеров, преподавателей вузов биологического и сельскохозяйственного профиля.

ISSN 2227-8834 (Print)

ISSN 2619-0982 (Online)

© Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 2022

**Editor in charge of this issue**

*Elena K. Khlestkina*, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia

*Elena A. Sokolova*, Dr. Sci. (Biology), Russia

**Editor&Translator**

*Anton G. Krylov*, Russia

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding / N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. St. Petersburg : VIR, 2022. Vol. 183, iss. 3. 228 p.

A possibility of using the OsGATA rice transcription factor in transgenic lines of high-yielding wheat cultivars to increase their tolerance to salinity is shown. The genotypic variability in the functioning of photosystem II in the leaves of covered and naked oats is discussed. The grain quality of spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) developed in Western Siberia has been tested under the conditions of Northern Kazakhstan. Cold resistance in *Momordica charantia* L. accessions has been assessed according to their pollen germination at low temperatures *in vitro*. The interplay between cotton fiber quality and weather conditions has been analyzed in the eastern area of Stavropol Territory. The chemical composition and antibacterial activity of *Amomum longiligulare* essential oils from Vietnam are shown. Earliness of spring bread wheat accessions has been studied under the conditions of the Middle Volga Region. Grain color diversity has been analyzed in the barley collection of VIR. Drought resistance indices have been used to study the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region. Aluminum tolerance and micronutrient content have been measured in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection. Source material for pea breeding has been developed through chemical mutagenesis, and its genetic diversity has been evaluated using SSR markers. The allelic state of prolamins-coding loci was studied in the new oat cultivar 'Tobolyak'. Interline table watermelon F<sub>1</sub> hybrids are characterized in the context of the degrees of dominance and indices of true and hypothetical heterosis. A new awnless brome cultivar developed in Tyumen Province, 'Gvardeets', is described. *Opuntia* (Cactaceae) representatives naturalized in Crimea and their distribution are discussed. A conspectus of the genus *Juniperus* L. growing in Kazakhstan has been compiled on the basis of herbarium collection inventories and plant explorations. Morphological and seed productivity indicators have been compared in rare *Iris* L. spp. within their natural habitats and under cultivation in the Southern Urals. Some important provisions of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants that could help to solve the problems of taxonomy and nomenclature faced by crop experts are considered. The size and shape of honeysuckle berries have been assessed using the ImageJ program. Juvenile resistance to powdery mildew has been analyzed in barleys from the East Asian center of crop origin and domestication. *Solanum nigrum* L. has been for the first time identified as a potato spindle tuber viroid reservoir. A selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on grain legumes for 1963–2022 and fodder crops for 1961–2019 is published.

Addressed to genetic resources experts, geneticists, plant breeders and lecturers of biological and agricultural universities and colleges.

ISSN 2227-8834

ПИ № ФС77-57455

© Federal Research Center  
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

---

- Вербицкая А.А., Егорова А.С., Царькова Е.А., Гапоненко А.К.**  
Изучение влияния транскрипционного фактора OsGATA риза на толерантность пшеницы к солевому стрессу..... 9
- Лисицын Е.М., Чуракова С.А., Баталова Г.А.**  
Генотипическая вариабельность функционирования фотосистемы II листьев пленчатого и голозерного овса..... 17
- Утебаев М.У., Шелаева Т.В., Боме Н.А., Чилимова И.В., Крадецкая О.О., Дашкевич С.М., Новохатин В.В., Вайсфельд Л.И.**  
Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана..... 27
- Фотев Ю.В.**  
Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro*..... 39
- Ходжаева Н.А., Подольная Л.П.**  
Анализ зависимости качества волокна хлопчатника от погодных условий восточной зоны Ставропольского края..... 48
- Хунг Н., Тоан Н.Х.**  
Химический состав и антибактериальная активность эфирных масел *Amomum longiligulare* из Вьетнама..... 59

### КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

---

- Асхадуллин Д.-р.Ф., Асхадуллин Д.-л.Ф., Василова Н.З., Брыкова А.Н.**  
Скороспелость образцов яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья..... 66
- Глаголева А.Ю., Новокрещёнов Л.А., Шоева О.Ю., Ковалева О.Н., Хлесткина Е.К.**  
Изучение разнообразия окраски зерновки ячменя в коллекции ВИР..... 76
- Калыбекова Ж.Т., Цыганков В.И., Зуев Е.В., Новикова Л.Ю.**  
Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актыубинской области..... 85
- Лоскутов И.Г., Бутрис В., Косарева И.А., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю.**  
Алюмотолерантность и микроэлементный состав зерновки сортов овса из коллекции ВИР с различной степенью селекционной проработки..... 96

### ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

- Гайнуллина К.П., Кулуев Б.Р., Давлетов Ф.А.**  
Создание исходного материала для селекции гороха методом химического мутагенеза и оценка его генетического разнообразия с использованием SSR-маркеров..... 111
- Любимова А. В., Фомина М.Н., Еремин Д.И., Мамаева В.С., Мишечкина В.С., Брагин Н.А., Белоусов С.А., Брагина М.В.**  
Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного 'Тоболяк'..... 123

### ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

---

- Варивода Е.А., Байбакова Н.Г.**  
Характеристика межлинейных гибридов F<sub>1</sub> арбуза столового по степени доминирования и величине истинного и гипотетического гетерозиса..... 132
- Феоктистова Н.А., Леонидов Ю.Е.**  
Новый сорт костреца безостого 'Гвардеец' Тюменской селекции..... 140

## СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

<b>Багрикова Н.А., Перминова Я.А.</b> Характеристика и распространение натурализовавшихся в Крыму представителей рода <i>Opuntia</i> (Cactaceae).....	149
<b>Ермагамбетова М.М., Аbugалиева С.И., Турусбеков Е.К., Альмерекова Ш.С.</b> Конспект рода <i>Juniperus</i> L., произрастающего в Казахстане.....	161
<b>Крюкова А.В., Мустафина А.Н., Абрамова Л.М.</b> Сравнительные показатели морфологии и семенной продуктивности редких видов рода <i>Iris</i> L. в природных местообитаниях и в условиях культуры на Южном Урале.....	171
<b>Чухина И.Г., Мифтахова С.Р.</b> Русскоязычный перевод Международного кодекса номенклатуры культурных растений.....	183

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

<b>Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н., Ковалева О.Н., Радченко Е.Е.</b> Ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений по устойчивости к мучнистой росе .....	188
<b>Мироненко Н.В., Хютти А.В., Кырова Е.И., Лашина Н.М., Афанасенко О.С.</b> <i>Solanum nigrum</i> L. – резерватор вириода веретеновидности клубней картофеля .....	194

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

---

<b>Нохрин Д.Ю., Уфимцева Л.В., Глаз Н.В.</b> Оценка размеров и формы ягод с использованием программы ImageJ на примере жимолости .....	204
---	-----

## ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

---

<b>Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зернобобовым культурам за 1963–2022 гг. и кормовым культурам за 1961–2019 гг. ....</b>	<b>213</b>
--	------------

## CONTENTS

### STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

---

<b>Verbitskaia A.A., Egorova A.S., Tsarkova E.A., Gaponenko A.K.</b> Study of the influence of rice transcription factor <i>OsGATA</i> on salt stress tolerance in wheat .....	9
<b>Lisitsyn E.M., Churakova S.A., Batalova G.A.</b> Genotypic variability in the functioning of photosystem II in leaves of covered and naked oats .....	17
<b>Utebayev M.U., Shelaeva T.V., Bome N.A., Chilimova I.V., Kradetskaya O.O., Dashkevich S.M., Novokhatin V.V., Weisfeld L.I.</b> Grain quality of spring wheat ( <i>Triticum aestivum</i> L.) cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan .....	27
<b>Fotev Yu.V.</b> Assessment of cold resistance in <i>Momordica charantia</i> L. accessions according to pollen germination at low temperatures <i>in vitro</i> .....	39
<b>Khodzhaeva N.A., Podolnaya L.P.</b> Analysis of the relationship between cotton fiber quality and weather conditions in the southeast of Stavropol Territory .....	48
<b>Hung N., Toan N.H.</b> Chemical constituents and antibacterial activity of essential oils in <i>Amomum longiligulare</i> from Vietnam .....	59

### COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

---

<b>Askhadullin Damir F., Askhadullin Danil F., Vasilova N.Z., Brykova A.N.</b> Earliness of spring bread wheat accessions under the conditions of the Middle Volga Region .....	66
<b>Glagoleva A.Y., Novokreschyonov L.A., Shoeva O.Y., Kovaleva O.N., Khlestkina E.K.</b> Studying grain color diversity in the barley collection of VIR .....	76
<b>Kalybekova Zh.T., Tsygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu.</b> The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region .....	85
<b>Loskutov I.G., Butris V., Kosareva I.A., Blinova E.V., Novikova L.Yu.</b> Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection .....	96

### GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

<b>Gainullina K.P., Kuluev B.R., Davletov F.A.</b> Development of source material for pea breeding through chemical mutagenesis and evaluation of its genetic diversity using SSR markers .....	111
<b>Lyubimova A.V., Fomina M.N., Eremin D.I., Mamaeva V.S., Mishechkina V.S., Bragin N.A., Belousov S.A., Bragina M.V.</b> Allelic state of prolamin-coding loci in the new oat cultivar 'Tobolyak' .....	123

### DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

---

<b>Varivoda E.A., Baibakova N.G.</b> Characteristics of interline table watermelon F <sub>1</sub> hybrids according to the degrees of dominance and indices of true and hypothetical heterosis .....	132
<b>Feoktistova N.A., Leonidov Yu.E.</b> 'Gvardeets': a new awnless brome ( <i>Bromopsis inermis</i> ) cultivar developed in Tyumen Province .....	140

---

## SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

<b>Bagrikova N.A., Perminova Ya.A.</b> Characteristics and distribution of the <i>Opuntia</i> (Cactaceae) representatives naturalized in Crimea.....	149
<b>Yermagambetova M.M., Abugalieva S.I., Turuspekov Y.K., Almerekova S.S.</b> Conspectus of the genus <i>Juniperus</i> L. growing in Kazakhstan.....	161
<b>Kryukova A.V., Mustafina A.N., Abramova L.M.</b> Comparative indicators of morphology and seed productivity in rare <i>Iris</i> L. spp. within their natural habitats and under cultivation in the Southern Urals.....	171
<b>Chukhina I.G., Miftakhova S.R.</b> Russian translation of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants .....	183

---

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

<b>Abdullaev R.A., Anisimova I.N., Kovaleva O.N., Radchenko E.E.</b> Juvenile resistance of barleys from the East Asian center of crop origin and domestication to powdery mildew.....	188
<b>Mironenko N.V., Khiutti A.V., Kyrova E.I., Lashina N.M., Afanasenko O.S.</b> <i>Solanum nigrum</i> L. is a potato spindle tuber viroid reservoir .....	194

---

## BRIEF REPORTS

---

<b>Nokhrin D.Yu., Ufimtseva L.V., Glaz N.V.</b> Estimation of the size and shape of berries using the ImageJ program on the example of honeysuckle.....	204
--	-----

---

## HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

---

<b>Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on grain legumes for 1963–2022 and fodder crops for 1961–2019 .....</b>	<b>213</b>
--	------------

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 575.21:575.23:633.111.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-9-16



## Изучение влияния транскрипционного фактора OsGATA риса на толерантность пшеницы к солевому стрессу

А. А. Вербицкая<sup>1</sup>, А. С. Егорова<sup>2</sup>, Е. А. Царькова<sup>2</sup>, А. К. Гапоненко<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук, Москва, Россия<sup>2</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Алексеевна Вербицкая, timoshenko.alekseevna@gmail.com

В данном исследовании показана возможность использования транскрипционного фактора риса OsGATA в трансгенных линиях продуктивных сортов пшеницы для повышения их толерантности к засолению, что подтверждено физиологическими и биохимическими методами по стандартным протоколам. Растения пшеницы выращивались в условиях искусственного климата при оптимальных условиях вегетации. Для введения гена *GATA* в геном используемых генотипов пшеницы были использованы методы генетической трансформации. Отбор трансгенных линий проводился на селективных средах в условиях *in vitro*.

Результаты экспериментальной работы показали, что экспрессия гена *GATA* при солевом стрессе, возможно, ответственна за повышенную компартментализацию Na<sup>+</sup> в вакуоли, что обеспечивает улучшенную солевую толерантность. В результате исследований были изучены на солеустойчивость коллекции трансгенных линий T1 Zl.01, Zl.02, Zl.03 и Ag.02 мягкой яровой пшеницы сортов 'Злата', 'Эмир' и 'Агата'. Коллекции трансгенных линий T1, экспрессирующих ген *GATA*, были отобраны методом ПЦР. В условиях NaCl-засоления часть трансгенных линий показала статистически достоверное повышение устойчивости к засолению. Полученные результаты исследования заложили основу для изучения генов *GATA* в пшенице, для создания устойчивых к засолению линий без дефектов роста и снижения продуктивности.

**Ключевые слова:** солеустойчивость, генная инженерия, трансгенные линии, *GATA***Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-316-90063.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Вербицкая А.А., Егорова А.С., Царькова Е.А., Гапоненко А.К. Изучение влияния транскрипционного фактора OsGATA риса на толерантность пшеницы к солевому стрессу. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):9-16. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-9-16

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-9-16

**Studying the effect of the OsGATA rice transcription factor on salt stress tolerance in wheat**Anastasiia A. Verbitskaia<sup>1</sup>, Anna S. Egorova<sup>2</sup>, Elena A. Tsarkova<sup>2</sup>, Alexander K. Gaponenko<sup>2</sup><sup>1</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia<sup>2</sup> Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**Corresponding author:** Anastasiia Alekseevna Verbitskaia, timoshenko.alekseevna@gmail.com

This study shows the possibility of using the OsGATA rice transcription factor in transgenic lines of high-yielding wheat cultivars to increase their tolerance to salinity, which was confirmed using physiological and biochemical methods according to standard protocols. Wheat plants were grown in an artificial climate under optimal growing conditions. Genetic transformation methods were used to introduce the *GATA* gene into the genome of the used wheat genotypes. Transgenic lines were selected on selective media under *in vitro* conditions.

The results of the experimental work showed that the expression of the *GATA* gene under salt stress may be responsible for the increased compartmentalization of Na<sup>+</sup> in the vacuole, which provides improved salt tolerance. As a result of the experiment, collections of T1 transgenic wheat lines from cvs. 'Zlata', 'Emir' and 'Agata' expressing the *GATA* gene were obtained and studied for salt tolerance. Lines Zl.01, Zl.02, Zl.03 and Ag.02 were selected with PCR. Under NaCl salinity conditions, some of the transgenic lines showed a statistically significant increase in salinity resistance. The results of the study laid the foundation for studying *GATA* genes in wheat and for producing salinity-tolerant lines without growth defects or reduced productivity.

**Keywords:** salt tolerance, genetic engineering, transgenic lines, *GATA***Acknowledgements:** the study was funded by the Russian Foundation for Basic Research in the framework of Research Project No. 19-316-90063.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Verbitskaia A.A., Egorova A.S., Tsarkova E.A., Gaponenko A.K. Studying the effect of the OsGATA rice transcription factor on salt stress tolerance in wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):9-16. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-9-16

## Введение

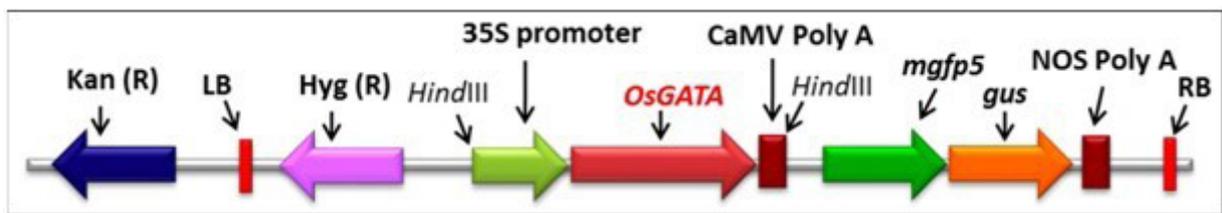
Гены, кодирующие транскрипционные факторы, интересны тем, что выступают основными регуляторами клеточных процессов при различных стрессовых ситуациях, связываясь с цис-элементами промоторов генов, определяющих ответ растений на стрессы, индуцируют активацию или подавление транскрипции этих генов (Seki, Kamei, 2003). Семейство генов *GATA* является одним из наиболее консервативных семейств транскрипционных факторов, играющих значительную роль в различных аспектах клеточных процессов в организмах от грибов до покрытосеменных. Факторы транскрипции *GATA* представляют собой ДНК-связывающие белки, имеющие домен цинкового пальца IV типа  $CX_2CX_{17-20}CX_2C$ , за которым следует базовый регион, который связывает консенсусную последовательность WGATAR (Reyes et al., 2004; Gupta et al., 2017). У растений *GATA* TF еще недостаточно изучены, и знания об этом классе транскрипционных факторов остаются неполными. Первый раститель-

*vit* L.) отечественной селекции – ‘Амир’, ‘Агата’, ‘Злата’ и ‘Эстер’ (Московский НИИСХ «Немчиновка»).

### Условия культивирования

Пшеничные зародыши культивировались при температуре от 22 до 25°C в темноте или на свету, с 16-часовым фотопериодом (16/8 – день/ночь). Для освещения использовались лампы F36W/33 Холодный белый и Osram L36/77 ФЛЮОРА. Зародыши помещали на варианты среды для индукции каллусообразования по разработанному нами протоколу (Gaponenko et al., 2018).

**Создание вектора.** Используемый в работе ген транскрипционного фактора *OsGATA* под промотором 35S для экспрессии генов двудольных культур (рис. 1) был предоставлен сотрудниками лаборатории физиологии и молекулярной биологии стресса Университета Джавахарлала Неру (Jawaharlal Nehru University, New Mehrauli Road, JNU Ring Rd, Delhi 110067, Индия). Выделение плазмидной ДНК, рестрикцию, лигирование, электрофорез ДНК в агарозном геле делали по Т. Маниатис (Maniatis et al., 1984).



**Рис. 1.** Ген *GATA* транскрипционного фактора *OsGATA* в векторе экспрессии:

Кан (R) – ген устойчивости к канамицину; LB и RB – левая и правая граница T-ДНК; Hyg (R) – ген устойчивости к гиромоцину; CaMV 35S – промотор, конститутивный CaMV 35S-промотор; CaMV Poly A – сигнал полиаденилирования CaMV; NOS Poly A – терминатор гена нопалинсинтазы

**Fig. 1.** The *GATA* gene of the *OsGATA* transcription factor in the expression vector: Kan (R), kanamycin resistance gene; LB and RB, left and right T-DNA border; Hyg (R), hygromycin resistance gene; CaMV 35S promoter, constitutive CaMV 35S promoter; CaMV Poly A, polyadenylation signal; NOS Poly A – nopaline synthase gene terminator

ный фактор транскрипции *GATA* NTL1, идентифицированный из табака, является гомологом NIT-2 из *Neurospora crassa*, который участвует в метаболизме азота (Daniel-Vedele, Caboche, 2003). Недавние исследования, проведенные на других растениях, выявили участие факторов транскрипции *GATA* в регуляции различных генов, реагирующих на стресс, азотный обмен и цветение (An et al., 2020), онтогенез (Ravindran et al., 2017), иммунитет (Liu et al., 2020), передачу гормональных сигналов, таких как GA, ауксин и цитокинин (Lu et al., 2017; Nutan et al., 2020; Zhang et al., 2021).

Доказательство того, что экспрессия транскрипционных факторов семейства *GATA* повышает устойчивость пшеницы при различных абиотических стрессах, может разрешить проблему использования засоленных почв.

**Цель исследования:** биобаллистическая генетическая трансформация геном *GATA* для повышения толерантности к солевому стрессу у растений пшеницы.

## Материалы и методы исследования

### Растительный материал

База исследования: растения выращивали в условиях теплицы Института биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН, в теплице отдела отдаленной гибридизации Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН и в оранжерее Института общей генетики имени Н.И. Вавилова РАН. Объекты исследования (растительный материал): сорта мягкой яровой пшеницы (*Triticum aesti-*

Для оптимизации экспрессии гена *GATA*, полученного в векторе экспрессии 35S::*OsGATA*, в растениях пшеницы промотор 35S CaMV заменили на промотор Act1 риса. Из плазмиды pBl-Act1:*OsGATA*:pA35 был получен вектор psAct*GATA*-BAR для баллистической трансформации, содержащий ген *GATA* под контролем промотора Act1, и касету экспрессии селективного гена устойчивости к гербициду BASTA. Создание вектора проводилось по стандартным протоколам.

### Баллистическая трансформация

Для трансформации использовали сочетание двух плазмид pBl-Act1:*OsGATA*:pA35 и psGFP-BAR и вектор psAct*GATA*-BAR (Verbitskaya, 2021).

### Электрофоретический анализ запасных белков – глиадинов

Глиадины извлекали из трансгенных линий и соответствующих сортов зерна 70-процентным раствором этилового спирта. Разделение молекул глиадина проводили в течение 2,5–3-х часов в электрическом поле при постоянном напряжении от 550 В и в буфере 5 мМ лактат алюминия. После выполнения электрофореза гели погружали на 15 мин в 300 мл 10-процентного раствора трихлоруксусной кислоты, а после этого окрашивали в 0,05-процентном спиртовом растворе кумасси бриллиантовым синим R-250, с добавлением 250 мл 10-процентной трихлоруксусной кислоты. Кроме анализируемых образцов также помещали в гель в качестве универсального стандартного маркера экстракты глиадинов из сорта ‘Безостая’.

### Проверка устойчивости линий к засолению

Для проведения опытов на проверку толерантности растений в теплице Института биологии развития им. Н.К. Колюцова РАН использовали косвенные методы оценки устойчивости трансгенных линий к хлоридному засолению. Проверка толерантности к засолению трансгенных линий проводилась в стерильных чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной дистиллированной водой или растворами солей NaCl в концентрациях 150 мМ и 300 мМ. Для анализа биомассы трансгенных линий использовали навеску свежей массы побегов растений, а взвешивания проводили стандартным весовым методом. В фазу молочно-восковой спелости зерна был проведен эксперимент по определению глюкозы в листьях (100 мг свежего веса) при помощи набора для анализа Megazyme в соответствии с инструкциями производителя. Содержание пролина у трансгенных линий проводили на спектрофотометре UV-1800 Shimadzu при длине волны 520 нм. Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных статистических методов в программе Excel. Для статистической обработки полученных расщеплений поколений трансгенных растений пшеницы по гену *bar* использовали  $\chi^2$ .

### Результаты исследования

Побеги, прошедшие селективный отбор, анализировали с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) на наличие гена *bar* (рис. 2, А).

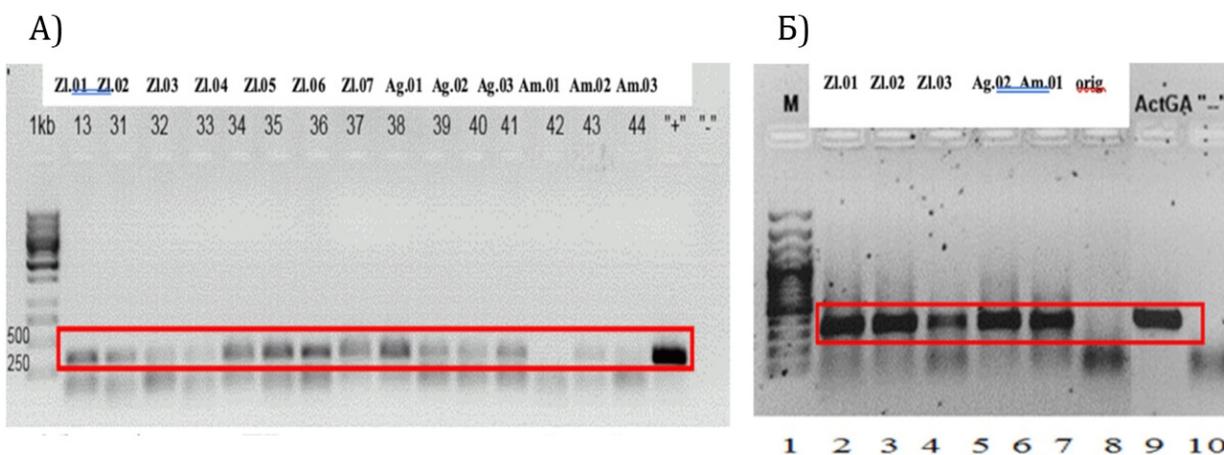
В результате анализа было показано, что 42 линии растений имеют ген *bar* и выбранная нами концентрация селективного агента оказалась достаточно эффективной, то есть лишь часть нетрансгенных клеток и тканей выживала за счет диффузии фермента ФАТ (из трансгенных клеток) и не повлияла существенно на отбор. Интересно, что из 42 имеющихся линий мягкой пшеницы 37 растений было получено при трансформа-

ции сочетанием двух плазмид pBl-Act1:OsGATA:pA35 и psGFP-BAR, а 5 линий – посредством плазмидного вектора psActOsGATA-BAR. Для дальнейших исследований использовали побеги, показавшие наличие гена *bar*, для обнаружения гена *GATA* методом ПЦР.

В результате анализа (табл. 1) было показано, что только в растениях, трансформированных плазмидным вектором psActGATA-BAR, было обнаружено наличие гена *GATA* в 5 линиях пшеницы (см. рис. 2, Б). Это может быть связано с тем, что селективный отбор был только на устойчивость к фосфинотрицину и растения, которые, возможно, имели ген *GATA*, в отсутствие гена *bar* погибли. Вектора pBl-Act1:OsGATA:pA35 и psGFP-BAR, использованные совместно, показали неэффективность в сравнении с psActGATA-BAR в доставке гена *GATA* при отборе трансформантов, устойчивых к гербициду BASTA. Из пяти растений было получено семенное потомство в условиях искусственного климата для дальнейшего анализа на наличие целевого и селективного гена в расщепляющемся потомстве T1. Растения поколения T1, полученные от трансформированных *in vitro* линий, были высажены на чашки Петри с селективным агентом – фосфинотрицином (prt) – для подтверждения экспрессии селективного гена. По признаку устойчивости к фосфинотрицину отобрали все 5 линий с расщеплением 3 : 1, что предполагает однолокусную интеграцию (табл. 2).

По 10 устойчивых к фосфинотрицину проростков T1 каждой линии проверили с помощью ПЦР на наличие генов *bar* и *GATA*. Устойчивость проростков этих линий к селективному агенту свидетельствует об экспрессии гена *bar*, входящего в состав перенесенной в растения вставки. Результаты молекулярного анализа растений линий Zl.01, Zl.03 и Ag.02 указывают на наличие полной трансгенной вставки (рис. 3, А).

В результате анализов ПЦР были отобраны линии для оценки экспрессии целевого гена методом ОТ-ПЦР – Zl.01, Zl.02, Zl.03 и Ag.02. Для проведения ОТ-ПЦР (рис. 3, Б)



**Рис. 2. А) Электрофореграмма ПЦР-анализа трансгенных растений мягкой пшеницы по гену *bar*:**

1 MWMarker, 13–44 – анализируемые образцы, «+» – плазмидная ДНК psGFP-BAR 432 п.н., «-» – негативный контроль;

**Б) Анализ наличия гена *GATA* в регенерантах пшеницы:** 1 – маркер размера, 2–7 – ДНК из регенерантов пшеницы, 8 – ДНК исходных растений, 9 – плазмидная ДНК pAct1:OsGATA – праймеры G2+G3 398 н.п., 10 – реакционная смесь без добавления ДНК

**Fig. 2. А) Electrophoregram of PCR analysis of transgenic bread wheat plants for the *bar* gene:** 1 MWMarker, 13–44 analyzed samples, “+” – 432 bp psGFP-BAR plasmid DNA, “-” – negative control;

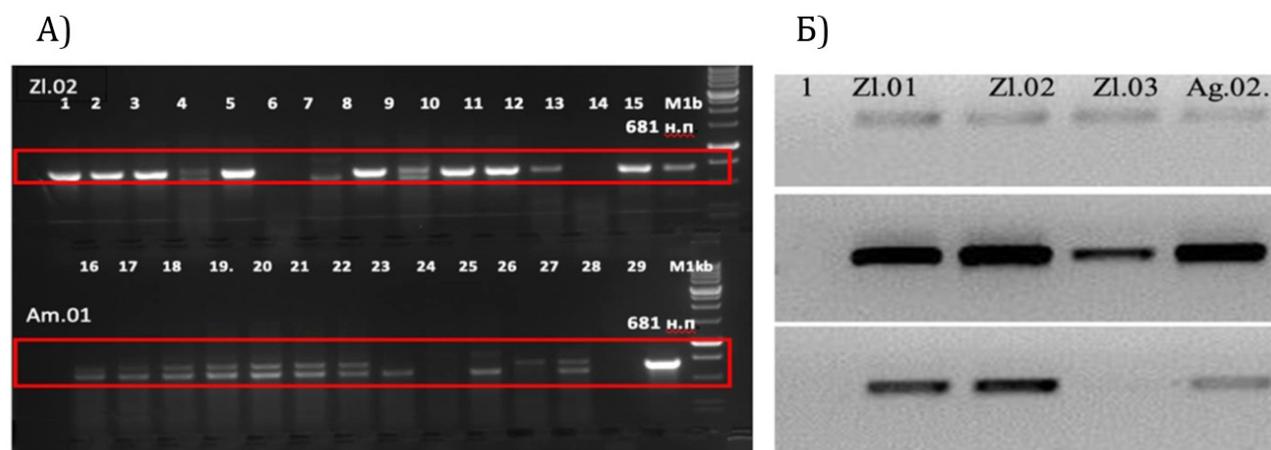
**Б) Analysis of the presence of the *GATA* gene in wheat regenerants:** 1 – size marker; 2–7 – DNA from wheat regenerants, reaction mixture without added DNA, 8 – DNA of initial plants, 9 – plasmid DNA pAct1:OsGATA – primers G2+G3 398 bp, 10 – reaction mixture without addition of DNA

**Таблица 1.** Результаты экспериментов по получению трансгенных растений, несущих гены *bar*, *GATA*  
**Table 1.** Results of experiments on obtaining transgenic plants carrying *bar* and *GATA* genes

Вектор	Сорт	Отбор по GFP (шт.)/%	Отбор по Bar (шт.)/%	ПЦР-BAR+ (шт.)/%	ПЦР-GATA+ (шт.)/%
pBl-GATA+psGFP-BAR	Злата	95/31,61 ± 3,85	18/6	18/6	-
	Агата	44/14,67 ± 2,33	12/4	12/4	-
	Амир	30/10 ± 1,85	7/2,3	7/2,3	-
pAct-GATA-BAR	Злата	-	4/1,3	3/1	3/1
	Агата	-	2/0,6	1/0,3	1/0,3
	Амир	-	1/0,3	1/0,3	1/0,3

**Таблица 2.** Расщепление поколения T1 по признаку устойчивости к фосфинотрицину (ppt)  
**Table 2.** Cleavage of the T1 generation based on resistance to phosphinothricin (ppt)

Сорт	№ линии	Всего семян, шт.	ppt+, шт.	Ppt-, шт.	H <sub>0</sub> факт.	H <sub>0</sub> теор.	χ <sup>2</sup> факт.	χ <sup>2</sup> теор.
Злата	Zl.01	34	23	11	2,1:1	3:1	0,0057	3,84
Злата	Zl.02	33	25	8	3,1:1	3:1	0,41	3,84
Злата	Zl.03	36	25	9	2,7:1	3:1	0,04	3,84
Агата	Ag.02	38	28	10	2,8:1	3:1	0,243	3,84
Амир	Am.01	29	21	8	2,6:1	3:1	0,14	3,84



**Рис. 3. А)** Пример электрофореграммы ПЦР анализа наличие гена *OsGATA* в T1-поколении линии Zl.02 (1 линия) и Am.01 (2 линия): 1–27 – ДНК из регенерантов пшеницы, 28 – ДНК исходных растений, 29 – плазмидная ДНК pAct1:OsGATA – праймеры GA-Up+Tnos2 681 н.п., ДНК1 – маркер размера;  
**Б)** Результаты ОТ-ПЦР на суммарной РНК, выделенной из трансгенных растений пшеницы T1: 1 – отрицательный контроль на примесь геномной ДНК (проведение ОТ-ПЦР без добавления синтеза кДНК).  
 Верхняя панель – ОТ-ПЦР на актиновый ген (нормализация количества мРНК), нижняя и средняя панели – ОТ-ПЦР на ген *GATA* 25 и 30 циклов

**Fig. 3. A)** An example of a PCR electrophoregram for analysis of the presence of the *OsGATA* gene in the T1 generation of the Zl.02 (line 1) and Am.01 (line 2) lines: 1–27 – DNA from wheat regenerants, 28 – DNA of the original plants, 29 – plasmid DNA pAct1:OsGATA – primers GA-Up+Tnos2 681 bp, DNA1 – size marker;  
**B)** Results of RT-PCR on total RNA isolated from T1: 1 – transgenic wheat plants – negative control for genomic DNA admixture (RT-PCR without adding cDNA synthesis). Top panel – RT-PCR for the actin gene (normalization of the amount of mRNA), bottom and middle panels – RT-PCR for the *GATA* gene 25 and 30 cycles

были использованы праймеры, специфичные к последовательности гена *GATA*, что позволяет использовать более высокую температуру их отжига на матричной РНК. Вероятно, низкий уровень мРНК трансгена в отобранных растениях линии Zl.03 объясняется его замалчиванием. Кроме того, количество копий трансгена в линиях Zl.01, Zl.02 и Ag.02 может быть несколько выше, хотя анализ расщепления линий поколения T1 показал однолокусную интеграцию вставки. Растения поколения T1, отобранные по результатам молекулярных анализов, культивировали при тех же условиях, что и растения из исходной коллекции.

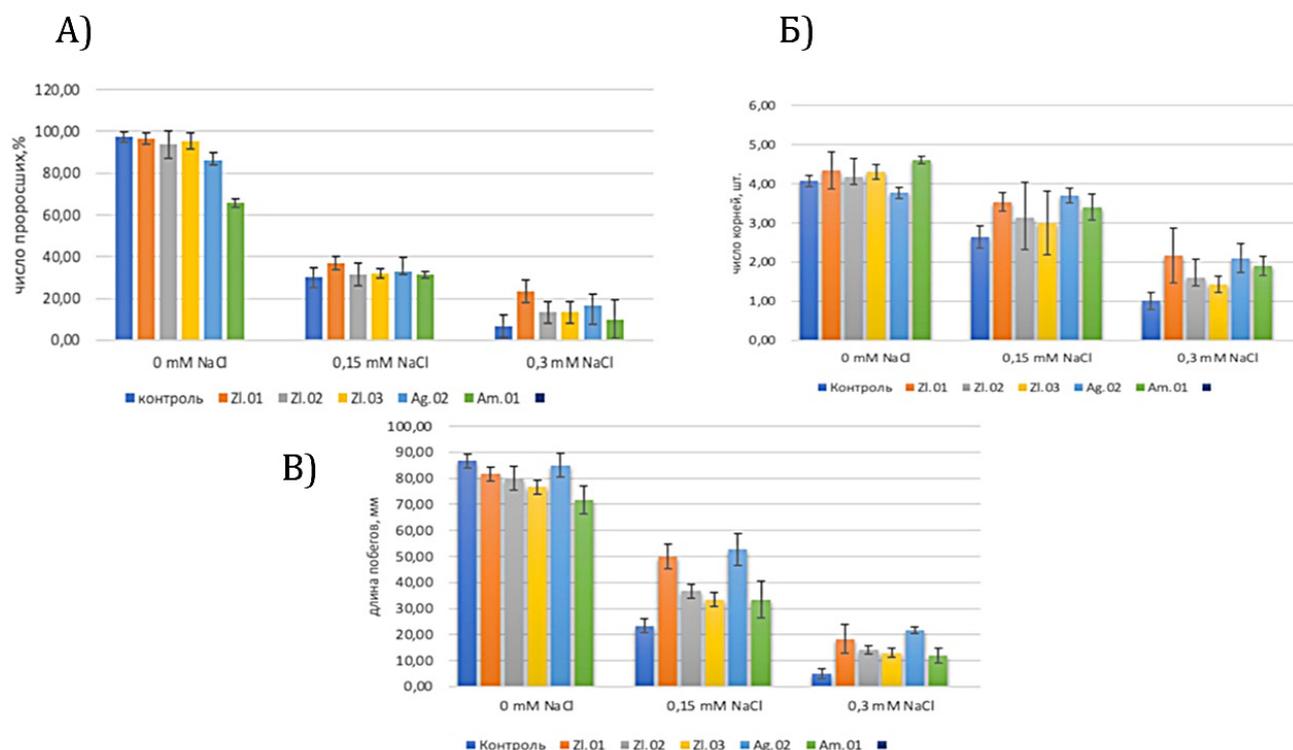
Изучение форм запасных белков – глиадинов трансгенных растений методом электрофореза провели на всех полученных линиях, и было показано отсутствие различий между спектрами глиадинов оригинальных сортов и трансгенными линиями.

Наиболее распространенным методом определения солеустойчивости растений является учет энергии прорастания семян растений на засоленном субстрате. Часть семян, полученных от поколения T0 и показавших наличие гена *GATA*, помещали в стерильные чашки Петри на фильтровальную бумагу, увлажненную дистиллированной водой или растворами солей NaCl в концентрациях 150 мМ и 300 мМ. В качестве контроля использовали смесь нетрансгенных семян трех сортов: 'Злата', 'Агата', 'Амир'. Чашки с семенами помещали в климатическую камеру на 7 суток при температуре 22–24°C и 12-часовом режиме освещения. На третий-четвертый день эксперимента проводили учет энергии прорастания семян. На седьмой день эксперимента проводили учет длины побегов и корней, числа корней. Средняя всхожесть семян на чашках без соли составила 97,3% (для контроля) и 65–

96,6% (трансгенные линии) (рис. 4, А). В условиях засоления у всех образцов наблюдалось значительное снижение лабораторной всхожести. Так, при концентрации NaCl 150 мМ всхожесть снижалась до 30%, а при 300 мМ – до 6,7%. При этом у трансгенных линий наблюдались следующие результаты: всхожесть при концентрации NaCl 150 мМ составила 31–37%, а при 300 мМ – 10–23%.

В результате исследований было показано, что в условиях засоления наблюдалось статистически достоверное повышение устойчивости к засолению у трансгенной линии с геном *GATA* сорта 'Злата' – Zl.01 и 'Агата' – Ag.02 при засолении 0,3 мМ NaCl по сравнению с исходными сортами. Наблюдалось небольшое отличие между линиями. Также было выявлено значительное уменьшение числа корней (рис. 4, Б) и длины побегов (рис. 4, В) у контрольных растений. Полученные трансгенные линии сорта 'Злата' (Zl.01) и сорта 'Агата' (Ag.02) показали устойчивость к высоким дозам засоления при проращивании семян на солевых растворах в чашках Петри.

Для анализа биомассы трансгенных линий использовали навеску свежей массы побегов растений, а взвешивания проводили стандартным весовым методом в течение 10 суток действия хлорида натрия. Растения в 5-литровых сосудах поливали дистиллированной водой или растворами солей NaCl в концентрациях 100 мМ и 150 мМ. Эксперимент проводили в трехкратной повторности для каждого варианта по 5 проростков. Изучалось действие длительного (10 дней) засоления на растения. Засоление приводило к снижению скорости роста всех изученных исходных сортов: через 10 дней масса побега была в 1,7 раза ниже, чем в контроле, при 100 мМ и в 3,5 раза – при 150 мМ. У трансгенных линий угнетение роста варьировало больше, и превышало контроль в 1,3 раза при



**Рис. 4.** Влияние различных концентраций NaCl:

на энергию прорастания семян, % (А); на количество корней (Б); на длину побегов (В)

**Fig. 4.** The effect of different NaCl concentrations on the energy of seed germination, % (A); the number of roots (Б); the length of shoots (В)

100 мМ и в 1,8 раза при 150 мМ. Причем в большинстве трансгенных линий не было достоверных различий по генотипам.

Показатель глюкозы в контрольных вариантах в листьях составил 2–4%. В условиях солевого стресса наблюдалось незначительное уменьшение количества сахаров (мг/грамм свежих листьев) у всех генотипов. Это уменьшение можно объяснить нарушением оттока в другие органы, в том числе и запасующие, синтезированные в листьях в процессе фотосинтеза углеводов, активацией ферментов, ответственных за синтез углеводов в условиях солевого стресса, а также ингибированием активности ферментов, ответственных за деградацию углеводов.

Изучение содержания свободного пролина на солевых растворах NaCl в концентрациях 0,1 мМ и 300 мМ в побегах 12-суточных проростков индивидуальных трансгенных линий, которые проращивали и культивировали на фоне летального обезвоживания, показали 2–3-кратное превышение этого показателя относительно контроля – на среде без NaCl. Эти данные свидетельствуют об участии свободного пролина в реакции растения на стресс, вызываемый засолением. Но содержание пролина статистически достоверно не различалось в листьях контрольных растений и изучаемых трансгенных линий. Максимальным оказался уровень пролина у линий и контрольных растений при сверхжестком стрессе (0,300 мМ NaCl)-засоления и составил 0,0054–0,0056 мкг/г (рис. 4, В). Полученные данные дают основание полагать, что повышенный уровень пролина, конститутивно синтезируемого в растениях пшеницы на ранних этапах онтогенеза, обычно способствует преодолению негативного влияния водного дефицита в условиях сверхжесткого солевого стресса.

### Выводы

1. Факторы транскрипции играют ключевую роль в управлении регуляцией генов и проявляют дифференциальную экспрессию в различных физиологических условиях и условиях окружающей среды.

2. Получены трансгенные растения мягкой яровой пшеницы сортов 'Злата', 'Агата' и 'Амир', устойчивые к действию гербицида БАСТА в условиях *in vitro* и подтвердившие наличие и экспрессию гена *GATA* в трансгенных линиях, показали однолокусную интеграцию вставки.

3. Ген *GATA* транскрипционного фактора OsGATA повысил толерантность к солевому стрессу растений мягкой пшеницы. Трансгенные линии Zl.01, Ag.02 мягкой яровой пшеницы сортов 'Злата', 'Агата', экспрессирующие ген *GATA*, показали статистически достоверное повышение устойчивости к засолению, проводимому в засоленном субстрате.

4. Влияние солевого стресса на биомассу растений трансгенной пшеницы, экспрессирующих *GATA*, оценивали в поколении T1, и растения показали значительно более высокие показатели свежей массы по сравнению с нетрансформированными растениями.

5. Созданные в ходе исследования трансгенные растения, несущие гены *GATA* и *bar*, могут быть использованы для дальнейшего изучения функциональной роли транскрипционного фактора OsGATA в регулировании устойчивости растений к стрессу, вызываемому другими абиотическими факторами.

### References / Литература

- An Y., Zhou Y., Han X., Shen C., Wang S., Liu C. et al. The GATA transcription factor GNC plays an important role in photosynthesis and growth in poplar. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71(6):1969-1984. DOI: 10.1093/jxb/erz564
- Daniel-Vedele F., Caboche M. A tobacco cDNA clone encoding a GATA-1 zinc finger protein homologous to regulators of nitrogen metabolism in fungi. *Molecular and General Genetics*. 1993;240(3):365-373. DOI: 10.1007/BF00280388
- Gaponenko A.K., Mishutkina Ya.V., Shulga O.A., Timoshenko A.A., Spechenkova N.A. Method for obtaining transgenic wheat plants using bioballistics. Russian Federation; patent number: 2646108; 2018. [in Russian] (Гапоненко А.К., Мишуткина Я.В., Шульга О.А., Тимошенко А.А., Спеченкова Н.А. Способ получения трансгенных растений пшеницы с использованием биобаллистики. Российская Федерация; патент № 2646108; 2018).
- Gupta P., Nutan K.K., Sinha-Pareek S.L., Pareek A. Abiotic stresses cause differential regulation of alternative splice forms of GATA transcription factor in rice. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1944. DOI: 10.3389/fpls.2017.01944
- Liu X., Zhu X., Wei X., Lu C., Shen F., Zhang X. et al. The wheat LLM-domain-containing transcription factor TaGATA1 positively modulates host immune response to *Rhizoctonia cerealis*. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71(1):344-355. DOI: 10.1093/jxb/erz409
- Lu G., Casaretto J.A., Ying S., Mahmood K., Liu F., Bi Y.M. et al. Overexpression of OsGATA12 regulates chlorophyll content, delays plant senescence and improves rice yield under high density planting. *Plant Molecular Biology*. 2017;94(1):215-227. DOI: 10.1007/s11103-017-0604-x
- Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J. Methods of genetic engineering. Molecular cloning. Moscow: Mir; 1984. [in Russian] (Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. Методы генетической инженерии. Молекулярное клонирование. Москва: Мир; 1984).
- Nutan K.K., Singla-Pareek S.L., Pareek A. The *Saltol* QTL-localized transcription factor OsGATA8 plays an important role in stress tolerance and seed development in *Arabidopsis* and rice. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71(2):684-698. DOI: 10.1093/jxb/erz368
- Ravindran P., Verma V., Stamm P., Kumar P.P. A novel RGL2–DOF6 complex contributes to primary seed dormancy in *Arabidopsis thaliana* by regulating a GATA transcription factor. *Molecular Plant*. 2017;10(10):1307-1320. DOI: 10.1016/j.molp.2017.09.004
- Reyes J.C., Muro-Pastor M.I., Florencio F.J. The GATA family of transcription factors in *Arabidopsis* and rice. *Plant Physiology*. 2004;134(4):1718-1732. DOI: 10.1104/pp.103.037788
- Seki M., Kamei A., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Molecular responses to drought, salinity and frost: common and different paths for plant protection. *Current Opinion in Biotechnology*. 2003;14(2):194-199. DOI: 10.1016/S0958-1669(03)00030-2
- Verbitskaya A.A., Ivanova A.I., Shulga O.A., Schuklina O.A., Gaponenko A.K. Transformation of immature wheat germ (*Triticum aestivum* L.) by particle bombardment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;843(1):012042. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012042
- Zhang H., Wu T., Li Z., Huang K., Kim N.E., Ma Z. et al. OsGATA16, a GATA transcription factor, confers cold tolerance by repressing OsWRKY45–1 at the seedling stage in rice. *Rice*. 2021;14(1):42. DOI: 10.1186/s12284-021-00485-w

**Информация об авторах**

**Анастасия Алексеевна Вербицкая**, младший научный сотрудник, Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук, 119334 Россия, Москва, ул. Вавилова, 26, timoshenko.alekseevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1459-5845>

**Анна Сергеевна Егорова**, младший научный сотрудник, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, 119991 Россия, Москва, ул. Губкина, 3, anna.ivanova1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8805-5281>

**Елена Александровна Царькова**, младший научный сотрудник, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, 119991 Россия, Москва, ул. Губкина, 3, ts.el@mail.ru

**Александр Константинович Гапоненко**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова Российской академии наук, 119991 Россия, Москва, ул. Губкина, 3, akgaponenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5699-1339>

**Information about the authors**

**Anastasiia A. Verbitskaia**, Associate Researcher, Koltzov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences, 26 Vavilova St., Moscow 119334, Russia, timoshenko.alekseevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1459-5845>

**Anna S. Egorova**, Associate Researcher, Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina St., Moscow 119991, Russia, anna.ivanova1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8805-5281>

**Elena A. Tsarkova**, Associate Researcher, Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina St., Moscow 119991, Russia, ts.el@mail.ru

**Alexander K. Gaponenko**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina St., Moscow 119991, Russia, akgaponenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5699-1339>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 18.08.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 12.05.2022; approved after reviewing on 18.08.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Генотипическая вариабельность функционирования фотосистемы II листьев пленчатого и голозерного овса

Е. М. Лисицын\*, С. А. Чуракова, Г. А. Баталова

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия*

*Автор, ответственный за переписку:* Евгений Михайлович Лисицын, edaphic@mail.ru

**Актуальность.** Оценка первичных фотосинтетических процессов в фотосистеме II (PSII) листьев двух подвидов посевного овса подтверждает имеющиеся доказательства их генетической дифференциации. Сравнения голозерного и пленчатого овсов по эффективности передачи и сохранения энергии внутри PSII ранее практически не проводилось, но может оказать влияние на технологию выращивания этих подвидов.

**Материалы и методы.** На двухнедельных растениях 16 генотипов пленчатого и 17 генотипов голозерного овса оценивали параметры быстрой флуоресценции хлорофилла *a* с помощью флуориметра Fluor Pen FP 110/S. Данные о развитии элементов структуры продуктивности получены в ходе полевых исследований 2021 г. Данные обработаны статистическими методами описательной статистики, корреляционного (MO Excel 2013) и кластерного (StatSoft Statistica 10, метод Ward'a) анализом; значимость различий между генотипами оценивали по критерию Дункана при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты.** Абсолютные величины потоков адсорбированной (ABS/RC) и захваченной (TRo/RC) световой энергии были статистически значимо выше у голозерных форм (на 7,8 и 7,4% соответственно). У голозерных форм эффективность передачи электронов от пластохинона  $Q_b$  к PSI превышала таковую у пленчатых форм на 8,2%. Во всем наборе образцов выявлена статистически значимая взаимосвязь урожайности зерна с перфоманс-индексом  $PI_{ABS}$  ( $r = 0,403$ ) и показателями захвата световой энергии ( $r = -0,477$ ) и ее утилизации в реакционных центрах ( $r = -0,452$ ). Перфоманс-индексы ( $PI_{ABS}$  и  $PI_{ABS, total}$ ) коррелировали с коэффициентом хозяйственной эффективности урожая (соответственно 0,571 и 0,418) и были значимо выше в группе пленчатых овсов (на 28,2 и 21,9% соответственно).

**Заключение.** Показаны значимые различия пленчатых и голозерных форм овса посевного по структурно-функциональным параметрам работы PSII листьев. Результаты кластерного анализа параметров работы фотосистемы II листьев выявили тенденцию группирования исследованных генотипов в соответствии с типом пленчатости зерна.

**Ключевые слова:** хлорофилл *a*, пластохинон, флуоресценция, реакционный центр, поток световой энергии, электронный транспорт, перфоманс-индекс

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0093).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Лисицын Е.М., Чуракова С.А., Баталова Г.А. Генотипическая вариабельность функционирования фотосистемы II листьев пленчатого и голозерного овса. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):17-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-17-26

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-17-26

## Genotypic variability in the functioning of photosystem II in leaves of covered and naked oats

Eugeny M. Lisitsyn, Svetlana A. Churakova, Galina A. Batalova

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***Corresponding author:** Eugeny M. Lisitsyn, edaphic@mail.ru

**Background.** Comparing the characteristics of primary photosynthetic processes in photosystem II (PSII) in the leaves of two oat (*Avena sativa* L.) subspecies will help to understand their genetic differentiation. Comparisons between naked and covered oats to assess the efficiency of energy flows within PSII and its relation to useful agronomic traits have not been previously made but can have an effect on their cultivation practices.

**Materials and methods.** Two-week-old plants of 16 covered and 17 naked oat genotypes were assessed for rapid chlorophyll *a* fluorescence using a Fluor Pen FP 110/S fluorometer. Data on the yield structure were obtained in 2021. The data were processed statistically using descriptive statistics, correlation (Excel 2013) and cluster (StatSoft Statistica 10; Ward's method) analyses.

**Results.** The groups of oat genotypes differed significantly in the absolute magnitude of adsorbed (ABS/RC) and trapped (TRo/RC) light energy flows, which were higher in naked oats (by 7.8 and 7.4%, respectively). The efficiency of electron transfer from plastoquinone Q<sub>B</sub> to PSI in naked oats exceeded that in covered oats by 8.2%. For the whole set of genotypes, a statistically significant correlation of grain yield with the PI<sub>ABS</sub> performance index ( $r = 0.403$ ), light energy adsorption ( $r = -0.477$ ) and its utilization at the reaction centers of PSII ( $r = -0.452$ ) was manifested. The performance indices (PI<sub>ABS</sub> and PI<sub>ABS total</sub>) positively correlated with part of grain in total biomass (0.571 and 0.418, respectively) and were higher in covered oats (by 28.2 and 21.9%, respectively).

**Conclusion.** The existence of significant differences was shown between covered and naked oats according to six of the nine evaluated structural and functional parameters of the PSII leaf functioning. The results of the cluster analysis demonstrated the tendency to the grouping of genotypes by the presence/absence of grain hullness.

**Keywords:** chlorophyll *a*, plastoquinone, fluorescence, reaction center, light energy flux, electron transport, performance index

**Acknowledgements:** the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the State Task assigned to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0093).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Lisitsyn E.M., Churakova S.A., Batalova G.A. Genotypic variability in the functioning of photosystem II in leaves of covered and naked oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):17-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-17-26

## Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации возделывают два подвида овса посевного (*Avena sativa* L.): пленчатый (*A. sativa* subsp. *sativa*) и голозерный (*A. sativa* subsp. *nudisativa* (Husn.) Rod. et Sold.) (Rodionova et al., 1994). Результаты сортоиспытаний показывают, что урожайность зерна голозерных форм овса чаще всего составляет 70–80% от пленчатых сортов, однако отличия в урожае крупы с единицы площади между пленчатыми и голозерными сортами либо незначительны, либо голозерные сорта имеют преимущества по этому показателю (Kirkkari et al., 2004; Hackett, 2018). При сравнительном анализе этих подвидов овса селекционеры и физиологи чаще всего оценивают биохимические характеристики зерна: содержание белка, крахмала и амилозы, зольность, содержание масла, жирных кислот и  $\beta$ -глюканов (Gerasimov et al., 2020; Abugalieva et al., 2021). В последние годы опубликованы работы по сравнительному метаболитному профилю зерна овса (жирных кислот, фенольных соединений, фитостеролов, органических кислот и сахаров). Эти данные подтверждают существование генетической дифференциации подвидов посевного овса (Loskutov et al., 2017; Loskutov et al., 2020).

Однако пока сравнительно мало работ посвящено выявлению различий между этими подвидами по структурно-функциональным характеристикам работы фотосинтетического аппарата листьев, который, как известно, является единственным поставщиком энергии и органических веществ для общего метаболизма растений. После разработки теории быстрой флуоресценции хлорофилла *a* (*Chl a*) (Strasser et al., 2004) и создания достаточно точных портативных приборов, позволяющих количественно фиксировать эту флуоресценцию, появилась возможность сравнить уровень протекания первичных фотосинтетических процессов в фотосистеме II (PSII) в листьях разных видов и сортов растений. Что касается непосредственно овса посевного, подобного рода работ значительно меньше, чем с другими культурами, причем в основном они посвящены реакциям растений на стрессовые воздействия: условия засоления (Song et al., 2019), засухи (Marcinińska et al., 2017), несбалансированность азотного питания, различные почвенно-климатические условия (Tobiasz-Salach et al., 2019), холодовой стресс (Sofronova et al., 2020). Сравнение же работы фотосистемы II голозерных и пленчатых сортов овса проводилось всего в нескольких работах на небольшом наборе сортов: в работе R. Tobiasz-Salach et al. (2019) авторы исследовали по два генотипа голозерного и пленчатого овса; в работе R. Hackett (2018) – два генотипа пленчатого и три генотипа голозерного овса.

Поэтому основной целью работы являлось выявление различий функционирования фотосистемы II и происходящих при этом процессов переноса электронов и энергии между двумя группами генотипов овса посевного (пленчатыми – 16 генотипов и голозерными – 17 генотипов), а также возможностей использования параметров быстрой флуоресценции хлорофилла *a* для раннего прогноза развития элементов продуктивности генотипов ярового овса *A. sativa*.

## Материалы и методы

Для оценки параметров кинетики индукции флуоресценции хлорофилла *a* использовали двухнедельные проростки 16 генотипов (сортов и селекционных линий)

пленчатого и 17 генотипов голозерного ярового овса, выращенные на полной питательной среде при комнатной температуре и фотопериоде 16/8 ч (день/ночь). Названия сортов приведено в таблицах 1–4. Флуоресценцию хлорофилла *a* регистрировали на адаптированных к темноте (20 мин) листьях с использованием флуорометра Fluor Pen FP 110/S (Photon Systems Instruments, Czech Republic) согласно руководству производителя. Индукционные кривые флуоресценции хлорофилла *a* инициировали красным светом ( $\lambda = 650$  нм) интенсивностью  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Рассчитывали следующие параметры функционирования PSII листьев:  $\psi_o$  (эффективность переноса электронов от пластохинона  $Q_A$  к пластохинону  $Q_B$ );  $\delta_{RE}$  (эффективность переноса электронов от пластохинона  $Q_B$  к первичным акцепторам PSI);  $\psi_{RE}$  (суммарная эффективность переноса электрона от PSII к первичным акцепторам PSI); специфические потоки энергии в пересчете на один реакционный центр PSII (ABS/RC – поток адсорбированной световой энергии; TRo/RC (максимальный поток энергии захваченный реакционным центром); ETo/RC (поток электронного транспорта от пластохинона  $Q_A$  к пластохинону  $Q_B$ ); Dlo/RC (поток энергии, рассеянной в виде тепла); перформанс-индекс сохранения энергии от адсорбированного фотона до редукции пластохинона  $Q_B$  ( $PI_{ABS}$ ) или до первичного акцептора PSI ( $PI_{ABS, total}$ ).

Данные о развитии элементов структуры продуктивности получены в ходе полевых исследований 2021 г. на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров) в условиях окультуренных дерново-подзолистых почв.

Статистическая обработка данных проведена методами описательной статистики и корреляционного анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2013. В таблицах представлены средние данные трех повторений; значимость отличий между генотипами оценивалась по критерию Дункана при  $p \leq 0,05$ . Кластерный анализ проведен по методу Ward'a в программе StatSoft Statistica 10.

## Результаты

Данные таблицы 1 дают представление об уровне вариабельности каждого из четырех специфических потоков поглощенной энергии фотонов света в пределах PSII листьев пленчатых форм овса.

Как следует из данных таблицы 1, изученные генотипы пленчатого овса слабо различались между собой по уровню адсорбированной световой энергии (ABS/RC; CV = 6,8%) и максимальному захваченному потоку энергии (TRo/RC; CV = 7,3%). В то же время можно отметить высокий уровень вариабельности уровня электронного транспорта от первичного к вторичному акцептору PSII (ETo/RC), который составил 20,2%, и потока энергии, рассеянной в виде тепла (Dlo/RC), равного 24,1%. Три линии (90h18, 162h15 и 49h18) максимально эффективно передавали захваченную энергию в пуле хинонов (1,094–1,104 относительных единиц), тогда как у сорта 'Сапсан' эта величина была в 2,5 раза меньше (0,432 относительных единиц). Линия 196h15 имела самые высокие непроизводительные траты энергии (0,905 относительных единиц), тогда как линия 194h13, сорта 'Фаленец' и 'Кировский 2' тратили на излучение в виде тепла и флуоресценции в два раза меньше энергии (0,395–0,411 относительных единиц).

**Таблица 1. Генотипическое разнообразие пленчатых форм овса по уровню специфических потоков энергии (относительные единицы в пересчете на один реакционный центр)****Table 1. Genotypic diversity of covered oat forms in the level of specific energy flows (arbitrary units per reaction center)**

Сорт, линия / Cultivar, line	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIo/RC
Аргамак / Argamak	2,058 cd	1,611 fg	1,052 ef	0,447 cd
Кировский 2 / Kirovsky 2	1,859 a	1,458 b	0,862 c	0,401 a
Кречет / Krechet	2,116 e	1,605 ef	0,658 b	0,511 fg
Медведь / Medved	2,025 c	1,580 de	1,039 e	0,445 cd
Сапсан / Sapsan	1,951 b	1,519 c	0,432 a	0,432 bc
Фаленец / Falenets	1,961 b	1,550 d	1,049 ef	0,411 ab
162h15	2,21 gh	1,721 j	1,095 fg	0,489 ef
178h13	2,090 de	1,640gh	0,891 c	0,449 cd
194h13	1,982 b	1,587 ef	1,017 e	0,395 a
196h15	2,293 i	1,388 a	0,958 d	0,905 k
49h18	2,153 f	1,392 a	1,104 g	0,472 de
64h18	2,320 i	1,746 j	0,972 de	0,574 ij
79h14	2,179 fg	1,658 hi	0,699 b	0,522 gh
90h18	2,373 j	1,790 k	1,094 fg	0,582 j
91h18	2,163 f	1,673 i	1,052 ef	0,490 ef
94h18	2,232 h	1,681 i	0,943 d	0,551 hi
Среднее	2,123 ± 0,036	1,600 ± 0,029	0,932 ± 0,047	0,505 ± 0,030

Примечание: ABS/RC – поток адсорбированной световой энергии; TRo/RC – максимальный захваченный поток энергии; ETo/RC – поток электронного транспорта от  $Q_A$  к  $Q_B$ ; DIo/RC – поток энергии, рассеянной в виде тепла. В каждом столбце величины, сопровождаемые одинаковыми буквами, не различаются статистически по тесту Дункана при  $p \leq 0,05$

Note: ABS/RC – light energy absorption flux; TRo/RC – maximum trapped energy flux; ETo/RC – electron transport flux from  $Q_A$  to  $Q_B$ ; DIo/RC – energy dissipation flux. The values followed by the same letters do not differ statistically according to Duncan's test at  $p \leq 0.05$ .

Для голозерных форм овса (табл. 2) характерна та же тенденция вариабельности уровней этих четырех потоков энергии в пределах фотосистемы II: низкий уровень вариабельности параметров ABS/RC и TRo/RC (коэффициенты вариации 7,5 и 6,0% соответственно) и в 2,2–3,1 раза более высокий уровень изменчивости потоков ETo/RC и DIo/RC (15,9 и 19,0% соответственно).

Максимально эффективно захваченная энергия света передавалась в пуле хинонов у линии 31h12 и в два раза менее эффективно у линии 159h14. Самый высокий уровень непроизводительных трат энергии отмечен для линии 63h11, тогда как сорт 'Вятский' и линии 1h18, 13h18 и 3h18 переизлучали в виде тепла вдвое меньшее количество захваченной энергии.

Кроме оценки уровней потоков энергии, измерение медленной флуоресценции хлорофилла *a* позволяет рас-

считать относительную эффективность передачи электронов как внутри фотосистемы II, так и на участке от фотосистемы II до фотосистемы I, где с использованием этих электронов происходит процесс синтеза органических молекул. В таблице 3 представлены данные для пленчатых форм овса.

Эффективность переноса электронов внутри пула хинонов (от первичного акцептора – пластохинона  $Q_A$  к вторичному – пластохинону  $Q_B$ ; параметр  $\psi_o$ ) и от пластохинона  $Q_B$  к первичным акцепторам PSI ( $\delta_{RE}$ ) среди пленчатых форм овса имела средний уровень вариабельности – 13,7–13,8%. Самой эффективной по параметру  $\psi_o$  была линия 196h15; у сорта 'Кречет' и линии 79h14 эффективность этого переноса была в 1,7 раза ниже. По второму параметру ( $\delta_{RE}$ ) максимальные величины имели сорт 'Кировский 2' и линия 196h15, тогда как у сорта 'Сапсан' этот

**Таблица 2. Генотипическое разнообразие голозерных форм овса по уровню специфических потоков энергии (относительные единицы в пересчете на один реакционный центр)****Table 2. Genotypic diversity of naked oat forms in the level of specific energy flows (arbitrary units per reaction center)**

Сорт, линия / Cultivar, line	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIo/RC
Багет / Baget	2,547 g	1,878 j	1,063 i	0,669 f
Вятский / Vyatsky	2,122 a	1,688 cde	1,013 h	0,434 a
Першерон / Persheron	2,365 e	1,439 a	1,124 j	0,611 e
11h12o	2,535 g	1,856 j	1,084 i	0,679 f
12h18	2,190 b	1,699 def	0,774 c	0,491 b
13h18	2,136 a	1,689 cde	1,073 i	0,447 a
159h14	2,191 b	1,672 c	0,642 a	0,519 cd
161h14	2,239 c	1,728 g	0,729 b	0,511 bc
1h18	2,094 a	1,645 b	0,897 ef	0,449 a
225h14	2,222 bc	1,706 efg	0,917 f	0,516 bcd
31h12	2,438 f	1,805 i	1,171 k	0,633 e
3h18	2,134 a	1,675 cd	1,050 i	0,459 a
42h12o	2,303 d	1,767 h	0,957 g	0,537 d
5h18	2,254 c	1,722 fg	0,826 d	0,532 cd
63h11	2,706 h	1,867 j	1,054 i	0,839 g
72h11	2,242 c	1,717 fg	0,824 d	0,525 cd
74h12	2,190 b	1,664 bc	0,872 e	0,526 cd
Среднее	2,289 ± 0.042	1,719 ± 0.025	0,945 ± 0.037	0,552 ± 0.025

Примечание: см. таблицу 1

Note: see Table 1

**Таблица 3. Эффективность переноса электронов и сохранения энергии внутри и за пределами фотосистемы II листьев пленчатых форм овса (относительные единицы)****Table 3. Efficiency of electron transport and energy conservation within and beyond leaf photosystem II in covered oats (arbitrary units)**

Сорт, линия / Cultivar, line	$\psi_o$	$\delta_{RE}$	$\psi_{RE}$	PI <sub>ABS</sub>	PI <sub>ABS,total</sub>
Аргамак / Argamak	0,637 de	0,331 e	0,211 e	3,305 fg	1,636 e
Кировский 2 / Kirovsky 2	0,559 b	0,427 i	0,239 h	3,128 f	2,334 h
Кречет / Krechet	0,410 a	0,344 fg	0,141 a	1,039 a	0,546 a
Медведь / Medved	0,657 e	0,271 b	0,178 c	3,377 g	1,256 d
Сапсан / Sapsan	0,611 c	0,257 a	0,157 b	2,745 de	0,951 b

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Сорт, линия / Cultivar, line	$\psi_o$	$\delta_{RE}$	$\psi_{RE}$	PI <sub>ABS</sub>	PI <sub>ABS,total</sub>
Фаленец / Falenets	0,630 cd	0,334 ef	0,210 e	4,052 i	2,031 g
162h15	0,637 de	0,328 de	0,209 e	2,797 e	1,368 d
178h13	0,544 b	0,300 c	0,163 b	2,188 c	0,938 b
194h13	0,641 de	0,340 efg	0,218 ef	3,626 h	1,869 f
196h15	0,701 f	0,428 i	0,300 i	2,529 d	1,890 f
49h18	0,657 e	0,352 g	0,231 gh	3,168 fg	1,723 e
64h18	0,558 b	0,399 h	0,223 fg	1,647 b	1,094 c
79h14	0,422 a	0,344 fg	0,145 a	1,095 a	0,574 a
90h18	0,611 c	0,317 d	0,194 d	2,039 c	0,945 b
91h18	0,630 cd	0,339 ef	0,213 ef	2,684 de	1,374 d
94h18	0,559 b	0,352 g	0,197 d	1,806 b	0,979 bc
Среднее	0,592 ± 0,020	0,341 ± 0,012	0,202 ± 0,010	2,577 ± 0,220	1,344 ± 0,132

Примечание:  $\psi_o$  – эффективность переноса электронов от  $Q_A$  к  $Q_B$ ;  $\delta_{RE}$  – эффективность переноса электронов от пластохинона  $Q_B$  к первичным акцепторам PSI;  $\psi_{RE}$  – суммарная эффективность переноса электрона от PSII к первичным акцепторам PSI; перфоманс-индекс сохранения энергии от адсорбированного фотона до редукции  $Q_B$  (PI<sub>ABS</sub>) или до первичного акцептора PSI (PI<sub>ABS,total</sub>). В каждом столбце величины, сопровождаемые одинаковыми буквами, не различаются статистически по тесту Дункана при  $p \leq 0,05$

Note:  $\psi_o$  – efficiency of electron transfer from  $Q_A$  to  $Q_B$ ;  $\delta_{RE}$  – efficiency of electron transfer from  $Q_B$  to PSI acceptors;  $\psi_{RE}$  – summarized efficiency of electron transfer from PSII to PSI acceptor; performance index for energy conservation from absorbed photons to the reduction of  $Q_B$  (PI<sub>ABS</sub>) or of PSI acceptors (PI<sub>ABS,total</sub>). The values followed by the same letters do not differ statistically according to Duncan's test at  $p \leq 0.05$

параметр был в 1,6 раза ниже. Суммарная эффективность переноса электронов от PSII к первичным акцепторам PSI была максимальной у уже упомянутой линии 196h15, минимальной (вдвое меньшей по величине) – у сорта 'Кречет' и линии 79h14. Коэффициент вариации составил в целом по группе пленчатых овсов 19,8%.

Перфоманс-индексы, позволяющие оценить степень сохранения энергии при ее передаче от фотона, адсорбированного антенными комплексами фотосистемы II, до пластохинона  $Q_B$  (PI<sub>ABS</sub>) или до первичного акцептора PSI (PI<sub>ABS,total</sub>), имели очень высокие коэффициенты вариации – 34,2 и 39,2% соответственно. Максимальную величину первого индекса имел сорт 'Фаленец', превышая величины индекса у сорта 'Кречет' и линии 79h14 в 3,8–3,9 раза. По второму перфоманс-индексу максимальную эффективность имел сорт 'Кировский 2', минимальную – сорт 'Кречет' и линия 79h14, у которых эффективность сохранения энергии захваченного фотона была ниже в 4,1–4,3 раза.

В группе голозерных форм овса можно отметить сорт 'Першерон' и линию 31h12, имеющие максимальные величины параметров  $\psi_o$  и  $\psi_{RE}$  и сорт 'Вятский' с минимальными показателями  $\delta_{RE}$  и  $\psi_{RE}$  (табл. 4).

У линии 13h18 был максимально эффективен перенос электронов от  $Q_A$  к  $Q_B$ , но минимально эффективен их перенос от  $Q_B$  к акцептору фотосистемы I, а у линии 159h14 – наоборот.

Вариабельность перфоманс-индекса PI<sub>ABS</sub> у голозерных форм была на уровне пленчатых форм, перфоманс-индекса PI<sub>ABS,total</sub> – в 1,6 раза ниже. При этом сами величины индексов у голозерных форм были статистически значимо ниже, чем у пленчатых – первого индекса в 1,4 раза, второго – в 1,3 раза. Среди голозерных форм наиболее эффективно поглощенная энергия сохранялась внутри PSII у линии 13h18 и втрое менее эффективно – у линий 159h14 и 63h11. Самый высокий перфоманс-индекс PI<sub>ABS,total</sub> отмечен для линии 3h18, в 2,2 раза превышая этот индекс у линий 161h14 и 63h11.

Для анализа возможности использования лабораторной оценки параметров быстрой флуоресценции *Chl a* с целью прогнозирования уровня развития элементов структуры продуктивности растений в полевых условиях были рассчитаны величины коэффициентов парных корреляций между лабораторными и полевыми показателями. Для этого у каждого сорта были определены величины семи показателей: высота растений, длина и масса метелки, масса зерна с метелки, масса 1000 зерен, урожайность и коэффициент хозяйственной эффективности урожая (Кхоз) – и сравнены с параметрами работы фотосистемы II двухнедельных растений этих сортов овса, выращенных в лабораторных условиях.

При обсчете всего массива данных (33 генотипа) не выявлено статистически значимых (при  $p \leq 0,05$ ) парных

**Таблица 4. Эффективность переноса электронов и сохранения энергии внутри и за пределами фотосистемы II листьев голозерных форм овса (относительные единицы)****Table 4. Efficiency of electron transport and energy conservation within and beyond leaf photosystem II in naked oats (arbitrary units)**

Сорт, линия / Cultivar, line	$\psi_o$	$\delta_{RE}$	$\psi_{RE}$	PI <sub>ABS</sub>	PI <sub>ABS,total</sub>
Багет / Baget	0,567 g	0,365 cde	0,207 f	1,479 cd	0,851 b
Вятский / Vyatsky	0,600 h	0,275 a	0,165 a	2,750 h	1,044 de
Першерон / Persheron	0,642 ij	0,401 i	0,257 h	2,194 g	1,468 i
11h12o	0,584 gh	0,367 de	0,214 f	1,514 d	0,877 b
12h18	0,456 c	0,384 fg	0,175 b	1,346 bc	0,840 b
13h18	0,636 ij	0,274 a	0,174 b	3,089 j	1,167 g
159h14	0,389 a	0,444 j	0,173 b	1,090 a	0,871 b
161h14	0,425 b	0,376 ef	0,160 a	1,266 b	0,762 a
1h18	0,545 e	0,324 b	0,177 b	2,251 g	1,080 ef
225h14	0,540 e	0,369 e	0,199 e	1,914 f	1,120 fg
31h12	0,649 j	0,387 gh	0,251 h	2,201 g	1,393 h
3h18	0,627 i	0,357 cd	0,224 fg	2,909 i	1,618 j
42h12o	0,541 e	0,388 gh	0,210 f	1,734 e	1,099 ef
5h18	0,479 d	0,406 i	0,195 de	1,389 bcd	0,951 c
63h11	0,565 g	0,402 i	0,227 g	1,101 a	0,740 a
72h11	0,480 d	0,396 hi	0,190 cd	1,447 cd	0,948 c
74h12	0,527 e	0,356 c	0,187 c	1,817 ef	1,003 cd
Среднее	0,544 ± 0.019	0,369 ± 0.011	0,199 ± 0.007	1,852 ± 0.152	1,049 ± 0.060

Примечание: см. таблицу 3

Note: see Table 3

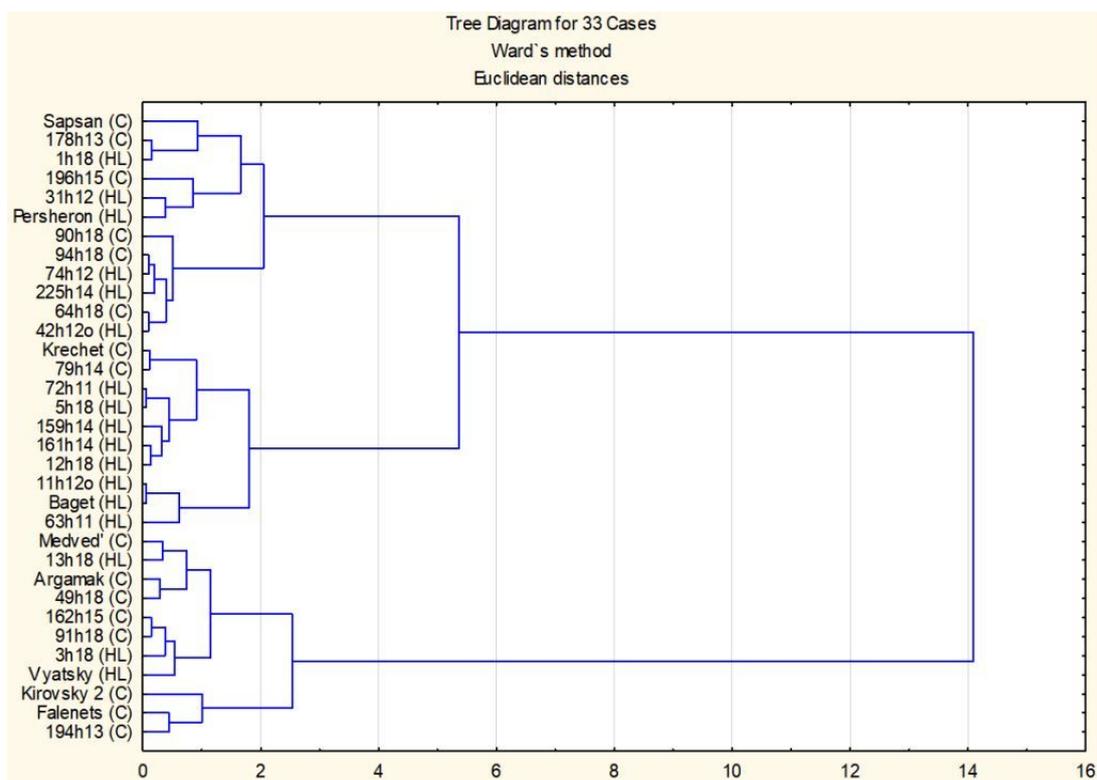
корреляций между параметрами быстрой флуоресценции *Chl a* и такими параметрами, как масса метелки, количество колосков и зерен в метелке, масса зерна с метелки.

Наибольшее количество статистически значимых связей отмечено для параметра Кхоз: отрицательные связи с  $\delta_{RE}$  ( $r = -0,387$ ), ABS/RC ( $r = -0,457$ ) и TRo/RC ( $r = -0,513$ ), положительные – с  $\psi_o$  ( $r = 0,432$ ), PI<sub>ABS</sub> ( $r = 0,571$ ) и PI<sub>ABS,total</sub> ( $r = 0,418$ ). Масса 1000 зерен отрицательно коррелировала с ABS/RC ( $r = -0,470$ ) и TRo/RC ( $r = -0,441$ ). Отмечены отрицательные корреляции между высотой растений и параметрами ETo/RC ( $r = -0,429$ ) и ABS/RC ( $r = -0,372$ ), между длиной метелки и параметром  $\psi_{RE}$  ( $r = -0,427$ ). Урожайность зерна коррелировала отрицательно с параметрами ABS/RC ( $r = -0,477$ ) и TRo/RC ( $r = -0,452$ ), но положительно – с перфоманс-индексом PI<sub>ABS</sub> ( $r = 0,403$ ).

Расчеты, проведенные отдельно для пленчатых форм овса, показали отсутствие каких-либо статистически значимых корреляций между исследованными группами параметров. Отдельный анализ голозерных форм овса выявил девять пар статистически значимых корреляций: Кхоз – PI<sub>ABS</sub> ( $r = 0,542$ ); высота растений коррелировала с параметрами  $\psi_o$  ( $r = -0,620$ ),  $\psi_{RE}$  ( $r = -0,541$ ), ETo/RC ( $r = -0,622$ ); длина метелки – с параметрами  $\psi_{RE}$  ( $r = -0,679$ ), ABS/RC ( $r = -0,605$ ) и DIo/RC ( $r = -0,563$ ); масса 1000 зерен статистически значимо снижалась с повышением параметра  $\psi_{RE}$  ( $r = -0,496$ ).

Для оценки степени схожести двух подвидов овса по совокупности параметров работы фотосистемы II была проведена кластеризация изученных генотипов (рисунок).

По оцененным показателям все генотипы четко разделились на три кластера. В первом кластере пленчатые



**Рисунок.** Дендрограмма распределения изученных генотипов овса по параметрам работы фотосистемы II (С – пленчатые формы, HL – голозерные формы)

**Figure.** Dendrogram showing distribution of the studied oat genotypes according to photosystem II parameters (covered forms are marked as C, and naked ones as HL)

и голозерные формы представлены в равном количестве (по 6 генотипов). В кластере 2 прослеживается значительное преобладание голозерных форм – 8 генотипов и 2 пленчатых, в кластере 3 – наоборот, 8 пленчатых генотипов и только 3 голозерных. Поскольку кластерный анализ учитывает одновременно девять разных параметров, представляется логичным считать, что генотипы, объединенные в один кластер, используют примерно одну и ту же стратегию работы PSII, отличаясь только в ее количественном проявлении. Соответственно этому разделению, генотипы в кластере 2 имели в среднем статистически значимо более высокие величины  $\delta_{RE}$ , ABS/RC, TRo/RC, Dlo/RC, но более низкие величины  $\psi_o$ ,  $\psi_{RE}$ , ETo/RC и обоих перфоманс-индексов, чем генотипы кластера 3. Это сравнение может быть косвенным подтверждением наличия существенных функциональных различий голозерных и пленчатых форм овса по эффективности работы фотосистемы II листьев.

### Обсуждение

Основной целью программ селекции растений является повышение их продуктивности, что, прежде всего, связано с увеличением общей биомассы надземной части растений. Поскольку единственным процессом, поставляющим органическое вещество для строительства растительного организма, является фотосинтез, продуктивность растений также может быть оценена посредством измерения активности компонентов фотосинтетического аппарата, например параметров флуоресценции *Chl a* (Czyczyło-Mysza et al., 2013). Основной принцип использования параметров флуоресценции заключается в том, что световая энергия, поглощаемая молекулами

хлорофилла в листьях, может быть преобразована тремя способами. Первый – использование в ходе фотосинтеза (фотохимия), второй – рассеяние избыточной энергии в виде тепла или (третий) ее переизлучение в виде быстрой флуоресценции. Эти три процесса протекают в условиях конкуренции, так что любое увеличение эффективности одного процесса приведет к снижению эффективности двух других.

Сравниваемые группы генотипов овса продемонстрировали статистически значимые различия по большинству оцененных параметров работы фотосистемы II. Так, если сравнивать средние величины потоков энергии для голозерных и пленчатых форм овса, можно отметить, что ни по абсолютной величине, ни по уровню вариабельности потоков ETo/RC и Dlo/RC статистически значимых различий не установлено. Потоки адсорбированной световой энергии (ABS/RC) и максимальные захваченные потоки (TRo/RC) были значимо выше в группе голозерных форм (на 7,8 и 7,4% соответственно). Таким образом, в пересчете на один реакционный центр эффективность работы фотосистемы II по поглощению световой энергии у голозерных форм овса статистически значимо превышала таковую у пленчатых форм.

В целом по группе голозерных форм вариабельность показателей эффективности переноса электронов от  $Q_A$  к  $Q_B$ , и от  $Q_B$  к акцептору фотосистемы I была немного ниже, чем в группе пленчатых форм; при этом средняя величина эффективности передачи электронов от пластохинона  $Q_B$  к PSI у голозерных форм статистически превышала таковую у пленчатых форм (на 8,2%).

Параметры кинетики флуоресценции *Chl a*, оцененные в стадии 14–30-дневных проростков, позволили выделить наиболее засухоустойчивые ДН-линии овса из

одиннадцати исследованных образцов (Marcinińska et al., 2017). По мнению авторов, засуха сильнее всего повлияла на эффективность сохранения энергии при ее переносе внутри PSII (перфоманс-индекс  $PI_{ABS}$ ). При этом для различных сельскохозяйственных культур, в том числе для овса (Noga et al., 2017; Tobiasz-Salach et al., 2019), было отмечено, что сорта, отличающиеся по урожайности зерна, характеризовались значительными различиями в способности поглощения и использования энергии солнечного света. В нашем исследовании, при обсчете всего набора сортов также проявилась взаимосвязь уровня урожайности зерна с суммарным перфоманс-индексом  $PI_{ABS}$  ( $r = 0,403$ ) и с такими показателями использования световой энергии, как ее адсорбирование антенными комплексами (ABS/RC;  $r = -0,477$ ) и утилизация в реакционных центрах фотосистемы (TRo/RC;  $r = -0,452$ ). Оба использованные нами перфоманс-индекса ( $PI_{ABS}$  и  $PI_{ABS, total}$ ) положительно коррелировали с таким хозяйственно ценным показателем структуры урожайности, как Кхоз (соответственно 0,571 и 0,418), что подтверждает мнение других авторов о возможности использования этих индексов в селекционной работе (Kalaji et al., 2016; Strasser et al., 2004).

В работе R. Tobiasz-Salach et al. (2019) было показано, что голозерные овсы (сорт 'Polar' и линия STN 7505) имели значительно более высокие значения  $PI_{ABS}$  по сравнению с пленчатыми образцами (сорт 'Krezus' и линия STN 7105); наблюдаемые различия составили 9%. В нашем исследовании на значительно большем наборе образцов как голозерной, так и пленчатой форм показано обратное – индексы  $PI_{ABS}$  и  $PI_{ABS, total}$  были значимо выше в группе пленчатых овсов (на 28,2 и 21,9% соответственно). Такие различия могут быть объяснены не только разным набором образцов, но также и тем, что в нашем исследовании параметры флуоресценции оценивали на 14-дневных проростках, а не на взрослых растениях.

Следует отметить и тот факт, что в нашей работе коэффициенты вариации индекса  $PI_{ABS}$  у голозерных и пленчатых овсов были очень близки по величине (соответственно 33,7 и 34,2%) и согласуются с полученным в работе A. Noga et al. (2017) коэффициентом варьирования 34,6% для набора из 137 ДН-линий пленчатого овса.

Второй использованный нами индекс  $PI_{ABS, total}$  в значительно большей степени варьировал в группе пленчатых овсов – 39,2% против 23,6% у голозерных овсов. Это может свидетельствовать о большем сходстве работы фотосистем I и II листьев исследованных голозерных овсов, в то время как пленчатые образцы представляют в этом отношении более разнообразную группу. Данный факт может быть объяснен тем, что селекция голозерного овса пока гораздо менее интенсивна, чем пленчатого и, соответственно, комбинаций различных сочетаний функциональных процессов работы фотосистем I и II у голозерных форм овса пока значительно меньше.

### Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало существование статистически значимых различий между пленчатыми и голозерными формами овса посевного по шести из девяти оцененных структурно-функциональных параметров работы PSII листьев. Несмотря на то что у голозерных форм более эффективно (на 8,2%) происходит процесс переноса электронов от пластохинона  $Q_B$  к первичным акцепторам PSI (показатель  $\delta_{RE}$ ), а величины адсорбированного потока световой энергии

(ABS/RC) и потока, захваченного реакционными центрами (TRo/RC), превышают таковые у пленчатых форм на 7,8 и 7,4% соответственно, суммарная эффективность работы PSII, оцененная по перфоманс-индексам  $PI_{ABS}$  и  $PI_{ABS, total}$  у пленчатых форм овса была статистически выше (на 39 и 28% соответственно). Голозерные формы, в отличие от пленчатых, показали наличие статистически значимых корреляционных связей некоторых параметров работы PSII с уровнем развития отдельных элементов продуктивности растений, что может косвенно свидетельствовать о меньшем генетическом разнообразии этой группы ввиду того, что селекционная работа с голозерными формами овса ведется в значительно меньших масштабах, чем с традиционными пленчатыми формами. Результаты кластерного анализа, учитывающего одновременно уровни всех девяти использованных показателей работы PSII, показали, что четкого разделения голозерных и пленчатых форм не может быть проведено, хотя и прослеживается тенденция группирования генотипов по признаку наличия/отсутствия пленчатости зерна.

### References / Литература

- Abugalieva A.I., Loskutov I.G., Savin T.V., Chudinov V.A. Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):9-21. [in Russian] (Абугалиева А.И., Лоскутов И.Г., Савин Т.В., Чудинов В.А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):9-21). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21
- Czyczyło-Mysza I., Tyrka M., Marcinińska I., Skrzypek E., Karbarz M., Dziurka M. et al. Quantitative trait loci for leaf chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll and carotenoid contents in relation to biomass and yield in bread wheat and their chromosome deletion bin assignments. *Molecular Breeding*. 2013;32(1):189-210. DOI: 10.1007/s11032-013-9862-8
- Gerasimov S.A., Polonskiy V.I., Sumina A.V., Surin N.A., Lipshin A.G., Zyute S.A. The influence of genotype and cultivation conditions of oats in the contents of biologically active components in grain. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2020;(2):65-71. [in Russian]. (Герасимов С.А., Полонский В.И., Сумина А.В., Сурин Н.А., Липшин А.Г., Зюте С.А. Влияние генотипа и условий выращивания овса на содержание биологически активных компонентов в зерне. *Химия растительного сырья*. 2020;(2):65-71). DOI: 10.14258/jcpm.2020025515
- Hackett R. A comparison of husked and naked oats under Irish conditions. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2018;57(1):1-8. DOI: 10.1515/ijaf-2018-0001
- Kalaji H.M., Jajoo A., Oukarroum A., Brestič M., Živčák M., Samborska I.A. et al. Chlorophyll *a* fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2016;38:102. DOI: 10.1007/s11738-016-2113-y
- Kirkkari A.-M., Peltonen-Sainio P., Lehtinen P. Dehulling capacity and storability of naked oat. *Agricultural and Food Science*. 2004;13(1-2):198-211. DOI: 10.2137/1239099041837969
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Shavarda A.L., Blinova E.V., Dzubenko N.I. The metabolomic approach to the comparative analysis of wild and cultivated species of oats (*Avena L.*). *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(5):501-508. DOI: 10.1134/s2079059717050136

- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Vargach Yu.I., Porokhovina E.A., Blinova E.V. et al. Modern approach of structuring the variety diversity of the naked and covered forms of cultural oats (*Avena sativa* L.). *Ecological Genetics*. 2020;18(1):27-41. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Конарев А.В., Варгач Ю.И., Пороховина Е.А., Блинова Е.В. и др. Новый подход к структурированию сортового разнообразия голозерных и пленчатых форм культурного овса (*Avena sativa* L.). *Экологическая генетика*. 2020;18(1):27-41). DOI: 10.17816/ecogen12977
- Marcińska I., Czyczyło-Mysza I., Skrzypek E., Grzesiak M.T., Popielarska-Konieczna M., Warchoł M. et al. Application of photochemical parameters and several indices based on phenotypical traits to assess intraspecific variation of oat (*Avena sativa* L.) tolerance to drought. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2017;39(7):153. DOI: 10.1007/s11738-017-2453-2
- Noga A., Warchoł M., Czyczyło-Mysza I., Marcińska I., Dziurka K., Warzecha T. et al. Chlorophyll *a* fluorescence parameters in the evaluation of oat DH lines yield components. *Cereal Research Communications*. 2017;45(4):665-674. DOI: 10.1556/0806.45.2017.032
- Rodionova N.A., Soldatov V.N., Merezhko V.E., Yarosh N.P., Kobylansky V.D. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 3). Oat (Kulturnaya flora. T. 2, ch. 3. Oves). Moscow: Kolos; 1994. [in Russian] (Родионова Н.А., Солдатов В.Н., Мережко В.Е., Ярош Н.П., Кобылянский В.Д. Культурная флора. Т. 2, ч. 3. Овес. Москва: Колос; 1994).
- Sofronova V.E., Chepalov V.A., Dymova O.V., Golovko T.K. Functional condition of photosystem II in leaves of spring oats during autumnal decrease in temperature. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020;67(4):661-670. DOI: 10.1134/S1021443720030206
- Song X., Zhou G., Ma B.L., Wu W., Ahmad I., Zhu G. et al. Nitrogen application improved photosynthetic productivity, chlorophyll fluorescence, yield and yield components of two oat genotypes under saline conditions. *Agronomy*. 2019;9(3):115. DOI: 10.3390/agronomy9030115
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the chlorophyll *a* fluorescence transient. In: G.C. Papageorgiou, Govindjee (eds). *Chlorophyll *a* Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration. Vol. 19*. Dordrecht: Springer; 2004. p.321-362. DOI: 10.1007/978-1-4020-3218-9\_12
- Tobiasz-Salach R., Kalaji H.M., Mastalerczuk G., Bąba W., Bobrecka-Jamro D., Noras K. Can photosynthetic performance of oat (*Avena sativa* L.) plants be used as bioindicator for their proper growth conditions? *Chiang Mai Journal of Science*. 2019;46(5):880-895. Available from: <http://www.thaiscience.info/Journals/Article/CMJS/10990682.pdf> [accessed Feb. 06, 2022].

### Информация об авторах

**Евгений Михайлович Лисицын**, доктор биологических наук, заведующий отделом, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, [edaphic@mail.ru](mailto:edaphic@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3125-3604>

**Светлана Алексеевна Чуракова**, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, [sveta.1917@mail.ru](mailto:sveta.1917@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3900-5258>

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

### Information about the authors

**Eugeny M. Lisitsyn**, Dr. Sci. (Biology), Head of a Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, [edaphic@mail.ru](mailto:edaphic@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3125-3604>

**Svetlana A. Churakova**, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, [sveta.1917@mail.ru](mailto:sveta.1917@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3900-5258>

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

**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 10.02.2022; одобрена после рецензирования 25.05.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 10.02.2022; approved after reviewing on 25.05.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана

М. У. Утебаев<sup>1</sup>, Т. В. Шелаева<sup>1</sup>, Н. А. Боме<sup>2</sup>, И. В. Чилимова<sup>1</sup>,  
О. О. Крадецкая<sup>1</sup>, С. М. Дашкевич<sup>1</sup>, В. В. Новохатин<sup>3</sup>, Л. И. Вайсфельд<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, Шортанды-1, Казахстан

<sup>2</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>3</sup> Федеральный Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья, Тюменская область, Россия

<sup>4</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марал Уралович Утебаев, phytochem@yandex.ru

**Актуальность.** В современных условиях изменения климата особенно важно изучение экологической пластичности сортов зерновых культур, в частности пшеницы. Цель работы – сравнительный анализ качества зерна, муки и хлеба сортов пшеницы российской селекции, выращенных в условиях Северного Казахстана.

**Материалы и методы.** Объектом исследования служили 15 сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень, Россия). Посевы проведены в 2019 и 2020 г., на полевом стационаре НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева (п. Шортанды-1, Северный Казахстан), расположенном в подзоне засушливой степи. Качество зерна оценивали по содержанию белка, клейковины и ее качеству, которое определяли на приборе Инфра-Люм ФТ-10; физическим свойствам теста на альвеографе и фаринографе и хлебопекарным свойствам муки, выявляемым методом пробных выпечек.

**Результаты.** Лабораторная выпечка хлеба показала, что хлебопекарные свойства муки российских сортов соответствуют «сильной» пшенице. Значительное превышение объема хлеба по сравнению с сортом-стандартом 'Целинная юбилейная' отмечено у сортов 'Тюменская 29' (768 мл), 'Тюменец 2' (756 мл), 'Серебрянка' (739 мл). По качеству клейковины шесть из 15 (40%) сибирских сортов можно отнести к высшему классу в условиях Северного Казахстана. Результаты оценки зерна и теста показали, что российские сорта пшеницы формируют качественное зерно в экстремальных условиях Северного Казахстана при том, что они созданы в регионе с достаточной влагообеспеченностью и другим типом почвы. Выделенные сорта с высоким качеством зерна могут стать основой для создания новых высококачественных сортов и селекционных линий в условиях Северного Казахстана.

**Ключевые слова:** селекция, мягкая пшеница, клейковина, хлебопекарное качество, урожайность

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке бюджетной программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан: BR10764908 «Разработать систему земледелия возделывания сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, масличных и технических культур) с применением элементов технологии возделывания, дифференцированного питания, средств защиты растений и техники для рентабельного производства на основе сравнительного исследования различных технологий возделывания для регионов Казахстана» и Проекта Министерства образования и науки Российской Федерации «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зауралья».

Авторы благодарят Ю. Н. Шаврукова, старшего преподавателя Колледжа науки и инженерии Университета Флиндерс (Аделаида, Австралия) за ценные комментарии при работе над данной статьей.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Утебаев М.У., Шелаева Т.В., Боме Н.А., Чилимова И.В., Крадецкая О.О., Дашкевич С.М., Новохатин В.В., Вайсфельд Л.И. Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

## Grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan

Maral U. Utebayev<sup>1</sup>, Tatyana V. Shelaeva<sup>1</sup>, Nina A. Bome<sup>2</sup>, Irina V. Chilimova<sup>1</sup>, Oksana O. Kradetskaya<sup>1</sup>, Svetlana M. Dashkevich<sup>1</sup>, Vladimir V. Novokhatin<sup>3</sup>, Larisa I. Weisfeld<sup>4</sup>

<sup>1</sup>A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, Shortandy-1, Kazakhstan

<sup>2</sup>University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>3</sup>Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, Tyumen Province, Russia

<sup>4</sup>Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Maral U. Utebayev, phytochem@yandex.ru

**Background.** Environmental testing is the first stage of wheat breeding, the purpose of which is to identify wheat samples suitable for local environments and capable of forming a fairly stable yield and high-quality grain. The proposed study presents the test results for spring bread wheat cultivars of Russian breeding grown in arid environments of Northern Kazakhstan in order to preserve their yield and baking qualities.

**Materials and methods.** The material of the study included 15 spring bread wheat cultivars. Protein and gluten content and the quality of gluten were determined using an infrared analyzer; the physical properties of the test were assessed using a Chopin alveograph and Brabender farinograph.

**Results.** As a result of biochemical assessment, increased protein and gluten content and grain weight were observed in cvs. 'Tyumenskaya 30', 'Aviada', 'Lutescens 585', 'Serebrina', and 'Tyumenets 2'. Dough deformation energy (W) characteristic of high-quality wheat and the balance in the P/L ratio (elasticity/elongation) were shown by cvs. 'Tyumenskaya 33' (290 a.u.; 1.15 P/L), 'SKENT-3' (307 a.u.; 0.89 P/L), and 'Lutescens 585' (374 a.u., 1.10 P/L). In laboratory baking, the volume of bread ranged from 620 ml ('Tyumenskaya 27') to 768 ml ('Tyumenskaya 29') with an average value of 707 ml. A baking quality analysis of the cultivars grown in the Northern Trans-Urals and Northern Kazakhstan demonstrated that the conditions in Northern Kazakhstan were more favorable for obtaining bread with an increased volume. On the basis of environmental tests and an assessment of a set of biochemical and technological indicators, cvs. 'SKENT-3' and 'Tyumenskaya 29' were selected. It makes sense to continue studying wheat cultivars that can be sources and donors of high-quality grain for the development of cultivars for the arid steppe of Northern Kazakhstan.

**Keywords:** bread-making quality, bread wheat, gluten, yield, wheat breeding

**Acknowledgements:** this study had financial support from the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan: BR10764908 "To develop an agriculture system for the cultivation of agricultural crops (cereals, legumes, oilseeds and industrial crops) with the use of cultivation technology elements, differentiated nutrition, plant protection products and equipment for cost-effective production based on a comparative study of various cultivation technologies for the regions of Kazakhstan", and the Project of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation "Adaptability of agricultural plants under the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

The authors are grateful to Dr. Yu. N. Shavrukov, Senior Lecturer, College of Science and Engineering at Flinders University (Adelaide, Australia), for his valuable comments while working on this article.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Utebayev M.U., Shelaeva T.V., Bome N.A., Chilimova I.V., Kradetskaya O.O., Dashkevich S.M., Novokhatin V.V., Weisfeld L.I. Grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

## Введение

Приоритетные задачи селекции пшеницы – получение новых сортов, сочетающих в себе высокую урожайность, устойчивость к внешним стресс-факторам и отличное качество зерна. Первый этап селекции заключается в экологическом сортоиспытании (ЭСИ), результатом которого является выявление сортов, способных формировать достаточно стабильный урожай и качественное зерно в различных агроклиматических условиях. Материалом для экологического испытания чаще всего служат сорта пшеницы из коллекций различных селекционных и научно-исследовательских учреждений. Стоит отметить, что тщательное изучение материала из коллекций генетических ресурсов растений (*2nd G – Germplasm Characterization*) по комплексу хозяйственно ценных признаков является одним из пунктов предлагаемой стратегии *5Gs for Crop Genetic Improvement* для селекции сельскохозяйственных культур (Varshney et al., 2020). Лучшие по результатам ЭСИ сорта включают в селекционный процесс для создания новых селекционных линий, адаптированных к конкретным условиям и обладающих комплексом ценных показателей, таких как продуктивность, качество зерна, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам.

Известно, что хлебопекарное качество зерна пшеницы контролируется различными группами генов (Goel et al., 2019; Dhakal et al., 2021). При этом необходимо учитывать, что факторы внешней среды, такие как уровень осадков, тип почвы, различные вредители, болезни и применение тех или иных агротехнологий, играют значительную роль в формировании качества зерна (Karlin, Shagarova, 2017; Ernst et al., 2018; Walsh et al., 2020). Другими словами, качество зерна зависит от генотипа сорта, его устойчивости и отзывчивости к внешним воздействиям окружающей среды и применяемых человеком агротехнологий.

Качество зерна пшеницы характеризуется рядом биохимических, физических и технологических показателей. Определение всех показателей существенно увеличивает объем биохимических и технологических анализов, и зачастую их проведение не всегда целесообразно.

Поэтому в процессе селекции приходится ориентироваться на характеристики зерна, которые несут информацию, необходимую для проведения отбора, как, например, содержание протеина и натурная масса зерна, стекловидность, физические свойства теста, хлебопекарная оценка и т. д. (Methodology of state..., 1988). Учитывая, что продукты переработки зерна пшеницы входят в основной рацион питания человека, в конечном итоге под качеством зерна подразумевается его пищевая ценность.

Цель настоящей работы состояла в проведении полной биохимической и технологической оценки зерна сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья и выделение из них лучших сортов, формирующих качественное зерно и стабильную урожайность в условиях Северного Казахстана.

## Материалы и методы

Объектом исследования служили 15 сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень, Россия). Посевы проводили в 2019 и 2020 г. на полевом стационаре лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева (НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева, п. Шортанды-1, Республика Казахстан), расположенном в подзоне засушливой степи, почва – южно-карбонатный чернозем. Для сравнения использовали сорта-стандарты, принятые в условиях Северного Казахстана: 'Астана' (среднеранний тип созревания), 'Акмола 2' (среднепоздний тип созревания) и 'Целинная юбилейная' (среднепоздний тип созревания). Биохимическую и технологическую оценку проводили в лаборатории биохимии и технологической оценки качества сельскохозяйственных культур НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева.

### Метеорологические условия

По данным Шортандинской метеостанции, 2019 и 2020 г. в целом характеризовались благоприятными условиями для роста и развития пшеницы и формирования качественного зерна. Однако в течение вегетационных периодов температурный режим отличался неустойчивостью, а выпавшие атмосферные осадки – неравномерностью распределения их по месяцам и декадам (рис. 1).

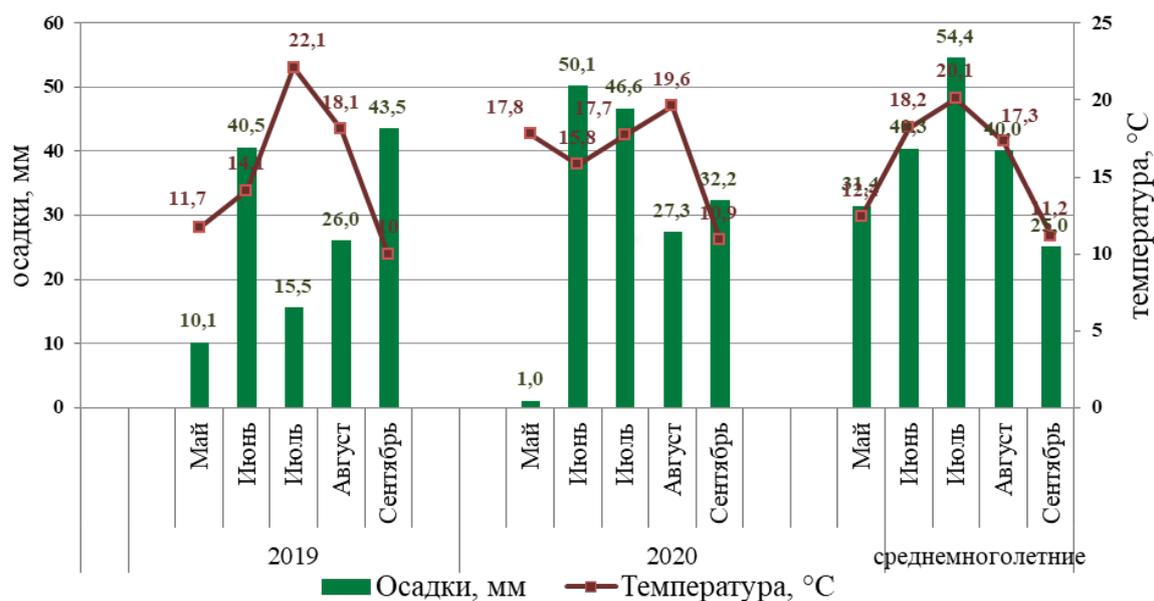


Рис. 1. Климатограмма вегетационного периода в условиях Северного Казахстана, 2019–2020 гг.

Fig. 1. Precipitation and temperature levels during the growing season in Northern Kazakhstan, 2019–2020

Количество осадков в период с мая по сентябрь составило в 2019 г. 135,6 мм, в 2020 г. – 157,2 мм, при средних многолетних данных – 191,1 мм. Среднесуточная температура воздуха в 2019 г. в период с мая по сентябрь составляла 15,2°C, в 2020 г. – 16,4°C, при среднемноголетней норме – 15,8°C.

#### Биохимическая и технологическая оценка

Муку получали с помощью лабораторной мукомольной мельницы CD-1 (Chopin Technologies, Франция), а шрот для биохимического анализа – на мельнице LM 3100 (Pertin Instruments, Швеция). Содержание белка, клейковины и индекс деформации клейковины (ед. ИДК) определяли на ИК-анализаторе Инфра-Люм ФТ-10 («Люмекс», Россия), натурную массу зерна – на пурке ПХ-1 (Россия) с падающим грузом, объемом 1 л, стекловидность – на диафаноскопе ДСЗ-2 (Россия) согласно прилагаемым инструкциям. Физические свойства теста – такие показатели, как энергия деформации теста (*W*), отношение *P/L* (упругость/растяжимость), водопоглощительная способность (ВПС) и валориметрическая оценка – определяли на альвеограф-консистографе NG (Chopin Technologies, Франция) и фаринографе (Brabender GmbH, Германия) (Fomina et al., 2001). Для хлебопекарной оценки использовали метод пробных лабораторных выпечек формового и подового хлеба из 100 г муки (Methodology of state..., 1988).

#### Статистический анализ

Математическую и статистическую обработку полученных результатов проводили по формулам дисперсионного и корреляционного анализов (Dospikhov, 1985) в программе Excell (Microsoft, США), а для кластеризации образцов использовали пакет программ Statistica 6.0 (StatSoft).

## Результаты и обсуждение

На основе биохимической и технологической оценки качественных показателей зерна яровой мягкой пшеницы получены результаты, представленные в таблице 1.

Большинство изученных сортов отнесены к среднепозднему типу созревания. Только два сорта характеризовались как среднеспелые: ‘Тюменская 30’ и ‘Тюменская 33’, вегетационный период которых составил 90 дней.

Средняя урожайность изученных российских сортов за 2019–2020 гг. была 18,2 ц/га, что, вероятно, связано с тем, что в 2019 и 2020 г. наблюдалось неравномерное выпадение осадков и повышенный температурный фон, а также сортам необходимо было адаптироваться к нехарактерным для себя почвенно-климатическим условиям.

Однако засушливые условия могут способствовать повышению качественных показателей зерна и муки (Randall, Moss, 1990; Öztürk, Aydin, 2004). Например, масса 1000 зерен характеризует его крупность. Соответственно, чем крупнее и плотнее зерно, тем больше выход муки и крупы. В результате по данному показателю достоверное превышение над стандартами зафиксировано для сортов ‘Рикс’, ‘Серебряна’, ‘Икар’ и ‘Тюменец 2’. Варьирование признака в изученной выборке составило от 33,2 г (‘Тюменская 27’) до 39,1 г (‘Рикс’) при среднем значении – 35,6 г, без учета сортов-стандартов.

Питательная ценность зерна связана с содержанием белка, накопление которого зависит от температуры окружающей среды (Öztürk, Aydin, 2004). В изучаемой выборке среднее содержание белка составило 16,5% при разбросе признака от 15,7% (‘Тюменская 29’) до 17,9%

(‘Тюменская 32’). Достоверное превышение над стандартами по содержанию белка зафиксировано у ‘Тюменская 33’ (17,5%) из группы среднеспелых сортов. В группе среднепоздних сортов выделились ‘Лютесценс 585’ (17,6%), ‘СКЭНТ-3’ (16,7%), ‘Тюменец 2’ (16,7%), ‘Тюменская 27’ (17,3%) и ‘Тюменская 32’ (17,9%).

Качество зерна и готовой продукции зависит от клейковины. Установлено, что увеличение содержания клейковины в зерне наблюдается при внесении азотных удобрений при дефиците воды – засухе (Liu et al., 2021). Среднее содержание клейковины составило 33,7% при минимуме и максимуме: 31,7% (‘Тюменская 29’) и 37,0% (‘Лютесценс 585’) соответственно. Однако следует отметить, что высокое накопление клейковины в зерне не гарантирует получение качественной готовой продукции. Более важным критерием является индекс деформации клейковины (ИДК), который по казахстанскому стандарту для «сильной» пшеницы должен находиться в пределах 45–75 ед. – для высшего класса и 45–80 ед. – для I и II классов (ST RK 1046-2008..., 2008). В российском стандарте ИДК от 43 до 77 ед. соответствует I и II классу (GOST 9353-2016..., 2019). На основе казахстанского стандарта (ST RK 1046-2008..., 2008) к высшему классу можно отнести шесть из 15 сортов, что составляет 40%. Оставшиеся образцы отнесены к первому классу, за исключением ‘Лютесценс 585’ (82 ед. ИДК), ‘Тюменская 27’ (82 ед. ИДК) и ‘Тюменская 33’ (84 ед. ИДК), качество клейковины которых соответствовало третьему классу. По российскому стандарту (GOST 9353-2016..., 2019) к I классу по содержанию и качеству клейковины отнесено 80% сортов (12 из 15 сортов).

Зерно с повышенной натурной массой содержит больше эндосперма и меньше оболочек и, соответственно, дает больший выход муки. Как оказалось, на показатель «натура зерна» могут влиять агротехнические приемы выращивания пшеницы (Iqbal et al., 2007). С другой стороны, снижение натуры зерна и, соответственно, ухудшение его качества может быть связано с задержкой уборки из-за выпадения осадков (Farrer et al., 2006). Установлено, что натурная масса зерна пшеницы отрицательно коррелирует с содержанием белка (Farrer et al., 2006). По результатам наших исследований, действительно, наблюдалась отрицательная корреляция  $r = -0,22$ . Стоит отметить, что такая же закономерность выявлена у овса (Holland, Munkvold, 2001), кукурузы (Miao et al., 2007) и ячменя (Das et al., 2007).

Среднее значение натуры зерна у изученных сортов составило 790 г/л при размахе значения от 780 г/л (‘Тюменская 32’) до 802 г/л (‘Тюменец 2’). Достоверное превышение над стандартами наблюдали у сортов ‘Тюменская 30’ (801 г/л), ‘Авиада’ (800 г/л), ‘Икар’ (799 г/л) и ‘Тюменец 2’ (802 г/л).

Стекловидность, как натура и масса 1000 зерен, имеет значение при оценке мукомольных характеристик. Чем выше стекловидность, тем больше выход муки высокого качества. По результатам проведенных анализов, среднее значение стекловидности зерна оказалось на уровне 54%, что соответствует II классу (GOST 9353-2016..., 2019). Максимальное значение стекловидности зерна (61%) отмечено у сорта ‘Серебряна’, а минимальное (49%) – у ‘Аделина’ и ‘Тюменская 31’.

Дополнительно проведен сравнительный анализ полученных данных с результатами оценки зерна четырех сортов (‘Тюменская 25’, ‘Тюменская 29’, ‘Икар’ и ‘Авиада’, урожай 2019 и 2020 г.), выращенных в условиях Северного Зауралья. Как оказалось, метеорологи-

**Таблица 1.** Показатели качества зерна и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана (урожай 2019–2020 гг.)

**Table 1.** Grain quality indicators and yield of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown (harvested in 2019–2020) in Northern Kazakhstan

Сорт / Cultivar	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	Содержание протеина, % / Protein content, %	Клейковина / Gluten		Нагура зерна, г/л / Grain test weight, g/l	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Урожайность, ц/га / Yield, 100 kg/ha
			Содержание, % / Content, %	Качество, ед. ИДК / Quality, GDI units			
<b>Среднеспелый тип созревания</b>							
Акмола 2 (St)	34,1	15,7	31,2	73	782	55	23
Тюменская 30	35,3	16,2	33,1	77	801	57	16
Тюменская 33	33,3	17,5	36,4	84	781	55	15
<b>Среднепоздний тип созревания</b>							
Целинная юбилейная (St)	34,0	15,6	31,6	73	785	61	24
Авиада	36,2	16,1	32,1	75	800	56	23
Аделина	34,7	15,9	32,4	74	792	49	21
Икар	36,7	16,4	33,5	74	799	55	20
Лютесценс 585	34,4	17,6	37,0	82	785	54	14
Рикс	39,1	16,1	32,8	76	788	57	20
Серебряна	38,8	15,9	31,8	74	796	61	21
СКЭНТ-3	36,1	16,7	33,9	79	792	52	22
Тюменец 2	36,6	16,7	33,9	79	802	55	17
Тюменская 25	34,7	16,2	32,7	79	785	54	18
Тюменская 27	33,2	17,3	35,8	82	788	53	15
Тюменская 29	35,7	15,7	31,7	75	791	54	19
Тюменская 31	35,1	16,0	33,0	76	774	49	15
Тюменская 32	34,0	17,9	36,0	71	780	55	17
НСР <sub>05</sub>	2,5	0,9	3,4	9	13	6	4

Примечание: ИДК – индекс деформации клейковины; St – сорт-стандарт  
Note: GDI – gluten deformation index; St – standard reference cultivar

ческие условия Северного Зауралья характеризовались обильным количеством осадков и жарких дней. Данные условия способствовали формированию зерна, очень близкого по показателям качества зерну, полученному в условиях Северного Казахстана. При этом средняя урожайность четырех сортов в условиях Северного Зауралья составила 48 ц/га, тогда как в казахстанских условиях эти же сорта в среднем имели урожайность только 20 ц/га.

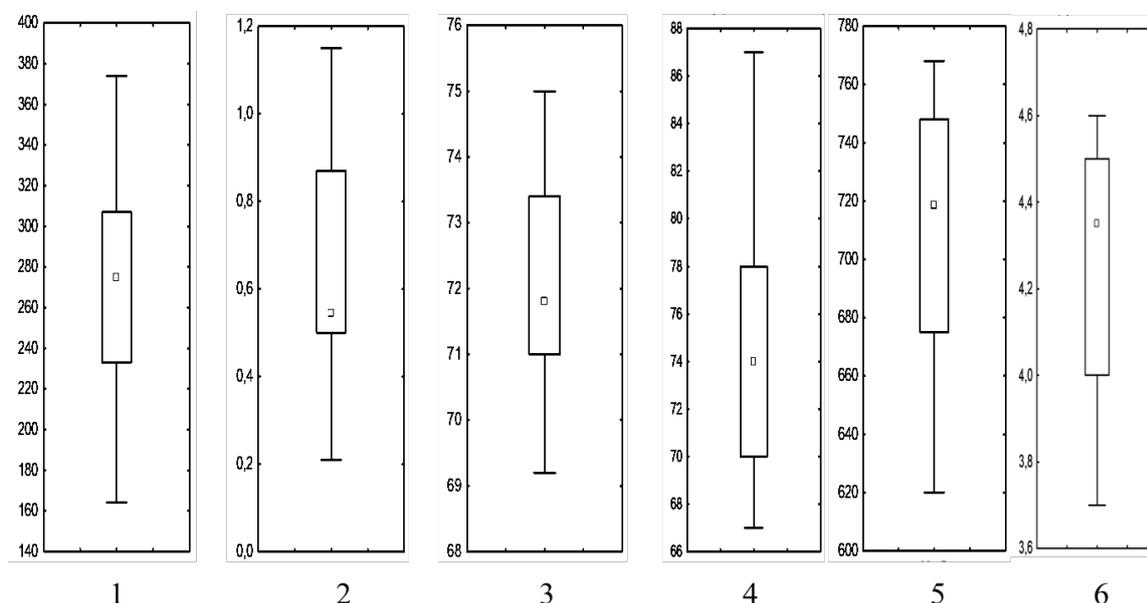
Для более полного понимания потенциала качества российских сортов, сравнили полученные результаты с опубликованными ранее (Serdyukova, Moiseeva, 2014; Letyago, 2014; Letyago, Belkina, 2017; Belkina et al., 2019; Kazak, Loginov, 2019; Polyakov et al., 2020). Оказалось, что

содержание белка у сортов ‘Тюменская 27’, ‘Тюменская 30’, ‘Авиада’, ‘Икар’, ‘Рикс’, ‘СКЭНТ-3’, ‘Тюменская 25’, ‘Тюменская 29’, ‘Тюменская 31’, ‘Тюменская 32’, ‘Тюменская 33’ и ‘Аделина’ в период с 2010 по 2013 г. варьировало в пределах от 12,4 до 16,0% (при среднем 14,8%). Содержание и качество клейковины также соответствовало II классу (GOST 9353-2016..., 2019). Следует отметить, что в указанные годы метеорологические условия характеризовались невысокими температурами (Letyago, Belkina, 2017). В то же время в засушливых условиях Северного Казахстана эти же сорта, при обилии жарких дней, сформировали зерно с более высоким содержанием белка, в среднем до 16,5%, и качественной клейковиной (см. табл. 1).

Показатели, характеризующие физические свойства теста, и общая хлебопекарная оценка представлены на рисунке 2. По результатам альвеографического и фаринографического анализов установлены значения таких показателей, как энергия деформации теста, отношение упругости к растяжимости, водопоглощительная способность и валориметрическая оценка.

знак варьировал от 67 ед. вал. ('Тюмонец 2') до 87 ед. вал. ('Тюменская 32'), при среднем 74 ед. вал. Это позволило классифицировать данные сорта как «сильные» пшеницы и «улучшители» (см. рис. 2) (Methodology of state..., 1988).

Физические свойства теста у сортов пшеницы 'Тюменская 25', 'Тюменская 29', 'Икар' и 'Авиада', выращен-



**Рис. 2.** Физические свойства теста, полученного из муки сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана (урожай 2019 и 2020 гг.):

1 – энергия деформации теста (е.а.); 2 – отношение упругости к растяжимости P/L (ед.); 3 – водопоглощительная способность (%); 4 – валориметрическая оценка (ед. вал.); 5 – объем хлеба (мл); 6 – общая хлебопекарная оценка (балл)

**Fig. 2** Physical properties of dough obtained from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown (harvested in 2019–2020) in Northern Kazakhstan: 1 – dough deformation energy (alveograph units, a.u.); 2 – dough tenacity/extensibility ratio P/L; 3 – water absorption capacity (%); 4 – valorimetric index (val. units); 5 – loaf volume (ml); 6 – bread-making quality scores (points)

Энергия деформации теста, или «сила» муки ( $W$ ), – критерий, показывающий, сколько энергии необходимо затратить на деформацию теста при раздувании его в пузырь. По действующей классификации, у качественной и «сильной» пшеницы показатель  $W$  должен быть не менее 260 единиц альвеографа (е.а.) (Methodology of state ..., 1988). На основании этих требований к «сильной» пшенице отнесены 'Икар' (322 е.а.), 'Тюменская 33' (290 е.а.), 'Аделина' (301 е.а.), 'Серебряна' (296 е.а.), 'СКЭНТ-3' (307 е.а.) и 'Лютесценс 585' (374 е.а.). Слабые показатели  $W$  имели 'Рикс' (164 е.а.), 'Тюмонец 2' (165 е.а.) и 'Тюменская 31' (175 е.а.). Сбалансированными по соотношению P/L оказались 'Тюменская 30' (0,87 ед.), 'Тюменская 33' (1,15 ед.), 'СКЭНТ-3' (0,89 ед.) и 'Лютесценс 585' (1,1 ед.).

Водопоглощительная способность (ВПС) муки находилась в пределах 69–75%, при среднем 72%. Такие сорта, как 'Тюменская 25', 'Рикс' и 'Аделина', показали значения, близкие к 70%, тогда как в условиях Северного Зауралья эти же сорта в 2010–2012 гг. имели значения ВПС 58%, 57% и 58% соответственно (Letyago, Belkina, 2017). Определяемый на фаринографе Бранднера показатель «валориметрическая оценка» характеризует «силу» пшеницы. Чем выше данный признак, тем «сильнее» пшеница. По требованиям к «сильной» и ценной пшенице, валориметрическая оценка должна быть не менее 55 единиц валориметра (ед. вал.). В изученной выборке данный при-

ных в условиях Северного Зауралья, не показали значительных отличий от данных, полученных в условиях Северного Казахстана. Исключение составил только 'Икар', сила муки которого оказалась на уровне 204 е.а. в условиях Северного Зауралья и 322 е.а. в условиях Северного Казахстана.

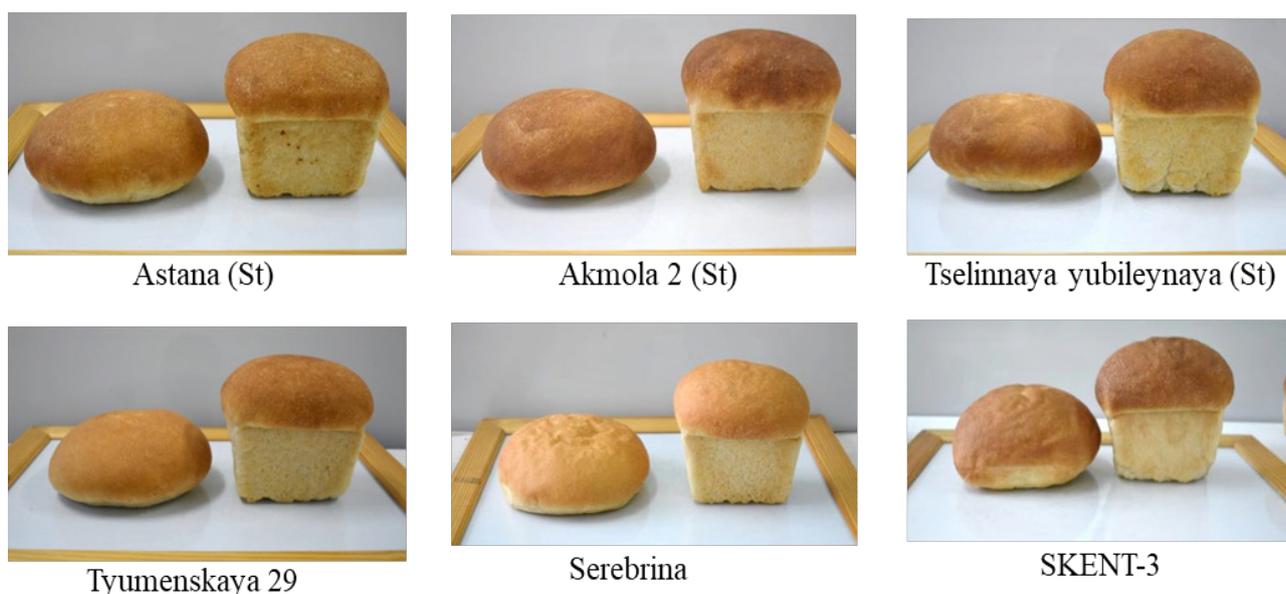
Хлебопекарная оценка является практическим итоговым критерием оценки качества пшеничной муки и теста (рис. 3).

Объем хлеба у изучаемых сортов яровой пшеницы находился в пределах от 620 мл ('Тюменская 27') до 768 мл ('Тюменская 29'), при среднем значении 707 мл (см. рис. 2). Достоверное превышение над стандартом наблюдали у 'Серебряна' (739 мл), 'СКЭНТ-3' (760 мл), 'Тюмонец 2' (756 мл) и 'Тюменская 29' (768 мл). Однако по общей хлебопекарной оценке изучаемые сорта не превышали сорта-стандарты.

Для сравнительного анализа зерна российской пшеницы, полученного в условиях Северного Зауралья и Северного Казахстана, провели выпечку хлеба и оценили его хлебопекарные качества у четырех сортов (табл. 2).

Результаты показали, что условия Северного Казахстана более благоприятны для получения хлеба повышенного объема (рис. 4). Так, разница в объеме составила от 32 мл ('Икар') до 110 мл ('Авиада').

Следует отметить, что рецепт лабораторной выпечки хлеба из муки мягкой пшеницы содержит такие



**Рис. 3.** Лабораторная выпечка хлеба из муки яровой мягкой пшеницы сортов НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана

**Fig. 3** Laboratory baking of bread from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown in Northern Kazakhstan

**Таблица 2.** Хлебопекарное качество зерна у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья и Северного Казахстана (среднее за 2019 и 2020 г.)

**Table 2.** Bread-making quality of spring bread wheat cultivars under the conditions of the Northern Trans-Urals and Northern Kazakhstan (mean for 2019 and 2020)

Сорт / Cultivar	Регион / Region	Объем хлеба, мл / Loaf volume, ml	Общая хлебопекарная оценка, балл / Bread-making quality scores (pts)
Тюменская 25	Северное Зауралье	643	4,0
	Северный Казахстан	712	4,5
Тюменская 29	Северное Зауралье	675	4,1
	Северный Казахстан	768	4,4
Икар	Северное Зауралье	690	4,3
	Северный Казахстан	722	4,5
Авиада	Северное Зауралье	605	3,7
	Северный Казахстан	715	3,9
Среднее	Северное Зауралье	653	4,0
	Северный Казахстан	729	4,3

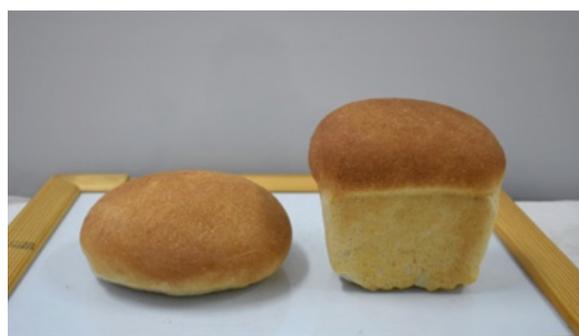


Икар



Авиада

А



Икар



Авиада

В

**Рис. 4.** Лабораторная выпечка хлеба из муки сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья: **А** – сорта выращены в условиях Северного Зауралья; **В** – в условиях Северного Казахстана

**Fig. 4.** Laboratory baking of bread from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region: **A** – grown in the Northern Trans-Urals;

**B** – grown in Northern Kazakhstan

добавки, как бромат калия и аскорбиновая кислота, которые искусственно увеличивают объем хлеба практически в два раза (Methodology of state..., 1988). В рецептуре пробной лабораторной выпечки хлеба НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева отсутствуют химические реагенты, а анализ проводится только на основе муки, дрожжей, сахара, соли и воды в заданных пропорциях. Объем хлеба при таком методе меньше в два раза, но при этом виден хлебопекарный потенциал муки мягкой пшеницы (Bayakhmetova et al., 2014). Например, если пшеница является хорошим улучшителем, то объем хлеба, с учетом добавок бромата калия и аскорбиновой кислоты, должен быть не менее 1300 мл (Methodology of state..., 1988), в то время как без добавок этот показатель соответствует уровню 655–695 мл (Bayakhmetova et al., 2014).

Таким образом, объем хлеба у изученных сортов соответствует «сильной» пшенице категории «отличный улучшитель». При этом даже минимальный зафиксированный объем в 620 мл у «Тюменская 27» позволяет отнести ее к «сильной» пшенице. Достоверное превышение объема хлеба, при сравнении со стандартом «Целинная юбилейная», отмечено у «Тюменская 29» (768 мл), «Тюмеец 2» (756 мл) и «Серебряна» (739 мл).

Анализ литературных данных показал, что в условиях Северного Зауралья объем хлеба у сортов в период с 2010 по 2012 г. составлял: 988 мл («Тюменская 25»), 1063 мл («Рикс»), 826 мл («Аделина») (Letyago, Belkina, 2017); в 2014 г. объем в 1100 мл имели «Тюменская 32» и «Тюменская 33», и в 2017 г. сорт «Тюменская 29» показал объем хлеба в 1010 мл (Belkina et al., 2019). Однако эти результаты получены на основе рецептуры Госкомиссии по сортоиспытанию (Methodology of state..., 1988), и пред-

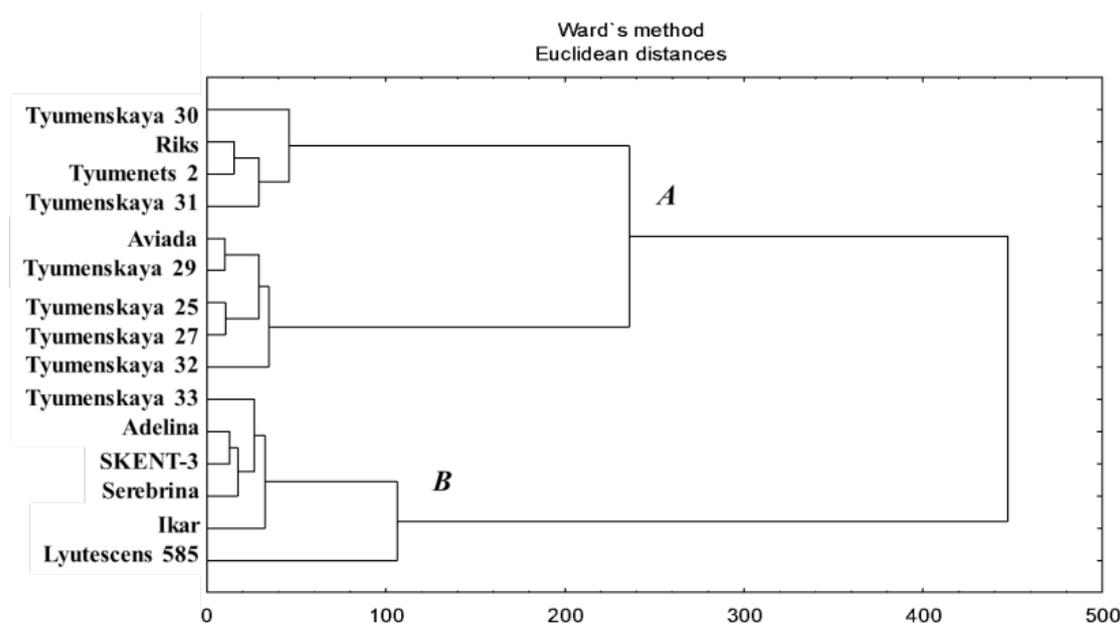
ставленные данные необходимо уменьшить вдвое, чтобы получить объем хлеба без использования улучшителей. В этом случае, при классификации сортов пшеницы по объему хлеба без учета добавок, сорта «Рикс» (Letyago, 2014), «Тюменская 29», «Тюменская 32» и «Тюменская 33» (Belkina et al., 2019) относятся к ценным по качеству, а «Аделина» и «Тюменская 25» – к филлерам (Letyago, 2014). Тогда как в условиях Северного Казахстана эти же сорта получили оценки как отличные и хорошие улучшители. Общая хлебопекарная оценка изучаемых сортов варьировала от 3,7 до 4,5 баллов, при среднем 4,2 балла, что соответствует ценной по качеству пшенице.

Для выявления сортов с комплексом повышенных качественных характеристик зерна, готовой продукции и урожайности проведен кластерный анализ выборки изученных сортов по методу Уорда без учета влияния показателей сортов-стандартов. В результате анализа изученные сорта четко объединились в два кластера: **A** (9 сортов) и **B** (6 сортов) (рис. 5).

При расчете средних значений показателей биохимической, технологической, хлебопекарной оценки и урожайности сортов, включенных в каждый из кластеров, оказалось, что сорта кластера **B** предпочтительнее чем сорта кластера **A** по энергии деформации теста, отношению P/L и объему хлеба (табл. 3).

Стоит отметить, что все сорта кластера **B** содержат аллель *Glu-D1d*, контролирующей синтез пары высокомолекулярных субъединиц глютеина *1D5x+1D10y* (Utebayev et al., 2021), который связан с повышенными хлебопекарными признаками (Wang et al., 2018; Gao et al., 2020).

Интересно, что у сортов «Аделина», «СКЭНТ-3» и «Икар», сформировавших качественное зерно, идентифицирован



**Рис. 5.** Кластеризация сортов яровой мягкой пшеницы по комплексу биохимических и технологических показателей и урожайности. Сорта выращивали в условиях Северного Казахстана (урожай 2019–2020 гг.)

**Fig. 5** Clustering of spring bread wheat cultivars according to a set of biochemical and technological indicators and yield under the conditions of Northern Kazakhstan (harvested in 2019–2020)

**Таблица 3.** Показатели биохимической и технологической оценки зерна и урожайности сортов яровой мягкой пшеницы кластеров А и В

**Table 3.** Indicators of biochemical and technological assessment of grain quality and yield of spring bread wheat cultivars from clusters A and B

Показатели качества / Quality indicators	Кластер А / Cluster A	Кластер В / Cluster B
Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	35,6	35,7
Содержание белка, % / Protein content, %	16,5	16,7
Содержание клейковины, г / Gluten content, %	33,5	34,2
ИДК, ед. / Gluten quality, GDI units	77	78
Натура зерна, г/л / Grain test weight, g/l	790	791
Стекловидность, % / Vitreousness, %	54	54
Энергия деформации теста, е.а. / Dough deformation energy, alveograph units (a.u.)	215	315
Отношение упругость/растяжимость, P/L / Dough tenacity/extensibility ratio (P/L), units	0,54	0,80
ВПС, % / Water absorption capacity, %	72	72
Валориметрический индекс, ед. вал. / Valorimetric index, val. units	72	77
Объем хлеба, мл / Loaf volume, ml	697	722
Общая хлебопекарная оценка, балл / Bread-making quality scores, pts	4,2	4,2
Урожайность, ц/га / Yield, 100 kg/ha	18	19

аллель *Glu-B1a*, контролирующей синтез субъединицы глютеина 1Вх7, связанной с низким качеством, которое оценивается в 1 балл по шкале влияния субъединиц глютеина на хлебопекарное качество (Lukow et al., 1989). С другой стороны, отсутствие данной субъединицы может отрицательно сказаться на качестве теста (Chen et al., 2019). Поэтому можно предположить, что прогнозируемое хлебопекарное качество на основе наличия тех или иных высокомолекулярных субъединиц глютеина не всегда соответствует действительному качеству. К тому же следует учесть, что качество зерна на 53% зависит от погодных условий (Petrenko et al., 2017), и, возможно, негативное влияние «плохих» аллелей глютеина может компенсироваться благоприятными почвенно-климатическими условиями.

### Заключение

На основе хлебопекарной оценки значительное превышение объема хлеба по сравнению с сортом-стандартом 'Целинная юбилейная' отмечено у сортов 'Тюменская 29' (768 мл), 'Тюменец 2' (756 мл), 'Серебрянка' (739 мл).

Полученные результаты технологической, хлебопекарной оценки зерна и урожайности сортов яровой мягкой пшеницы, созданных в НИИСХ Северного Зауралья, свидетельствуют о том, что эти сорта в засушливых условиях, при малом количестве осадков, способны сформировать высококачественное зерно, но имеют невысокую урожайность. С другой стороны, урожайность североказахстанской пшеницы в среднем составляет примерно 20 ц/га, поэтому полученная урожайность российской пшеницы вполне допустима в условиях Северного Казахстана. Таким образом, представляется целесообразным и оправданным дальнейшее изучение сортов мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, которые можно использовать в качестве источников и доноров высокого качества зерна при создании новых сортов пшеницы в условиях засушливой степи Северного Казахстана.

### References / Литература

Bayakhmetova S.E., Yakunina N.A., Popolzhukhina N.A., Babkenov A.T., Dashkevich S.M. Evaluation of milling and baking qualities of grain varieties and lines of spring wheat in arid steppes of Kazakhstan. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014;2(134):240-242. [in Russian] [Баяхметова С.Е., Якунина Н.А., Поползухина Н.А., Бабкенов А.Т., Дашкевич С.М. Оценка мукомольных и хлебопекарных качеств зерна сортов и линий яровой мягкой пшеницы в условиях засушливой степи Казахстана. *Омский научный вестник*. 2014;2(134):240-242].

Belkina R.I., Vydrin V.V., Fedoruk T.K. Grain quality of wheat of state testing variety cultivated in Tyumen Region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;4(78):47-50. [in Russian] (Белкина Р.И., Выдрин В.В., Федорук Т.К. Качество зерна пшеницы сортов государственного испытания Тюменской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019;4(78):47-50).

Chen Q., Zhang W., Gao Y., Yang C., Gao X., Peng H. et al. High molecular weight glutenin subunits 1Вх7 and 1Ву9 encoded by *Glu-B1* locus affect wheat dough properties and sponge cake quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(42):11796-11804. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b05030

Das M.K., Griffey C.A., Baldwin R.E., Waldenmaier C.M., Vaughn M.E., Price A.M. et al. Host resistance and fungicide control of leaf rust (*Puccinia hordei*) in barley (*Hordeum vulgare*) and effects on grain yield and yield components. *Crop Protection*. 2007;26(9):1422-1430. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.12.003

Dhakal S., Liu X., Girard A., Chu C., Yang Y., Wang S. et al. Genetic dissection of end-use quality traits in two widely adapted wheat cultivars 'TAM 111' and 'TAM 112'. *Crop Science*. 2021;61(3):1944-1959. DOI: 10.1002/csc2.20415

Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).

Ernst O.R., Dogliotti S., Cadenazzi M., Kemanian A.R. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *Field Crops Research*. 2018;217:180-187. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.11.014

Farrer D., Weisz R., Heiniger R., Murphy J.P., Pate M.H. Delayed harvest effect on soft red winter wheat in the southeastern USA. *Agronomy Journal*. 2006;98(3):588-595. DOI: 10.2134/agronj2005.0211

Fomina O., Levin A., Narseev A. Grain. Quality and safety inspection according to international standards (Zerno. Kontrol kachestva i bezopasnosti po mezhdunarodnyy standartam). Moscow: Protektor; 2001. [in Russian] (Фомина О.Н., Левина А.М., Нарсеев А.В. Зерно. Контроль качества и безопасности по международным стандартам. Москва: Протектор; 2001).

Gao S., Sun G., Liu W., Sun D., Peng Y., Ren X. High-molecular-weight glutenin subunit compositions in current Chinese commercial wheat cultivars and the implication on Chinese wheat breeding for quality. *Cereal Chemistry*. 2020;97(4):762-771. DOI: 10.1002/cche.10290

Goel S., Singh K., Singh B., Grewal S., Dwivedi N., Alqarawi A.A. et al. Analysis of genetic control and QTL mapping of essential wheat grain quality traits in a recombinant inbred population. *PLoS One*. 2019;14(3):e0200669. DOI: 10.1371/journal.pone.0200669

GOST 9353-2016. Interstate standard. Wheat. Specifications. Official edition. (Mezhhgosudarstvennyy standart. Pshenitsa. Tekhnicheskiye usloviya. Izdaniye ofitsialnoye). Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 9353-2016. Межгосударственный стандарт. Пшеница. Технические условия. Издание официальное). Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/62924> [дата обращения: 02.03.2022].

Holland J.B., Munkvold G.P. Genetic relationships of crown rust resistance, grain yield, test weight, and seed weight in oat. *Crop Science*. 2001;41(4):1041-1050. DOI: 10.2135/cropsci2001.4141041x

Iqbal M., Navabi A., Yang R.C., Salmon D.F., Spaner D. The effect of vernalization genes on earliness and related agronomic traits of spring wheat in northern growing regions. *Crop science*. 2007;47(3):1031-1039. DOI: 10.2135/cropsci2006.09.0618

Kaplin V.G., Sharapova Yu.A. Influence of the Russian wheat aphid *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Homoptera, Aphididae) on productive qualities of spring bread wheat and barley grown from the seeds from aphid-infested spikes. *Entomological Review*. 2017;97(4):415-424. DOI: 10.1134/S0013873817040030

Kazak A.A., Loginov Yu.P. Yield and grain quality of mid-season and mid-late valuable spring bread wheat cultivars of Siberian breeding in the northern forest-steppe of Tyumen Province (Urozhaynost i kachestvo zerna sred-

- nespelykh i srednepozdnykh tsennykh sortov yarovoy myagkoy pshenitsy sibirskoy seleksii v severnoy lestepi Tyumenskoj oblasti). *AgroEcoInfo*. 2019;1(35):15. [in Russian] (Казак А.А., Логинов Ю.П. Урожайность и качество зерна среднеспелых и среднепоздних ценных сортов яровой мягкой пшеницы сибирской селекции в северной лесостепи Тюменской области. *АгроЭкоИнфо*. 2019;1(35):15).
- Letyago Yu.A. Variation of technological properties of wheat in the conditions of Northern Zauralye. *Khleboпродукты = Bread Products*. 2014;(9):58-60. [in Russian] (Летяго Ю.А. Варьирование технологических свойств зерна пшеницы в условиях Северного Зауралья. *Хлебопродукты*. 2014;(9):58-60).
- Letyago Yu.A., Belkina R.I. Wheat from Tyumen Province: quality of grain, flour, and bread (Pshenitsa Tyumenskoj oblasti: kachestvo zerna, muki i khleba). Tyumen; 2017. [in Russian] (Летяго Ю.А., Белкина Р.И. Пшеница Тюменской области: качество зерна, муки и хлеба. Тюмень; 2017).
- Liu J., Zhang J., Zhu G., Zhu D., Yan Y. Effects of water deficit and high N fertilization on wheat storage protein synthesis, gluten secondary structure, and breadmaking quality. *The Crop Journal*. 2022;10(1):216-223. DOI: 10.1016/j.cj.2021.04.006
- Lukow O.M., Payne P.I., Tkachuk R. The HMW glutenin subunit composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1989;46(4):451-460. DOI: 10.1002/jsfa.2740460407
- Methodology of state variety trials for agricultural crops. Technological assessment of cereal, groat and grain legume crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kultur). Moscow; 1988. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Москва; 1988).
- Miao Y., Mulla D.J., Hernandez J.A., Wiebers M., Robert P.C. Potential impact of precision nitrogen management on corn yield, protein content, and test weight. *Soil Science Society of America Journal*. 2007;71(5):1490-1499. DOI: 10.2136/sssaj2005.0396
- Özturk A., Aydin F. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2004;190(2):93-99. DOI: 10.1046/j.1439-037X.2003.00080.x
- Petrenko V., Liubich V., Bondar V. Baking quality of wheat grain as influenced by agriculture systems, weather and storing conditions. *Romanian Agricultural Research*. 2017;34:69-76.
- Poljakov M.V., Belkina R.I., Letyago Yu.A. Variation of grain quality characteristics in spring soft wheat varieties in the Northern Trans-Urals. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2020;4(61):20-26. [in Russian] (Поляков М.В., Белкина Р.И., Летяго Ю.А. Варьирование признаков качества зерна у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2020;4(61):20-26). DOI: 10.34655/bgsha.2020.61.4.003
- Randall P.J., Moss H.J. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1990;41(4):603-617. DOI: 10.1071/AR9900603
- Serdyukova L.A., Moiseeva K.V. Grain quality of spring bread wheat cultivars under the conditions of the northern forest-steppe in Tyumen Province (Kachestvo zerna sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh severnoy lestepi Tyumenskoj oblasti). In: *Prospects for the development of the agro-industrial complex in the works of young scientists. Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Perspektivy razvitiya APK v rabotakh molodykh uchenykh. Sbornik materialov regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh)*. Tyumen; 2014. p.141-144. [in Russian] (Сердюкова Л.А., Моисеева К.В. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях северной лесостепи Тюменской области. В кн.: *Перспективы развития АПК в работах молодых учёных. Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых*. Тюмень; 2014. С.141-144). Available from: [http://www.tsaa.ru/content/files/upload/368/2014g\\_perspektivyi\\_razvitiya\\_apk\\_v\\_rabotax\\_molodyix\\_uchyonyix\\_-\\_sbornik\\_materialov\\_konferentsii\\_5\\_fevralya\\_-\\_chast\\_1.pdf#page=141](http://www.tsaa.ru/content/files/upload/368/2014g_perspektivyi_razvitiya_apk_v_rabotax_molodyix_uchyonyix_-_sbornik_materialov_konferentsii_5_fevralya_-_chast_1.pdf#page=141) [дата обращения: 04.03.2022].
- ST RK 1046-2008. Wheat. Specifications (ST RK 1946-2008. Pshenitsa. Tekhnicheskiye usloviya). Almaty; 2008. [in Russian] (СТ РК 1046-2008. Пшеница. Технические условия. Алма-Ата; 2008).
- Utebayev M.U., Bome N.A., Zemtsova E.C., Kradetskaya O.O., Chilimova I.V. Diversity high-molecular-weight glutenin subunits and evaluation of genetic similarities in spring bread wheats from different breeding centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):99-109. [in Russian] (Утебаев М.У., Боме Н.А., Земцова Е.С., Крадецкая О.О., Чилимова И.В. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютеина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):99-109). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109
- Varshney R.K., Sinha P., Singh V.K., Kumar A., Zhang Q., Bennetzen J.L. 5Gs for crop genetic improvement. *Current Opinion in Plant Biology*. 2020;56:190-196. DOI: 10.1016/j.pbi.2019.12.004
- Walsh O.S., Walsh W.L. Seeding rate and nitrogen fertilizer rate effect on dryland no-till hard red spring wheat yield and quality. *Agrosystems, Geosciences and Environment*. 2020;3(1):e20001. DOI: 10.1002/agg2.20001
- Wang X., Zhang Y., Zhang B., Florides C.G., Gao Z., Wang Z. et al. Comparison of quality properties between high-molecular-weight glutenin subunits 5 + 10 and 2 + 12 near-isogenic lines under three common wheat genetic backgrounds. *Cereal Chemistry*. 2018;95(4):575-583. DOI: 10.1002/cche.10061

**Информация об авторах**

**Марал Уралович Утебаев**, заведующий лабораторией, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, phytochem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0729-0592>

**Татьяна Васильевна Шелаева**, старший научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева 15, tatyana.shelaewa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5987-531X>

**Нина Анатольевна Боме**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, Институт биологии, Тюменский государственный университет, 625043 Россия, Тюмень, ул. Пирогова, 3, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

**Ирина Владимировна Чилимова**, научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, coronela@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8016-646X>

**Оксана Олеговна Крадецкая**, научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, oksana\_cwr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4904-2837>

**Светлана Михайловна Дашкевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15), vetka-da@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5272-9042>

**Владимир Васильевич Новохатин**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, gnu\_niicx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

**Лариса Ильинична Вайсфельд**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, 119334 Россия, Москва, ул. Косыгина, 4, liv11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8449-3679>

**Information about the authors**

**Maral U. Utebayev**, Head of a Laboratory, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, phytochem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0729-0592>

**Tatyana V. Shelaeva**, Senior Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, tatyana.shelaewa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5987-531X>

**Nina A. Bome**, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of a Department, University of Tyumen, 3 Pirogova St., Tyumen 625043, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

**Irina V. Chilimova**, Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, coronela@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8016-646X>

**Oksana O. Kradetskaya**, Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, oksana\_cwr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4904-2837>

**Svetlana M. Dashkevich**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, vetka-da@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5272-9042>

**Vladimir V. Novokhatin**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, gnu\_niicx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

**Larisa I. Weisfeld**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina St., Moscow 119334, Russia, liv11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8449-3679>

**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 02.02.2022; одобрена после рецензирования 21.04.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 02.02.2022; approved after reviewing on 21.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

Научная статья  
УДК 635.629:58.036.5:638.138.5:58.085  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47



## Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro*

Ю. В. Фотев<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юрий Валентинович Фотев, fotev\_2009@mail.ru

**Актуальность.** Момордика (*Momordica charantia* L.) – новая для России овощная и лекарственная культура, высокая требовательность которой к теплу является основным фактором, ограничивающим возможности выращивания в умеренном континентальном климате. Для селекции новых сортов и расширения ее производства необходимы оценка и отбор более холодостойких сортов и форм. Ранее полученные данные говорят о возможности оценки холодостойкости в фазе зрелого мужского гаметофита *in vitro*.

**Материалы и методы.** Материалом исследования служили восемь образцов момордики, включая родительские формы, F<sub>1</sub> гибриды и сорт 'Гоша', выращенных в условиях необогреваемой пленочной теплицы Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск (54°49' с. ш. 83°06' в. д.). В качестве критерия холодостойкости использовали выраженное в процентах отношение прорастания пыльцы *in vitro* на 15-процентном растворе полиэтиленгликоля с молекулярной массой 6000 (ПЭГ 6000) с добавлением борной кислоты (0,006%) при температуре 10°C в течение 24 ч к прорастанию при 25°C в течение 3 ч.

**Результаты.** Наибольшей холодостойкостью обладали сорт 'Гоша', образец из Японии Okinawa green и гибрид F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green) с показателями 59,7; 53,8 и 48,2% соответственно. Характер наследования холодостойкости пыльцы в F<sub>1</sub> в зависимости от комбинации скрещивания изменялся от промежуточного у двух гибридов [F<sub>1</sub> (Feng Guang × Гоша) и F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green)] до сверхдоминирования (положительного гетерозиса) в гибридной комбинации в F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa white).

**Ключевые слова:** низкотемпературный стресс, устойчивость, фаза зрелого мужского гаметофита, ПЭГ 6000, наследование

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану по проекту: АААА-А21-121011290027-6 «Теоретические и прикладные аспекты изучения генофондов природных популяций растений и сохранения растительного разнообразия вне типичной среды обитания (*ex situ*)». Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Фотев Ю.В. Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(3):39-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47

## Assessment of cold resistance in *Momordica charantia* L. accessions according to pollen germination at low temperatures *in vitro*

Yury V. Fotev<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia<sup>2</sup> Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia**Corresponding author:** Yury V. Fotev, fotev\_2009@mail.ru

**Background.** Bitter melon (*Momordica charantia* L.) is a vegetable and medicinal crop new for Russia. Its high heat demand is the main factor limiting the possibilities of its cultivation in a temperate continental climate. Evaluation and selection of more cold-resistant accessions is required for breeding new cultivars and expanding production. Previously obtained data attest to a possibility of assessing cold hardiness in the mature male gametophyte phase *in vitro*.

**Materials and methods.** Eight bitter melon accessions, including parent forms, F<sub>1</sub> hybrids and cv. 'Gosha', were grown in the unheated film greenhouse of the Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk (54°49' N, 83°06' E) for evaluation and selection for cold resistance. The ratio of pollen germination *in vitro* on a 15% polyethylene glycol solution with a molecular weight of 6000 (PEG 6000) with the addition of boric acid (0.006%) at a temperature of 10°C for 24 h to the same indicator at 25°C / 3 h (in %) was used as a criterion of cold resistance.

**Results.** The cultivar 'Gosha', the accession Okinawa green from Japan, and the F<sub>1</sub> hybrid (Feng Guang × Okinawa green) had the highest cold resistance, with the values of 59.7; 53.8 and 48.2%, respectively. The inheritance of cold resistance in F<sub>1</sub>, assessed by the pollen germination index, depending on the crossing combination, changed from intermediate in two hybrids [F<sub>1</sub> Feng Guang × Gosha) and F<sub>1</sub> Feng Guang × Okinawa green)] to overdominant (positive heterosis) in the hybrid F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa white).

**Keywords:** bitter melon accessions, low-temperature stress, resistance, mature male gametophyte phase, PEG 6000, inheritance

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state task according to the theme plan for the project: AAAA-A21-121011290027-6 "Theoretical and applied aspects of studying the gene pools of natural plant populations and preserving plant diversity outside a typical habitat (*ex situ*)".

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Fotev Yu.V. Assessment of cold resistance in *Momordica charantia* L. accessions according to pollen germination at low temperatures *in vitro*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):39-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47

## Введение

Среди новых для России теплолюбивых овощных культур, сорта которых включены в Государственный Реестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию, момордика (*Momordica charantia* L., Cucurbitaceae Juss.) заслуживает особого внимания в связи с ценным биохимическим составом (Saeed et al., 2018; Fotev et al., 2019), позволяющим ее позиционировать в качестве функционального продукта питания и лекарственного растения, особенно для больных сахарным диабетом (Akbar, 2020).

Культура происходит из тропических регионов Африки, позднее распространилась по странам Юго-Восточной Азии и в Австралии (Schaefer, Renner, 2010). Ее отличительная особенность – высокая требовательность к теплу: оптимальная температура для роста и развития растений – 24–27°C (Desai, Musmade, 1998). Понижения температуры в летний период ниже 18–20°C способны вызвать существенную задержку роста и развития.

Несмотря на тропическое происхождение момордики и теплолюбивость, в силу особой биохимической ценности культуры и актуальности расширения регионов выращивания в последнее время активно исследуется холодостойкость ее сортов. При выращивании молодых растений *M. charantia* – чувствительной к охлаждению селекционной формы Y17 и устойчивой формы Y54 – при низкой температуре (+5°C) включаются защитные механизмы в виде накопления осморегулирующих веществ, таких как аминокислоты, сахара, жирные кислоты, а также идет мобилизация антиоксидантных систем, повышается регуляция уровней экспрессии генов *McSOD1*, *McPDC1* и *McCHS1*, связанных с устойчивостью к холоду, и активность антиоксидантных ферментов (Niu et al., 2020).

Температура около +10°C, вероятно, является биологическим нулем для роста и развития многих теплолюбивых овощных растений. По сведениям, приведенным в рекомендациях для фермеров Индии, прорастание семян момордики полностью прекращается при температуре +8°C и ниже (URL: [https://kvk.icarg.gov.in/API/Content/PPUpload/k0211\\_74.pdf](https://kvk.icarg.gov.in/API/Content/PPUpload/k0211_74.pdf)). Температура +10°C, вероятно, является критическим порогом температуры для прорастания пыльцы разных теплолюбивых культур (Karapanos et al., 2008).

Для отбора холодостойких форм разработаны различные методические подходы, основанные на оценке признаков спорофитного поколения и включающие полевые, лабораторные, лабораторно-полевые, электрофизиологические и другие методы (Lakhanov, 1988). Так, в Сибирском институте физиологии и биохимии растений СО РАН был разработан метод оценки холодостойкости по изменению скорости роста первичного корня в условиях низкой температуры (Rodchenko, Skvortsova, 1981).

Получены убедительные данные о том, что зрелая пыльца у теплолюбивых растений наиболее чувствительна к низкотемпературному стрессу (Zou et al., 2010). Например, по мнению В. В. Виноградовой, «при адаптации томата к низким температурам наиболее эффективна оценка холодостойкости по методу прорастания пыльцы в 15%-ном растворе сахарозы с добавлением 100 мг/л  $H_3BO_3$  (при 6–10°C)» (Vinogradova, 1988, p. 78). Также у томатов обнаружена тесная положительная корреляционная зависимость между устойчивостью к низким температурам микрогаметофита и спорофита (Kil-

chevsky, Pugacheva, 2002). В опытах Лукьянчика и Ломаковой (2013) выявлена положительная корреляционная зависимость между холодостойкостью гаметофитов и спорофитов этой культуры ( $r = 0,64–0,99$ ) с возможностью оценки устойчивости генотипов к пониженной температуре по реакции пыльцы. Получены данные, показывающие, что устойчивость пыльцы к пониженным температурам наследуется по типу сверхдоминирования в сторону увеличения признака (Kilchevsky et al., 2007). В эксперименте E. Domínguez et al. (2005) популяция BC1 межвидового гибрида томата *Lycopersicon esculentum* × *L. pennellii*, полученная на этапах воздействия низкой температурой при формировании пыльцы, а также ее прорастания и роста пыльцевых трубок, имела повышенную способность к прорастанию пыльцы при низких температурах. Появляется все больше свидетельств того, что отбор во время фазы гаметофита в жизненном цикле растения имеет важные эффекты как на эволюцию генов, так и на геном, и, вероятно, имеет важные плейотропные эффекты на спорофит разных видов растений (Beaudry et al., 2020). Оценивая экологический потенциал фитобиоты, S. Rosbakh и P. Poschlod (2016) пришли к выводу, что ограничение прорастания и роста пыльцы видов растений из-за низких температур влияет на климатические границы распространения видов растений, а также, вероятно, на их инвазионный потенциал. Гаплоидные пыльцевые зерна – не просто носители геномов, они служат эволюционно и физиологически активным мостом между диплоидным родительским растением и диплоидным растением-потомком (Nelms, Walbot, 2022).

Максимальный процент прорастания пыльцы момордики и активный рост пыльцевых трубок наблюдали при использовании среды, содержащей 15-процентный раствор сахарозы, борной кислоты (0,006%) и 300 мг нитрата кальция (Rathod et al., 2018). Примерно через 240 минут после посева пыльцевая трубка перестает растягиваться и расти.

Эксперименты, проведенные H. Q. Zhang и A. F. Croes (1982) с пыльцой *Petunia*, показали, что экзогенная сахароза в среде для прорастания пыльцы увеличивает интенсивность ее дыхания. По этой причине желательно полностью или частично заменить сахарозу другим осмотиком. Одним из таких осмотически активных веществ является полиэтиленгликоль (ПЭГ). Это инертный неионный полимер ( $HOCH_2-(CH_2-O-CH_2)_x-CH_2OH$ ), который не метаболизируется в растениях (Steuter et al., 1981). ПЭГ с разной молекулярной массой и в различных концентрациях усиливает рост пыльцевых трубок и улучшает их морфологию у испытанных видов покрытосеменных растений (Read et al., 1993; Shivanna, Sawhney, 1995; etc.). В более ранних исследованиях нами было предложено для оценки энергетических возможностей прорастающей *in vitro* пыльцы момордики использовать раствор полиэтиленгликоля с молекулярной массой 6000 (ПЭГ 6000) (Fotev, Belousova, 2013).

В качестве «сортотип-классификаторов», использование которых при оценке стрессовых факторов среды было ранее обосновано Г. В. Удовенко (Udovenko, 1988, p. 5), при сравнительной оценке холодостойкости форм момордики целесообразно использовать однолетние травянистые растения, так же, как и момордика, относящиеся к семейству Cucurbitaceae и успешно натурализовавшиеся на просторах Сибири. Наиболее типичными представителями их являются два холодостойких эргазифитофита, в естественном виде произрастающих на

юге Западной Сибири и Дальнем Востоке, – тладианта сомнительная (*Thladiantha dubia* Bunge.) и эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray).

**Цель работы** – оценка и отбор образцов момордики с потенциально высокой холодостойкостью исследованием прорастания их пыльцы при низкой температуре на растворе не участвующего в метаболизме растений осмотика – полиэтиленгликоля (ПЭГ).

### Материал и методы исследования

Для исследования холодостойкости по ростовой реакции пыльцы *in vitro* использовали восемь образцов момордики из «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534 Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН), растения которых выращивали в условиях пленочной необогреваемой теплицы ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск, 54°49'33" с. ш. 83°06'34" в. д.) из семян, репродуцированных ранее при контролируемом опылении в этих же условиях (табл. 1).

Вместе с сортообразцами момордики также выращивали растения двух эргазиофитогитов из семейства Cucurbitaceae – тладианту сомнительную (*Thladiantha dubia*) и эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata*).

Исследование проводили в вегетационный период 2021 г. Рассадку момордики трехнедельного возраста высаживали в грунт теплицы 20 мая. Семена эхиноцистиса после двухмесячной стратификации при температуре 5–8°C высевали в кассеты в последней декаде апреля, высаживая рассаду в грунт теплицы одновременно с растениями момордики. Мужские растения тладианты в виде клубней с образовавшейся розеткой листьев выкапывали из открытого грунта непосредственно перед посадкой в грунт теплицы также 20 мая.

В качестве почвогрунта использовали торфяной субстрат на основе верхового торфа с добавлением минеральных удобрений. Агротехнические работы выполняли в соответствии с рекомендациями по выращиванию культуры в Сибири (Fotev, Belousova, 2013). Площадь учетной деланки составляла 5,3 м<sup>2</sup>. Густота посадки – 1,9 раст./м<sup>2</sup>.

В качестве среды для проращивания пыльцы *in vitro* использовали 15-процентный раствор полиэтиленгликоля с молекулярной массой 6000 (ПЭГ 6000) производства PanReac AppliChem (EU) с добавлением борной кислоты (0,006%) производства PanReac AppliChem (Ph. Eur, риге, фарм.), приготовленный на дистиллированной воде. Проращивание пыльцы для оценки холодостойкости проводили при температуре 10°C в течение 24 ч, помещая ее на капли раствора на предметных стеклах, размещенных на увлажненной фильтровальной бумаге в стеклянных чашках Петри. В качестве контроля проращивали пыльцу на такой же среде при температуре 25°C в течение 3 ч. Холодостойкость оценивали по отношению показателя прорастания пыльцы при температуре 10°C к аналогичному показателю при 25°C и выражали в процентах. Просмотр проводили не менее чем в 10 полях зрения при помощи микроскопа ZEISS Primo Star при увеличении ×100. Пыльцевое зерно считали проросшим при достижении пыльцевой трубкой длины, составляющей не менее двух диаметров пыльцевого зерна.

Оценка показателя степени доминантности проводилась согласно формуле, предложенной в работе F. C. Petri, J. Frey (1966):

$$hp = (F_1 - MP) / (HP - MP),$$

где  $F_1$  – среднее значение признака у растений  $F_{1,}$ ,  $MP$  – среднее арифметическое значений признака в обе-

**Таблица 1.** Образцы *Momordica charantia* L., использованные при оценке холодостойкости по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro*

**Table 1.** *Momordica charantia* L. accessions used in the assessment of cold resistance according to pollen germination at low temperatures *in vitro*

Образец, гибрид $F_1$ / Accession, $F_1$ hybrid	Число дней от всходов до фазы / Days from germination to the phase of			Масса плода, г / Fruit weight, g	Происхождение / Origin
	цветение / flowering	техническая спелость / harvesting	биологическая спелость / biological ripeness		
Гоша	56	76	89	342,9 ± 59,6	ЦСБС СО РАН
Feng Guang	51	71	88	418,5 ± 49,9	КНР
Okinawa white	69	92	102	638,8 ± 79,2	Япония
Okinawa green	56	80	92	406,4 ± 65,8	Япония
Форма 108	61	86	96	304,3 ± 24,1	КНР
$F_1$ (Feng Guang × Okinawa white)	57	83	92	546,3 ± 33,0	ЦСБС СО РАН
$F_1$ (форма Feng Guang × Гоша)	58	81	95	537,7 ± 56,5	ЦСБС СО РАН
$F_1$ (Feng Guang × Okinawa green)	61	83	97	635,1 ± 46,3	ЦСБС СО РАН

их родительских формах, а НР – значение признака у родителя, характеризующегося максимальной экспрессией признака. Оценка значений степени доминирования:  $hr = 0$  – в случае отсутствия доминирования,  $0 < hr < 1$  – для неполного доминирования,  $hr = 1$  – для полного доминирования,  $hr > 1$  – для гетерозиса (сверх доминирования),  $hr < -1$  – для отрицательного гетерозиса (депрессии),  $-1 < hr < 0$  – для неполного доминирования у формы с меньшим значением признака и  $hr = -1$  – для полного доминирования у формы с меньшим значением признака.

Для оценки холодостойкости по росту первичного корня семена образцов этой культуры ( $n = 20$ ), исследованных по прорастанию пыльцы *in vitro*, выдерживали в термостате при температуре 25°C в течение пяти дней и после появления первичного корня длиной 0,7–1,3 см переносили в условия температуры 10°C. Измерение длины первичного корня проводили электронным штангенциркулем марки Matrix (КНР).

Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2019 и Minitab 14. Средние значения признаков (M) представлены со стандартной ошибкой выборочной средней ( $M \pm SEM$ ).

### Результаты и обсуждение

В таблице 2 показаны результаты проращивания пыльцы образцов момордики, гладианты и эхиноцистиса при температуре 10°C и 25°C на 15-процентном рас-

творе полиэтиленгликоля (ПЭГ 6000). При низкой температуре (10°C) пыльца всех образцов момордики (кроме Okinawa white) формировала пыльцевые трубки *in vitro*, число проросших зерен колебалось от  $5,2 \pm 0,2$  до  $32,9 \pm 2,8\%$ . На рисунке 1 показано прорастание пыльцы момордики сорта 'Гоша' *in vitro* на растворе ПЭГ 6000 в режиме 10°C/24 ч.

Наибольшей холодостойкостью на стадии прорастания пыльцы, как по числу проросших пыльцевых зерен при 10°C, так и по отношению показателя их прорастания при низкой температуре к этому показателю в условиях оптимальной температуры, обладали селектированный в ЦСБС СО РАН сорт 'Гоша', образец Okinawa green и гибрид  $F_1$  (Feng Guang  $\times$  Okinawa green). Нужно отметить, что показавший относительно высокую холодостойкость (53,8%) японский образец Okinawa green имел невысокий, почти вдвое более низкий по сравнению с сортом 'Гоша', показатель прорастания пыльцы при 25°C (19,5%) и характеризовался также довольно слабым (10,5%) ростом пыльцевых трубок при низкой температуре.

Образец Okinawa white, пыльца которого не проросла при низкой температуре *in vitro*, может быть использован в качестве дифференцирующего сорта-классификатора, носителя признака «низкая холодостойкость».

Интересно, что ранее в условиях открытого грунта Тульской области при сравнительном испытании разных сортов момордики был сделан вывод о высоком адаптационном потенциале сорта 'Гоша', включая засухоустойчивость, относительно других образцов (Gribova, 2014).

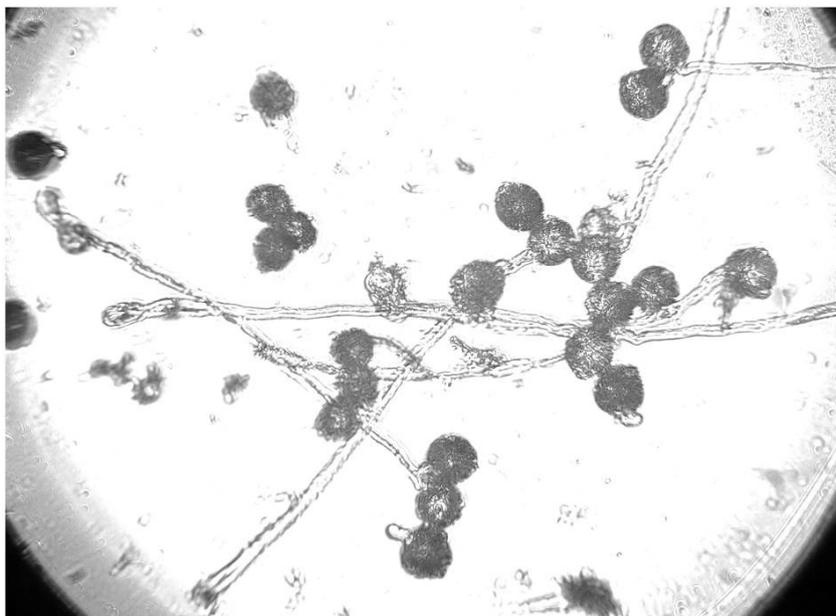
**Таблица 2.** Результаты проращивания пыльцы образцов *Momordica charantia* L., *Thladiantha dubia* Bunge и *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray *in vitro* на 15-процентном растворе ПЭГ 6000 при разной температуре

**Table 2.** Results of *in vitro* pollen germination of *Momordica charantia* L., *Thladiantha dubia* Bunge and *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray on a 15% PEG 6000 solution at different temperatures

Вид / Species	Образец / Accession	Количество проросшей пыльцы (%) при температуре / Pollen germination (%) at the temperature of		Холодостойкость, %* / Cold resistance, %	Степень доминантности, % / Degree of dominance, %
		25°C, 3 ч/3 h	10°C, 24 ч/24 h		
<i>M. charantia</i>	Гоша	37,5 $\pm$ 0,8	22,40 $\pm$ 2,6	59,7	
<i>M. charantia</i>	Feng Guang	31,2 $\pm$ 2,1	5,2 $\pm$ 0,2	16,7	
<i>M. charantia</i>	Okinawa white	38,6 $\pm$ 0,7	0	0	
<i>M. charantia</i>	$F_1$ (Feng Guang $\times$ Okinawa white)	53,2 $\pm$ 0,3	11,6 $\pm$ 2,1	21,8	1,61
<i>M. charantia</i>	Okinawa green	19,5 $\pm$ 6,2	10,50 $\pm$ 0,8	53,8	
<i>M. charantia</i>	$F_1$ (Feng Guang $\times$ Okinawa green)	68,2 $\pm$ 3,2	32,9 $\pm$ 2,8	48,2	0,69
<i>M. charantia</i>	$F_1$ (форма Feng Guang $\times$ Гоша)	26,7 $\pm$ 2,9	7,60 $\pm$ 2,5	28,5	-0,45
<i>M. charantia</i>	форма 108	74,6 $\pm$ 12,1	11,35 $\pm$ 2,5	15,3	
<i>Th. dubia</i>		31,05 $\pm$ 4,0	48,3 $\pm$ 3,4	155,5	
<i>E. lobata</i>		62,5 $\pm$ 12,5	75,3 $\pm$ 2,5	120,5	

\* – «холодостойкость» – отношение показателя прорастания пыльцы при температуре 10°C к аналогичному показателю при 25°C, в %

\* – “cold resistance” – the ratio of the pollen germination rate at a temperature of 10°C to the same indicator at 25°C, %



**Рис. 1.** Прорастание пыльцы *Momordica charantia* L. сорта 'Гоша' *in vitro* на растворе ПЭГ 6000 при температуре 10°C/24 ч (увеличение ×100)

**Fig. 1.** *In vitro* pollen germination of *Momordica charantia* L. (cv. 'Gosha') on a PEG 6000 solution at a temperature of 10°C/24 h (×100)

В другом опыте в Тульской области этот же сорт показал урожайность в среднем на 28,9% больше по сравнению с другими испытанными сортами (Gribova, Medvedeva, 2015).

Характер наследования холодостойкости пыльцы в  $F_1$  в зависимости от комбинации скрещивания изменялся от промежуточного (неполного доминирования) у двух гибридов [ $F_1$  (форма Feng Guang × сорт Гоша) и  $F_1$  (Feng Guang × Okinawa green)] до сверхдоминирования (положительного гетерозиса) в гибридной комбинации Feng Guang × Okinawa white. Интересно, что у томата холодостойкость пыльцы также может наследоваться по типу сверхдоминирования (Kilchevsky et al., 2007). Более того, у огурца, как и момордика, относящегося к семейству Cucurbitaceae, обнаружен один доминантный ген *Ch*, контролирующий холодостойкость при прорастании семян (Kozik, Wehner, 2008).

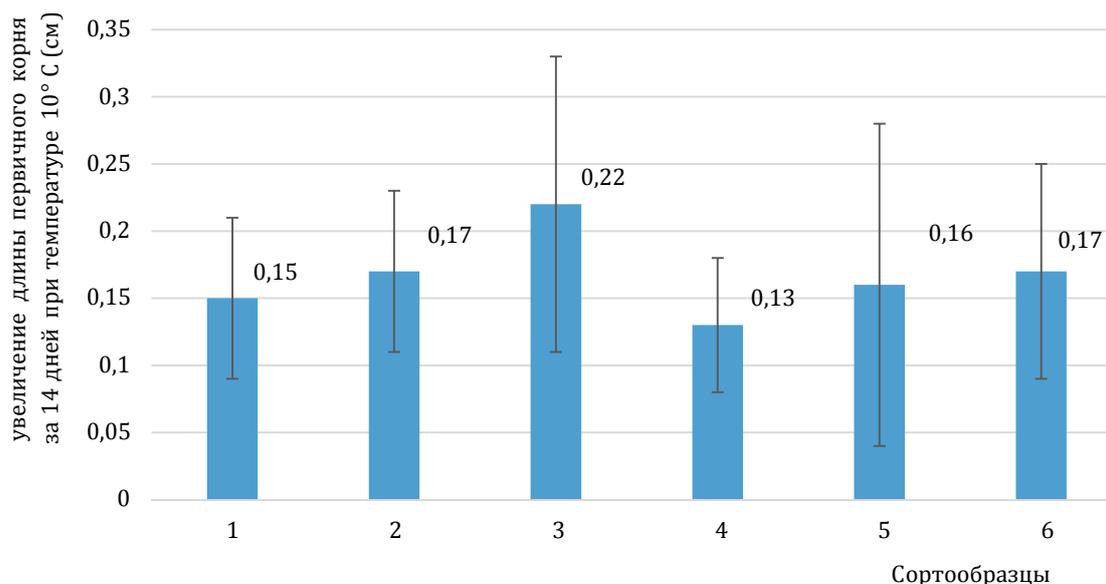
Самые высокие показатели холодостойкости пыльцы отмечены у видов-эргазиофитов, в естественном виде способных произрастать в сибирских условиях – тладианты и эхиноциста. Отмечено минимальное торможение роста их пыльцевых трубок при низкой температуре в течение 24-часового периода, а также высокая выравненность (однородность) «популяции пыльцевых зерен» в цветках этих видов. Пыльца образцов момордики нередко, напротив, характеризовалась формированием небольшого числа как коротких, так и очень длинных пыльцевых трубок, превышающих диаметр пыльцевого зерна в 10–20 раз, хотя точный замер их длины не был проведен. По данным Д. Ю. Швеца и Б. Р. Кулуева (Shvets, Kuluev, 2017), тладианта (*Th. dubia*) отличается своей устойчивостью к низким температурам, демонстрируя нижний температурный предел выживания при  $-18^{\circ}\text{C}$ , а семена *E. lobata* способны прорасти в диапазоне температур  $+5...+10^{\circ}\text{C}$  (Bagi, Böszörményi, 2008).

Представляется интересным сопоставление прорастания пыльцы и роста первичного корня момордики при низкой температуре. Удлинение первичного корня про-

ростков за 14 дней проращивания при  $10^{\circ}\text{C}$  составило лишь 0,13–0,22 см в зависимости от сортообразца при отсутствии статистически значимых различий между ними (рис. 2). В дальнейшем на проростках был отмечен интенсивный рост грибной и бактериальной микробиоты. Вероятно, дифференцирующая температура для отбора по росту первичного корня при низкой температуре выбранных образцов этой культуры находится выше  $10^{\circ}\text{C}$ . При  $25^{\circ}\text{C}$  скорость роста первичного корня значительно выше – 0,2–0,6 см/день и зависит от времени с момента закладки семян на проращивание. Таким образом, соответствия между показателями холодостойкости испытанных образцов в виде изменения длины первичного корня и прорастания пыльцы при температуре  $10^{\circ}\text{C}$  не обнаружено.

Таким образом, результаты проращивания пыльцы момордики *in vitro* при низкой температуре свидетельствуют о том, что это достаточно чувствительный метод оценки потенциальной холодостойкости разных генотипов этой культуры. Есть три следствия при интерпретации результатов проведенных опытов. Первое состоит в возможности проведения отбора более холодостойких по этому признаку форм среди коллекционных образцов и внутри популяций с последующей оценкой характера его наследования. Второе предполагает использование образцов, формирующих при низкой температуре даже относительно небольшое количество длинных пыльцевых трубок, для опыления в термоконтролируемых условиях. Третье следствие заключается в необходимости исследования связи холодостойкости пыльцы с устойчивостью спорофитного поколения на разных этапах онтогенеза.

Можно предположить, что отбирая наиболее холодостойкие генотипы на стадии прорастания пыльцы момордики при низкой температуре *in vivo*, например в кликамере, можно в перспективе существенно повысить устойчивость спорофитного поколения *M. charantia* к низкотемпературным стрессам.



**Рис. 2.** Рост первичного корня образцов *Momordica charantia* L. за 14 дней выдерживания проростков (n = 20) при температуре 10°С, см:

1 – ‘Гоша’; 2 – Feng Guang; 3 – Okinawa white; 4 – Okinawa green; 5 – форма 108; 6 – F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green)

**Fig. 2.** Growth of the primary root of *Momordica charantia* L. accessions for 14 days of keeping the seedlings at a temperature of 10°С, cm:

1 – ‘Gosha’; 2 – Feng Guang; 3 – Okinawa white; 4 – Okinawa green; 5 – form 108; 6 – F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green)

### Заключение

Наибольшей холодостойкостью на стадии прорастания пыльцы *in vitro* на растворе ПЭГ 6000, как по числу проросших пыльцевых зерен при 10°С, так и по отношению показателя их прорастания при низкой температуре к показателю при оптимальной температуре, обладали сорт момордики ‘Гоша’, образец из Японии Okinawa green и гибрид F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green). Данные образцы могут быть использованы в качестве сортов-классификаторов по признаку «холодостойкость в фазе зрелого мужского гаметофита».

Характер наследования холодостойкости пыльцы в F<sub>1</sub> в зависимости от комбинации скрещивания изменялся от промежуточного (неполного доминирования) у двух гибридов [F<sub>1</sub> (Feng Guang × Гоша) и F<sub>1</sub> (Feng Guang × Okinawa green)] до сверхдоминирования (положительного гетерозиса) в гибридной комбинации Feng Guang × Okinawa white.

В условиях низкой температуры удлинение первичного корня проростков момордики за 14 дней проращивания при 10°С составило 0,13–0,22 см в зависимости от образца при отсутствии статистически значимых различий между ними.

Самые высокие показатели холодостойкости пыльцы отмечены у видов-эргазиофитов из семейства Cucurbitaceae, в естественном виде способных произрастать в сибирских условиях – эхиноцистиса и тладианты – с показателями прорастания пыльцы этих видов в режиме 10°С/24 ч в 1,2–1,5 раза превышающими аналогичные показатели при температуре 25°С в течение 3 ч.

Исходя из результатов исследования, можно предположить, что отбирая наиболее холодостойкие генотипы на стадии прорастания пыльцы момордики при низкой температуре *in vivo*, например в климатекамере, можно

в перспективе существенно повысить устойчивость спорофитного поколения *Momordica charantia* к низкотемпературным стрессам.

### References / Литература

- Akbar S. *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae). In: *Handbook of 200 Medicinal Plants*. Cham: Springer; 2020. p.1195-1219. DOI: 10.1007/978-3-030-16807-0\_128
- Bagi I., Böszörményi A. Wild cucumber (*Echinocystis lobata* Torr. et Gray). In: Z. Botta-Dukát, L. Balogh (eds). *The most important invasive plants in Hungary*. Vácrátót; 2008. p.103-114.
- Beaudry F.E.G., Rifkin J., Barrett S.C.H., Wright S.I. Evolutionary genomics of plant gametophytic selection. *Plant Communications*. 2020;1(6):100-115. DOI: 10.1016/j.xplc.2020.100115
- Bitter melon: [site]. Available from: [https://kvk.icar.gov.in/API/Content/PPupload/k0211\\_74.pdf](https://kvk.icar.gov.in/API/Content/PPupload/k0211_74.pdf) [accessed February 26, 2022].
- Desai U.T., Musmade A.M. Pumpkins, squashes and gourds. In: D.K. Salunkhe, S.S. Kadam (eds). *Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage and processing*. New York: Marcel Dekker; 1998. p.273-298.
- Domínguez E., Cuartero J., Fernández-Muñoz R. Breeding tomato for pollen tolerance to low temperatures by gametophytic selection. *Euphytica*. 2005;142:253-263. DOI: 10.1007/s10681-005-2042-0
- Fotev Yu.V., Belousova V.P. *Momordica*. In: I.Yu. Koropachinsky, A.B. Gorbunov (eds). *Introduction of non-traditional fruit, berry and vegetable plants in Western Siberia*. Novosibirsk: Geo; 2013. p.194-207. [in Russian] (Фотев Ю.В., Белоусова В.П. Момордика. В кн.: *Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири* / под ред. И.Ю. Коропачинского, А.Б. Горбунова. Новосибирск: Гео; 2013. С.194-207).

- Fotev Y.V., Syso A.I., Shevchuk O.M. Introduction in Siberia (Russia) of new vegetable species with a high biochemical value. In: *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*. Novosibirsk; 2019. p.12-14. DOI: 10.18699/ICG-PlantGen2019-01
- Gribova O.A. Estimation of physiological indicators of drought resistance of *M. charantia* breeding material as a way to study adaptive capabilities during introduction in Tula Province (Otsenka fiziologicheskikh pokazateley zasukhoustoychivosti selektsionnogo materiala *M. charantia*, kak sposob izucheniya adaptatsionnykh vozmozhnostey pri introduktsii v Tul'skoy oblasti). In: *Proceedings of the Youth Scientific Seminar "Ecologist: the Profession of the Future"; November 18–20, 2014; Kemerovo (Sbornik materialov molodezhnogo nauchnogo seminar "Ekolog – professiya budushchego", 18–20 noyabrya 2014 g.; g. Kemerovo)*. Kemerovo; 2014. [in Russian] (Грибова О.А. Оценка физиологических показателей засухоустойчивости селекционного материала *M. charantia*, как способ изучения адаптационных возможностей при интродукции в Тульской области. В кн.: *Сб. матер. молодежного научного семинара «Эколог – профессия будущего»; 18–20 ноября 2014 г.; г. Кемерово*. Кемерово; 2014). URL: [http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/eko/eko\\_2014/pages/Articles/Gribova.pdf](http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/eko/eko_2014/pages/Articles/Gribova.pdf) [дата обращения: 15.04.2022].
- Gribova O.A., Medvedeva N.V. Influence of reproduction methods on photosynthetic productivity of *Momordica charantia* L. when introduced in Tula Province (Vliyaniye sposobov razmnzheniya na fotosinteticheskuyu produktivnost *Momordica charantia* L. pri introduktsii v Tul'skoy oblasti). In: *Fundamental and Applied Problems of Modern Experimental Plant Biology: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation and School for Young Scientists Dedicated to the 125th Anniversary of the K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the RAS (November 23–27, 2015) (Fundamentalnye i prikladnye problemy sovremennoy eksperimentalnoy biologii rasteniy: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem i shkoly dlya molodykh uchenykh, posvyashchennoy 125-letiyu Instituta fiziologii rasteniy im. K.A. Timiryazeva RAN [23–27 noyabrya 2015 g.]*. Moscow; 2015. p.191-194. [in Russian] (Грибова О.А., Медведева Н.В. Влияние способов размножения на фотосинтетическую продуктивность *Momordica charantia* L. при интродукции в Тульской области. В кн.: *Фундаментальные и прикладные проблемы современной экспериментальной биологии растений: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием и школы для молодых ученых, посвященной 125-летию Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (23–27 ноября 2015 г.)*. Москва; 2015. С.191-194). URL: [http://www.ofr.su/assets/files/Sbornik\\_125yrs\\_IFR.pdf](http://www.ofr.su/assets/files/Sbornik_125yrs_IFR.pdf) [дата обращения: 22.06.2022].
- Karapanos I.C.; Mahmood S.; Thanopoulos C. Fruit set in solanaceous vegetable crops as affected by floral and environmental factors. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2008;2(1):88-105.
- Kilchevsky A.V., Antropenko N.Yu., Pugacheva I.G. Study of the inheritance of productivity and cold resistance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2007;(4):68-72. [in Russian] (Кильчевский А.В., Антропенко Н.Ю., Пугачева И.Г. Изучение наследования урожайности и холодостойкости томата (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Весті Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серыя Аграрных Навук*. 2007;(4):68-72).
- Kilchevsky A.V., Pugacheva I.G. Gamete selection of tomato for cold resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2002;(4):35-39 [in Russian] (Кильчевский А.В., Пугачева И.Г. Гаметная селекция томата на холодоустойчивость. *Известия Национальной Академии наук Беларуси*. 2002;(4):35-39).
- Kozik E.U., Wehner T.C. A single dominant gene *Ch* for chilling resistance in cucumber seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2008;133(2):225–227. DOI: 10.21273/JASHS.133.2.225
- Lakhanov A.P. Assessment of cold resistance of field crops (Otsenka kholodostoykosti polevykh kultur). In: Udovenko G.V. (ed.) *Diagnostics of plant resistance to stressors: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo)*. Leningrad: VIR; 1988. p.62-75. [in Russian] (Лакханов А.П. Оценка холодостойкости полевых культур. В кн.: *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / под ред. Г.В. Удовенко*. Ленинград: ВИР; 1988. С.62-75).
- Lukyanich I.D., Lomakova O.O. Methods of gamete selection for assessing the cold resistance of some varieties of tomatoes (Metody gametnoy selektsii dlya otsenki kholodostoykosti nekotorykh sortov tomatov). In: *Cell Biology and Plant Biotechnology (Kletchnaya biologiya i biotekhnologiya rasteniy)*. Minsk: Belarusian State University; 2013. p.100. [in Russian] (Лукьянич И.Д., Ломакова О.О. Методы гаметной селекции для оценки холодостойкости некоторых сортов томатов. В кн.: *Клеточная биология и биотехнология растений*. Минск: БГУ; 2013. С.100). URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/33866> [дата обращения: 22.06.2022].
- Nelms B., Walbot V. Gametophyte genome activation occurs at pollen mitosis I in maize. *Science*. 2022;375(6579):424-429. DOI: 10.1126/science.abl7392
- Niu Y., Liu Z., He H., Han X., Qi Z., Yang Y. Gene expression and metabolic changes of *Momordica charantia* L. seedlings in response to low temperature stress. *PLoS ONE*. 2020;15(5):e0233130. DOI: 10.1371/journal.pone.0233130
- Petr F.C., Frey J. Genotypic correlation, dominance, and heritability of quantitative characters in oats. *Crop Science*. 1966;6(3):259-262. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600030013x
- Rathod V., Behera T.K., Munshi A.D., Durgesh K., Jat G.S., Boopala Krishnan B.G., Sharma N. Pollen viability and in vitro pollen germination studies in *Momordica* species and their intra and interspecific hybrids. *International Journal of Chemical Studies*. 2018;6(6):32-40.
- Read S.M., Clarke A.E., Bacic A., Stimulation of growth of cultured *Nicotiana tabacum* W38 pollen tubes by poly(ethylene glycol) and Cu (II) salts. *Protoplasma*. 1993;177(1-2):1-14. DOI: 10.1007/BF01403393
- Rodchenko O.P., Skvortsova R.G. Evaluation of breeding material for resistance to low temperatures (Otsenka selektsionnogo materiala na ustoychivost k nizkim temperaturam). Irkutsk; 1981. [in Russian] (Родченко О.П., Скворцова Р.Г. Оценка селекционного материала на устойчивость к низким температурам. Иркутск; 1981).
- Rosbakh S., Poschod P. Minimal temperature of pollen germination controls species distribution along a temperature gradient. *Annals of Botany*. 2016;117(7):1111-1120. DOI: 10.1093/aob/mcw041
- Saeed F., Afzaal M., Niaz B., Arshad M.U., Tufail T., Hussain M.B., Javed A. Bitter melon (*Momordica charantia*): a natural

- healthy vegetable. *International Journal of Food Properties*. 2018;21(1):1270-1290. DOI: 10.1080/10942912.2018.1446023
- Schaefer H., Renner S.S. A three-genome phylogeny of *Momordica* (Cucurbitaceae) suggests seven returns from dioecy to monoecy and recent long-distance dispersal to Asia. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2010;54(2):553-560. DOI: 10.1016/j.ympev.2009.08.006
- Shivanna K.R., Sawhney V.K., Polyethylene glycol improves the *in vitro* growth of *Brassica* pollen tubes without loss in germination. *Journal of Experimental Botany*. 1995;46(11):1771-1774. DOI: 10.1093/jxb/46.11.1771
- Simon E.W., Minchin A., McMenamin M.M., Smith J.M. The low temperature limit for seed germination. *New Phytologist*. 1976;77(2):301-311. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1976.tb01519.x
- Shvets D.Yu., Kuluev B.R. *Thladiantha dubia*: biology, habitat, distribution area and practical application. *Doklady Bashkirskogo universiteta = Reports of the Bashkir University*. 2017;2(5):725-735. [in Russian] (Швец Д.Ю., Кулуев Б.Р. Тладианта сомнительная: биология, ареал распространения, практическое применение. *Доклады Башкирского университета*. 2017;2(5):725-735).
- Steuter A.A., Mozafar A., Goodin J.R., Water potential of aqueous polyethylene glycol. *Plant Physiology*. 1981;67(1):64-67. DOI: 10.1104/pp.67.1.64
- Udovenko G.V. General requirements to methods and principles for diagnosing plant resistance to stresses (Общие требования к методам и принципам диагностики устойчивости растений к стрессам). In: Udovenko G.V. (ed.) *Diagnos-*
- tics of plant resistance to stressors: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo)*. Leningrad: VIR; 1988. p.5-10. [in Russian] (Удовенко Г.В. Общие требования к методам и принципам диагностики устойчивости растений к стрессам. В кн.: *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство* / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988. С.5-10).
- Vinogradova V.V. Evaluation of cold resistance of vegetable and cucurbitaceous crops (Otsenka kholodostoykosti ovoshchnykh i tykvennykh kultur). In: Udovenko G.V. (ed.) *Diagnosics of plant resistance to stressors: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo)*. Leningrad: VIR; 1988. p.75-85. [in Russian] (Виноградова В.В. Оценка холодостойкости овощных и тыквенных культур. В кн.: *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство* / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988. С.75-85).
- Zhang H.Q., Croes A.F. A new medium for pollen germination *in vitro*. *Acta Botanica Neerlandica*. 1982;31(1-2):113-119. DOI: 10.1111/j.1438-8677.1982.tb01597.x
- Zou C, Jiang W, Yu D. Male gametophyte-specific WRKY34 transcription factor mediates cold sensitivity of mature pollen in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*. 2010;61(14):3901-3914. DOI: 10.1093/jxb/erq204

#### Информация об авторе

**Юрий Валентинович Фотев**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, fotev\_2009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0299-3689>

#### Information about the author

**Yury V. Fotev**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, Novosibirsk State Agrarian University, 160 Dobrolyubova St., Novosibirsk 630039, Russia, fotev\_2009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0299-3689>

Статья поступила в редакцию 05.03.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 05.03.2022; approved after reviewing on 20.06.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Анализ зависимости качества волокна хлопчатника от погодных условий восточной зоны Ставропольского края

Н. А. Ходжаева<sup>1</sup>, Л. П. Подольная<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Прикумская опытно-селекционная станция, Буденновск, Россия

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

**Автор, ответственный за переписку:** Лариса Петровна Подольная, l.podolnaya@vir.nw.ru

**Актуальность.** Изменение климата на планете приводит к ухудшению условий возделывания хлопчатника в традиционных хлопководческих странах, что в свою очередь может положительно сказаться на хлопководстве в России в связи с продвижением культуры на север. Оценка изменчивости параметров качества волокна (одного из главных хозяйственно ценных показателей) у селекционных линий хлопчатника и влияния на них погодных условий востока Ставропольского края позволит определить направления селекции и агротехнику для данной зоны.

**Материал и методы.** Волокно 30 селекционных линий, выращенных на базе Прикумской опытно-селекционной станции (г. Буденновск Ставропольского края), собранное в 2009, 2012, 2014, 2018 и 2019 г., оценивали по системе HVI в Москве и Камышине. Сравнили изменчивость параметров качества волокна по выборке за годы исследований, сделали двухфакторный дисперсионный и корреляционный анализы признаков качества и показателей температуры и осадков. Использовали программы Excel 2016 и Statistica 7.

**Результаты и обсуждение.** Анализ изменчивости отдельных параметров качества волокна показал, что они по-разному реагируют на погодные условия; особенно чувствительными оказались прочность и микронейр (тонина и зрелость), между которыми нами выявлена сильная отрицательная связь ( $r = -0,82$ ). Именно на эти параметры наиболее значительно влияют августовские температуры и осадки. Жаркая и сухая погода августа способствует формированию волокна 1–3 типа, соответствующего волокну тонковолокнистого хлопчатника (*Gossypium barbadense* L.), у растений с габитусом и скороспелостью *G. hirsutum* L. При относительно прохладных и влажных условиях 2009 и 2012 г. волокно большинства линий было типично для средневолокнистого хлопчатника. Установленная связь между параметрами качества волокна и погодными условиями в период формирования волокна позволит заранее прогнозировать качество урожая и планировать его применение.

**Ключевые слова:** хлопчатник, сорта и линии, погодные условия, изменчивость, качество волокна, HVI

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования».

Полевые работы выполнены в рамках плана научно-исследовательской работы отдела селекции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур в засушливой зоне Северо-Кавказского ФНАЦ на 2019–2021 гг. по теме: «Создать, изучить и выделить для селекции новые генотипы зерновых колосовых, сорговых культур, кормовых и лекарственных трав, хлопчатника по комплексу хозяйственно ценных признаков для различных почвенно-климатических условий Северо-Кавказского региона» (№ 0725-2019-0016).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Ходжаева Н.А., Подольная Л.П. Анализ зависимости качества волокна хлопчатника от погодных условий восточной зоны Ставропольского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-48-58

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-48-58

## Analysis of the relationship between cotton fiber quality and weather conditions in the southeast of Stavropol Territory

Nina A. Khodzhaeva<sup>1</sup>, Larisa P. Podolnaya<sup>2</sup><sup>1</sup>North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Prikumskaya Experimental Breeding Station, Budennovsk, Russia<sup>2</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Larisa P. Podolnaya, l.podolnaya@vir.nw.ru

**Background.** Climate change leads to the worsening of cotton cultivation conditions in traditional cotton-producing countries, which, in its turn, can produce a positive impact on cotton cultivation in Russia. Assessment of the variability of fiber quality parameters in breeding lines and the effect of weather conditions in the east of Stavropol Territory will help to identify breeding trends and agricultural practices for this area.

**Materials and methods.** The fiber produced in 2009, 2012, 2014, 2018 and 2019 by 30 breeding lines grown at Prikumskaya Experimental Breeding Station (Budennovsk, Stavropol Territory) was analyzed under the HVI system in Moscow and Kamyshyn. We compared the variability of fiber quality parameters by sampling over the years of research and conducted ANOVA and correlation analyses of the quality traits and temperature and rainfall indicators. Excel 2016 and Statistica 7 were used.

**Results and discussion.** An analysis of the variability in individual fiber quality parameters showed that they reacted differently to changing weather; particularly sensitive were fiber strength and micronaire. A strong negative correlation was observed between these characters ( $r = -0.82$ ), and they were most significantly affected by the temperature and precipitation in August. A hot and dry August contributed to the formation of fiber type 1–3, corresponding to the fiber of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.), in plants with habitus and earliness of *G. hirsutum* L. Under relatively cool and humid conditions of 2009 and 2012, the fiber of most lines was typical for the upland type. Knowledge of the relationship between fiber quality and weather conditions during the fiber development period will help to predict the quality of cotton fiber in advance and prognosticate its utilization.

**Keywords:** cotton, cultivars and lines, weather conditions, variability, fiber quality, HVI

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0005 “Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis for theoretical research and their practical utilization”.

Field works were performed within the framework of the state task according to the theme plan of the North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center for 2019–2021, Project No. 0725-2019-0016 “To develop, study and identify for breeding new genotypes of cereal and sorghum crops, fodder and medicinal grasses, and cotton according to a set of useful agronomic traits for various soil and climate conditions of the North Caucasus region”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Khodzhaeva N.A., Podolnaya L.P. Analysis of the relationship between cotton fiber quality and weather conditions in the southeast of Stavropol Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-48-58

## Введение

Влияние изменяющихся климатических условий на рост и развитие различных сельскохозяйственных культур в последние годы привлекает все большее внимание исследователей (Pavlov, 2007; Novikova, Loskutov, 2009; Podolnaya et al., 2011; Kucek et al., 2019; Besedina et al., 2021). Стремительно ухудшаются условия выращивания тропических и субтропических культур в традиционных зонах их возделывания, в том числе и хлопчатника (Williams et al., 2017). Это приводит к снижению урожайности и ухудшению качества волокна. Но с другой стороны, глобальное потепление может положительно сказаться на возможности расширения зоны возделывания к северу в России.

Анализ изменения климата за продолжительный период показал, что в степной зоне Ставропольского края наблюдается его устойчивая аридизация (Abaldov, 2001, 2002), однако различия погодных условий по годам значительны, в том числе и распределение осадков по сезону в течение конкретного года. Изучение образцов и линий хлопчатника в условиях юго-восточного Ставрополя в течение почти 30 лет показало сильную зависимость хозяйственно ценных признаков, в том числе и параметров качества волокна, не только от осадков, но и от температуры.

В нашей работе оценка качества волокна была произведена по международной методике на приборе HVI. Мы впервые изучили блок линий хлопчатника, характеризующихся волокном очень высокого качества, почти соответствующего волокну тонковолокнистого хлопчатника, практически не вызревающего в условиях России. Гибридные линии были отобраны по комплексу признаков, в первую очередь по длине волокна, измеренной вручную. Оценка изменчивости параметров качества в конкретных условиях поможет определить направление селекции хлопчатника и разработать агротехнологии его возделывания, особенно режим полива.

## Материал и методы

Изучено волокно 29 линий, выделенных из форм, созданных путем внутривидовой и межвидовой гибридизации, а также стандартного скороспелого сорта 'ПОСС 2'. Линии выращивали без орошения на базе Прикумской опытно-селекционной станции – филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра, (г. Буденновск Ставропольского края) в течение ряда лет.

Территория станции характеризуется каштановыми почвами. Посев проводили в первой декаде мая по схеме 70 × 15 × 1. Подробно условия выращивания и агротехника изложены в статье Н. А. Морозова и Н. А. Ходжаевой (Morozov, Khodzhaeva, 2020).

Волокно, полученное в 2009, 2012, 2014, 2018 и 2019 г., оценивали по системе HVI (Platonova, Maslova, 2001) в Московском институте текстильной и легкой промышленности ООО «ИНПЦ ТЛП» и ООО «Камышинский текстиль» Волгоградской области. Анализировали пять основных параметров:

- 1 – UHML – верхняя средняя длина (средняя длина наиболее длинных волокон);
- 2 – Unf – индекс равномерности по длине;
- 3 – Str – удельная разрывная нагрузка;
- 4 – Elg – удлинение при разрыве;
- 5 – Mic – микронейр (тонины и зрелость).

Кроме данных, представленных в системе HVI, в статье приведен и такой показатель, как тип волокна, использовавшийся в СССР. Сейчас в Узбекистане он адаптирован под международные стандарты. Тип волокна определяют по его длине. Всего существует 9 градаций – 1–3 типы получают от тонковолокнистого хлопчатника (*Gossypium barbadense* L.). Остальные характерны для средневолокнистого (*G. hirsutum* L.). Самое востребованное волокно 4 и 5 типов, из которого вырабатывают шифон, зефир, поплин, трикотаж. Однако данные по типу волокна статистической обработке не подвергались. Сорт волокна оценивают по его удельной разрывной нагрузке (прочности) (табл. 1).

**Таблица 1. Характеристика типов волокна (по: Platonova, Maslova, 2001)**

**Table 1. Characteristics of fiber types (from Platonova, Maslova, 2001)**

Тип	Верхняя средняя длина волокна (UHML), мм	Удельная разрывная нагрузка (Str), г/текс, для I и II сортов волокна
1a	33,7–34,3	29,4–34,3 (30,0–35,0)
1б	32,9–33,6	
1	32,2–32,8	
2	31,4–32,1	
3	30,7–31,3; 29,9–30,6	23,0–27,8 (23,5–28,4)
4	28,9–29,8 28,1–28,8	
5	27,4–28,0 26,6–27,3	
6	25,8–26,5	
7	25,1–25,7	

Базовый показатель тонины и зрелости- микро-нейр – для средневолокнистого хлопчатника составляет 3,5–4,9, наилучшие характеристики – 4,0–4,5. Показатель ниже 3,5 свидетельствует о том, что волокно незрелое, свыше 5,0 – грубое.

Elongation (Elg) – удлинение волокна к моменту его разрыва на динамометре системы HVI, выраженное в процентах. Удлинение показывает меру растяжимости волокон, определяющую прядильную способность (табл. 2).

**Таблица 2. Градации показателя «удлинение» (по: Platonova, Maslova, 2001)**

**Table 2. Grades of the “Elongation” indicator (from Platonova, Maslova, 2001)**

Удлинение при разрыве Elg	Характеристика
Ниже 5,0	Очень малое
5,0–5,8	Малое
5,9–6,7	Среднее
6,8–7,6	Высокое
Выше 7,6	Очень высокое

Для статистической обработки данных использовали программы Excel 2016 и Statistica 7.

Среднемесячная температура и осадки за период вегетации хлопчатника показаны на рисунке.

Годы исследований значительно различались как по температурному режиму, так и по сумме осадков, особенно в те месяцы, когда обычно происходит формирование коробочек. Наиболее влажным и относительно прохладным был 2009 г., а 2014 г. отличался недостатком осадков в июле и августе, а также высокими температурами в августе – в период формирования коробочек. Своеобразные погодные условия были отмечены в 2019 г. – как среднемесячная температура, так и количество осадков в июле и августе имели одинаковые показатели.

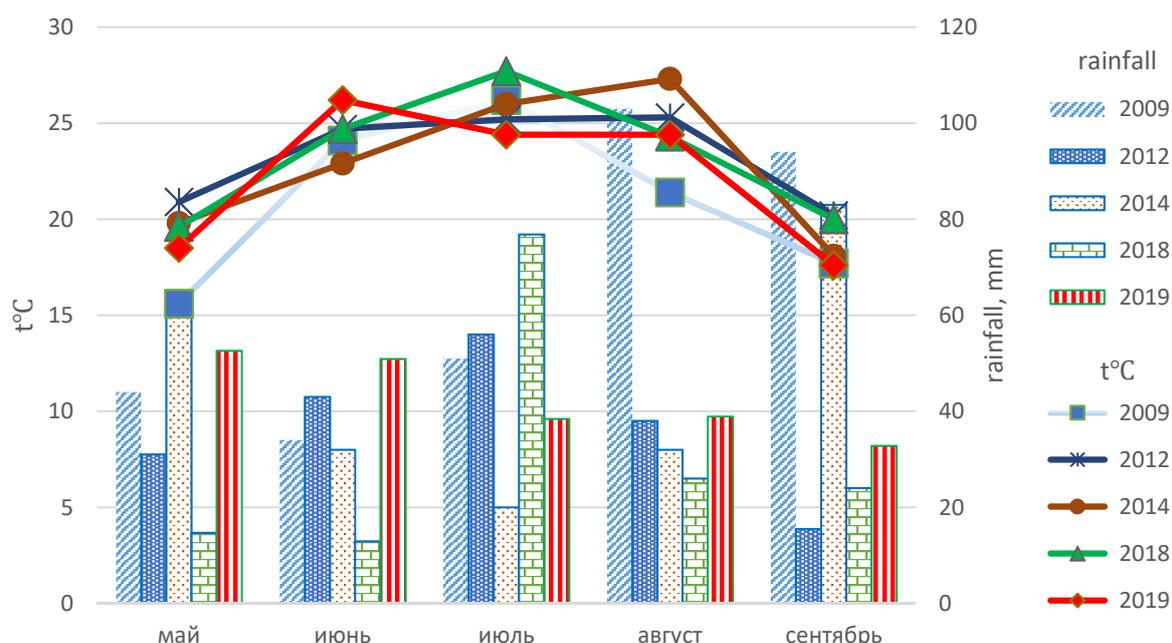
## Результаты и обсуждение

В таблице 3 представлены средние данные за пять лет изучения для скороспелого стандарта ‘ПОСС 2’ и 29 линий с высоким качеством волокна.

Технологический анализ показал, что хлопчатник в России может давать волокно очень высокого качества даже без орошения, что очень важно для его рентабельного возделывания. Данные микронейра свидетельствуют, что волокно у большинства образцов хорошо вызрев-

шее, имеет нормальную извитость, что важно для прядения. Изученные селекционные линии дали волокно первых типов, получаемых только от тонковолокнистого хлопчатника, образцы которого в России вызревают крайне редко.

Двухфакторный дисперсионный анализ не показал достоверного влияния генотипа ни на один из изученных признаков, что объясняется близостью характеристик линий, несмотря на их различное происхождение. Зато условия среды оказали значительное влияние на все параметры качества волокна с высокой степенью достоверности (табл. 4). Большой процент случайных факторов объясняется разнонаправленностью вектора изменчивости у отдельных образцов в разные годы.



**Рисунок. Погодные особенности вегетационного периода (метеостанция г. Буденновск)**

**Figure. Weather conditions of the growing season (Budennovsk weather station)**

Таблица 3. Характеристика волокон линий гибридного происхождения (Буденновск, 2009, 2012, 2014, 2018, 2019 г.)  
 Table 3. Fiber quality parameters of the best hybrid lines (Budenovsk, 2009, 2012, 2014, 2018, and 2019)

Название / номер линии	Происхождение линии	UHL <sup>1</sup> мм	Unf <sup>2</sup> %	Str <sup>3</sup> гс/текс	Elg <sup>4</sup>	Mic <sup>5</sup>	Тип
233/6	ПОСС-1 (Отбор из болгарского образца к-7282) × Вилкано (Греция)	31,9 ± 0,4	87,9 ± 0,4	30,6 ± 2,7	6,8 ± 0,1	3,8 ± 0,04	2
244/1	ПОСС-2 × 41 (j-5) (и- 530361, Австралия)	31,0 ± 0,5	86,6 ± 0,2	29,9 ± 2,9	6,0 ± 0,1	4,6 ± 0,05	3
239/4	ПОСС-2 × Пандора (Греция)	30,6 ± 0,4	82,9 ± 0,05	31,0 ± 2,0	7,0 ± 0,5	4,5 ± 0,09	3
197/2	Tamcot 2055 (и-556320, США) × Бухара-6 (Узбекистан)	31,7 ± 1,4	87,1 ± 0,6	32,0 ± 2,1	6,3 ± 0,1	4,4 ± 0,04	2
Феникс	Россия (к-7738) б/н × и-518518 Samos-4 (Греция)	30,3 ± 0,2	87,7 ± 0,6	34,0 ± 2,1	6,3 ± 0,1	4,7 ± 0,05	3
257/7	Наманган 77 (к-7946, Узбекистан) × 5/5 (к-7878, Форма 0, Узбекистан × к-4389, 597-Г, Россия).	31,5 ± 0,2	87,4 ± 0,5	32,5 ± 2,3	5,9 ± 0,1	4,4 ± 0,03	2
259/2	ПОСС-1 (Отбор из болгарского образца к-7282) × 5/5 (к-7878, Форма 0, Узбекистан × к-4389, 597-Г, Россия).	33,1 ± 0,3	87,8 ± 0,3	31,2 ± 2,1	6,1 ± 0,1	3,9 ± 0,06	16
255/1	Бели Извор-432 (к- 7714, Болгария) × Вилкано (Греция)	30,5 ± 0,2	86,9 ± 0,4	30,7 ± 2,7	5,9 ± 0,2	4,7 ± 0,19	3
271/2	ПОСС-2 × 43 (j-5) (и-530363, Австралия)	30,7 ± 0,1	87,5 ± 0,1	29,4 ± 2,4	6,1 ± 0,0	4,4 ± 0,06	3
Л-2а	Спонтанный межвидовой гибрид <i>G. barbadense</i> × <i>G. hirsutum</i> . Отбор из сорта Abbassi ( <i>G. barbadense</i> ) (к-2064, Туркменистан)	33,0 ± 0,4	86,7 ± 0,2	33,9 ± 2,3	6,3 ± 0,1	3,6 ± 0,07	16
Голиот	Неизвестно	30,6 ± 0,1	88,05 ± 0,7	33,7 ± 2,4	6,2 ± 0,05	4,6 ± 0,05	3
35 (0)	Отбор из линии 645 Узбекистан	31,0 ± 0,9	85,9 ± 1,1	33,0 ± 1,8	6,3 ± 0,2	4,0 ± 0,0	2
39 (0)	Отбор из Л-5000 (Узбекистан)	32, 3 ± 0,3	85,5 ± 0,3	33,1 ± 2,5	5,8 ± 0,2	3,9 ± 0,05	1
39 2/2	Отбор из Л-5000 (Узбекистан)	30,7 ± 0,1	87,3 ± 0,1	29,7 ± 2,5	6,4 ± 0,3	4,3 ± 0,1	3
8/1	Отбор из линии UZNISSH-2 (Узбекистан)	30,2 ± 0,2	87,1 ± 0,4	36,2 ± 2,4	5,9 ± 0,3	3,7 ± 0,05	3

Таблица 3. Окончание  
Table 3. The end

Название / номер линии	Происхождение линии	УНМЛ <sup>1</sup> мм	Unf <sup>2</sup> %	Str <sup>3</sup> гс/текс	Elg <sup>4</sup>	Mic <sup>5</sup>	Тип
228/4	к-7738 Греция × Samos 4 И-518518 (Греция)	30,1 ± 0,1	86,4 ± 0,3	32,6 ± 1,8	6,3 ± 0,2	4,3 ± 0,05	3
31-у	Линия Л-315 (Узбекистан)	31,5 ± 0,3	88,6 ± 0,2	37,9 ± 1,6	6,5 ± 0,1	4,4 ± 0,03	3
5/9	Отбор из гибрида 5/5 (к-7878, Форма 0, Узбекистан × к-4389 597-Т, Россия).	29,5 ± 0,1	86,9 ± 0,4	29,5 ± 2,6	6,8 ± 0,2	4,1 ± 0,04	4
6/5	Отбор Тамсот sp 37 × <i>G. harknessii</i> Brandg	30,0 ± 0,3	87,6 ± 0,3	35,5 ± 2,3	6,5 ± 0,1	3,9 ± 0,02	3
197/2	Сорт Тамсот 2055 и-556320 (США) × сорт Бухара-6 (Узбекистан)	29,6 ± 0,3	82,3 ± 0,2	30,5 ± 1,8	6,5 ± 0,1	4,1 ± 0,05	4
264/6	ПОСС-2 × 23 (j-5) и-530343 (Австралия)	30,1 ± 0,1	82,6 ± 0,3	31,5 ± 2,0	7,4 ± 0,1	4,4 ± 0,3	3
310/1	ПОСС-2 × МВГ-14 Тамсот sp37 × <i>G. thurberi</i> Tod.	31,3 ± 0,3	86,0 ± 0,4	33,3 ± 2,1	7,0 ± 0,2	4,4 ± 0,02	3
233/7	ПОСС-1 × Вилкано (Греция)	32,3 ± 0,5	85,3 ± 0,4	32,4 ± 1,9	6,0 ± 0,3	4,1 ± 0,05	1
318/6	ПОСС-2 × ВН-177 и-587260 (Индия)	29,6 ± 0,4	83,2 ± 0,2	29,7 ± 2,9	7,3 ± 0,2	4,3 ± 0,02	4
314/3	ПОСС-2 × МВГ 29 Отбор из Намангана 77 (к-7946, Узбекистан)	30,6 ± 0,1	85,4 ± 0,3	32,0 ± 1,5	6,1 ± 0,1	4,4 ± 0,03	3
4а	Отбор из сорта Abbassi ( <i>G. barbádense</i> ) (к-2064, Туркменистан)	31,6 ± 0,1	83,0 ± 0,2	33,8 ± 3,9	6,9 ± 0,1	4,0 ± 0,02	2
2а	Отбор из сорта Abbassi ( <i>G. barbádense</i> ) (к-2064, Туркменистан)	31,6 ± 0,3	83,9 ± 0,2	31,0 ± 2,0	6,7 ± 0,1	3,8 ± 0,01	2
35	Отбор из линии 645 (Узбекистан)	29,6 ± 0,3	87,7 ± 0,1	31,5 ± 2,9	6,2 ± 0,2	4,2 ± 0,3	4
315/7	ПОСС-2 × Л-319 (Узбекистан)	31,1 ± 0,2	85,0 ± 0,3	33,9 ± 2,3	6,9 ± 0,3	3,9 ± 0,04	2
ПОСС-2	Отбор из болгарского образца № 581 (к-7281)	27,3 ± 0,6*	85,1 ± 0,8	29,5 ± 2,1	5,6 ± 0,1*	4,9 ± 0,11	5

Примечание: <sup>1</sup> – верхняя средняя длина (средняя длина наиболее длинных волокон); <sup>2</sup> – индекс равномерности по длине; <sup>3</sup> – удельная разрывная нагрузка; <sup>4</sup> – удлинение при разрыве; <sup>5</sup> – микронейр (тонина и зрелость)

Note: <sup>1</sup> – Upper Half Mean Length; <sup>2</sup> – Uniformity Index; <sup>3</sup> – Strength; <sup>4</sup> – Elongation; <sup>5</sup> – Micronaire (Maturity-Fineness)

**Таблица 4. Доля влияния генотипа и погодных условий на общую изменчивость признаков хлопчатника**  
(г. Буденновск, 2009, 2012, 2014, 2018, 2019 г.)

**Table 4. Effect size of the influence of the genotype and weather conditions on the overall variability of cotton traits**  
(Budennovsk, 2009, 2012, 2014, 2018, and 2019)

Признак	Доля влияния генотипа и условий среды на изменчивость признака (%)		
	Генотип	Условия среды	Случайные факторы
UHML	8	51*	41
Unf	5	51*	44
Str	8	55*	37
Elg	7	38*	55
Mic	8	31*	61

Примечание: \* – влияние фактора достоверно при  $p \leq 0,01$

Note: \* – the effect size of the factor is statistically significant at  $p \leq 0.01$

Показатели по выборке (табл. 5) свидетельствуют о том, что значения признака в каждом году практически не выбиваются из границ, установленных для волокна первых трех типов 1–2-го сортов (Platonova, Maslova, 2001), только несколько линий узбекского происхождения в 2009 и 2012 г. соответствовали 5 типу.

**Длина волокна (UHML)** – главный параметр, по которому определяется назначение сырья для производства. Поскольку оценивали продвинутые селекционные линии, размах изменчивости по выборке был невелик, минимальные значения признака характеризовали стандарт. Наибольший размах изменчивости наблюдали в 2009 г., что может объясняться как более мягкими погодными условиями, так и еще недостаточной проработкой линий. Наименьший размах изменчивости проявился в 2014 г., наиболее жарком и засушливом, что подтверждает мнение о сокращении изменчивости в жестких условиях (Rostova, 2002). Причем и минимальное значение, и среднее были выше, чем в 2009 и 2012 г., хотя осадков в те годы (2009 и 2012) было больше. Такой результат не соответствует общепринятому мнению о влиянии влаги на длину волокна (Simongulyan, 1991). Наиболее длинное волокно сформировалось в 2018 г., и минимальный и максимальный размер были самыми высокими, но размах изменчивости оказался средним. Даже стандарт показал волокно 3-го типа.

**Равномерность (Unf)** характеризует однородность образца. Чем выше равномерность волокна, тем лучше качество. Интересно, что ее среднее значение и размах изменчивости по выборке были практически идентичны за четыре года, лишь в 2014 г., как и по длине волокна, размах изменчивости снижается (см. табл. 5). Резко снизилось сразу на несколько процентов среднее значение равномерности волокна по выборке в 2019 г., при этом размах изменчивости остался таким же, как и в другие годы. Что привело к таким результатам – сказать трудно. Необходимы дополнительные исследования всех факторов, влияющих на качество волокна.

**Прочность волокна (Str)** – один из главных параметров, определяющих сорт волокна. Этот признак оказался наиболее зависимым от погодных условий. Менялись и размах изменчивости, и средние показатели по выборке, а также минимальное и максимальное значения (см. табл. 5). Самое крепкое волокно было выявлено в 2014 г. Все образцы, даже стандарт 'ПОСС 2', имели показатели 35–40 гс/текс, что встречается крайне редко (Kelly et al,

2015; Podolnaya et al., 2015; Podolnaya, Khodzhaeva, 2019). Значения от 29,4 до 34,3 гс/текс характеризуют первый сорт волокна первых типов, которые дает тонковолокнистый хлопчатник; для средневолокнистого 30 гс/текс считается очень хорошим показателем (см. табл. 1). И в отличие от других признаков, именно в этом году наблюдали наибольший размах его изменчивости по выборке (см. табл. 5).

**Удлинение (Elg)** в первые четыре года исследований показывало сходный размах изменчивости по выборке и средние значения, но в 2019 г. увеличились и размах изменчивости и значения параметра. И если минимальное значение изменилось незначительно, то максимальное резко выросло (табл. 5).

**Микронейр** – показатель тонины и зрелости. Микронейр также демонстрирует зависимость от погодных условий, но не такую сильную, как прочность. Размах изменчивости по выборке относительно выше, чем у большинства других показателей, причем разница между максимальным и минимальным значениями не меняется при изменении самих значений. Наиболее тонкое волокно сформировалось в 2014 г., но при этом показатели укладывались в рамки, установленные для волокна 1-го сорта.

Наши предыдущие исследования связи между погодными условиями и особенностями образцов в Буденновске (Podolnaya, et al., 2011), показали, что существуют критические периоды роста и развития хлопчатника – это последние декады июля и первые – августа. Но в предыдущей работе мы рассматривали только признаки структуры растения и урожая, качество волокна не обсуждалось. В настоящей работе мы сделали корреляционный анализ средних показателей по выборке и данных по температуре и осадкам за июль и август по годам изучения линий. Матрица корреляций приведена в таблице 6.

Проанализированная выборка небольшая – пять лет, поэтому достоверными являются только сильные корреляции  $r \geq 0,8$ , но мы рассмотрели и все средние корреляции от 0,5 как вероятные тенденции. В опыте выявлены только две сильные отрицательные корреляции – между однородностью волокна и его удлинением ( $r = -0,94$ ), а также между микронейром и прочностью ( $r = -0,82$ ). Если первая связь, несмотря на ее достоверность, представляется случайной либо особенностью данной выборки, поскольку никогда ранее не упоминалась в лите-

**Таблица 5. Характеристика параметров качества волокна по годам для выборки в целом**  
(г. Буденновск, 2009, 2012, 2014, 2018, 2019 г.)

**Table 5. Fiber quality parameters across the years of sampling**  
(Budenновsk, 2009, 2012, 2014, 2018, and 2019)

Статистические параметры	Годы				
	2009	2012	2014	2018	2019
<b>UHML, мм</b>					
X	29,1	29,2	30,1	31,5	30,2
Min	26,5	27,0	29,1	30,3	28,8
Max	32,3	31,5	31,1	33,1	32,3
Std. Dev.	1,7	1,2	0,6	1,1	1,1
<b>Unf, %</b>					
X	86,1	86,3	86,8	86,8	83,4
Min	84,5	84,0	85,3	82,9	81,3
Max	88,7	88,6	87,6	87,9	86,0
Std. Dev.	1,2	1,3	0,8	1,5	1,3
<b>Str, гс/текс</b>					
X	30,8	34,0	37,2	31,3	31,0
Min	29,0	30,8	30,9	27,9	28,1
Max	33,1	37,9	41,8	34,0	33,9
Std. Dev.	1,5	1,9	2,9	1,9	1,9
<b>Elg</b>					
X	6,1	6,2	6,2	6,2	7,0
Min	5,5	5,9	5,7	5,9	6,0
Max	6,9	6,5	6,9	6,9	7,9
Std. Dev.	0,4	0,2	0,3	0,3	0,6
<b>Mic</b>					
X	4,5	4,2	4,0	4,3	4,2
Min	3,9	3,7	3,7	3,6	3,6
Max	5,1	4,6	4,6	4,7	5,0
Std. Dev.	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3

Примечание: **UHML** – верхняя средняя длина (средняя длина наиболее длинных волокон); **Unf** – индекс равномерности по длине; **Str** – удельная разрывная нагрузка; **Elg** – удлинение при разрыве; **Mic** – микронейр (тонина и зрелость); X – среднее значение, Min – минимальное значение признака, Max – максимальное значение признака, Std. Dev. – стандартное отклонение  
Note: **UHML** – Upper Half Mean Length; **Unf** – Uniformity Index; **Str** – Strength; **Elg** – Elongation; **Mic** – Micronaire (Maturity@Fineness); X – Mean; Min – Minimum; Max – Maximum; Std. Dev – Standard Deviation

**Таблица 6. Матрица корреляций между признаками качества волокна и характеристиками погодных условий**  
(г. Буденновск, 2009, 2012, 2014, 2018, 2019 г.)**Table 6. Matrix of correlations between fiber quality indicators and weather parameters**  
(Budennovsk. 2009, 2012, 2014, 2018, and 2019)

Признаки	UHML	Unf	Str	Elg	Mic	jl t°	jlrf	ag t°	agrif
UHML	1,00								
Unf	0,07	1,00							
Str	-0,15	0,47	1,00						
Elg	0,17	-0,94	-0,26	1,00					
Mic	-0,19	-0,05	-0,82	-0,24	1,00				
jl t°	0,55	0,75	-0,06	0,70	0,27	1,00			
jlrf	0,36	0,25	-0,62	0,33	0,59	0,57	1,00		
ag t°	-0,24	0,20	0,85	0,11	-0,99	-0,14	0,48	1,00	
agrif	-0,63	-0,04	-0,41	0,28	0,78	-0,03	-0,00	-0,81	1,00

Примечания: **UHML** – верхняя средняя длина (средняя длина наиболее длинных волокон); **Unf** – индекс равномерности по длине; **Str** – удельная разрывная нагрузка; **Elg** – удлинение при разрыве; **Mic** – микронейр (тонина и зрелость); **jl t°** – средняя температура июля; **jlrf** – осадки июля; **ag t°** – средняя температура августа; **agrif** – осадки августа

Note: **UHML** – Upper Half Mean Length; **Unf** – Uniformity Index; **Str** – Strength; **Elg** – Elongation; **Mic** – Micronaire (Maturity@Fineness); **jl t°** – mean July temperature; **jlrf** – July rainfall; **ag t°** – mean August temperature; **agrif** – August rainfall

ратуре, то отрицательная связь между микронейром и прочностью является естественной и уже отмечалась ранее, в том числе и нами (Podolnaya et al., 2006). Тонкое и крепкое волокно характерно для тонковолокнистого хлопчатника. Волокно средневолокнистого хлопчатника толще и менее прочное.

Погодные условия наиболее сильное влияние оказывали на прочность волокна и на микронейр, особенно августовские температуры ( $r = 0,85$ ,  $r = -0,99$  соответственно). При увеличении температуры в период созревания волокно становится тоньше и крепче, как у тонковолокнистого хлопчатника. Августовские осадки и похолодание, наоборот, приводят к увеличению показателя «микронейр» ( $r = 0,78$ ), волокно становится грубее, и прочность его при этом снижается, то есть оно приближается по качеству к типичному волокну средневолокнистого хлопчатника, хотя корреляция между прочностью и уровнем августовских осадков меньше 0,5, что недостаточно в нашем исследовании.

Анализ выявленных корреляций показал, что погода в августе сильнее влияет на формирование волокна, чем в июле, так как именно в этот период происходит окончательное созревание волокна. Августовские дожди и невысокая температура приводят к тому, что формируется короткое, грубое и не слишком крепкое волокно. Некоторые корреляции не могут рассматриваться как результат непосредственного влияния погодных условий на конкретные признаки и являются отражением скрытых закономерностей физиологических процессов либо генетических особенностей созданных линий.

### Заключение

Жаркая и сухая погода августа 2014 г. способствовала формированию волокна 1–3 типа, соответствующего волокну тонковолокнистого хлопчатника (*Gossypium barbadense*) с сохранением габитуса и скороспелости *G. hirsu-*

*tum*. При относительно прохладных и влажных условиях 2009 и 2012 г. волокно большинства линий было типично для средневолокнистого хлопчатника. Наиболее длинное волокно сформировалось в 2018 г., даже стандарт показал 3 тип, однако минимальное значение прочности (27,9) и микронейра (3,6) свидетельствует о незрелости длинного волокна сорта-стандарта, что может быть следствием невысоких температур августа. Тщательное изучение влияния отдельных погодных факторов на растения поможет прогнозировать качество волокна в зависимости от изменений погодных условий и возможности его использования.

Наше исследование также показывает, что методами традиционной селекции можно получить линии, дающие в России волокно очень высокого качества даже без орошения, что очень важно для рентабельного возделывания хлопчатника. Изученные селекционные линии дали волокно первых типов, получаемых только от тонковолокнистого хлопчатника, образцы которого в России вызревают крайне редко.

Что интересно, нами не выявлено сильной зависимости длины волокна от обилия осадков. Скорее наоборот, в годы с более жарким и сухим августом получено волокно лучшего качества.

### References / Литература

Abaldov A.N. Agroclimatic justification for cotton culture in Stavropol Territory (Agroklimaticheskoye obosnovaniye kultury khlopchatnika na Stavropol'ye). In: *The problems of reviving the modern Russian cotton industry (Problemy vozrozhdeniya sovremennogo rossiyskogo khlopkovodstva)*. Budennovsk; 2000. p.51-57. [in Russian] (Абалдов А.Н. Агроклиматическое обоснование культуры хлопчатника на Ставрополье. В кн.: *Проблемы возрождения современного российского хлопководства*. Буденновск; 2000. С.51-57).

- Abaldov A.N. The revival of the cost-effective cotton industry of Stavropol Territory is on the way of scientific justification (Vozrozhdeniye ekonomicheskii effektivnogo khlopkovodstva Stavropol'ya – na puti nauchnogo obosnovaniya). In: *Improving the efficiency of crop production in the arid conditions of the Eastern Ante-Caucasus (Povysheniye effektivnosti rasteniyevodstva v aridnykh usloviyakh Vostochnogo Predkavkazyia)*. Budennovsk; 2002. p.121-126. [in Russian] (Абалдов А.Н. Возрождение экономически эффективного хлопководства Ставрополя – на пути научного обоснования. В кн.: *Повышение эффективности растениеводства в аридных условиях Восточного Предкавказья*. Буденновск; 2000. С.121-126).
- Besedina T.D., Boyko A.P., Tutberidze Ts.V., Kiseleva N.S. Specific nature of the integrative (complex) effect of environmental factors on hazelnut cultivars in the Russian humid subtropics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):22-32. [in Russian] (Беседина Т.Д., Бойко А.П., Тутберидзе Ц.В., Киселева Н.С. Специфика интегративного (комплексного) действия факторов внешней среды влажных субтропиков России на сорта культуры фундука. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):22-32). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-22-32
- Kelly B., Abidi N., Ethridge D., Hequet E.F. Fiber to fabric. In: D.D. Fang, R.G. Percy. *Agronomy Monographs. Vol. 57. Cotton*. 2nd ed. Madison, WI; 2015. p.665-744. DOI: 10.2134/agronmonogr57.2013.0031
- Kucek L.K., Riday H., Reberg-Horton C., Maul J., Mirsky S.B. et al. Environmental influences on the relationship between fall and spring vigor in hairy vetch. *Crop Science*. 2019;59(6):2443-2454. DOI: 10.2135/cropsci2018.09.0569
- Morozov N.A., Khodzhaeva N.A. Preconditions for the revival of efficient cotton production in Stavropol Territory (Predposylki vozrozhdeniya effektivnogo khlopkovodstva na Stavropol'ye). *Effektivnyy APK = Effective Agro-Industrial Complex*. 2020;(2):70-71. [in Russian] (Морозов Н.А., Ходжаева Н.А. Предпосылки возрождения эффективного хлопководства на Ставрополье. *Эффективный АПК*. 2020;(2):70-71).
- Novikova L.Yu., Loskutov I.G., Dyubin V.N. The analysis of economically valuable characters of Borrus oat variety under condition of North-West of Russia from 1980 to 2008 in connection with climate changes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;166:551-558. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Лоскутов И.Г., Дюбин В.Н. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков овса сорта Боррус в условиях Северо-Запада РФ с 1980 по 2008 г. в связи с изменениями климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:551-558).
- Pavlov A.V. The sources of high-quality fiber in the VIR fiber flax collection and their breeding value (Istochniki vysokogo kachestva volokna v kolleksii lina-dolguntsa VIR i ikh selektsionnaya tsennost) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Павлов А.В. Источники высокого качества волокна в коллекции льна-долгунца ВИР и их селекционная ценность: Дис. ... канд. сельскохоз. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Platonova O.P., Maslova N.A. The use of HVI in the textile industry (Primeneniye "HVI" v tekstilnoy promyshlennosti). Moscow; 2001. [in Russian] (Платонова О.П., Маслова Н.А. Применение «HVI» в текстильной промышленности. Москва; 2001).
- Podolnaya L.P., Grigorev S.V., Illarionova K.V., Asfandiarova M. Sh., Tuz R.K., Khodzhaeva N.A., Miroshnichenko E.V. Cotton in Russia. Actuality and prospect. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):56-58. [in Russian] (Подольная Л.П., Григорьев С.В., Илларионова К.В., Асфандиярова М.Ш., Туз Р.К., Ходжаева Н.А., Мирошниченко Е.В. Хлопчатник в России. Актуальность и перспективы. *Достижения науки и техники АПК*. 2015; 29(7):56-58).
- Podolnaya L.P., Khodzhaeva N.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 889. Cotton: evaluation of fiber in cotton accessions using the HVI testing method. St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Подольная Л.П., Ходжаева Н.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 889. Хлопчатник: Оценка коллекционных образцов хлопчатника по методике HVI. Санкт-Петербург: ВИР; 2019).
- Podolnaya L.P., Kushnareva T.A., Khodzhaeva N.A. Analysis of the effect of weather conditions on the development of cotton accessions at Budennovsk experimental site of the Vavilov Institute (Southeast of Stavropol Territory). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2011;167:112-124. [in Russian] (Подольная Л.П., Кушнарева Т.А. Ходжаева Н.А. Анализ зависимости развития образцов хлопчатника от погодных условий Буденновского опорного пункта ВИР (юго-восток Ставропольского края). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;167:112-124).
- Podolnaya L.P., Platonova O.P., Asfandiyarova M.Sh., Maslova N.A. Evaluation of cotton fiber quality under the international HVI system (Otsenka kachestva volokna khlopchatnika po mezhdunarodnoy sisteme HVI). In: *Proceedings of the Near-Caspian Research Institute of Arid Farming. Vol. 4 (Sbornik trudov Prikaspiyskogo NII aridnogo zemledeliya. T. 4)*. Solenoye Zaymishche; 2006. p.28-34. [in Russian] (Подольная Л.П., Платонова О.П., Асфандиярова М.Ш., Туз Р.К., Маслова Н.А. Оценка качества волокна хлопчатника по международной системе HVI. В кн.: *Сборник трудов Прикаспийского НИИ аридного земледелия. Т. 4*. Солёное Займище; 2006. С.28-34).
- Podolnaya L.P., Tuz R.K., Asfandiyarova M.Sh. Correlations between the traits of the cotton samples depending on weather conditions (Korrelyatsii mezhdu priznakami u obraztsov khlopchatnika v zavisimosti ot pogodnykh usloviy). In: N.A. Sherbakova, A.P. Seliverstova (eds). *Scientific and practical ways to enhance environmental stability and socioeconomic support of agricultural production: proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Nauchno-prakticheskiye puti povysheniya ekologicheskoy ustoychivosti i sotsialno-ekonomicheskoye obespecheniye selskokhozyaystvennogo proizvodstva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii)*. Solenoye Zaymishche; 2017. p.890-894. [in Russian] (Подольная Л.П., Туз Р.К., Асфандиярова М.Ш. Корреляции между признаками у образцов хлопчатника в зависимости от погодных условий. В кн.: *Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы международной научно-практической конференции / под ред. Н.А. Щербаковой, А.П. Селиверстовой. Солёное Займище; 2017. С.890-894).*
- Rostova N.S. Correlations: structure and variability. In: *Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. Ser. 1. Vol. 94*. St. Petersburg: St. Petersburg University; 2002. [in Russian] (Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. В кн.: *Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 1. Т. 94*. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2002).
- Simongulyan N.G. Genetics of cotton quantitative traits (Genetika kolichestvennykh priznakov khlopchatnika). Tash-

kent: FAN; 1991. [in Russian] (Симонгулян Н.Г. Генетика количественных признаков хлопчатника. Ташкент: ФАН; 1991).

Smith C.W, Hague S., Hequet E., Thaxton P.S., Brown I.N. Development of extra-long staple upland cotton. *Crop Science*. 2008;48(5):1823-1831. DOI: 10.2135/cropsci2008.01.0052

Williams A.A.J., McRae D., Kouadio L., Mushtaq Sh., Davis P. Cotton and climate change. In: J.L. Hatfield, M.V.K. Sivakumar, J.H. Prueger (eds). *Agronomy Monographs. Vol. 60. Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*. Madison, WI; 2018. p.343-368. DOI: 10.2134/agronomogr60.2016.0009

#### **Информация об авторах**

**Нина Артемовна Ходжаева**, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Прикумская опытно-селекционная станция – филиал СКФНЦ, 356803 Россия, Ставропольский край, Буденновск, ул. Вавилова, 4, khodzhaeva\_prikumsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2353-1862>

**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>

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

**Nina A. Khodzhaeva**, Senior Researcher, North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Prikumskaya Experimental Breeding Station, branch of the NCFSSAC, 2 Vavilova St., Budennovsk, Stavropol Province 356803, Russia, khodzhaeva\_prikumsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2353-1862>

**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>

**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 06.05.2021; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 06.05.2021; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

Original article

UDC 547.913

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-59-65



## Chemical constituents and antibacterial activity of essential oils in *Amomum longiligulare* from Vietnam

Nguyen Hung<sup>1</sup>, Nguyen H. Toan<sup>2</sup><sup>1</sup> Vietnam–Hungary Industrial University, Hanoi, Vietnam<sup>2</sup> Quang Nam University, Quangnam, Vietnam**Corresponding author:** Nguyen Hung, n.hung.vhiu@gmail.com

This paper reports the chemical constituents and the antibacterial activity of essential oils from the leaves, rhizomes, and fruits of *Amomum longiligulare* T.L. Wu (Zingiberaceae) obtained by microwave-assisted hydrodistillation. The essential oils were analyzed by gas chromatography–mass spectrometry techniques. The minimum inhibitory concentration (MIC) values were measured by the broth microdilution assay. The oil yields of leaves, rhizomes and fruits from *A. longiligulare* were 0.23%, 0.27% and 1.93% (v/w), respectively, calculated on a dry weight basis. The leaf essential oil comprised mainly  $\alpha$ -humulene (28.4%),  $\alpha$ -pinene (24.9%),  $\beta$ -caryophyllene (17.3%), humulene epoxide II (7.3%), and  $\beta$ -pinene (4.7%). The major compounds of the rhizome essential oil were  $\beta$ -caryophyllene (28.7%), bicyclogermacrene (17.1%), humulene epoxide II (10.5%), camphene (7.9%), and  $\alpha$ -pinene (5.7%). Camphor (40.7%) and bornyl acetate (34.2%) were the main constituents of the fruit oil. The essential oils demonstrated antimicrobial activities against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa* with the MIC values ranging from 200 to 400  $\mu$ g/mL. In summary, the *A. longiligulare* essential oils are a source of promising antibacterial agents. This is the first report on the chemical composition and antibacterial activity of *A. longiligulare* essential oil obtained by microwave-assisted hydrodistillation.

**Keywords:** Zingiberaceae, essential oil, antibacterial activity, microwave-assisted hydrodistillation

**Acknowledgements:** the authors would like to thank Mr. Tran Van Kien for his assistance with the field studies and sample collection.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Hung N., Toan N.H. Chemical constituents and antibacterial activity of essential oils in *Amomum longiligulare* from Vietnam. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):59-65. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-59-65

Научная статья  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-59-65

## Химический состав и антибактериальная активность эфирных масел *Atotum longiligulare* из Вьетнама

Н. Хунг<sup>1</sup>, Н. Х. Тоан<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Вьетнамско-венгерский промышленный университет, Ханой, Вьетнам

<sup>2</sup> Университет Куангнам, Куангнам, Вьетнам

Автор, ответственный за переписку: Нгуен Хунг, n.hung.vhiu@gmail.com

В этой статье сообщается о химическом составе и антибактериальной активности эфирных масел из листьев, корневищ и плодов *Atotum longiligulare* T.L. Wu (Zingiberaceae), полученных путем гидродистилляции с помощью микроволновой печи. Эфирные масла анализировали методами газовой хроматографии – масс-спектрометрии. Значения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) измеряли с помощью анализа микроразведений в бульонной среде. Выход масла из листьев, корневищ и плодов *A. longiligulare* составлял 0,23%, 0,27% и 1,93% (об./вес.) соответственно в расчете на сухую массу. Эфирное масло листьев состоит в основном из α-гумулена (28,4%), α-пинена (24,9%), β-кариофиллена (17,3%), эпоксида гумулена II (7,3%) и β-пинена (4,7%). Основными соединениями эфирного масла корневища были β-кариофиллен (28,7%), бициклогермакрен (17,1%), эпоксид гумулена II (10,5%), камфен (7,9%) и α-пинен (5,7%). Камфора (40,7%) и борнилацетат (34,2%) были основными составляющими масла плодов. Эфирные масла продемонстрировали антимикробную активность в отношении *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa* со значениями МИК от 200 до 400 мкг/мл. Таким образом, эфирные масла *A. longiligulare* являются источником многообещающих антибактериальных средств. Это первое сообщение о химическом составе и антибактериальной активности эфирного масла *A. longiligulare*, полученного путем гидродистилляции с помощью микроволновой печи.

**Ключевые слова:** Zingiberaceae, эфирное масло, антибактериальная активность, гидродистилляция с помощью микроволновой печи

**Благодарности:** авторы выражают признательность г-ну Тран Ван Киен за его помощь в полевых исследованиях и сборе образцов.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Хунг Н., Тоан Н.Х. Химический состав и антибактериальная активность эфирных масел *Atotum longiligulare* из Вьетнама. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):59-65. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-59-65

## Introduction

Medicinal and aromatic plant species have been widely exploited as food flavorings, medicinal agents, preservatives, and decorations, as well as aesthetic and personal enjoyment items, becoming natural alternatives that provide dependability, safety, and sustainability (Inoue et al., 2019; Ibáñez et al., 2021). Essential oils are obtained from the different plant parts, and they are extracted by different techniques (Irshad et al., 2020). Numerous efforts are made to explore the usage of essential oils as a supernumerary treatment to pharmaceutical remedies against various infectious diseases (Irshad et al., 2020). Essential oils are used in the aromatherapy and act as antioxidants, antimicrobial and antifungal countermeasures, pain relievers, anxiety mitigators, and antidepressants (Dosoky, Setzer, 2018; Valdivieso-Ugarte et al., 2019; Irshad et al., 2020).

The genus *Amomum* (family Zingiberaceae) incorporates about 180 species distributed in Africa, tropical Asia, Australia, and the Pacific Islands (Lamxay, Newman, 2012; Chau et al., 2015; Thinh et al., 2021). *Amomum longiligulare* T.L. Wu is a precious medicinal plant of the genus *Amomum*. It is a plant that grows up to 1–1.5 m, with a glabrous petiole and lanceolate leaf (Chau et al., 2015). *A. longiligulare* contains five main classes of chemical components, including saponins, flavonoid glycosides, organic acids, inorganic components and especially volatile oil whose content is about 1.7–3% (Anh et al., 2020). The fruit is used as a spice ingredient in Vietnam, China, and Taiwan. In addition, *A. longiligulare* is used to treat indigestion and stomach burn and other colds, diarrhea, vomiting, threatened abortion, dysentery, toothache, and oedema (Chau et al., 2015). Microwave-assisted hydrodistillation is an emerging technology in the extraction and purification of the volatile fractions of plants, and is far more efficient than classic hydrodistillation (Mollaei et al., 2019; Lamberti et al., 2021). Therefore, the current study was conducted to analyze the chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of *Amomum longiligulare* obtained by microwave-assisted hydrodistillation.

## Materials and methods

### Plant material

Leaves, rhizomes and fruits of *Amomum longiligulare* were used as experimental raw material in this study. The materials were collected in Quang Nam Province, Vietnam, in August 2020. All samples were air-dried for two weeks and then crushed using a laboratory mill.

### Essential oils extraction

A Sharp R-205VN microwave oven was connected to a Clevenger apparatus that had been modified for microwave-assisted hydrodistillation. The extraction procedure followed the method previously described (Lamberti et al., 2021). In a typical microwave-assisted hydrodistillation procedure performed at atmospheric pressure, 250 g of each sample was placed in a 1 L flask containing 500 mL of deionized water. The microwave oven was operated at 800 W for 1 h. To remove water, the extracted essential oils were then dried over anhydrous sodium sulfate, weighed and stored in amber vials at 4°C until they were used for analysis. All measurements were performed in triplicate.

### Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS)

The essential oil composition was determined by means of gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) using an

Agilent 7890A chromatograph coupled with an HP 5973 MSD mass spectrometer. A capillary column (HP-5MS) (30 m × 0.25 mm id, film thickness 0.25 µm) and ionization energy of 70 eV were used. The temperature for the analyses was initiated at 60°C and subsequently increased to 220°C at a rate of 4°C/min. Injector and detector temperatures were 250°C and 260°C, respectively. The volume of the injected sample was 1 µL while the helium carrier gas was maintained at a flow rate of 1.0 mL/min. The sector mass analyzer was set to scan from 35 to 350 amu. The apparatus was controlled by a ChemStation computer system. Identification of chemical components was based on comparing the retention indices from the analysis of the chromatograms obtained for each oil sample with the standards of *n*-alkanes (C<sub>4</sub>–C<sub>40</sub>) with linear interpolation using the Van den Dool and Kratz equation (Van den Dool, Kratz, 1963) and by comparing results from mass spectral data of each peak using a computer library (Wiley-14 and NIST-14 Mass Spectral Library) with recently described results contained in the literature (Adams, 2007; NIST, 2018). Concentration of identified compounds, expressed as a percentage, was directly calculated from respective peak areas.

### Antibacterial assay

The bacterial growth inhibition of the essential oils was evaluated using two strains of Gram-positive test bacteria, *Staphylococcus aureus* (ATCC25923) and *Bacillus cereus* (ATCC14579), plus two strains of Gram-negative test bacteria, *Escherichia coli* (ATCC 25922) and *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC27853). Minimum inhibitory concentration (MIC) values were measured by the broth microdilution assay as previously described (Huong et al., 2020; Huong et al., 2021). Stock solutions of each of the essential oils were prepared using dimethylsulfoxide. The essential oils were diluted in two folds (400, 200, 100, 50, 25, 12.5, and 6.25 µg/mL) in sterile distilled water in micro-test tubes from where they were transferred to 96-well microtiter plates for the assays. The MIC values were determined as the lowest concentration of each essential oil that completely inhibited the growth of the microorganisms.

## Results and discussion

*Amomum longiligulare* (leaves, rhizomes, and fruits) collected in Quang Nam, Vietnam was extracted by microwave-assisted hydrodistillation to obtain essential oil. The essential oils with a light-yellow color were analyzed by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). The oil yields of leaves, rhizomes and fruits from *A. longiligulare* were 0.23%, 0.27% and 1.93% (v/w, ± 0.01), respectively, calculated on a dry weight basis. The essential oil profile and retention indices (RI) of each compound are presented in Table 1.

In the essential oil extracted from the *A. longiligulare* leaf, 34 compounds were identified, corresponding to 96.1% of the total oil (Table 1). The leaf essential oil was composed mostly of sesquiterpene hydrocarbons (50.5%), monoterpene hydrocarbons (34.6%), oxygenated sesquiterpenes (7.9%), and oxygenated monoterpenes (3.0%). The main constituents in the *A. longiligulare* leaf essential oil were  $\alpha$ -humulene (28.4%),  $\alpha$ -pinene (24.9%),  $\beta$ -caryophyllene (17.3%), humulene epoxide II (7.3%), and  $\beta$ -pinene (4.7%).

A total of 35 compounds amounting to 94.3% in the *A. longiligulare* rhizome essential oil were identified (Table 1). Among these, 52.0% were sesquiterpene hydrocarbons, 22.9% were monoterpene hydrocarbons, and it also contained 14.5% of oxygenated sesquiterpenes and 4.7% of oxygenated monoterpenes. The major constituents in the

**Table 1. Qualitative and quantitative composition of *Amomum longiligulare* essential oils, %**  
**Таблица 1. Качественный и количественный состав эфирных масел *Amomum longiligulare*, %**

Compound <sup>a</sup>	RI <sup>b</sup>	Percentage composition <sup>c</sup>		
		Leaves	Rhizomes	Fruits
Tricyclene	926	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1	-
α-Pinene	939	24.9 ± 0.3	5.7 ± 0.3	0.9 ± 0.2
Camphene	955	1.5 ± 0.1	7.9 ± 0.2	3.4 ± 0.3
Sabinene	978	0.2 ± 0.0	-	-
β-Pinene	984	4.7 ± 0.1	2.3 ± 0.1	1.2 ± 0.1
Myrcene	992	0.4 ± 0.1	0.1 ± 0.0	2.1 ± 0.2
α-Phellandrene	1010	0.2 ± 0.0	1.9 ± 0.1	-
δ-3-Carene	1011	-	0.1 ± 0.0	-
α-Terpinene	1022	0.3 ± 0.0	-	-
p-Cymene	1030	0.7 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1
Limonene	1035	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.2	4.8 ± 0.3
β-Phellandrene	1036	0.1 ± 0.0	3.4 ± 0.3	-
1,8-Cineole	1038	0.7 ± 0.1	1.2 ± 0.1	-
(E)-β-Ocimene	1049	-	0.4 ± 0.1	-
γ-Terpinene	1063	0.9 ± 0.1	0.3 ± 0.0	-
Terpinolene	1094	0.2 ± 0.0	-	0.7 ± 0.1
Linalool	1105	1.4 ± 0.2	0.5 ± 0.2	-
Camphor	1156	0.5 ± 0.1	1.9 ± 0.2	40.7 ± 0.4
Borneol	1178	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1	-
Terpinen-4-ol	1187	-	0.1 ± 0.0	-
α-Terpineol	1200	0.2 ± 0.1	-	0.2 ± 0.0
Bornyl acetate	1294	0.1 ± 0.0	0.7 ± 0.1	34.2 ± 0.3
α-Copaene	1389	0.8 ± 0.0	0.5 ± 0.1	-
β-Elemene	1403	2.3 ± 0.1	0.4 ± 0.0	-
β-Caryophyllene	1437	17.3 ± 0.3	28.7 ± 0.3	2.7 ± 0.2
trans-α-Bergamotene	1445	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	-
α-Humulene	1452	28.4 ± 0.4	3.6 ± 0.1	-
allo-Aromadendrene	1457	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	-
β-Selinene	1489	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	-
trans-β-Bergamotene	1496	-	0.4 ± 0.1	-
Germacrene D	1498	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.2	1.7 ± 0.1
Bicyclgermacrene	1513	0.2 ± 0.0	17.1 ± 0.4	0.1 ± 0.0
β-Bisabolene	1517	-	0.2 ± 0.1	2.4 ± 0.2
δ-Cadinene	1537	0.3 ± 0.0	-	-
(E)-Nerolidol	1570	-	0.7 ± 0.1	1.6 ± 0.2

**Table 1. The end**  
**Таблица 1. Окончание**

Compound <sup>a</sup>	RI <sup>b</sup>	Percentage composition <sup>c</sup>		
		Leaves	Rhizomes	Fruits
Caryophyllene oxide	1583	0.2 ± 0.0	2.2 ± 0.2	-
Viridiflorol	1593	0.1 ± 0.0	0.5 ± 0.1	-
Humulene epoxide II	1600	7.3 ± 0.2	10.5 ± 0.3	-
$\alpha$ -Bisabolol	1683	0.3 ± 0.1	0.6 ± 0.1	1.4 ± 0.1
Phytol	2125	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	-
Monoterpene hydrocarbons		34.6	22.9	13.4
Oxygenated monoterpenes		3.0	4.7	75.1
Sesquiterpene hydrocarbons		50.5	52.0	6.9
Oxygenated sesquiterpenes		7.9	14.5	3.0
Others		0.1	0.2	-
Total		96.1	94.3	98.4

Note: <sup>a</sup> – elution order on a HP-5MS column; <sup>b</sup> – retention indices on a HP-5MS column; <sup>c</sup> – each value is expressed as means ± SD (n = 3); (-) – not identified

Примечание: <sup>a</sup> – порядок элюирования на колонке HP-5MS; <sup>b</sup> – индексы удерживания на колонке HP-5MS; <sup>c</sup> – каждое значение выражено в виде среднего ± SD (n = 3); (-) – не определено

*A. longiligulare* rhizome essential oil were  $\beta$ -caryophyllene (28.7%), bicyclogermacrene (17.1%), humulene epoxide II (10.5%), camphene (7.9%), and  $\alpha$ -pinene (5.7%).

In the essential oil of the *A. longiligulare* fruit, only 16 compounds were identified, accounting for 98.4% of the total essential oil content (Table 1). The fruit essential oil was mostly made up of oxygenated monoterpenes (75.1%), monoterpene hydrocarbons (13.4%), sesquiterpene hydrocarbons (6.9%) and oxygenated sesquiterpenes (3.0%). Camphor (40.7%) and bornyl acetate (34.2%) were the most abundant constituents found in the essential oil from fruits. In addition, in the essential oil of fruits there were other abundant compounds, including limonene (4.8%), camphene (3.4%),  $\beta$ -caryophyllene (2.7%), and  $\beta$ -bisabolene (2.4%).

There were some reports on the chemical composition of the essential oil extracted from *A. longiligulare*. For example, the essential oil from *A. longiligulare* leaves comprised mainly  $\beta$ -caryophyllene (26.6%),  $\alpha$ -pinene (15.6%), humulene epoxide II (14.8%), and  $\alpha$ -humulene (12.5%) (Chau et al., 2015). The major compounds of essential oil from the *A. longiligu-*

*lare* stem were  $\beta$ -caryophyllene (37.4%),  $\alpha$ -humulene (16.5%), and hexahydrofarnesyl acetone (10.0%) (Chau et al., 2015). Camphene (15.7%), hexadecanoic acid (10.0%), octadecanoic acid (8.6%), and bornyl acetate (7.8%) were the main constituents of the root oil of *A. longiligulare* (Chau et al., 2015). The research of Anh et al. (2020) identified that D-camphor (46.714%) and bornyl acetate (31.809%) were the main compounds in the essential oil from *A. longiligulare* fruits (Anh et al., 2020). Overall, there was a difference in the content of the main components of the *A. longiligulare* essential oil in the present study comparing with results the obtained by other researchers. The variations in chemical constituents can likely be attributed to the different collection sites, development stages, farming, and genetic characteristics as well as extraction methods (Özcan, Chalchat, 2005; Kayode, Afolayan, 2015).

A microdilution broth assay was employed to study the antibacterial activities of essential oils of *A. longiligulare*. The data in Table 2 show that all essential oils exhibited activity against *B. cereus* and *E. coli* with MIC values of 400 and

**Table 2. Antibacterial activity of *Atomum longiligulare* essential oils**  
**Таблица 2. Антибактериальная активность эфирных масел *Atomum longiligulare***

Microorganisms	MIC ( $\mu$ g/mL)		
	Leaves	Rhizomes	Fruits
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC25923	-	-	400
<i>Bacillus cereus</i> ATCC14579	400	400	400
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	200	200	200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853	-	400	-

Note: (-) – no activity

Примечание: (-) – активность отсутствует

200 µg/mL, respectively. In addition, the rhizome and fruit essential oil manifested antibacterial action against *P. aeruginosa* and *S. aureus*, respectively, with MIC values of 400 µg/mL. The observed antibacterial result of *A. longiligulare* essential oils was in agreement with previous information that *Amomum* essential oils selectively inhibited the growth of different microorganisms (Huong et al., 2020; Huong et al., 2021).

### Conclusions

Our research on *A. longiligulare* essential oils showed a high variation in the chemical composition of oils extracted from different organs. The highest essential oil yield was recorded for fruits. The essential oil from the *A. longiligulare* leaf comprised mainly  $\alpha$ -humulene (28.4%),  $\alpha$ -pinene (24.9%),  $\beta$ -caryophyllene (17.3%), humulene epoxide II (7.3%), and  $\beta$ -pinene (4.7%). The major compounds of essential oil from the *A. longiligulare* rhizome were  $\beta$ -caryophyllene (28.7%), bicyclogermacrene (17.1%), humulene epoxide II (10.5%), camphene (7.9%), and  $\alpha$ -pinene (5.7%). Camphor (40.7%) and bornyl acetate (34.2%) were the main constituents of the fruit oil of *A. longiligulare*. Also, *A. longiligulare* essential oils are a source of promising antibacterial agents.

### References / Литература

- Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectrometry. 4th ed. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation; 2007.
- Anh T.T., Bao Ngoc N.H., Phuc N.D., Nhat D.D., Danh P.H., Bach L.G. Essential oil from *Amomum longiligulare* T.L. Wu cultivated in Ninh Thuan province, Vietnam. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;991:012113. DOI: 10.1088/1757-899X/991/1/012113
- Chau L.T.M., Thang T.D., Huong L.T., Ogunwande I.A. Constituents of essential oils from *Amomum longiligulare* from Vietnam. *Chemistry of Natural Compounds*. 2015;51(6):1181-1183. DOI: 10.1007/s10600-015-1525-z
- Dosoky N.S., Setzer W.N. Biological activities and safety of *Citrus* spp. essential oils. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(7):1966. DOI: 10.3390/ijms19071966
- Huong L.T., Linh L.D., Dai D.N., Ogunwande I.A. Chemical compositions and antimicrobial activity of essential oils from *Amomum velutinum* X.E. Ye, Škornièk. & N.H. Xia (Zingiberaceae) from Vietnam. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2020;23(5):1132-1141. DOI: 10.1080/0972060X.2020.1856005
- Huong L.T., Sam L.N., Thach B.D., Dai D.N., Ogunwande I.A. Chemical composition of essential oils and antimicrobial activity of *Amomum cinnamomeum* from Vietnam. *Chemistry of Natural Compounds*. 2021;57:574-577. DOI: 10.1007/s10600-021-03421-y
- Ibáñez M.D., Blázquez M.A. *Curcuma longa* L. rhizome essential oil from extraction to its agri-food applications. A review. *Plants*. 2021;10(1):44. DOI: 10.3390/plants10010044
- Inoue M., Hayashi S., Craker L.E. Role of medicinal and aromatic plants: Past, present, and future. In: S. Perveen, A. Al-Taweel (eds). *Pharmacognosy – Medicinal Plants*. London: IntechOpen; 2019. p.82497, DOI: 10.5772/intechopen.82497
- Irshad M., Subhani M.A., Ali S., Hussain A. Biological importance of essential oils. In: H.A. El-Shemy (ed.). *Essential Oils – Oils of Nature*. London: IntechOpen; 2020. p.87198. DOI: 10.5772/intechopen.87198
- Kayode R.M.O., Afolayan A.J. Cytotoxicity and effect of extraction methods on the chemical composition of essential oils of *Moringa oleifera* seeds. *Journal of Zhejiang University. Science B*. 2015;16(8):680-689. DOI: 10.1631/jzus.B1400303
- Lamberti L., Grillo G., Gallina L., Carnaroglio D., Chemat F., Cravotto G. Microwave-assisted hydrodistillation of hop (*Humulus lupulus* L.) terpenes: A pilot-scale study. *Foods*. 2021;10(11):2726. DOI: 10.3390/foods10112726
- Lamxay V., Newman M.F. A revision of *Amomum* (Zingiberaceae) in Cambodia, Laos and Vietnam. *Edinburgh Journal of Botany*. 2012;69(1):99-206. DOI: 10.1017/S0960428611000436
- Mollaei S., Sedighi F., Habibi B., Hazrati S., Asgharian P. Extraction of essential oils of *Ferulago angulata* with microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*. 2019;137:43-51. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.05.015
- NIST. National Institute of Standards and Technology. NIST Chemistry Webbook. Data from NIST Standard Reference Database Number 69; 2018. DOI: 10.18434/T4D303
- Özcan M., Chalchat J.C. Effect of different locations on the chemical composition of essential oils of laurel (*Laurus nobilis* L.) leaves growing wild in Turkey. *Journal of Medicinal Food*. 2005;8(3):408-411. DOI: 10.1089/jmf.2005.8.408
- Thinh B.B., Doudkin R.V., Thanh V.Q. Chemical composition of essential oil of *Amomum xanthioides* Wall. ex Baker from Northern Vietnam. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021;11(4):12275-12284. DOI: 10.33263/BRIAC114.1227512284
- Valdivieso-Ugarte M., Gomez-Llorente C., Plaza-Díaz J., Gil Á. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils: A systematic review. *Nutrients*. 2019;11(11):2786. DOI: 10.3390/nu11112786
- Van den Dool H., Kratz P.D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography*. 1963;11:463-471. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)80947-X

### Information about the authors

**Nguyen Hung**, Lecturer, Vietnam–Hungary Industrial University, 16 Huu Nghi, Son Tay, Hanoi 12700, Vietnam, n.hung.vhieu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0875-5259>

**Nguyen Huu Toan**, Researcher, Quang Nam University, 102 Hung Vuong, Tam Ky, Quangnam 51100, Vietnam, toanqn59@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3342-370X>

### Информация об авторах

**Нгуен Хунг**, преподаватель, Вьетнамско-венгерский промышленный университет, 12700 Вьетнам, Ханой, Сон Тай, ул. Хуу Нги, 16, n.hung.vhieu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0875-5259>

**Нгуен Хуу Тоан**, научный сотрудник, Университет Куангнам, 51100 Вьетнам, пров. Куангнам, Там Ки, ул. Хунг Вуонг, 102, toanqn59@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3342-370X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.02.2022; одобрена после рецензирования 24.03.2022; принята к публикации 06.09.2022.  
The article was submitted on 02.02.2022; approved after reviewing on 24.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

UDC 633.111.1:631.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-66-75



### Earliness of spring bread wheat accessions under the conditions of the Middle Volga Region

Damir F. Askhadullin<sup>1</sup>, Danil F. Askhadullin<sup>1</sup>, Nurania Z. Vasilova<sup>1</sup>, Alla N. Brykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, Kazan, Russia

<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Damir F. Askhadullin, damir.askhadullin@knc.ru

**Background.** Development of early-ripening high-yielding cultivars of spring bread wheat is a complicated and difficult process. Striving for higher yields has triggered a trend to prolong the growing season of the cultivars released by the Tatar Research Institute of Agriculture (TatRIA). Our breeding efforts to produce early cultivars, based on using an early-ripening sample as one of the parents, were unsuccessful. This paper presents a search for solutions to the said problem.

**Materials and methods.** We studied spring bread wheat accessions from the collections of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China) as well as promising lines developed by TatRIA. The study of the material was based on conventional spring bread wheat breeding methods. Phenological phases of wheat development were identified using the Zadoks scale.

**Results.** An ambiguous role played by the vernalization response (*Vrn*) and photoperiod sensitivity (*Ppd*) genes in wheat earliness was shown, which is consistent with the data repeatedly presented in other publications. We identified accessions with the shortest period from sprouting to heading. Under our climate conditions, the earliest cultivars were those from Novosibirsk Province, Russia, and the North-Eastern China, where wheat development from sprouting to heading lasted 36–46 days.

**Keywords:** early spring bread wheat cultivars, *Vrn* and *Ppd* genes, phenological phases, heading dates

**Acknowledgments:** the research was performed within the framework of the State Tasks according to the theme plans of: VIR, Project No. 0481-2022-0001 “Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production”;

Kazan Scientific Center of the RAS “Ecological and genetic approaches to the creation and conservation of plant and animal resources, the expansion of their adaptive potential and biodiversity, the development of conservation agrotechnologies in order to increase the sustainability of production of high-quality products, to achieve safety for human health and the environment”. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Askhadullin Damir F., Askhadullin Danil F., Vasilova N.Z., Brykova A.N. Earliness of spring bread wheat accessions under the conditions of the Middle Volga Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):66-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-66-75

# КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-66-75

## Скороспелость образцов яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья

Д-р. Ф. Асхадуллин<sup>1</sup>, Д-л. Ф. Асхадуллин<sup>1</sup>, Н. З. Василова<sup>1</sup>, А. Н. Брыкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Казань, Россия

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

**Автор, ответственный за переписку:** Дамир Фидусович Асхадуллин, [damir.askhadullin@knc.ru](mailto:d Amir.askhadullin@knc.ru)

**Актуальность.** Создание скороспелых продуктивных сортов яровой мягкой пшеницы – трудная и сложная задача. В связи с «гонкой» за продуктивностью идет тенденция на увеличение вегетационного периода у сортов селекции Казанского научного центра РАН. Проводимая нами селекционная работа по созданию скороспелых сортов, основанная на использовании в качестве одного из родителей раннеспелых образцов, не дает желаемого результата. Поиски путей решения этой проблемы отражены в данной работе.

**Материал и методы.** Материалом для исследований служили образцы яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР и Байченской сельскохозяйственной академии (Китай), а также перспективные линии яровой пшеницы селекции Татарского НИИСХ. Селекционная проработка материала осуществлялась по традиционным методикам. Фенологические фазы развития растений пшеницы определяли на основании шкалы Задокса.

**Результаты.** Продемонстрирована неоднозначная роль генов, детерминирующих реакцию растений на яровизацию (*Vrn*) и отзывчивость растений на фотопериод (*Ppd*), в формировании скороспелости, что согласуется с данными, показанными неоднократно в других работах. Выявлены образцы с наименьшим межфазным периодом «всходы – колошение». Самыми скороспелыми в наших климатических условиях оказались сорта из Новосибирской области России и сорта северо-восточной зоны Китая с межфазным периодом «всходы – колошение» 36–46 дней.

**Ключевые слова:** раннеспелые сорта яровой мягкой пшеницы, *Vrn* и *Ppd* гены, фенологические фазы, дата колошения

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственных заданий:

ВИР, проект № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»;

КазНЦ РАН «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Асхадуллин Д-р.Ф., Асхадуллин Д-л.Ф., Василова Н.З., Брыкова А.Н. Скороспелость образцов яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):66-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-66-75

## Introduction

Development of spring bread wheat cultivars combining high yields and earliness under specific soil and climate conditions is a complicated task that is not always achievable. As a rule, early-ripening wheat cultivars in the Middle Volga Region cannot compete with those having medium and long growing seasons. Only three mid-early cultivars with a 39–43-day-long period from sprouting to heading are recommended for cultivation in the Middle Volga Region: they are 'Zlata', 'Ekaterina' and 'Chelyaba Stepnaya'. All three have significantly lower yields than the mid-ripening cultivar 'Yoldyz' traditionally cultivated in the region.

There are several reasons to broaden the range of commercial early wheat cultivars in this region:

1. In the Middle Volga Region, harvesting is the hardest part of the wheat cultivation practice. Organizational measures to reduce losses while ensuring the high grain quality have been undertaken. Weather change during harvesting sometimes prevents obtaining high-quality grain at minimum costs. Thus, growing cultivars that differ in maturity time will provide for a chain of harvesting operations that will minimize the loss of high-quality grain.

2. Since 2016, wheat stem rust has become more harmful. The infection tends to manifest itself when early-ripening cultivars enter the middle grain dough stage, which does not have a strong negative effect on their yield.

3. When cultivating winter cereals in this region, there is a risk of low overwinter survival. A way to preserve such crops could be complementary springtime seeding of early spring cultivars.

Breeding for a specific trait always implies a search for and examination of source material. For wheat, breeding for the duration of the sprouting-to-heading period (strongly correlated with maturity) generally takes into account three genetic systems: 1. vernalization response, i.e., the way plants respond to lower temperature during sprouting (*Vrn*); 2. sensitivity to photoperiod (*Ppd*); and 3. earliness *per se* (*Eps*) (Dubcovsky et al., 1998). The exact effect size of each system in the plant development duration has not yet been determined. It is possible to combine these genetic systems for greater phenotypical diversity in the plant development rate. Therefore, information on the input of each system into the feature of earliness will be useful for the selection of parents for hybridization in order to produce promising early-ripening cultivars.

To denote genes that determine vernalization response, A. Pugsley introduced the symbol *Vrn* for 'vernalization' (Pugsley, 1971). Classical sources describe the genes *Vrn1*, *Vrn2*, *Vrn3*, *Vrn4* and *Vrn5* (Pugsley, 1972; Maystrenko, 1980; Stelmakh, 1987). In a more contemporary interpretation used in the catalogue of gene symbols for wheat (McIntosh et al., 2010), the development type is marked in a slightly different way: what used to be marked as *Vrn1*(5AL), *Vrn2*(5BL), and *Vrn3*(5DL) are now referred to as *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, and *Vrn-D1*. For the rare *Vrn4* and *Vrn5* genes, alternative molecular modifications have been published; in the latest version they were marked as *Vrn-D4* (Yoshida et al., 2010) and *Vrn-B3*, respectively (Yan et al., 2006). At least for *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, and *Vrn-D4* almost isogenic lines were developed (Pugsley, 1968; Stelmakh, Avsenin, 1983; Koval et al., 2001). Winter plants are homozygous recessive for these genes and require low above-zero temperatures to enter the flowering stage. Spring plants have at least one dominant allele of these genes (Kobylyansky, Fadeeva, 1986; Goncharov, 2004).

Plants with dominant alleles of *Vrn-A1* do not respond to vernalization, while plants with other dominant alleles demonstrate low sensitivity to the level and duration of cold temperatures (Shindo, Sasakuma, 2002). The *Vrn-A1* gene is fully epistatic to other vernalization genes. Therefore, its presence inhibits the need for vernalization, notwithstanding the presence of dominant or recessive alleles of other genes (Pugsley, 1983). At the same time, for the *Vrn-1* locus, there is a series of multiple alleles that further increase diversity in terms of vernalization response (Stelmakh, 1986; Yan et al., 2004).

It has been observed that dominant alleles of *Vrn* genes do not only influence springtime development, but also the flowering time (Rigin, Goncharov, 1989). All ultra-early accessions of spring bread wheat do not respond to vernalization (Rigin et al., 2019). A. F. Stelmakh (1987) believes that these genes determine up to 70% of the development rate in a wheat plant. Plants in which dominant alleles of *Vrn-A1* were present had an earlier-ripening phenotype, while plants where only the dominant *Vrn-B1* allele was present demonstrated the latest maturity. B. V. Rigin and colleagues calculated that *Vrn-A1* is present in 85.7% early and ultra-early wheat accessions, *Vrn-B1* was present in 6.3%, and *Vrn-D1* in 1.8% (Rigin et al., 2015). In terms of the effect on the flowering time, the dominant allele sequence is as follows: *Vrn-A1* > *Vrn-D1* > *Vrn-D4* ≥ *Vrn-B1* > *Vrn-B3* (Goncharov N., Goncharov P., 2009). However, it is worth mentioning that different *Vrn* loci demonstrate different genetic effect values under specific conditions, thus leading to varying trait prominence in certain genotypes (Dzhalpakova et al., 1996; Moiseeva, Goncharov, 2007), i.e., a number of plant cultivars combining the same *Vrn* loci will demonstrate different response under different soil and climate conditions, which will affect the productivity and early maturity. This is especially important for the development of a breeding strategy targeted at earliness.

Response to Photoperiod (*Ppd*). Spring bread wheat is a long-day plant; however, some varieties enter the heading stage at the same time both during long and short days, i.e., these plants are not sensitive to photoperiod. Lack of photoperiod sensitivity is controlled by the dominant allele of *Ppd*, while sensitivity is controlled by its recessive allele. Response to photoperiod in hexaploid wheats is controlled by *Ppd-A1*(2A), *Ppd-B1*(2B), *Ppd-D1*(2D), and *Ppd-B2*(7B), as per the contemporary gene nomenclature system (Khlestkina et al., 2009). Before, the first three genes used to be denoted as *Ppd3*, *Ppd2*, and *Ppd1*, respectively.

It is believed that the *Ppd-D1* gene is fully epistatic to other photoperiod sensitivity genes (Merezhko et al., 1997). At the same time, in terms of influence on photoperiodism, some researchers point to a possible domination of *Ppd-B1* (Keim et al., 1973; Voronin, Stelmakh, 1991; Tanio, Kato, 2007). This may be explained not only by the isogenic lines used, which could have yielded a false result, but also from the fact that in isolated cases *Ppd-B1* has been observed to produce an effect comparable to that of *Ppd-D* (González et al., 2005); however, such effect is an exception. The degree of photoperiod sensitivity increases for the *Ppd* genes in the following order: *Ppd-D1* > *Ppd-A1* > *Ppd-B1* (Pugsley, 1966). While breeding precocious cultivars to be grown in different climatic zones, it is necessary to be in the *Ppd-D1* genotype, since the heading date will not depend on the length of the day.

Earliness *per se* (*Eps*). At present, molecular tests are carried out for the *Eps-A1m*, *Eps-A1a*, *Eps-A1b*, and *Eps-D1* genes in wheat (Zikhali et al., 2016). The expressivity of these genes is contingent on temperature and impacts the timing of development stages, thereby influencing the plant's yield (Ochagavía et al., 2019). It is possible that *Eps*, which controls wheat

ultra-earliness *per se*, is not an independent structural unit, but a block of polygenes (modifiers) with low effect, which determine continuous variability and are associated with the gene (Rigin et al., 2018).

The purpose of the research was to identify accessions with the shortest period from sprouting to heading from the different spring bread wheat collections, and demonstrate the effect of the *Vrn* and *Ppd* genes in accessions with different maturation periods under the conditions of the Middle Volga Region.

### Materials and methods

We studied spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) accessions with a short growing season provided by the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and received through interinstitutional exchange (372 accessions).

Hybridization, observation, selection and nursery establishment took place in 2015–2020 in TatRIA's experimental fields in the north of the Middle Volga Region, Republic of Tatarstan, Russia (55°38'60"N, 49°18'25"E), 90 m above sea level.

Local soils are of the well-cultivated Alfisol (USDA soil taxonomy) type. The climate is continental, with large seasonal differences: cold and snowy winters, and warm and dry summers. The mean air temperature in January, the coldest month of the year, is –13.6°C. The maximum soil freezing is 95 cm; and the average snow cover depth in February is 39 cm, while the snow melts in the fields by the end of April. Summertime weather conditions establish themselves at the beginning of June and end by late August. The mean air temperature in July, the warmest summer month, is 19.5°C. The mean annual precipitation is 560 mm, with 176 mm in the summer months.

The weather conditions during the study were typical of the forest-steppe zone, with frequent summer droughts in each year, except 2017 when the rainy and cold summer resulted in a prolonged growing season. Under the local climate, given that the seeding took place at the optimal time, i. e., in early May, the air temperature in most years rapidly grew and

the daylight period between sprouting and heading was 16.5–17.3 hours long, i.e., the day was relatively long. Meteorological data were obtained from a weather station located in the immediate vicinity where the experiment was conducted.

The phenological results were obtained in accordance with the Zadoks scale (Zadoks et al., 1974). The tests were carried out without watering. The seeding rate was 600 pieces per 1 m<sup>2</sup>. The fertilizer background corresponded to the ratio of N:85, P:40, and K:40 kg/ha active ingredient. There was no treatment with fungicides or insecticides. A sulfonylurea class herbicide was used against weeds.

The relationships between the indicators were analyzed using the Pearson correlation coefficient.

The collection nursery was seeded in a single replication, with a frequent standard reference cultivar. on a plot of 1 m<sup>2</sup>. The selection nurseries were seeded in accordance with the conventional spring wheat breeding methods adopted in Russia (Table 1).

### Results and discussion

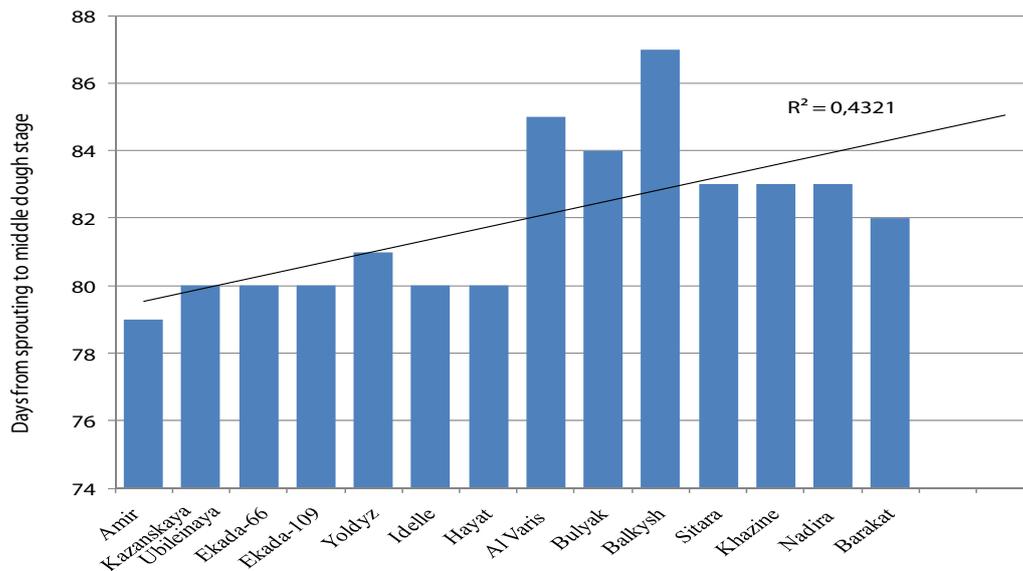
The current phase of spring bread wheat breeding at TatRIA, located in the north of the Middle Volga Region, was launched twenty years ago. All cultivars developed before 2015 were mid-early wheats. However, due to the pursuit of higher yields, the cultivars released in recent years have a longer growing season (Figure). Cvs. 'Al Varis' and 'Balkysh' are within the mid-late category.

Our breeding efforts, based on the use of early-ripening accessions as one of the parents, failed to yield desirable results and did not guarantee identifying lines with short duration of the growing season that meet breeders' criteria. On average, we made 10–17% of combinations using early cultivars (total year-by-year number varied from 435 to 523). Starting with F<sub>3-5</sub>, early-maturing plants were selected, and this process continued in the first-year breeding nursery (BN-1), where the maturity period was used as a screening criterion. In 2018, after field screening for early maturity, only 227 breeding lines out of 16343, i.e., 1.4%, were selected for the second-year breeding nursery (BN-2). After laboratory

**Table 1. Scheme of the breeding process in the development of early spring wheat cultivars**

**Таблица 1. Схема селекционного процесса при создании скороспелых сортов яровой мягкой пшеницы**

Year	Nursery. Generation	Nursery sowing method. Description.
first	Crossing	Pollination by the Twell method.
second	F <sub>1</sub>	Manual sparse seeding. Reproduction of the progeny.
third	F <sub>2</sub> – F <sub>3</sub>	Seeding with a seeder – on a plot of 1 m <sup>2</sup> – 5 m <sup>2</sup> . Reproduction of the progeny.
fourth	F <sub>4</sub>	Seeding with a seeder on a plot of 10 m <sup>2</sup> . Individual selection of plants
fifth	Breeding nursery of the first year (BN-1)	Seeding of the best selected ears was carried out manually by kin. Selection of disease-resistant kin. Selection of early-maturing lines.
sixth	Breeding nursery of the second year (BN-2)	Seeding with a seeder on a plot of 1 m <sup>2</sup> . Selection of disease-resistant kin and assessment of their productivity. Selection of early-maturing lines.
seventh	Breeding nursery of the third year (BN-3)	Seeding with a seeder on a plot of 10 m <sup>2</sup> . Selection of productive and disease-resistant lines.
eighth	Preliminary variety testing (PVT)	Seeding with a seeder on a plot of 10 m <sup>2</sup> in triple replication. Selection of productive and disease-resistant lines.
ninth	Competitive variety testing (CVT)	Seeding with a seeder on a plot of 25 m <sup>2</sup> in quadruple replication. Selection of productive and disease-resistant lines. Grain quality assessment.



**Figure.** Retrospective changes in the duration of the growing season for wheat cultivars developed by the Tatar Research Institute of Agriculture, 2015–2019  
**Рисунок.** Ретроспективное изменение продолжительности вегетационного периода сортов Татарского НИИСХ, 2015–2019

screening for grain quality and seed weight, only 23 lines were kept for further seeding, and their future is quite vague, as the productivity of these lines is significantly inferior to the standard mid-ripening reference cultivar.

Breeding for earliness has not yet yielded desirable results. Therefore, researching the ways to solve this problem is one of the main areas of our work.

Most researchers use the period between sprouting and heading to characterize the duration of the growing season. This may be due to the ability of establishing more precise temporal boundaries of this period, which is more difficult to do if the more ‘vague’ and difficult to observe middle dough stage is selected as the ultimate boundary. In addition, for spring bread wheat, there is a strong correlation between the number of days to heading and maturity (Rigin, 2012). We observed medium or strong year-by-year correlations in the accessions from the VIR collection. Such correlation decreased only during the years when the heading/middle dough stage fell on droughty weather (Table 2).

In breeding for earliness, the collection of N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) plays a vital role as it contains a sufficient set of early-ripening accessions (Zuev et al., 2009). In the studied collection, the number of early accessions was minimal and averaged 5.6% (Table 3).

Annual assessment of the collection by the date of heading allowed us to identify a number of accessions with the shortest period from sprouting to heading. Most of the accessions from Novosibirsk Province, Russia, in the southeast of the West Siberian Plain were classified as early-ripening cultivars. Some of the accessions from the northeast of China were characterized by a minimum duration of the period from sprouting to heading. This is the so called northeastern zone of spring wheat cultivation. The cultivars typical for this region possess the short-duration genotype of *Vrn-A1+Vrn-B3* (Zhang et al., 2008) (Table 4). At the same time, this genotype is also characteristic of ‘Ekada-6’ which we classify as a mid-ripening cultivar. All early accessions demonstrated yields far lower than those of the mid-ripening cultivar ‘Simbirtsit’.

**Table 2.** The Pearson correlation coefficient between days from sprouting to heading and to the middle dough stage in spring bread wheat (VIR collection)

**Таблица 2.** Корреляционные связи у яровой мягкой пшеницы между количеством дней от всходов до колошения и восковой спелости (коллекция ВИР)

Year	Days from sprouting to heading (Zadoks 10–51)	Days from sprouting to the middle dough stage (Zadoks 10–71)	Pearson correlation factor	SCC between the heading and middle dough stages (Zadoks 51–71)
2015	lim 39–53	lim 75–94	0.777*	1.86
2016	lim 36–49	lim 67–75	0.517*	0.19
2017	lim 43–62	lim 77–92	0.634*	0.37
2018	lim 36–53	lim 67–83	0.781*	0.55
2019	lim 35–58	lim 73–97	0.828*	2,14
2020	lim 36–52	lim 72–86	0,732*	1,35

Note: \*  $\square$  significant at the 0.01 level

Примечание: \*  $\square$  значимо на уровне 0,01

**Table 3. The number of spring bread wheat accessions included in the experiment and their earliness groups****Таблица 3. Доля коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы по группам спелости**

Year	Number of accessions	Percentage of accessions, %		
		Early	Mid-ripening	Late
2015	147	7,5	76,2	16,3
2016	120	8,3	87,6	4,1
2017	184	3,8	87,5	8,7
2018	265	4,2	86,8	9,0
2019	305	5,7	85,5	8,8
2020	360	4,2	91,6	4,2
Average		5,6	85,9	8,5

**Table 4. Spring bread wheat accessions with minimum interphase periods from sprouting to heading****Таблица 4. Образцы яровой мягкой пшеницы с минимальным межфазным периодом «всходы – колошение»**

VIR catalogue No.	Accession	Origin	Days from sprouting to heading (Zadoks 10-51)						Grain yield, g/m <sup>2</sup>
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015-2019
65473	Long Fu-12	China, Heilongjiang	41	36	44	38	37	40	258
65863	Shen-68-71	China, Liaoning	-	-	40	36	35	36	270
-	2004R-177-4-7-2	China, Jilin	42	36	41	37	36	37	246
-	Baichun N 0.7	China, Jilin	42	36	41	37	36	37	262
57079	Yershovskaya-32	Russia, Saratov Prov.	41	38	46	41	38	43	306
64856	Polyushko	Russia, Novosibirsk Prov.	39	37	45	37	37	39	333
64257	Novosibirskaya-15	Russia, Novosibirsk Prov.	39	37	46	39	37	41	320
65131	Novosibirskaya-20	Russia, Novosibirsk Prov.	41	38	45	39	38	41	326
65132	Pamyati Vavenkova	Russia, Novosibirsk Prov.	41	38	-	-	38	43	296
66414	Zlata, mid-early standard	Russia, Moscow Prov.	41	39	48	39	38	42	325
64548	Simbirtsit, mid-ripening standard	Russia, Ulyanovsk Prov.	46	44	53	44	45	47	459
LCD 0.5									43

A complex long-term hybridological analysis that is sometimes unable to distinguish multiple allelism from close linkage leads scientists to molecular research. A number of catalogues and research papers publish the results of molecular tests on the *Vrn* and *Ppd* genes in wheat cultivars and breeding lines. The role of allele variants in wheat earliness was demonstrated (Emtseva et al., 2012; Likhenko et al., 2014; Chumanova et al., 2020). Some cultivars with the identified *Vrn* and *Ppd* genes are presented in Table 5. It is obvious that the same genotype is characteristic of both early and mid-ripening wheat cultivars, so it is impossible to speak unambiguously about these “earliness” genes in our climate zone. The

late-maturing cultivar ‘Buryatskaya ostistaya’, having the winter wheat cultivar ‘Odessa-66’ in its pedigree, has only one dominant *Vrn-A1a* allele, which is consistent with the data of many authors on the additive effect of *Vrn* genes on precocity.

Wheat growth in our zone under optimal seeding rates occurs with a long day, so it is impossible to identify the contribution of *Ppd* genes in the field. All early cultivars with identified *Ppd* genes have the genotype in recessive state and do not manifest phenotypically at our light day.

In the breeding for high yields, we often use winter cultivars in our work. However, there is a possibility of a significant shift towards late maturity. At the same time, there are

**Table 5. Plant genotype of Russian spring bread wheat cultivars from different groups of earliness (Lysenko et al., 2014)****Таблица 5. Генотип растений российских сортов яровой пшеницы различных групп спелости (Lysenko et al., 2014)**

VIR catalogue No.	Accession	Origin	Days from sprouting to heading, (Zadoks 10-51)	Presence in the genotype	
				<i>Vrn</i>	<i>Ppd</i>
<b>Early cultivars</b>					
64856	Polyushko	Novosibirsk Prov.	39	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
64257	Novosibirskaya-15	Novosibirsk Prov.	40	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
65132	Pamyati Vavenkova	Novosibirsk Prov.	40	<i>Vrn-A1a, vrn-B1, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
64872	Chelyaba stepnaya	Chelyabinsk Prov.	43	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
<b>Mid-ripening cultivars</b>					
65250	Ulyanovskaya-100	Ulyanovsk Prov.	46	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1c, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
62644	Prokhorovka	Saratov Prov.	45	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1c, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
64544	Ester	Moscow Prov.	46	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
64543	Ekada-6	Samara Prov.	44	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1c, vrn-D1, Vrn-B3</i>	<i>Ppd-D1a / ppd-D1c</i>
63714	Tulaykovskaya-10	Samara Prov.	44	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
64377	Kazanskaya Yubileinaya	Rep. of Tatarstan	46	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1a, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
63206	Omskaya-33	Omsk Prov.	45	<i>Vrn-A1a, Vrn-B1c, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>
<b>Late cultivars</b>					
64113	Buryatskaya ostistaya	Rep. of Buryatia	48	<i>Vrn-A1a, vrn-B1, vrn-D1, vrn-B3</i>	<i>ppd-D1c</i>

examples of transgression when crosses between winter and spring wheat resulted in earlier-ripening cultivars than that of the spring component (Nettevich, 2008). Our experiments failed to demonstrate transgressive early cultivars in segregating populations. The expected prolongation of the growing season compared to the spring component was observed. No influence of the cytoplasm of winter cultivars on the duration of maturation was identified. Thus, in  $F_1$  reciprocal crossings between winter wheat accessions and spring ones with short maturation did not result in any difference in heading dates (Table 6).

### Conclusion

As shown above, earliness cannot be explained by the *Vrn* and *Ppd* gene systems alone. Breeding for early maturity involves a number of interconnected factors and genetic systems;

therefore, it is evident that the development of cultivars with short growing seasons is a difficult and complicated task. Having analyzed the data of molecular tests and hybridological analyses conducted by various researchers, we can make the following conclusion on the presence of *Vrn* and *Ppd* in the studied accessions. For our set of accessions, the dominant genes *Vrn-A1* and *Vrn-B1* are not enough to achieve the earliest maturity for the precocious phenotype. The long daylight period in our region results in a weak impact of photoperiod on earliness. The presence of a recessive *ppd-D1* gene in the earliest Novosibirsk cultivars confirms this observation. As for the genetic system of earliness *per se*, determining its special significance for earliness in our region, it requires a large set of ultra-early accessions that are not available at present. Given that three genetic systems influence precocity; we can assume that in our zone the key role in precocity will be played by the earliness *per se* system.

**Table 6. Heading dates in F<sub>1</sub> after reciprocal crossing of winter and spring accessions, 2018****Таблица 6. Даты наступления колошения у гибридов первого поколения при реципрокных скрещиваниях озимых с яровыми, 2018 г.**

Growth habit	Crossing combination	Date
Winter / spring	Skipetr / Baichun N 0.7	July 3
	Skipetr / 2004R-177-4-7-2	June 29
Spring / winter	Baichun N 0.7 / Skipetr	July 3
	2004R-177-4-7-2 / Skipetr	June 29

**References / Литература**

- Chumanova E.V., Efremova T.T., Kruchinina Yu.V. The effect of different dominant *Vrn* alleles and their combinations on the duration of developmental phases and productivity in common wheat lines. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(7):822-834. DOI: 10.31857/S0016675820070024
- Dubcovsky J., Lijavetzky D., Appendino L., Tranquilli G. Comparative AFLP mapping of *Triticum monococcum* genes controlling vernalization requirement. *Theoretical and Applied Genetics*. 1998;97(5-6):968-975. DOI: 10.1007/s001220050978
- Dzhalpakova K.D., Bersimbaev R.I., Goncharov N.P. Genetic control of growth habit in common wheat cultivars from Kazakhstan. *Russian Journal of Genetics*. 1996;32(1):73-78.
- Emtseva M.V., Efremova T.T., Arbutova V.S. Heading time of substitution and near-isogenic lines of common wheat with dominant alleles *Vrn-B1a* and *Vrn-B1c*. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):69-76. [in Russian] (Емцева М.В., Ефремова Т.Т., Арбузова В.С. Время колошения замещенных и изогенных линий мягкой пшеницы с доминантными аллелями *Vrn-B1a* и *Vrn-B1c*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):69-76).
- Goncharov N.P. Response to vernalization in wheat: Its quantitative or qualitative nature. *Cereal Research Communications*. 2004;32(3):323-330. DOI: 10.1007/BF03543317
- Goncharov N.P., Goncharov P.L. Methodical bases of plant breeding. V.K. Shumny (ed.). 2nd ed. Novosibirsk: Geo; 2009. [in Russian] (Гончаров Н.П., Гончаров П.Л. Методические основы селекции растений / под ред. В.К. Шумного. 2-е изд. Новосибирск: Гео; 2009).
- González F.G., Slafer G.A., Miralles D.J. Pre-anthesis development and number of fertile florets in wheat as affected by photoperiod sensitivity genes *Ppd-D1* and *Ppd-B*. *Euphytica*. 2005;146(3):253-269. DOI: 10.1007/s10681-005-9021-3
- Gulyaev G.V., Guzhov Yu.L. Breeding and seed growing of field crops (Seleksiya i semenovodstvo polevykh kultur). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Гуляев Г.В., Гужов Ю.Л. Селекция и семеноводство полевых культур. Москва: Агропромиздат; 1987).
- Keim D.L., Welsh J.R., McConnell R.L. Inheritance of photoperiodic heading response in winter and spring cultivars of bread wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1973;53(2):247-250. DOI: 10.4141/cjps73-046
- Khlestkina E.K., Giura A., Rieder M.S., Bärner A. A new gene controlling the flowering response to photoperiod in wheat. *Euphytica*. 2009;165(3):579-585.
- Kobylyansky V.D., Fadeeva T.S. (eds). Genetics of cultivated plants: Cereal crops (Genetika kulturnykh rasteniy: Zernovye kulturey). Leningrad: Agropromizdat; 1986. [in Russian] (Генетика культурных растений: Зерновые культуры / под ред. В.Д. Кобылянского, Т.С. Фадеевой. Ленинград: Агропромиздат; 1986).
- Koval S.F., Koval V.S., Shamanin V.P. Wheat isogenic lines: a monograph (Izogennye linii pshenitsy: monografiya). Omsk: Omskblankizdat; 2001. [in Russian] (Коваль С.Ф., Коваль В.С., Шаманин В.П. Изогенные линии пшеницы: монография. Омск: Омскбланкиздат; 2001).
- Likhenko I.E., Stasyuk A.I., Shcherban A.B., Zyryanova A.F., Likhenko N.I., Salina E.A. Analysis of the allelic variation of the *vrn-1* and *ppd-1* genes in Siberian early and medium early varieties of spring wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(4-1):691-703. [in Russian] (Лихенко И.Е., Стасюк А.И., Щербань А.Б., Зырянова А.Ф., Лихенко Н.И., Салина Е.А. Изучение аллельного состава генов *Vrn-1* и *Ppd-1* у раннеспелых и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(4-1):691-703).
- Lysenko N.S., Kiseleva A.A., Mitrofanova O.P., Potokina E.K. Catalogue of the VIR global collection. Issue 815. Bread wheat. Molecular testing of alleles of *Vrn* and *Ppd* genes in cultivars approved for use in the Russian Federation (Katalog mirovoy kolleksii VIR. Vypusk 815. Myagkaya pshenitsa. Molekulyarnoye testirovaniye alleley *Vrn*- i *Ppd*-genov u dopushchennykh k ispolzovaniyu v Rossiyskoy Federatsii selektsionnykh sortov). St. Petersburg: VIR; 2014. [in Russian] (Лысенко Н.С., Киселева А.А., Митрофанова О.П., Потоккина Е.К. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 815. Мягкая пшеница. Молекулярное тестирование аллелей *Vrn*- и *Ppd*-генов у допущенных к районированию в Российской Федерации селекционных сортов. Санкт-Петербург: ВИР; 2014).
- Maystrenko O.I. Cytogenetic study of growth habit and ear emergence time in wheat (*Triticum aestivum* L.) (Tsitogeneticheskoye izucheniye tipa razvitiya i vremeni kolosheniya pshenitsy [*Triticum aestivum* L.]). In: D.K. Belyaev (ed.). *Proceedings of the XIV International Congress of Genetics. Vol. 1: Well-Being of Mankind and Genetics. Book 2*. Moscow: Mir; 1980. p.267-282. [in Russian] (Майстренко О.И. Цитогенетическое изучение типа развития и времени колошения пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Труды XIV международного генетического конгресса. Т. 1: Благополучие человечества и генетика. Книга 2*. Москва: Мир; 1980. С.267-282).
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat: 2010 supplement. *Annual wheat Newsletter*. 2010;56:273-276.
- Merezhko A.F., Koshkin V.A., Matvienko I.I. Initial material for creation of a series of nearly isogenic lines in common wheat with different photoperiodic response. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(4):410-418.
- Moiseeva E.A., Goncharov N.P. Genetic control of the spring growth habit in old local cultivars and landraces of com-

- mon wheat from Siberia. *Russian Journal of Genetics*. 2007;43(4):369-376. DOI: 10.1134/S1022795407040035
- Nettevich E.D. Features of development of F<sub>1</sub> hybrids and segregation of the F<sub>2</sub> populations derived from crosses of spring wheat forms with winter forms (Osobennosti razvitiya gibridov F<sub>1</sub> i rasshchepeniya populyatsiy F<sub>2</sub>, poluchennyh ot skreshchivaniya yarovykh form pshenitsy s ozimymi). In: E.D. Nettevich. *Selected works. Breeding and seed production of spring cereal crops (Izbrannyye Trudy. Seleksiya i semenovodstvo yarovykh zernovykh kultur)*. Moscow; Nemchinovka; 2008. p.128-132. [in Russian] (Неттевич Э.Д. Особенности развития гибридов F<sub>1</sub> и расщепления популяций F<sub>2</sub>, полученных от скрещивания яровых форм пшеницы с озимыми. В кн.: Э.Д. Неттевич. *Избранные труды. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур*. Москва; Немчиновка; 2008. С.128-132).
- Ochagavía H., Prieto P., Zikhali M., Griffiths S., Slafer G.A. Earliness *per se* by temperature interaction on wheat development. *Scientific Reports*. 2019;9(1):2584. DOI: 10.1038/s41598-019-39201-6
- Pugsley A.T. A genetic analysis of the spring-winter habit of growth in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1971;22(1):21-31. DOI: 10.1071/AR9710021
- Pugsley A.T. Additional genes inhibiting winter habit in wheat. *Euphytica*. 1972;21(6):547-552. DOI: 10.1007/BF00039355
- Pugsley A.T. Genetic studies of phasic development and their application to wheat breeding. In: *Proceedings of the 3rd International Wheat Genetics Symposium*. Canberra: Australian Academy of Science; 1968. p.288-293.
- Pugsley A.T. The impact of plant physiology on Australian wheat breeding. *Euphytica*. 1983;32(3):743-748.
- Pugsley A.T. The photoperiodic sensitivity of some spring wheat's with special reference to the variety Thatcher. *Crop and Pasture Science*. 1966;17(5):591-599. DOI: 10.1071/AR9660591
- Rigin B.V. Spring type of common wheat (*Triticum aestivum* L.) development: phenological and genetical aspects. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:17-33. [in Russian] (Ригин Б.В. Яровой тип развития мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): фенологический и генетический аспекты. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:17-33).
- Rigin B.V., Goncharov N.P. Genetics of wheat ontogenesis (Genetika ontogeneza pshenitsy). In: *INT VINITI. Ser. Genetics and breeding of cultivated plants. Vol. 1 (VINITI. Ser. Genetika i seleksiya vozdel'yvayemykh rasteniy. T. 1)*. Moscow; 1989. p.1-148. [in Russian] (Ригин Б.В., Гончаров Н.П. Генетика онтогенеза пшеницы. В кн.: *ИНТ ВИНТИ. Сер. Генетика и селекция возделываемых растений. Т. 1*. Москва; 1989. С.1-148).
- Rigin B.V., Zuev E.V., Andreeva A.S., Pyzhenkova Z.S., Matvienko I.I. The line Rico is the earliest maturing accession in the VIR collection of spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):94-98. [in Russian] (Ригин Б.В., Зуев Е.В., Андреева А.С., Пыженкова З.С., Матвиенко И.И. Линия Рико – самая скороспелая среди представительной коллекции яровой мягкой пшеницы ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):94-98). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-94-98
- Rigin B.V., Zuev E.V., Koshkin V.A., Pyzhenkova Z.S., Matvienko I.I. High rate of development and productivity of spring common wheat. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):13-16. [in Russian] (Ригин Б.В., Зуев Е.В., Кошкин В.А., Пыженкова З.С., Матвиенко И.И. Высокая скорость развития и продуктивность яровой мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):13-16).
- Rigin B.V., Zuev E.V., Tyunin V.A., Shreyder E.R., Pyzhenkova Z.S., Matvienko I.I. Breeding and genetic aspects of creating productive forms of fast-developing spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):194-202. [in Russian] (Ригин Б.В., Зуев Е.В., Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Пыженкова З.С., Матвиенко И.И. Селекционно-генетические аспекты создания продуктивных форм мягкой яровой пшеницы с высокой скоростью развития. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):194-202). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-194-202
- Shindo C., Sasakuma T. Genes responding to vernalization in hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104(6-7):1003-1010. DOI: 10.1007/s00122-002-0886-4
- Stelmakh A.F. Analysis of the *Vrn1-Vrn3* allele and genotype frequencies in spring common wheat (Analiz chastot alleley i genotipov po lokusam *Vrn1-3* u yarovoy myagkoy pshenitsy). *Russian Journal of Genetics*. 1986;22(10):2459-2467. [in Russian] (Стельмах А.Ф. Анализ частот аллелей и генотипов по локусам *Vrn1-3* у яровой мягкой пшеницы. *Генетика*. 1986;22(10):2459-2467).
- Stelmakh A.F. Growth habit in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). *Euphytica*. 1987;36:513-519. DOI: 10.1007/BF00041495
- Stelmakh A.F. The role of genetic systems in the ontogenetic adaptation of common wheat (Rol geneticheskikh sistem v ontogeneticheskoy adaptatsii myagkoy pshenitsy). In: *Environmental genetics and evolution (Ekologicheskaya genetika i evolyutsiya)*. Kishinev; 1987. p.146-161. (in Russian) (Стельмах А.Ф. Роль генетических систем в онтогенетической адаптации мягкой пшеницы. В кн.: *Экологическая генетика и эволюция*. Кишинев; 1987. С.146-161).
- Stelmakh A.F., Avsenin V.I. Development of *Vrn1-3* loci near-isogenic lines (Sozdaniye naborov pochti izogennykh liniy po lokusam *Vrn1-3*). *Nauchno-tehnicheskii byulleten Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta = Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Plant Breeding and Genetics Institute*. 1983;2(48):24-28. [in Russian] (Стельмах А.Ф., Авсенин В.И. Создание наборов почти изогенных линий по локусам *Vrn1-3*. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института*. 1983;2(48):24-28).
- Tanio M., Kato K. Development of near-isogenic lines for photoperiod-insensitive genes, *Ppd-B1* and *Ppd-D1*, carried by the Japanese wheat cultivars and their effect on apical development. *Breeding Science*. 2007;57(1):65-72. DOI: 10.1270/jsbbs.57.65
- Voronin A.N., Stelmakh A.F. Genetic system of sensitivity to photoperiod and its role in the formation of productivity (Geneticheskaya sistema chuvstvitelnosti k fotoperiodu i yeye rol v formirovaniy produktivnosti.). In: *Genetic and physiological basis of winter wheat breeding*. Odessa; 1991. p.47-53. [in Ukrainian]
- Yan L., Fu D., Li C., Blechl A., Tranquilli G., Bonafede M. et al. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of *FT*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2006;103(51):19581-19586. DOI: 10.1073/pnas.0607142103
- Yan L., Helguera M., Kato K., Fukuyama S., Sherman J., Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region

- in polyploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;109(8):1677-1686. DOI: 10.1007/s00122-004-1796-4
- Yoshida T., Nishida H., Zhu J., Nitcher R., Distelfeld A., Akashi Y. et al. *Vrn-D4* is a vernalization gene located on the centromeric region of chromosome 5D in hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2010;120(3):543-553. DOI: 10.1007/s00122-009-1174-3
- Zadoks J., Chang T., Konzak C. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 1974;14(6):415-421. DOI: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
- Zhang X.K., Xiao Y.G., Zhang Y., Xia X. C., Dubcovsky J., He Z.H. Allelic variation at the vernalization genes *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, and *Vrn-B3* in Chinese wheat cultivars and their association with growth habit. *Crop Science*. 2008;48(2):458-467. DOI: 10.2135/cropsci2007.06.0355
- Zikhali M., Wingen L.U., Griffiths S. Delimitation of the *Earliness per se D1 (Eps-D1)* flowering gene to a subtelomeric chromosomal deletion in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*. 2016;67(1):287-299. DOI: 10.1093/jxb/erv458
- Zuev E.V., Brykova A.N., Nikonov V.I., Zakharov V.G., Terekhin M.V., Potokina S.A. et al. The results of the spring bread wheat collection screening for earliness in Russian breeding centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;166:101-106. [in Russian] (Зуев Е.В., Брыкова А.Н., Никонов В.И., Захаров В.Г., Терехин М.В., Потокина С.А. и др. Результаты изучения коллекции яровой мягкой пшеницы на скороспелость в селекцентрах России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:101-106).

### Information about the authors

**Damir F. Askhadullin**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, damir.askhadullin@knc.ru, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2711-7178>

**Danil F. Askhadullin**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2606-6735>

**Nurania Z. Vasilova**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, nurania59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

**Alla N. Brykova**, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.brykova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2215-5068>

### Информация об авторах

**Дамир Фидусович Асхадуллин**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, damir.askhadullin@knc.ru, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2711-7178>

**Данил Фидусович Асхадуллин**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2606-6735>

**Нурания Зуфаровна Василова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, nurania59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

**Алла Николаевна Брыкова**, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.brykova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2215-5068>

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

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

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

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

The article was submitted on 23.11.2020; approved after reviewing on 11.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022  
Статья поступила в редакцию 23.11.2020; одобрена после рецензирования 11.03.2022; принята к публикации 06.09.2022.



## Изучение разнообразия окраски зерновки ячменя в коллекции ВИР

А. Ю. Глаголева<sup>1,2</sup>, Л. А. Новокрещёнов<sup>1</sup>, О. Ю. Шоева<sup>1,2</sup>, О. Н. Ковалева<sup>2</sup>, Е. К. Хлесткина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Юрьевна Глаголева, [glagoleva@bionet.nsc.ru](mailto:glagoleva@bionet.nsc.ru)

**Актуальность.** Темная окраска зерновки ячменя (*Hordeum vulgare* L.) обусловлена синтезом и накоплением двух групп пигментов полифенольной природы – антоцианами и меланинами. Целью данного исследования стало изучение разнообразия ячменя из коллекции ВИР по признаку окраски зерновки.

**Материалы и методы.** Для анализа пигментного состава зерна были выбраны 150 образцов ячменя с окрашенной зерновкой из коллекции ВИР. Идентификация наличия антоцианов и меланинов в оболочках зерна проводилась при помощи качественных реакций.

**Результаты и обсуждение.** Показано, что для большинства исследуемых образцов темная окраска зерна обусловлена самостоятельным накоплением меланина. Для 11,3% образцов не выявили присутствия антоцианов и меланинов в оболочках зерновки, и, вероятно, их окраска связана с повышенным содержанием других пигментов полифенольной природы – проантоцианидинов. Образцы с меланиновой окраской зерна были представлены во всех выделенных географических группах, в то же время другие типы пигментации наиболее равномерно представлены в регионах, для которых характерно широкое генетическое разнообразие ячменя – Африка, Восточная Азия и Ближний Восток.

**Заключение.** В результате анализа образцов ячменя из коллекции ВИР по признаку окраски зерновки показано, что темная окраска зерна преимущественно связана с накоплением меланина, причем данный тип пигментации преобладает во всех выделенных географических регионах. Полученные результаты позволяют полнее охарактеризовать коллекцию ячменя и расширить возможности ее использования.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare* L., меланин, антоцианы, генетические ресурсы растений

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 20-316-90033, а также бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН FWNR-2022-0007.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Глаголева А.Ю., Новокрещёнов Л.А., Шоева О.Ю., Ковалева О.Н., Хлесткина Е.К. Изучение разнообразия окраски зерновки ячменя в коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):76-84. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-76-84

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-76-84

## Studying grain color diversity in the barley collection of VIR

Anastasia Y. Glagoleva<sup>1,2</sup>, Leonid A. Novokreschenov<sup>1</sup>, Olesya Y. Shoeva<sup>1,2</sup>, Olga N. Kovaleva<sup>2</sup>, Elena K. Khlestkina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

<sup>2</sup>*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

**Corresponding author:** Anastasia Y. Glagoleva, [glagoleva@bionet.nsc.ru](mailto:glagoleva@bionet.nsc.ru)

**Background.** Dark color of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) can be caused by the synthesis and accumulation of two types of polyphenolic pigments – anthocyanins and melanins, which perform important functions in plant life, participating in the regulation of growth and development, and protecting plants from adverse environmental conditions. The aim of this study was to investigate the diversity of barley in the VIR collection in the context of grain color.

**Materials and methods.** To analyze the pigment composition of the grain, 150 barley accessions with colored grains were selected from the VIR collection. Anthocyanins and melanins in grain husk were identified using qualitative reactions.

**Results and discussion.** It was shown that in 60% of the accessions the dark color of their grain was induced by independent accumulation of melanin, while the accessions characterized by accumulation of only anthocyanins, and those with combined accumulation of anthocyanins and melanins, were 14.6% and 14%, respectively. For 11.3% of the accessions the presence of anthocyanins and melanins in grain husk was not found; their pigmentation could presumably be associated with an increased content of other polyphenolic pigments – proanthocyanidins. Accessions with melanin in grain predominated in all identified geographic groups, while other types of pigmentation were most evenly represented in the regions with the widest genetic diversity of barleys – Africa, East Asia, and the Middle East.

**Conclusion.** Dark pigmentation of barley grain was shown to be mainly associated with the accumulation of melanin, and this type of pigmentation prevails in all geographical regions identified. The results obtained made it possible to describe the barley collection more fully and expand the possibilities of its utilization.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., melanins, anthocyanins, plant genetic resources

**Acknowledgements:** the study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 20-316-90033, and ICG Budget Project FWNR-2022-0007.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Glagoleva A.Y., Novokreschenov L.A., Shoeva O.Y., Kovaleva O.N., Khlestkina E.K. Studying grain color diversity in the barley collection of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):76-84. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-76-84

## Введение

Окраска зерновки является важным таксономическим признаком у ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Темная окраска зерновок может быть обусловлена синтезом и накоплением двух групп пигментов. Голубая и фиолетовая окраска связана с синтезом антоцианов, принадлежащих к группе флавоноидов, которые могут накапливаться в алейроновом слое и перикарпии зерновки. Серую и черную окраску ячменя обуславливают пигменты меланины, накапливающиеся в перикарпии зерна и цветковых чешуях и представляющие собой химически инертные полимеры, образующиеся в результате ферментативного окисления фенольных соединений (Nicolas et al., 1994; Shoeva et al., 2018, 2020). Поскольку обе эти группы соединений имеют фенольную природу, можно предположить, что пути их биосинтеза пересекаются на начальных этапах (Downie et al., 2003; Shoeva et al., 2016).

Пигментированные соединения, а также их неокрашенные предшественники являются вторичными метаболитами и играют важную роль в жизни растений. Известно, что соединения группы флавоноидов участвуют в регуляции роста и развития растений, а благодаря своим антиоксидантным свойствам флавоноиды защищают растения от воздействия неблагоприятных условий окружающей среды (Debeaujon et al., 2000; Di Ferdinando et al., 2012; Landi et al., 2015). Помимо этого, продукты с высоким содержанием антоцианов являются компонентами функционального питания человека; в частности, с потреблением антоцианов связывают уменьшение риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, рака, а также возрастных нейродегенеративных заболеваний (Yudina et al., 2021). Темная пигментация зерна ячменя, связанная с накоплением меланина, считается адаптивным признаком и может давать окрашенным растениям некоторые преимущества. Было показано, что растения с темной окраской семян обладают повышенной устойчивостью к фузариозу по сравнению с неокрашенными растениями (Choo A. et al., 2005; Loskutov et al., 2017), а также являются более холодо- и засухоустойчивыми (Weltzien, 1988; Bishaw et al., 2011). Ячмень с темной окраской зерна составляет около 68% от всей популяции дикого ячменя в Тибете, поскольку является более приспособленным к тяжелым климатическим условиям высокогорья (Choo T.M., 2002). Благодаря уникальным свойствам меланина, таким как стабильное состояние свободных радикалов, поглощение ультрафиолетового и видимого света, а также способности к комплексообразованию и ионному обмену, пигменты привлекают все большее внимание в качестве перспективных материалов для биомедицинских и технологических нужд (Solaño, 2017).

Биоресурсные коллекции являются важнейшим источником генетической изменчивости растений. Изучение коллекций является основой для проведения фундаментальных исследований, а также селекционных программ для получения растений с заданными свойствами. Таким образом, целью данного исследования являлось изучение разнообразия образцов ячменя из коллекции ВИР по признаку окраски зерновки.

## Материалы и методы

### Растительный материал

В исследовании использовали семена 150 образцов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) с окрашенным зерном, по-

лученных из коллекции ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Список образцов приведен в таблице в Приложении (Supplementary Materials)<sup>1</sup>. Для определения разновидностей ячменя была использована классификация, предложенная М. В. Лукьяновой с соавторами (Lukyanova et al., 1990). В качестве контроля при определении пигментного состава зерна были использованы почти изогенные линии ячменя, полученные на основе сорта 'Bowman' (коллекция NordGen, NGB22812): BLP (*black lemma and pericarp*, NGB20470), с меланином в перикарпии и цветковых чешуях; PLP (*purple lemma and pericarp*, NGB22213), с антоцианами в перикарпии зерновки; BA (*blue aleurone*, NGB20651), с антоцианами в алейроновом слое; BP (*black and purple*), с одновременным накоплением антоцианов и меланинов в зерновке (Glagoleva et al., 2022), а также родительские формы популяции Oregon Wolfe Barleys (<https://barleyworld.org/owb>). Растения выращивались в тепличном комплексе Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН) при 12-часовом дне и температуре 20–25°C в периоды осенней и весенней вегетации и на поле селекционно-генетического комплекса ИЦиГ СО РАН в период летней вегетации 2020 и 2021 г.

### Определение пигментного состава зерна

Для идентификации пигментов в оболочках зерна ячменя были проведены качественные реакции на присутствие антоцианов и меланинов. Для определения присутствия антоцианов к измельченным зернам добавляли 1-процентный раствор HCl в метаноле, и в случае положительной реакции наблюдалось окрашивание раствора в розовый цвет (Abdel-Aal, Hucl, 1999). Для идентификации меланинов к измельченным зернам добавляли 2-процентный раствор NaOH; в случае присутствия меланина раствор приобретал черный цвет (Downie et al., 2003) (см. Приложение, рисунок / see Supplementary Materials).

## Результаты

### Описание материала коллекции

Для исследования выбрали 150 образцов ячменя с окрашенной зерновкой из коллекции ВИР, которые включают 35 разновидностей (табл. 1). Изучаемые образцы преимущественно представлены следующими разновидностями: var. *nigrum* (Willd.) Link. – 37 образцов (24,6% от общего количества), представленная шестирядными пленчатыми формами с черной и серой окраской цветковых чешуй и перикарпия; var. *nigripallidum* Regel. – 22 образца (14,6%), пленчатый шестирядный ячмень с темной окраской перикарпия и неокрашенными цветковыми чешуями; var. *persicum* Koern. – 15 образцов (10%), пленчатые двурядные образцы с черной и серой окраской зерновки. Помимо разновидностей с черной, серой или коричневой окраской зерновки, среди исследуемых образцов также присутствуют разновидности, характеризующиеся фиолетовой, голубой и оранжевой окраской зерна (см. табл. 1). Большая часть образцов из выборки являются шестирядными (60,6%) и пленчатыми (73,3%), а двурядные и голозерные составляют 39,3% и 26,6% соответственно.

<sup>1</sup> Electronic supplementary material. The online version of this article (<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-76-84>).

**Таблица 1. Разновидности ячменя, используемые в работе**  
**Table 1. Barley varieties used in the study**

Разновидность	Кол-во образцов	Пленчатость	Рядность	Цвет зерновки
<i>nigrum</i> (Willd.) Link.	37	пленчатый	шестирядный	черный
<i>nigripallidum</i> Regel.	22	пленчатый	шестирядный	серо-желтый
<i>persicum</i> Koern.	15	пленчатый	двурядный	серый
<i>duplinigrum</i> Koern.	9	голозерный	шестирядный	черный
<i>nigrinudum</i> Vav.	9	голозерный	двурядный	черный
<i>nigricans</i> Ser.	8	пленчатый	двурядный	серый
<i>copticum</i> Vav.	4	пленчатый	двурядный	черный
<i>gracilius</i> Koern.	3	пленчатый	шестирядный	черный
<i>nigritonsum</i> Koern.	3	пленчатый	шестирядный	серый
<i>tibetanum</i> Vav.	3	голозерный	шестирядный	коричневый
<i>tridax</i> Koern.	3	пленчатый	двурядный	серый
<i>violaceum</i> Koern.	3	голозерный	шестирядный	фиолетовый
<i>viride</i> Vav.	3	голозерный	двурядный	голубой
<i>atratum</i> Vav.	2	пленчатый	шестирядный	серый
<i>dupliatrum</i> Koern.	2	голозерный	двурядный	коричневый
<i>himalayense</i> (Ritt.) Koern.	2	голозерный	шестирядный	голубой
<i>macrolepis</i> (A. Br.) Koern.	2	пленчатый	двурядный	серый
<i>nigrescens</i> Koern.	2	пленчатый	двурядный	серый
<i>nudimelanocrithum</i> Giess.	2	голозерный	двурядный	черный
<i>acachicum</i> Giess.	1	голозерный	шестирядный	коричневый
<i>aethiops</i> Koern.	1	голозерный	шестирядный	серый
<i>asmaricum</i> Orl.	1	пленчатый	двурядный	серый
<i>atriscipatum</i> Koern.	1	пленчатый	шестирядный	серо-желтый
<i>atroviolaceum</i> Mansf.	1	голозерный	шестирядный	черный
<i>atterbergianum</i> Regel.	1	пленчатый	двурядный	серый
<i>braunii</i> Koern.	1	пленчатый	двурядный	серый
<i>chungense</i> Aoberg.	1	голозерный	шестирядный	коричневый
<i>daghestanicum</i> Vav.	1	голозерный	двурядный	коричнево-голубой
<i>griseinigrum</i> Vav.	1	голозерный	шестирядный	коричневый
<i>hangaicum</i> Vav.	1	голозерный	шестирядный	фиолетовый
<i>melanocrithum</i> Koern.	1	пленчатый	двурядный	серый
<i>rubrum</i> Giess.	1	пленчатый	двурядный	серо-желтый
<i>schimperianum</i> Koern.	1	пленчатый	шестирядный	серый
<i>steudeli</i> Koern.	1	пленчатый	двурядный	черный
<i>ucrainicum</i> Baum.	1	пленчатый	двурядный	оранжевый
Всего	150			

**Анализ пигментного состава зерна**

Для исследуемых образцов ячменя было определено наличие пигментов антоцианов и меланинов при помощи качественных реакций. Важно отметить, что при добавлении щелочи происходит окисление не только меланина, но и проантоцианидинов, накапливающихся в семенной оболочке и в норме всегда присутствующих в зерне ячменя, поэтому определение присутствия меланина по интенсивности полученного раствора в некоторых случаях может быть затруднено. Для уточнения присутствия меланина в перикарпии и цветковых чешуях дополнительно проводили наблюдение за появлением и развитием окраски зерна в процессе его созревания. Ранее было показано, что меланиновая окраска ячменя обладает определенным паттерном распространения в процессе созревания зерна (Shoeva et al., 2020) – темные пятна появляются на верхушках зерен и постепенно опускаются до основания, также появляются характерные пятна и полосы, которые отличаются от антоциановой пигментации. Поскольку появление антоциановой и меланиновой пигментации у ячменя происходит на

разных стадиях спелости зерна – молочно-восковой и ранней восковой (Glagoleva et al., 2022), то таким образом можно определить, обусловлена ли темная окраска зерновки только антоцианами, накапливающимися в перикарпии зерна и/или в алейроновом слое, или совместным накоплением антоцианов и меланинов.

В результате все образцы разделили на четыре группы: образцы, накапливающие только меланин в оболочках зерна; образцы, накапливающие только антоцианы; образцы с совместным накоплением антоцианов и меланинов; образцы, в которых не было выявлено присутствие ни антоцианов, ни меланина (see Supplementary Materials). Видно, что даже внутри группы образцы могут существенно отличаться по цвету и интенсивности окраски, что связано с локализацией пигмента в слоях зерновки, а также с наличием или отсутствием цветковых чешуй (рис. 1). Было выявлено, что для большинства образцов темная окраска зерна обусловлена присутствием только меланина (60% от общего количества); 14,6% и 14% составляют образцы с антоциановой окраской и с совместным накоплением антоцианов и меланина со-



**Рис. 1. Образцы ячменя из коллекции ВИР с различной окраской зерновок:**

**А** – присутствие антоцианов и меланинов не выявлено. Сверху вниз: var. *nigripallidum* (к-20067), var. *chungense* (к-20469), var. *nigripallidum* (к-20519); **Б** – накопление только антоцианов. Сверху вниз: var. *viride* (к-20079), var. *violaceum* (к-18729), var. *nigripallidum* (к-20526); **В** – накопление только меланинов. Сверху вниз: var. *gracilius* (к-30659), var. *duplinigrum* (к-30625), var. *asmaricum* (к-21567); **Г** – совместное накопление антоцианов и меланинов. Сверху вниз: var. *nigripallidum* (к-17384), var. *dupliatrum* (к-17554), var. *nigrum* (к-1067)

**Fig. 1. Barley accessions from the VIR collection with different pigmentation of their grain:**

**A** – the presence of anthocyanins and melanins was not found. From top to bottom: var. *tibetanum* (к-22430), var. *chungense* (к-20469), and var. *nigripallidum* (к-20519); **B** – accumulation of only anthocyanins. From top to bottom: var. *viride* (к-20079), var. *violaceum* (к-18729), and var. *nigripallidum* (к-20526); **B** – accumulation of only melanins. From top to bottom: var. *gracilius* (к-30659), var. *duplinigrum* (к-30625), and var. *asmaricum* (к-21567); **G** – combined accumulation of anthocyanins and melanins. From top to bottom: var. *nigripallidum* (к-17384), var. *dupliatrum* (к-17554), and var. *nigrum* (к-1067)

ответственно. Среди проанализированных образцов для 11,3% не выявили присутствия ни антоцианов, ни меланина.

### Географическое распространение темной окраски зерновки ячменя

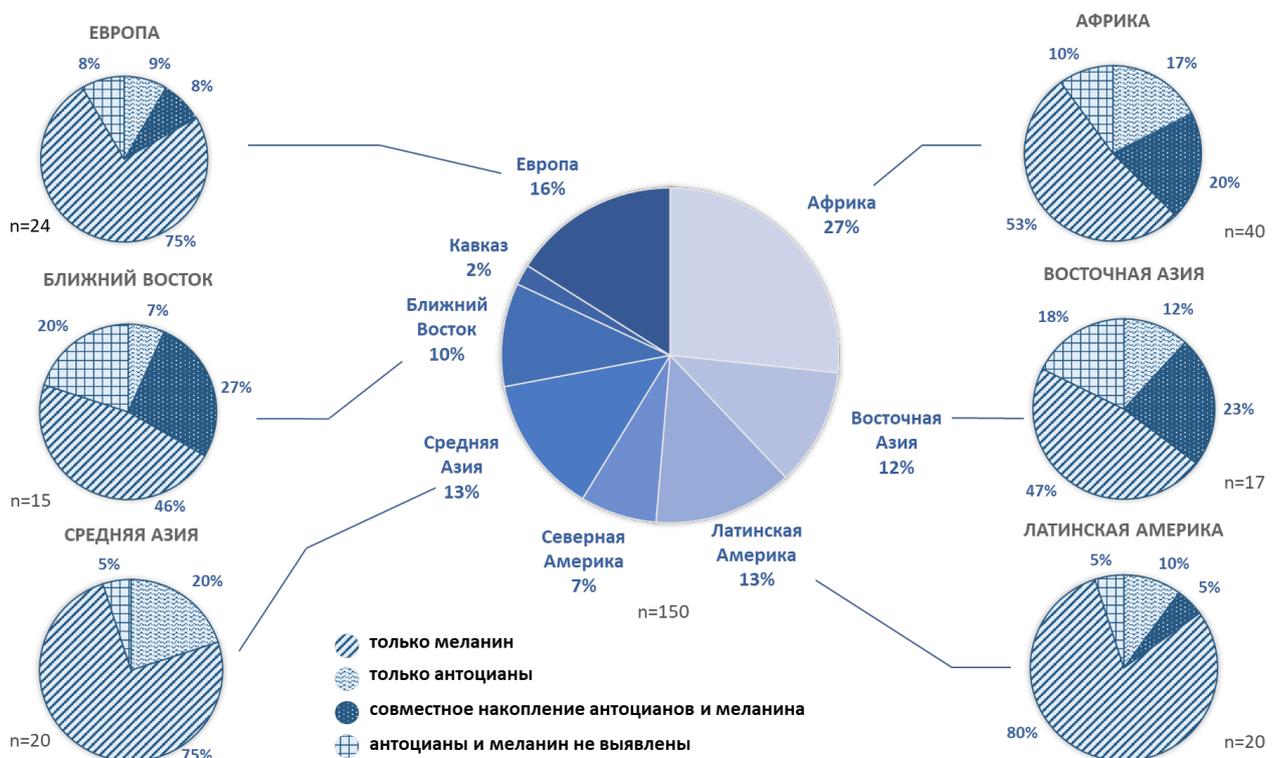
Для анализа распространения темной окраски зерновки ячменя все образцы были разделены на восемь групп в зависимости от их географического происхождения (рис. 2): Африка (Эфиопия, Тунис), Восточная Азия (Китай, Япония, Непал, Пакистан, Индия), Средняя Азия (Азербайджан, Киргизия, Монголия, Туркменистан, Узбекистан), Ближний Восток (Ирак, Иран, Сирия, Турция), Кавказ (Армения, Грузия, Дагестан), Латинская Америка (Аргентина, Боливия, Мексика, Перу), Северная Америка (США, Канада), также в одну группу были объединены образцы из стран Европы, включая образцы из России. Самой многочисленной является Африканская группа (27%), в то время как образцы из Северной Америки и Кавказа составляют всего 7% и 3% от общего количества соответственно. Остальные географические группы представлены примерно одинаковым количеством образцов, которое составляет 10–16% от общего числа. Было показано, что во всех выделенных географических группах преобладают образцы только с меланином в зерне, однако их доля может варьировать от 46% и 47% в образцах с Ближнего Востока и Восточной Азии до 80% в образцах из Латинской Америки. Образцы с совместным накоплением антоцианов и меланина наиболее представлены у ячменей Ближнего Востока (27%), а также Восточной Азии (23%) и Африки (20%), однако среди образцов из Средней Азии такой тип пигментации не был представлен вовсе. Образцы, характеризующиеся

присутствием только антоцианов, а также образцы, для которых не было выявлено наличие антоцианов и меланинов, были представлены во всех географических группах, однако их доля не превышает 20%.

### Обсуждение

В ходе данной работы при помощи качественных реакций на присутствие антоцианов и меланинов, а также визуального наблюдения за развитием окраски в процессе созревания колоса был проведен анализ пигментного состава зерна для 150 образцов ячменя (*Hordeum vulgare*) из коллекции ВИР. Было показано, что среди анализируемых образцов большую часть составляют образцы ячменя, темная окраска зерна которых обусловлена самостоятельным накоплением меланина (60% от общего количества), причем данный тип пигментации является наиболее представленным во всех выделенных географических группах. В последнее время меланин растений привлекает все большее внимание исследователей. Была определена химическая структура меланина, а также определены методы его экстракции, что позволило выделить меланины из оболочек семян растений, принадлежащих к различным таксономическим группам, включая ячмень, что свидетельствует о широкой распространенности данного типа окраски (Glagoleva et al., 2020; Shoeva et al., 2020).

Типы пигментации, обусловленные самостоятельным накоплением антоцианов и совместным накоплением антоцианов и меланинов, являются менее распространенными и составляют 14,6% и 14% от общего количества соответственно. Тем не менее данные типы пигментации представлены во всех выделенных географи-



**Рис. 2.** Соотношение исследуемых образцов в различных районах происхождения (диаграмма в центре) и представленность образцов с различными типами пигментации в выделенных регионах

**Fig. 2.** Ratios of the studied accessions in different areas of origin (diagram in the center) and the representation of accessions with different types of pigmentation in the identified regions

ческих группах. Исключение представляет группа Средней Азии, где не были выявлены образцы с одновременным присутствием антоцианов и меланинов в зерновке. Хотя антоцианы и меланины имеют различную химическую и генетическую природу, существуют данные о возможной взаимосвязи этих метаболических путей (Downie et al., 2003; Shoeva et al., 2016). Более того, было показано, что почти изогенная линия ячменя ВР (*black and purple*) с совместным накоплением антоцианов и меланинов в зерне характеризуется повышенным содержанием антоцианов по сравнению с родительской линией РЛР (*purple lemma and pericarp*) (Glagoleva et al., 2022). Таким образом, образцы ячменя с совместным накоплением антоцианов и меланинов могут служить основой для получения сортов с высоким содержанием антиоксидантов в зерне.

Среди проанализированных образцов ячменя для 11,3% не выявили присутствия антоцианов и меланинов, однако при этом они обладают достаточно темной окраской зерна. Можно предположить, что их пигментация связана с повышенным содержанием других пигментов из группы флавоноидов – проантоцианидинов, которые накапливаются в семенной оболочке и придают зерну привычный желтый цвет (Aastrup et al., 1984). Повышенное содержание проантоцианидинов может обуславливать красную и коричневую окраску зерен у злаков, например у риса (Hosoda et al., 2018).

Среди выделенных географических групп наиболее многочисленной оказалась Африканская группа (27% от общего количества), представленная преимущественно образцами из Эфиопии. Важно отметить, что часть образцов из этой группы представлена разновидностями, эндемичными для Африки, такими как var. *atriscipatum*, var. *atterbergianum*, var. *copticum*, var. *gracilius*, var. *macrolepis*, var. *melanocrithum*, var. *schimperianum*, var. *steudelii* (Lukyanova et al., 1990). Н. И. Вавилов выделял Африканский (или Абиссинский) центр как один из важнейших центров формообразования ячменя, в котором представлено наибольшее генетическое разнообразие (Vavilov, 1967; Lukyanova et al., 1990). Среди образцов из Африки, Восточной Азии и Ближнего Востока достаточно хорошо представлены все выделенные типы пигментации, что согласуется с данными о широком генетическом разнообразии ячменя в этих районах. Считается, что центром доместикации ячменя из дикого предка *Hordeum spontaneum* Koch. является Ближний Восток, а именно область Плодородного полумесяца, что подтверждается разнообразием форм как дикого, так и культурного ячменя в этом регионе, а также данными молекулярно-генетических исследований (Badr et al., 2000; Mascher et al., 2016). Согласно Н. И. Вавилову (Vavilov, 1967; Lukyanova et al., 1990), вторым важнейшим центром формообразования ячменя после Африканского является Восточноазиатский центр. Современные исследования подтверждают наличие специфических аллелей, встречающихся только у ячменя, исторически произрастающего в странах Восточной Азии. Считается, что район Тибета может являться еще одним центром доместикации ячменя (Dai et al., 2014; Wang et al., 2015).

### Заключение

В данной работе был проведен анализ разнообразия ячменя из коллекции ВИР по признаку окраски зерновки при помощи качественных реакций на антоцианы и меланины. Было показано, что темная окраска зерна ячменя преимущественно связана с накоплением меланина, при-

чем данный тип пигментации преобладает во всех выделенных географических регионах. Полученные результаты позволяют полнее охарактеризовать коллекцию ячменя и расширить возможности ее использования.

### References / Литература

- Aastrup S., Outtrup H., Erdal K. Location of the proanthocyanidins in the barley grain. *Carlsberg Research Communications*. 1984;49:105-109. DOI: 10.1007/BF02913969
- Abdel-Aal E.S.M., Hucl P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*. 1999;76(3):350-354. DOI:10.1094/CCHEM.1999.76.3.350
- Badr A., Sch K.M.R., El Rabey H., Effgen S., Ibrahim H.H., Pozzi C. et al. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*. 2000;17(4):499-510. DOI: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a026330
- Bishaw Z., Struik P.C., van Gastel A.J.G. Wheat and barley seed system in Syria: farmers, varietal perceptions, seed sources and seed management. *International Journal of Plant Production*. 2011;5(4):323-348. DOI: 10.22069/IJPP.2012.744
- Choo A., Vigier B., Ho K.M., Ceccarelli S., Grando S., Franckowiak J.D. Comparison of black, purple, and yellow barleys. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2005;52(2):121-126. DOI: 10.1007/s10722-003-3086-4
- Choo T.M. Genetic resources of Tibetan barley in China. *Crop Science*. 2002;42(5):1759-1760. DOI: 10.2135/cropsci2002.1759
- Dai F., Chen Z.H., Wang X., Li Z., Jin G., Wu D. et al. Transcriptome profiling reveals mosaic genomic origins of modern cultivated barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2014;111(37):13403-13408. DOI: 10.1073/pnas.1414335111
- Debeaujon I., Léon-Kloosterziel K.M., Koornneef M. Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 2000;122(2):403-414. DOI: 10.1104/pp.122.2.403
- Di Ferdinando M., Brunetti C., Fini A., Tattini M. Flavonoids as antioxidants in plants under abiotic stresses. In: P. Ahmad, M. Prasad (eds). *Abiotic Stress Responses in Plants*. New York, NY: Springer; 2012. p.159-179. DOI: 10.1007/978-1-4614-0634-1\_9
- Downie A.B., Zhang D., Dirk L.M.A., Thacker R.R., Pfeiffer J.A., Drake J.L. et al. Communication between the maternal testa and the embryo and/or endosperm affect testa attributes in tomato. *Plant Physiology*. 2003;133(1):145-160. DOI: 10.1104/pp.103.022632
- Glagoleva A., Kukoeva T., Mursalimov S., Khlestkina E., Shoeva O. Effects of combining the genes controlling anthocyanin and melanin synthesis in the barley grain on pigment accumulation and plant development. *Agronomy*. 2022;12(1):112. DOI: 10.3390/agronomy12010112
- Glagoleva A.Y., Shoeva O.Y., Khlestkina E.K. Melanin pigment in plants: current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:770. DOI: 10.3389/fpls.2020.00770
- Hosoda K., Sasahara H., Matsushita K., Tamura Y., Miyaji M., Matsuyama H. Anthocyanin and proanthocyanidin contents, antioxidant activity, and *in situ* degradability of black and red rice grains. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018;31(8):1213-1220. DOI: 10.5713/AJAS.17.0655
- Landi M., Tattini M., Gould K.S. Multiple functional roles of anthocyanins in plant–environment interactions. *Envi-*

- ronmental and Experimental Botany*. 2015;119:4-17. DOI: 10.1016/J.ENVEXPBOT.2015.05.012
- Loskutov I.G., Blinova E.V., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. The valuable characteristics and resistance to *Fusarium* disease of oat genotypes. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(20/3):290-298. DOI: 10.1134/S2079059717030108
- Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terentjeva I.A., Jarosh N.P. Cultivated Flora of the USSR. Vol. 2, Pt 2. Barley (Yachmen). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., Терентьева И.А., Ярош Н.П. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 2. Ячмень. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- Mascher M., Schuenemann V.J., Davidovich U., Marom N., Himmelbach A., Hübner S. et al. Genomic analysis of 6,000-year-old cultivated grain illuminates the domestication history of barley. *Nature Genetics*. 2016;48(9):1089-1093. DOI: 10.1038/ng.3611
- Nicolas J.J., Richard-Forget F.C., Goupy P.M., Amiot M., Aubert S.Y. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1994;34(2):109-157. DOI: 10.1080/10408399409527653
- Shoeva O.Yu., Mock H.P., Kukoeva T.V., Börner A., Khlestkina E.K. Regulation of the flavonoid biosynthesis pathway genes in purple and black grains of *Hordeum vulgare*. *PLoS One*. 2016;11(10):e0163782. DOI: 10.1371/journal.pone.0163782
- Shoeva O.Yu., Mursalimov S.R., Gracheva N.V., Glagoleva A.Y., Börner A., Khlestkina E.K. Melanin formation in barley grain occurs within plastids of pericarp and husk cells. *Scientific Reports*. 2020;10(1):179. DOI: 10.1038/s41598-019-56982-y
- Shoeva O.Yu., Strygina K.V., Khlestkina E.K. Genes determining the synthesis of flavonoid and melanin pigments in barley. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):333-342. [in Russian] (Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):333-342). DOI: 10.18699/VJ18.369
- Solano F. Melanin and melanin-related polymers as materials with biomedical and biotechnological applications – Cuttlefish ink and mussel foot proteins as inspired biomolecules. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(7):1561. DOI: 10.3390/ijms18071561
- Vavilov N.I. Selected works in two volumes. Vol. I (Izbrannye proizvedeniya v dvukh tomakh. T. I). St. Petersburg: Nauka; 1967. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные произведения в двух томах. Т. I. Санкт-Петербург: Наука; 1967).
- Wang Y., Ren X., Sun D., Sun G. Origin of worldwide cultivated barley revealed by *NAM-1* gene and grain protein content. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:803. DOI: 10.3389/fpls.2015.00803
- Weltzien E. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) landrace populations originating from different growing regions in the Near East. *Plant Breeding*. 1998;101(2):95-106. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1988.tb00273.x
- Yudina R.S., Gordeeva E.I., Shoeva O.Yu., Tikhonova M.A., Khlestkina E.K. Anthocyanins as functional food components. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(2):178-189. [in Russian] (Юдина Р.С., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Тихонова М.А., Хлесткина Е.К. Антоцианы как компоненты функционального питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(2):178-189). DOI: 10.18699/VJ21.022

### Информация об авторах

**Анастасия Юрьевна Глаголева**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, glagoleva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1692-7578>

**Леонид Александрович Новокрещёнов**, лаборант, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, NovokreshchyonovLA@bionet.nsc.ru

**Олеся Юрьевна Шоева**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, olesya\_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

**Ольга Николаевна Ковалева**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

**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. Б. Морская, 42, 44, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

### Information about the authors

**Anastasia Y. Glagoleva**, Associate Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, glagoleva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1692-7578>

**Leonid A. Novokreschenov**, Laboratory Assistant, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia, NovokreshchyonovLA@bionet.nsc.ru

**Olesya Y. Shoeva**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, olesya\_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

**Olga N. Kovaleva**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

**Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Вклад авторов:** А.Ю. Глаголева выполнила анализ полученных данных и подготовила текст публикации; Л.А. Новокрещёнов провел экспериментальный анализ; О.Ю. Шоева приняла участие в интерпретации данных и подготовке текста публикации; О.Н. Ковалева оказала помощь в подборе материала для исследования, приняла участие в интерпретации данных и подготовке текста публикации; Е.К. Хлесткина приняла участие в интерпретации данных и критической оценке текста публикации.

**Contribution of the authors:** A.Y. Glagoleva performed the analysis of the obtained data and prepared the text of the manuscript; L.A. Novokreshchenov conducted an experimental analysis; O.Y. Shoeva participated in the interpretation of the data and preparation of the text of the manuscript; O.N. Kovaleva assisted in the selection of plant material for the study, participated in the interpretation of the data and preparation of the text of the manuscript; E.K. Khlestkina participated in the interpretation of the data and critically revised the text of the manuscript.

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

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

Статья поступила в редакцию 21.01.2022; одобрена после рецензирования 04.05.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 21.01.2022; approved after reviewing on 04.05.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области

Ж. Т. Калыбекова<sup>1</sup>, В. И. Цыганков<sup>2</sup>, Е. В. Зуев<sup>3</sup>, Л. Ю. Новикова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Баишев Университет, Актюбе, Республика Казахстан*

<sup>2</sup> *ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция», Актюбе, Республика Казахстан*

<sup>3</sup> *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Жанар Турумевна Калыбекова, zhanarkalybekova@mail.ru

**Актуальность.** В связи с тенденцией глобального потепления климата выведение новых засухоустойчивых сортов яровой мягкой пшеницы остается первоочередной задачей селекционеров Западного Казахстана. Однако повышение устойчивости часто сопровождается снижением продуктивности генотипа, и поиск оптимального сочетания этих показателей является трендом современной селекции.

**Материалы и методы.** В 2017–2019 гг. в условиях Актюбинской сельскохозяйственной станции изучены 175 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и современные сорта местной селекции. Полевое изучение проводили согласно методическим указаниям ВИР. Для определения засухоустойчивости образцов использовали следующие индексы: средняя продуктивность (МР), индекс выносливости (ТОЛ), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности к стрессу (STI).

**Результаты и обсуждение.** Для всех сортов рассчитаны индексы засухоустойчивости на основе данных по урожайности в самый засушливый (2019) и более благоприятный (2017) год. Рассчитан суммарный балл рангов образца по всем индексам. Наиболее сильно с суммарным баллом коррелирует урожайность в неблагоприятный год. Выделены 20 сортов с лучшими суммарными баллами; в эту группу вошли 11 образцов актюбинской селекции, в том числе сорт-стандарт, а также перспективные образцы из других стран.

**Заключение.** Сорта, выделенные по совокупности признаков, перспективны в плане использования в селекции на засухоустойчивость в условиях Актюбинской области. Предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L, урожайность, индексы устойчивости к засухе, сорт

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» и по заданию программно-целевого финансирования МСХ РК по бюджетной программе 267, BR10765056 «Создание высокопродуктивных сортов и гибридов зерновых культур на основе достижений биотехнологии, генетики, физиологии, биохимии растений для устойчивого их производства в различных почвенно-климатических зонах Казахстана».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Калыбекова Ж.Т., Цыганков В.И., Зуев Е.В., Новикова Л.Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):85-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

## The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region

Zhanar T. Kalybekova<sup>1</sup>, Vladimir I. Tsygankov<sup>2</sup>, Evgeny V. Zuev<sup>3</sup>, Lyubov Yu. Novikova<sup>3</sup><sup>1</sup> Baishev University, Aktobe, Kazakhstan<sup>2</sup> Aktobe Agricultural Experimental Station, Aktobe, Kazakhstan<sup>3</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Zhanar T. Kalybekova, zhanarkalybekova@mail.ru

**Background.** Due to the global climate warming trend, the breeding of new drought-resistant cultivars of spring bread wheat remains a priority task for Western Kazakhstan breeders. However, an increase in resistance is often accompanied by a decrease in genotype productivity, and searching for an optimal combination of these characteristics is a trend in contemporary plant breeding.

**Materials and methods.** In 2017–2019, 175 spring bread wheat accessions from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and locally developed contemporary cultivars were studied under the conditions of Aktobe Agricultural Station. The field study was carried out according to VIR's guidelines. To assess the drought tolerance of the accessions, the following indices were used: mean productivity (MP), stress tolerance (TOL), yield stability index (YSI), drought resistance index (DI), and stress tolerance index (STI).

**Results and discussion.** Drought tolerance indices were calculated for all accessions using yield data in the driest (2019) and more favorable (2017) year. The total score of ranks for all indices was calculated for each accession. The total score correlated most strongly with the yield in an unfavorable year. As a result, 20 cultivars with the best total scores were identified, including 11 accessions bred in Aktobe Region, the reference cultivar, and promising accessions from other countries.

**Conclusion.** The cultivars identified according to a set of indices are promising in terms of their use in breeding for drought resistance under the conditions of Aktobe Region. The proposed index system makes it possible to combine assessments of different drought tolerance aspects.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L, yield, drought resistance indices, cultivar

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the State Tasks according to the theme plans of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production", and the targeted funding program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan under Budget Program 267, BR10765056 "Development of high-yielding cultivars and hybrids of cereal crops based on the achievements of biotechnology, genetics, physiology, biochemistry of plants for their sustainable production in various soil and climate zones of Kazakhstan".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Kalybekova Zh.T., Tsygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu. The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):85-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

### Введение

Климат Казахстана – резко континентальный, характеризующийся дефицитом осадков, жарким летом и холодной зимой. По данным Второго национального сообщения об изменении климата (Kazakhstan's Second..., 2009), в Казахстане с 1936 по 2005 г. наблюдалось повышение температуры практически повсеместно и во все сезоны года со средней скоростью 0,31°C/10 лет.

В условиях Западного Казахстана проявляются засухи, почвенные, атмосферные и комбинированные засухи. В данном регионе требуются новые конкурентноспособные сорта яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), устойчивые к целому комплексу экологических факторов, поэтому для создания сортов пшеницы необходим исходный материал, характеризующийся повышенной засухоустойчивостью и урожайностью.

По мере увеличения продуктивности устойчивость к неблагоприятным факторам снижается, а урожайность зависит от погодных условий в большей степени, чем от агротехнических приемов возделывания. Повышение продуктивности неразрывно связано с адаптивностью сельскохозяйственных культур, их устойчивостью к не-

( $Y_p$ ) и стрессовых ( $Y_s$ ) условиях. Число индексов достигает нескольких десятков (Sharifi et al., 2021), однако в нашей стране используется всего несколько (Davletov et al., 2014; Pakul, Plisko, 2018). Индексный метод используется и при характеристике засухоустойчивости сортов в молекулярных исследованиях (Smirnova, Pshenichnikova, 2021). Некоторые наиболее распространенные индексы приведены в таблице 1. Первый индекс, средняя продуктивность (MP), равен средней арифметической урожайности в благополучный и стрессовый год. Индекс выносливости (TOL) показывает, насколько снизилась урожайность образца в стрессовый год по сравнению с благополучным. Индекс стабильности урожайности (YSI) показывает, во сколько раз урожайность в стрессовый год меньше урожайности в благополучный. Индекс засухоустойчивости (DI) учитывает, во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным и во сколько раз урожайность в стрессовый год превышает среднюю по выборке. Индекс толерантности к стрессу (STI) является нормированным произведением урожайностей в стрессовых и благополучных условиях. Таким образом, индексы характеризуют разные аспекты засухоустойчивости образца.

**Таблица 1. Индексы засухоустойчивости, использованные в исследовании**

**Table 1. Drought tolerance indices used in the study**

Индекс	Значение индекса у лучших генотипов	Формула	Источник
Средняя продуктивность / Mean Productivity	Высокое	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс выносливости / Stress Tolerance	Низкое	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс стабильности урожайности / Yield Stability Index	Высокое	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Индекс засухоустойчивости / Drought Resistance Index	Высокое	$DI = \frac{Y_s Y_p}{\bar{Y}_p \bar{Y}_s}$	Lan, 1998
Индекс толерантности к стрессу / Stress Tolerance Index	Высокое	$STI = \frac{Y_p Y_s}{\bar{Y}_p^2}$	Fernandez, 1992

Примечание:  $Y_p$ ,  $Y_s$  – урожайность образца в благоприятных и стрессовых условиях;  
 $\bar{Y}_p$ ,  $\bar{Y}_s$  – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях

Note:  $Y_p$ ,  $Y_s$  – grain yield of each genotype under favorable and stress conditions;  
 $\bar{Y}_p$ ,  $\bar{Y}_s$  – mean grain yield of all genotypes under favorable and stress conditions

благоприятным условиям среды, поэтому поиск и разработка эффективных путей повышения устойчивости растений к стрессам является одной из актуальнейших задач селекции (Zauralov, 2000).

Устойчивость генотипа к стрессовым условиям должна сочетаться с высокой урожайностью в благоприятных условиях. Для комплексной оценки засухоустойчивости растений используются индексы, в различной степени сочетающие вклад в оценку сорта факторов урожайности и засухоустойчивости (Zotova, Dzhataev, 2019), в том числе и по сравнению с другими образцами. Эти индексы основаны на сравнении урожайности в благоприятных

Для оценки засухоустойчивости образца часто используется комплексная характеристика образца совокупностью индексов. Эта методика успешно использована применительно к ранжированию наборов сортов мягкой пшеницы (Talebi et al., 2009; Pakul, Plisko, 2018), фасоли (Sharifi et al., 2021), картофеля (Beyene et al., 2019; Al Mahmud et al., 2021), кукурузы (Naghavi et al., 2013), люцерны (Bellague et al., 2016) и других культур.

**Цель исследования:** выявить потенциально засухоустойчивые генотипы яровой мягкой пшеницы для условий Актюбинской области с помощью комплекса индексов.

### Материал, методика и условия проведения исследования

В изучение включены 175 образцов яровой мягкой пшеницы: 156 засухоустойчивых сортов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и 19 сортов селекции Актюбинской сельскохозяйственной опытной станции (АСХОС). Выборка содержит сорта из контрастных климатических регионов. Представлены образцы из 36 стран (табл. 2), наиболее крупные группы – из России (44 образца), Казахстана (29), Пакистана (11) и Швеции (10).

Для всех сортов рассчитаны индексы засухоустойчивости. Образцы ранжированы по каждому индексу и по урожайности так, что лучший образец имеет ранг 1. По урожайности и всем остальным индексам образцы ранжированы в порядке убывания значений, по индексу TOL – в порядке возрастания, так как лучший образец меньше всего снижает урожайность в засушливый год. Рассчитан суммарный балл рангов образца по всем индексам. Выбраны 20 лучших образцов, имеющих наименьший суммарный балл.

Исследованы корреляции индексов друг с другом и с урожайностью по Спирмену (Zaitsev, 1973; Bennani et al., 2017).

**Таблица 2. Происхождение изученных образцов яровой мягкой пшеницы**

**Table 2. Origin of the studied spring bread wheat accessions**

Страна	Число образцов	Страна	Число образцов
Австралия	6	Монголия	1
Австрия	1	Оман	2
Алжир	3	Пакистан	11
Аргентина	3	Перу	1
Афганистан	5	Польша	1
Бразилия	3	Россия	44
Венгрия	1	Сирия	1
Германия	2	США	3
Индия	7	Таджикистан	6
Ирак	1	Туркменистан	6
Казахстан	29	Турция	4
Канада	3	Узбекистан	4
Кения	2	Франция	1
Китай	1	Чехословакия до 1992 г.	2
Кыргызстан	2	Чили	2
Ливан	1	Швеция	10
Марокко	1	Эфиопия	1
Мексика	3	ЮАР	1
<b>Всего</b>		<b>175</b>	

Экспериментальная часть работы проведена в зоне недостаточного увлажнения на опытном поле ТОО «Актюбинская СХОС» в 2017–2019 гг. Посев семян осуществлялся ручной сеялкой СР-1М на делянке 1 м<sup>2</sup>. Стандартный сорт 'Актобе 39' (к-64392) располагали через 20 номеров. Сорт 'Актобе 39' засухоустойчивый, допущен к возделыванию в Актюбинской области с 2008 г. В течение всей вегетации посева поддерживались в чистом от сорняков состоянии. Фенологические наблюдения и лабораторные исследования проводили согласно методическим указаниям ВИР (Merezhko, 1999).

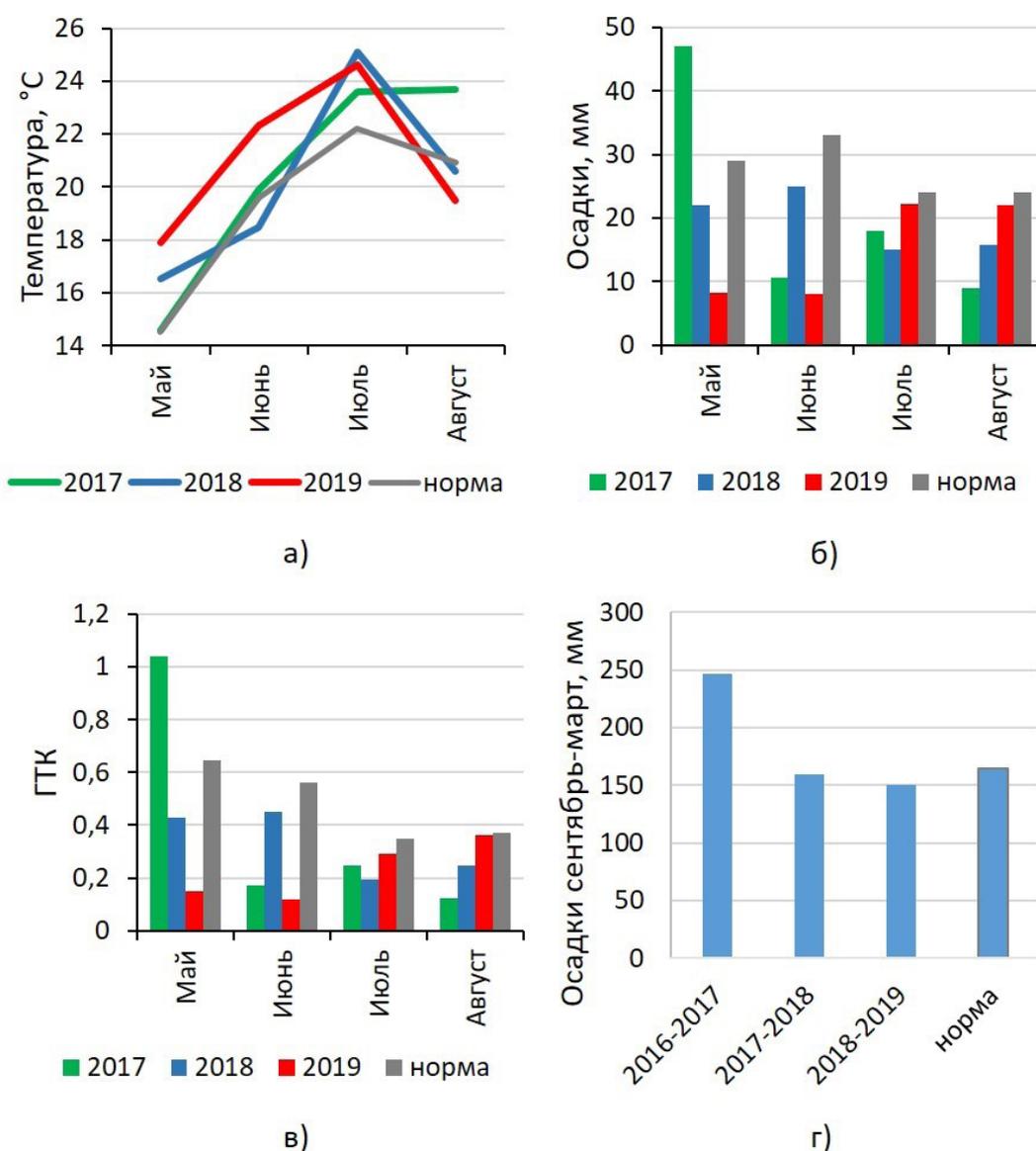
По данным метеопункта Актюбинской СХОС, средняя температура за май – август была выше нормы во все годы исследования: 20,5°C в 2017, 20,2°C в 2018 и 21,1°C в 2019 г., при норме 19,3°C. Суммы осадков за май – август были ниже нормы во все годы исследования и составили 84,7, 77,8 и 60,4 мм по годам соответственно, при норме 110 мм. ГТК был ниже среднегодового: 0,337, 0,313 и 0,233 в 2017, 2018 и 2019 г. соответственно, при норме 0,463 (рисунок, а, б, в).

Важным фактором сезона 2017 г стало накопление достаточного количества почвенной влаги за осенне-

зимне-весенний период (рисунок, г). В 2018 г. накопленных запасов почвенной влаги за осенне-зимний период было явно недостаточно, чтобы рассчитывать на удовлетворительный урожай всех образцов пшеницы. Особый вред засуха нанесла в ответственный период формирования параметров колоса, что привело к высокой череззернице (30–50%); при этом длительность ярко выраженной комбинированной засухи составила около 50 дней (с III декады июня по I декаду августа). В осенние и зимние месяцы 2019 г. недобор осадков был отмечен в каждом месяце, при этом часто суточное количество выпавших осадков в виде снега не превышало 1–3 мм, что при частых и сильных ветрах (бураны, низовые метели) способствовало его значительному сносу с полей Актюбинской СХОС. В целом за вегетационный период 2019 г. все образцы и сорта яровой мягкой пшеницы при невысоких запасах почвенной влаги и длительном отсутствии эффективных атмосферных

осадков испытали воздействие длительной комбинированной весенне-летней засухи. Фактически воздействие засухи на растения пшеницы началось с фазы начала кущения и продолжалось до начала июля, когда выпали первые эффективные осадки (17 мм) и у растений пшеницы смогла сформироваться вторичная корневая система. Дальнейшее развитие растений пшеницы проходило при высоких значениях среднесуточной температуры, особенно в периоды с 5 по 27 июля и с 16 по 25 августа. Комплекс таких неблагоприятных абиотических факторов способствовал формированию у изучаемого сорта не высоких значений продуктивной кустистости, озерненности колоса (при череззернице 30–50%) и массы 1000 зерен.

Таким образом, наименее благоприятные условия вегетации – самая высокая температура, наименьшая сумма осадков и ГТК – были в 2019 г., наиболее благоприятные – в 2017 г.



**Рисунок.** Условия тепловлагообеспеченности вегетационного периода пшеницы в годы исследования: а) средняя месячная температура; б) месячная сумма осадков периода вегетации; в) ГТК; г) зимние осадки

**Figure.** Conditions of heat and moisture supply during the growing season of wheat in the years of study: а) mean monthly temperature; б) monthly amount of precipitation during the growing season; в) HTC; г) winter precipitation

### Результаты и обсуждение

Изученная выборка 175 сортов характеризовалась значительным разнообразием. Средняя за 3 года продолжительность вегетации у образцов выборки варьировала от 72 до 88 сут, урожайность – от 21,2 до 145,4 г/м<sup>2</sup>, масса 1000 зерен – от 14,7 до 38,3 г.

Недостаток влаги в почве в засушливые 2018 и 2019 годы привел к тому, что высота растений уменьшилась на 26 и 34% соответственно по сравнению с 2017 г.

Период формирования колоса также совпал с воздействием засухи, что отразилось на уменьшении длины колоса в 2019 г. в сравнении с 2017 г. на 21%, а в 2018 г. – на 11%.

Уменьшение числа колосков в колосе наблюдалось в 2019 г. по сравнению с 2017 г. (разница – 29,5%) и на 20% по сравнению с 2018 г. Причина – недостаток влаги в период формирования колоса.

Уменьшение массы 1000 зерен наблюдалось в 2019 г. по сравнению с 2017 г. (21,0%) и 2018 г. (4,2%).

Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности пшеницы были в 2017 г., когда урожайность составила по 175 образцам 79,4 г/м<sup>2</sup>, по 135 образцам с данными по обоим годам – 78,4 г/м<sup>2</sup>. Урожайность этого года взята как урожайность в благоприятных условиях ( $Y_p$ ). Наименьшая средняя урожайность была в 2019 г. (по 175 образцам – 48,7 г/м<sup>2</sup>, по 135 – 50,1 г/м<sup>2</sup>), она использована в качестве показателя урожайности в стрессовых условиях ( $Y_s$ ). Для 135 образцов, у которых в 2017 и в 2019 г. зарегистрирована урожайность, рассчитаны 5 индексов.

Исследована корреляция индексов друг с другом (табл. 3). Индексы характеризуют засухоустойчивость с разных сторон, о чем свидетельствует разная степень корреляции между ними. Наиболее сильно с суммарным баллом коррелирует урожайность в неблагоприятный год. По каждому индексу построен рейтинг и выделены 5 лучших сортов (табл. 4).

В условиях, когда благоприятные годы встречаются достаточно часто, интересны сорта, имеющие высокую урожайность и в благоприятный год. Индексы, учитывающие величину урожайности в благоприятный год – MP, STI. В списки лидеров по этим показателям вошли образцы 'Степная 1413', 'Целинная Юбилейная', 'Омская 19', 'Целинная 90'. Эти генотипы отзывчивы на благоприятные условия внешней среды и могут быть использованы в селекционном процессе для создания сортов полунтенсивного типа (Pakul, Plisko, 2018).

При наличии благоприятных лет, но с преобладанием засушливых, становится важным большой вклад неблагоприятных условий. По абсолютному и относительному снижению урожайности в неблагоприятный год (индексы TOL, YSI, DI) выделились одни и те же образцы, увеличившие в неблагоприятный год урожайность, возможно, менее чувствительные к недостатку влаги в начале развития. Это сорта 'Drabant', 'Pari 73', 'Лютесценс 158', 'Целинная 21', образец к-65879 из Афганистана. Эти образцы могут быть использованы как исходный материал для создания сортов с засухоустойчивостью.

При необходимости учета и благоприятных, и неблагоприятных лет может быть использован суммарный рейтинг по всем рассчитанным индексам, включая рейтинг урожайности в благоприятный и неблагоприятный год, как это сделано в перечисленных выше работах (Talebi et al., 2009; Naghavi et al., 2013; Bellague et al., 2016; Beyene et al., 2019; Sharifi et al., 2021; Al Mahmud et al., 2021). Суммарный балл у образцов варьировал от 117 до 856. Двадцать лучших образцов, имеющих минимальный суммарный балл, представлены в таблице 5. В их число вошли образцы с высокой урожайностью в стрессовый год, ранги от 1 до 24. Из 20 образцов шесть – селекции Актюбинской сельскохозяйственной станции, в том числе стандартный сорт 'Актобе 39' (см. табл. 5).

Таким образом, предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

**Таблица 3. Коэффициенты корреляции индексов засухоустойчивости и урожайности в благополучный 2017 ( $Y_{2017}$ ) и стрессовый 2019 ( $Y_{2019}$ ) год**

**Table 3. Correlation coefficients of drought tolerance indices and yield in the favorable year of 2017 ( $Y_{2017}$ ) and the stressful one of 2019 ( $Y_{2019}$ )**

Индекс	$Y_{2017}$	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
$Y_{2019}$	0,37*	0,76*	-0,34*	0,62*	0,89*	0,85*	-0,99*
$Y_{2017}$		0,87*	0,69*	-0,43*	-0,03	0,78*	-0,38*
MP			0,30	0,02	0,43	0,97*	-0,77*
TOL				-0,92	-0,69	0,16	0,35*
YSI					0,89	0,17	-0,63*
DI						0,55*	-0,90*
STI							-0,85*

\* – отмечены значимые на 5-процентном уровне коэффициенты

\* – marks coefficients significant at the 5% level

**Таблица 4.** Лучшие сорта яровой мягкой пшеницы, выделившиеся по каждому из индексов на Актюбинской сельскохозяйственной станции в 2017–2019 гг.**Table 4.** The best spring bread wheat cultivars identified for each of the indices at Aktobe Agricultural Experimental Station in 2017–2019

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	$Y_{2019}^*$	$Y_{2017}$	Индекс
<b>Средняя урожайность за благоприятный и стрессовый год (<math>MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}</math>), г/м<sup>2</sup></b>					
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	95,8	153,3	124,6
57728	Целинная Юбилейная	Казахстан	87,8	154,6	121,2
58322	Омская 19	Россия, Омская обл.	73,9	164	119,0
55756	Саратовская 55	Россия, Саратовская обл.	71,2	165,3	118,3
61192	Целинная 90	Казахстан	88	147,5	117,8
<b>На сколько г/м<sup>2</sup> снизилась урожайность в стрессовый год (<math>MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}</math>)</b>					
65879	–	Афганистан	105	42	–63,0
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	–56,8
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	–49,6
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	–42,3
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	–39,0
<b>Во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год (<math>YSI = \frac{Y_s}{Y_p}</math>)</b>					
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	3,4
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	3,1
65879	–	Афганистан	105	42	2,5
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	1,8
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	1,7
<b>Снижение урожайности в стрессовый год относительно средней по выборке и относительно благоприятного года (<math>DI = \frac{Y_s Y_s}{Y_p Y_s}</math>)</b>					
65879	–	Афганистан	105	42	5,2
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	5,2
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	4,8
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	3,4
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	3,2
<b>Нормированное произведение урожайностей в стрессовых и благополучных условиях (<math>STI = \frac{Y_p Y_s}{\bar{Y}_p \bar{Y}_s}</math>)</b>					
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	95,8	153,3	2,4
65824	Степная 50	Казахстан, АСХОС	111,5	122,6	2,2
57728	Целинная Юбилейная	Казахстан	87,8	154,6	2,2
61192	Целинная 90	Казахстан	88	147,5	2,1
58322	Омская 19	Россия, Омская обл.	73,9	164	2,0

Примечание; \* –  $Y_{2017}$ ,  $Y_{2019}$  – урожайность в благоприятный 2017 и стрессовый 2019 г. В формулах:  $Y_p$ ,  $Y_s$  – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях;  $\bar{Y}_p$ ,  $\bar{Y}_s$  – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях

Note: \* –  $Y_{2017}$ ,  $Y_{2019}$  – grain yield in the favorable 2017 and the stressful 2019. In formulas:  $Y_p$ ,  $Y_s$  – grain yield of each genotype under favorable and stress conditions;  $\bar{Y}_p$ ,  $\bar{Y}_s$  – mean grain yield of all genotypes under favorable and stress conditions

Таблица 5. Индексы засухоустойчивости и ранги 20 сортов яровой мягкой пшеницы с наименьшим суммарным рангом  
 Table 5. Drought resistance indices and ranks of 20 spring bread wheat cultivars with the lowest total rank

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Показатель	Y <sub>2019</sub>	Y <sub>2017</sub>	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
65824	Степная 50	Казахстан, АСХОС	значение	111,5	122,6	117,1	11,1	0,9	2,0	2,2	117
			ранг	1	17	7	46	31	13	2	
59370	Казахстанская Ран- неспелая	Казахстан	значение	100,7	86,0	93,4	-14,7	1,2	2,4	1,4	124
			ранг	5	48	20	11	16	8	16	
62213	Актобе 91	Казахстан, АСХОС	значение	101,0	100,6	100,8	-0,4	1,0	2,0	1,7	124
			ранг	4	33	13	25	25	14	10	
67130	Степная 53	Казахстан, АСХОС	значение	105,8	78,6	92,2	-27,2	1,3	2,8	1,4	127
			ранг	2	60	23	7	11	7	17	
52311	WW 16737	Швеция	значение	98,7	106,0	102,4	7,3	0,9	1,8	1,7	131
			ранг	6	27	12	33	29	16	8	
52741	Лютесценс 1579/- 72-8	Россия, Новосибир- ская обл.	значение	97,3	83,3	90,3	-14,0	1,2	2,3	1,3	143
			ранг	9	49	25	13	17	9	21	
40630	-	Узбекистан	значение	97,4	66,6	82,0	-30,8	1,5	2,8	1,1	162
			ранг	8	74	33	6	8	6	27	
45436	NP 876	Индия	значение	89,6	72,6	81,1	-17,0	1,2	2,2	1,1	172
			ранг	13	66	34	10	13	10	26	
65250	Ульяновская 100	Россия, Ульяновская обл.	значение	89,1	100,0	94,6	10,9	0,9	1,6	1,5	177
			ранг	14	34	18	45	33	19	14	
48978	Карабалыкская 26	Казахстан	значение	94,5	117,3	105,9	22,8	0,8	1,5	1,8	179
			ранг	11	19	9	66	46	21	7	
64705	Актюбинка	Казахстан, АСХОС	значение	88,2	100,0	94,1	11,8	0,9	1,6	1,4	187
			ранг	15	35	19	49	34	20	15	

Таблица 5. Окончание  
Table 5. The end

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Показатель	Y <sub>2019</sub>	Y <sub>2017</sub>	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	значение	97,6	55,3	76,5	-42,3	1,8	3,4	0,9	203
			ранг	7	100	42	4	4	4	42	
66015	Алтайская Степная	Россия, Алтайский край	значение	79,3	86,6	83,0	7,3	0,9	1,5	1,1	209
			ранг	21	46	30	34	30	23	25	
57716	Комсомольская 18	Казахстан	значение	81,2	71,3	76,3	-9,9	1,1	1,8	0,9	223
			ранг	19	70	45	16	19	15	39	
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	значение	95,8	153,3	124,6	57,5	0,6	1,2	2,4	224
			ранг	10	8	1	110	67	27	1	
65879	-	Афганистан	значение	105,0	42,0	73,5	-63,0	2,5	5,2	0,7	227
			ранг	3	116	47	1	3	1	56	
54045	Целинная 21	Казахстан	значение	91,6	52,6	72,1	-39,0	1,7	3,2	0,8	228
			ранг	12	103	51	5	5	5	47	
64392	Актобе 39	Казахстан, АСХОС	значение	79,9	117,3	98,6	37,4	0,7	1,1	1,5	244
			ранг	20	20	15	85	60	33	11	
52325	WW 17239	Швеция	значение	73,0	73,3	73,2	0,3	1,0	1,5	0,9	254
			ранг	24	65	48	26	26	22	43	
61192	Целинная 90	Казахстан	значение	88,0	147,5	117,8	59,5	0,6	1,0	2,1	257
			ранг	16	9	5	114	74	35	4	

### Заключение

Для оценки засухоустойчивости образцов использована практикуемая в странах с засушливым климатом комплексная оценка системой индексов. Эти индексы основаны на сравнении урожайности в благоприятных и стрессовых условиях. Используемые индексы учитывают следующие характеристики: индекс МР – среднюю урожайность в благополучный и стрессовый год, TOL – насколько снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным, а YSI – во сколько раз урожайность в стрессовый год меньше урожайности в благополучный; DI учитывает, во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным и во сколько раз урожайность в стрессовый год превышает среднюю по выборке; STI является нормированным произведением урожайностей в стрессовых и благополучных условиях.

Выделены 20 сортов с лучшими суммарными баллами, в число которых вошли 11 образцов казахской селекции, в том числе стандартный сорт, а также перспективные образцы из других стран. Сорта, выделенные по совокупности признаков, перспективны в плане снижения рисков возделывания и получения оптимального урожая за ряд лет.

Предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

### References / Литература

- Al Mahmud A., Alam M.J., Kundu B.C., Skalicky M., Rahman M.M., Rahaman E.H.M.S. et al. Selection of suitable potato genotypes for late-sown heat stress conditions based on field performance and stress tolerance indices. *Sustainability*. 2021;13(5):2770. DOI: 10.3390/su13052770
- Bellague D., M'Hammedi-Bouzina M., Abdelguerfi A. Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2016;76(3):273-284. DOI: 10.4067/S0718-58392016000300003
- Bennani S., Nsarellah N., Jlibene M., Tadesse W., Birouk A., Ouabbou H. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. *Australian Journal of Crop Science*. 2017;11(04):395-405. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.04.pne272
- Beyene Z.K., Mekbib F., Abebe T., Asfaw A. Drought resistance indices for screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*. 2019;7(8):1118-1124. DOI: 10.24925/turjaf.v7i8.1118-1124.2226
- Bouslama M., Schapaugh Jr. W.T. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984;24(5):933-937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
- Davletov F.A., Gaynullina K.P., Ashiev A.R., Novikova L.Yu. Study of genetic diversity of collection material of pea (*Pisum sativum* L.) in conditions of Bashkortostan Republic. *Grain Economy of Russia*. 2014;(4):44-52. [in Russian] (Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Ашиев А.Р., Новикова Л.Ю. Изучение генетического разнообразия коллекционного материала гороха посевного (*Pisum sativum* L.) в условиях республики Башкортостан. *Зерновое хозяйство России*. 2014;(4):44-52).
- Fernandez G.C.J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C.G. Kuo (ed.), *Proceedings of the*

*International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. Taiwan: AVRDC; 1992. p.257-270.

- Kazakhstan's Second National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Astana: Ministry of Environment Protection; 2009. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/kaznc2e.pdf> [accessed Mar. 31, 2022].
- Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 1998;7:85-87.
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилоса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Naghavi M.R., Pour-Aboughadareh A., Marouf K. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae*. 2013;5(3):388-393. DOI: 10.15835/nsb.5.3.9049
- Pakul V.N., Plisko L.G. Drought-resistance of varieties of spring soft wheat. *International Research Journal*. 2018;12-2(78):49-52. [in Russian] (Пакуль В.Н., Плиско Л.Г. Засухоустойчивость сортов мягкой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018;12-2(78):49-52). DOI: 10.23670/IRJ.2018.78.12.046
- Rosiel A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
- Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*. 2021;1(4):176-179.
- Smirnova O.G., Pshenichnikova T.A. The relationship between the genetic status of the *Vrn-1* locus and the size of the root system in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):805-811. DOI: 10.18699/VJ21.093
- Talebi R., Fayaz F., Naji A.M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology*. 2009;35(1-2):64-74.
- 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).
- Zauralov O.A. Strategy of adaptation of higher plants to unfavorable environmental conditions (Strategiya adaptatsii vysshikh rasteniy k neblagopriyatnym usloviyam sredy). *Agricultural Biology*. 2000;35(5):39-44. [in Russian] (Зуралов О.А. Стратегия адаптации высших растений к неблагоприятным условиям среды. *Сельскохозяйственная биология*. 2000;35(5):39-44).
- Zotova L.P., Dzhataev S.A. Assessment of collective samples of spring soft wheat for droughtability in the conditions of North Kazakhstan. *Bulletin of Science of the S. Seifull*

*lin Kazakh Agrotechnical University*. 2019;1(100):35-46. [in Russian] (Зотова Л.П., Джатаев С.А. Оценка коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы на засу-

хоустойчивость в условиях Северного Казахстана. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина*. 2019;1(100):35-46).

### *Информация об авторах*

**Жанар Турумовна Калыбекова**, старший преподаватель, Баишев Университет, 030000 Республика Казахстан, Актобе, ул. Бр. Жубановых, 302а, zhanarkalybekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2606-2966>

**Владимир Игоревич Цыганков**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция», 030014 Республика Казахстан, Актобе, ж/м. К. Нокина, ул. Мира, 1, zigan60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-3888>

**Евгений Валерьевич Зув**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nv.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

**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 (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

### *Information about the authors*

**Zhanar T. Kalybekova**, Senior Lecturer, Baishev University, 302A Zhubanov Brothers St., Aktobe 030000, Kazakhstan, zhanarkalybekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2606-2966>

**Vladimir I. Tsygankov**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Department, Aktobe Agricultural Experimental Station, 1 Mira St., K. Nokina, Aktobe 030014, Kazakhstan, zigan60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-3888>

**Evgeny V. Zuev**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nv.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

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

**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 07.07.2022; одобрена после рецензирования 01.08.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 07.07.2022; approved after reviewing on 01.08.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

Original article

UDC 633.13:631.524.8

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110



## Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection

Igor G. Loskutov<sup>1,2</sup>, Veronika Butris<sup>2</sup>, Irina A. Kosareva<sup>1</sup>, Elena V. Blinova<sup>1</sup>, Lyubov Yu. Novikova<sup>1</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Igor G. Loskutov, i.loskutov@vir.nw.ru

**Background.** Soil toxicity of Al is associated with severe changes in plant root morphology that limit the uptake of water and mineral nutrients. Long-term exposure to Al results in deficiencies in some important nutrients, such as phosphorus, calcium, magnesium, potassium, and iron. Thus, the joint study of plant resistance to the effects of Al and the accumulation of micronutrients in the oat grain is relevant.

**Materials and methods.** Thirty oat accessions of Russian and French origin from the VIR collection served as the research material. They were represented by cultivars with different levels of breeding improvement: landraces (early 1920s), cultivars developed by primitive breeding (1920–1930s), and modern improved cultivars.

**Results.** Oat cultivars with different breeding improvement levels demonstrated significant differences in the content of micronutrients and aluminum tolerance. Among the studied accessions, landraces and modern improved cultivars showed a tendency towards medium or high Al tolerance, the group of primitive cultivars from Russia had the lowest Al tolerance, while primitive cultivars from France demonstrated the highest average resistance (0.5–1.9).

**Conclusion.** The content of Fe and Zn was influenced by the geographic origin of genotypes. The concentrations of different micronutrients positively correlated with each other. Strong correlations were recorded between the contents of Zn and Fe ( $r = 0.81$ ), and between Zn and Mg ( $r = 0.75$ ). There was a positive correlation between the content of micronutrients and the resistance to crown rust (0.38 to 0.50). High content of the studied set of micronutrients was registered in such improved cultivars from France as the naked 'Avoine Nue Renne', 'Chantilly', 'Negrita' and 'Noire de Michamps', plus the Russian improved naked cultivar 'Gavrosh'. Among them, 'Chantilly' was distinguished for its yield, and the naked 'Gavrosh' for its high tolerance to aluminum.

**Keywords:** *Avena* L., landraces, varieties, aluminum toxicity, Zn, Cu, Fe and Mg, micronutrients

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production", and supported by the grant to St. Petersburg State University (PURE ID 60256916).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Loskutov I.G., Butris V., Kosareva I.A., Blinova E.V., Novikova L.Yu. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110

## Алюмотолерантность и микроэлементный состав зерновки сортов овса из коллекции ВИР с различной степенью селекционной проработки

И. Г. Лоскутов<sup>1,2</sup>, В. Бутрис<sup>2</sup>, И. А. Косарева<sup>1</sup>, Е. В. Блинова<sup>1</sup>, Л. Ю. Новикова<sup>1</sup><sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

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

**Актуальность.** Почвенная токсичность Al связана с серьезными изменениями в морфологии корней у растений, которая ограничивает поглощение воды и минеральных питательных веществ. Длительное воздействие Al приводит к дефициту некоторых важных питательных веществ, таких как фосфор, кальций, магний, калий и железо. Таким образом, совместное изучение устойчивости растений к воздействию Al и накопления микроэлементов в зерновке овса являются актуальными.

**Материалы и методы.** Материалом для исследований послужили 30 образцов овса российского и французского происхождения из коллекции ВИР. Они были представлены сортами с разным уровнем селекционной проработки: стародавними сортами (начало 1920-х гг.), сортами, полученными методом примитивной селекции (1920–1930-е гг.), и современными улучшенными сортами.

**Результаты.** Сорта овса с разным уровнем селекционной проработки показали существенные различия по содержанию микроэлементов и толерантности к алюминию. Среди изученных образцов стародавние сорта и современные улучшенные сорта проявляли тенденцию к средней или высокой устойчивости к Al, самая низкая устойчивость к Al была у группы примитивных сортов из России, а самая высокая средняя устойчивость (0,5–1,9) проявлялась у примитивных сортов из Франции.

**Заключение.** На содержание Fe и Zn повлияло географическое происхождение генотипов. Концентрации различных микроэлементов положительно коррелировали между собой. Сильные корреляции зафиксированы между содержаниями Zn и Fe ( $r = 0,81$ ), а также между Zn и Mg ( $r = 0,75$ ). Выявлена положительная корреляция между содержанием микроэлементов и устойчивостью к корончатой ржавчине (0,38–0,50). Высокое содержание изучаемого набора микроэлементов отмечено у таких улучшенных сортов из Франции, как голозерные 'Avoine Nue Renne', 'Chantilly', 'Negrita' и 'Noire de Michamps', а также у российского селекционного голозерного сорта 'Гаврош'. Среди них 'Chantilly' отличался урожайностью, а голозерный сорт 'Гаврош' – высокой устойчивостью к алюминию.

**Ключевые слова:** *Avena* L., местные сорта, селекционные сорта, устойчивость к Al, Zn, Cu, Fe и Mg, микроэлементы

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» и в рамках гранта, выделенного Санкт-Петербургскому государственному университету (PURE ID 60256916).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Лоскутов И.Г., Бутрис В., Косарева И.А., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю. Алюмотолерантность и микроэлементный состав зерновки сортов овса из коллекции ВИР с различной степенью селекционной проработки. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110

## Introduction

An increased concentration of mobile aluminum ions in the soil solution (67% of the total acidic soil area) is the principal factor that determines the phytotoxicity of acidic soils. Aluminum toxicity in acidic soils reduces the yield of food crops, especially cereals, being the main obstacle to crop production (Pérez-Clemente et al., 2013).

Higher concentrations of protons in soil solutions lead, *per se*, to an abrupt decrease in the supply of nutrients in the cationic form to plants, inhibit the activity of many microorganisms, and, as a result, retard the release of nitrogen, phosphorus, sulfur and many trace elements from plant residues. The content of a number of chemical elements in the soil solution can grow to levels toxic for plants, especially in technologically polluted soils. An increase in the concentration of such components in the soil solution means that these compounds become involved in significant amounts in food chains, provoking all the ensuing negative consequences (Gupta et al., 2013).

The negative effect of aluminum primarily afflicts the roots. Plant roots become short and brittle, change their color, and the growth of root hairs is inhibited. At the cellular level, the arrest of root growth is caused by the suppression of cell division and enlargement of the meristem. Aluminum interacts with the cell wall, plasma membrane, and cytoplasm of plant cells; such interaction forms Al complexes (Gupta et al., 2013).

Thus, the toxicity of Al is associated with serious changes in root morphology, limiting the absorption of water and mineral nutrients. Prolonged exposure to Al leads to shortages in some important nutrients, such as phosphorus, calcium, magnesium, potassium and iron, which are easily traced in plants as deficiency symptoms. All this ultimately induces a decrease in biomass or plant death.

As a consequence, many authors noted the loss of agronomic qualities in crops. The effect of high Al concentrations deteriorates the quality of plant products, reducing the content of monosaccharides, sucrose and total sugars as well as protein forms of nitrogen in them (White, Broadley, 2005).

There were many reports on nutritional imbalances caused by exposure to Al in several plant species. Aluminum prevents the absorption, transport and utilization of most minerals. The Al stress inhibits the uptake of many cations, including  $\text{Ca}_2+$  (69%),  $\text{Mg}_2+$ ,  $\text{K}+$  (13%) and  $\text{NH}_4+$  (40%), but enhances the influx of nitrate (44%) and phosphate (17%) anions (Olivares et al. 2009; Gupta et al. 2013). Both sensitive and tolerant wheat genotypes showed a decrease in the K and Mg content in their roots, while the content of Ca, Al, and Si in them increased (Silva et al., 2010).

Aluminum interfered with the binding of cations in the cell wall by the same order of magnitude as their influx, whereas the binding of phosphate was strongly enhanced. The results are consistent with the mechanism of binding Al to the plasma membrane phospholipids, thus forming a positively charged layer that affects the movement of ions to the binding sites of transport proteins. A positive charge layer would retard the movement of cations and increase the movement of anions to the plasma membrane proportionally to the charges carried by these ions (Nichol et al., 1993).

Differences in acid resistance between cultivars of the same crop were found to overlap interspecies differentiation in resistance to ionic toxicity (Loskutov, 2007; Loskutov, Rines 2011).

Resistance of plant forms to aluminum toxicity is the result of their long-term growth on soils with high Al content,

i. e., it is a genetically determined trait. Different plant genotypes show different resistances to aluminum exposure (Loskutov et al., 2017; Pukhal'skaya, 2005).

One of the ways to solve the problem of acidic soils is the development of acid-resistant cultivars, facilitated by the significant intraspecific variability in aluminum tolerance and relatively simple screening and breeding schemes (Bat-alova, 2000). Laboratory screening techniques are most frequently used to assess a gene pool for aluminum tolerance; they are based on seed germination in nutrient solutions with toxic Al concentrations. Plants are most vulnerable to a mobile Al excess in the soil at early stages of their ontogenesis, which makes it possible to diagnose Al resistance in seedlings. A fairly high correlation was observed between the results of early diagnosis and the data of field trials (Kosareva, 2013).

Micronutrients are an important component in the mineral nutrition of plants. They are vital because they perform various catalytic and regulatory functions in metabolic processes: absorption, transport, redox and biosynthesis of organic compounds, and transfer of genetic information. Each element has its own range of safe concentration, ensuring normal functioning of an organism. When it is disturbed, various pathological disorders in metabolic processes are observed: a shortage leads to deficiency, while an excess provokes toxicity (Rebrov, 2008).

The content of micronutrients in the generative parts (seeds or fruits) of the reproductive organs, where the elemental chemical composition is under strict genetic control, is little changed under the influence of environmental stressors. Therefore, the reproductive organs (seeds or fruits) are believed to manifest barrier-type accumulation of micronutrients. At the same time, there is evidence of significant variability in the content of micronutrients in plant seeds under the impact of environmental factors (Ermakov, 2018).

Zinc, iron and copper play an important role not only in seed formation and germination processes but also in the protective mechanisms of aluminum-induced oxidative stress responses and the restoration of tissues damaged by toxic effects.

It is known that, after treatment of plants with  $\text{Al}^{3+}$ , the exudation of organic acids can occur either immediately or after a delay. Pretreatment with  $\text{Mg}^{2+}$  was noted to increase citrate secretion within an hour, compared to seedlings without  $\text{Mg}^{2+}$  pretreatment. The activity of  $\text{Mg}^{2+}$  inside the cytoplasm is directly involved in the regulation of ATPase  $\text{H}^+$  activity, sending directing  $\text{H}^+$  from the cytoplasm either to the apoplasm or to the vacuole.

Thus, high physiological activity of the studied elements was observed in many studies, including their participation in the protective mechanisms formed under exposure to toxic aluminum.

There is enough evidence that normal vital functions of a plant organism are possible only if it is fully supplied with micronutrients. With a deficit in one or another chemical element in the soil, plants suffer serious metabolic disorders and may die. A number of micronutrients are coenzymes of many enzymes: iron, copper, molybdenum, manganese, zinc, magnesium, and cobalt. Grain and products of its processing are among important sources of minerals (first of all, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sulfur and iron) absorbed by a human organism with food (Panasenko, 2018).

Despite the abundance of the required chemical elements in most soils, the availability of Fe, Zn and Mn for plants is often limited, especially in limestone soils. Low bioavailability of such trace elements as Fe, Zn or Mn leads to their deficiency

cy in plants and results in significant decreases of crop yields worldwide (Alloway, 2008).

Humans require a variety of micronutrients, including iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn) and other trace elements, and plants are sources of their supply (White, Broadley, 2005; Frossard et al., 2000; Gómez-Galera et al., 2010). Grain is the most important source of calories; meanwhile, the food produced from cereals has low concentrations of micronutrients but is rich in nutrients (such as phytic acid and phenols) that limit the absorption of many minerals in the intestine (Grusak, DellaPenna, 1999; Mendoza, 2002).

Besides, grain is polished or ground when processed. Since the concentration of some trace elements is highest in the bran, the processed grain can lose large amount of minerals during polishing or grinding on the way to the end product (Doesthale et al., 1979; Gregorio et al., 2000). The deficiency in micronutrients is a serious global problem provoked by various nutrition patterns (for example, insufficient consumption of vegetables and fruits, animal and fish products; or low total levels and poor bioavailability of micronutrients in plant foods), which may lead to serious health problems or lethality among consumers, especially women and children (Bhullar, Gruissem, 2013).

Iron deficiency anemia is one of the most common micronutrient deficiencies in the world (WHO 2002). Zinc deficiency affects, on average, one third of the world's population (International Zinc Nutrition Consultative Group et al., 2004). In industrialized countries, the daily intake of Mn in the diet is higher than the estimated daily requirement, and Mn deficiency appears to be a rare effect of malnutrition (Bornhorst et al., 2010).

The problem of micronutrient deficiencies can be solved by enriching crop cultivars or enhancing their nutritional properties through either agronomic intervention or breeding practice (Graham et al., 2001; Kutman et al., 2010; Sprolto et al., 2012). It is possible, however, that such efforts will result in increasing the concentration of micronutrients in leaves but not in seed or grain (Frossard et al., 2000). Similar concentrations of micronutrients (for example, Zn) in fruits or seeds are strongly restricted by the low mobility of trace elements in the phloem. Combined techniques were therefore proposed, joining together breeding and agrochemical approaches: they made it possible to accumulate trace elements from the soil in edible parts of plants (White, Broadley, 2005). There are significant genetic differences in the concentration of micronutrients in the edible parts of most crops. Genetic variability in micronutrient concentrations is often lower in seeds than in leaves. Nevertheless, studying large collections of major cereal crops showed a wide variety of micronutrient concentrations in their kernels (White, Broadley, 2005).

Common oat has been found to possess, along with useful agronomic traits, good grain quality characteristics. High values of both biochemical and agronomic indicators combined in one cultivar have been the goal of oat breeders in recent years. Grain quality indicators in oat are varietal characters: that is why their further improvement is possible. Depending on the cultivar, the content of crude ash in whole grain is reported to range from 2.0 to 5.7%; in naked oat cultivars it is lower (1.6%) than in hulled ones (Korenev et al., 2015).

There is considerable genetic potential for the development of barley and oat cultivars with higher levels of micronutrients (Fe, Zn and Mn). Among the studied barley genotypes, the content of Fe, Zn and Mn exhibited a 3- to 5.5-fold variation. Different oat cultivars showed a 7.0-fold variation

in zinc content and an almost 3-fold variation in manganese content (Bityutskii et al., 2017). The genetic diversity of the studied characteristics in oat cultivars can be significant, with a 2.7- to 10.5-fold difference between the maximum and minimum values, which implies a search for promising sources of a high content of important micronutrients in grain to serve as a basis for the development of new high-quality oat cultivars (Bityutskii et al., 2020). Wide differences between cultivars of the same crop can be effectively used in breeding programs to increase the content of micronutrients in grain (Loskutov, Khlestkina, 2021; Shelenga et al., 2021).

The objective of this work was to identify oat genotypes contrasting in their resistance to aluminum and composition of micronutrients, and find correlations between acid resistance, useful agronomic traits and micronutrients in the grain of oat accessions. The findings can serve as a basis for research and development of methods for studying the acid resistance mechanisms in common oat (*Avena sativa* L.) and using the identified diversity of accessions from the VIR collection as promising source material for breeding.

## Research materials and methods

### Materials

Thirty oat accessions of Russian and French origin from the VIR collection served as the research material. They were represented by cultivars with different levels of breeding improvement: landraces (early 1920s), cultivars developed by primitive breeding (1920–1930s), and modern improved cultivars. It should be mentioned that Russia and France are the countries where the history of oat breeding dates back to the late 19th century, scientific breeding achieved significant progress in the 1920–1930s, and modern improved cultivars are diverse and high-yielding. The selected set included hulled (27 cultivars) and naked (3) oat genotypes. Cv. 'Privet' (VIR-14787, Moscow Province), approved for cultivation in Leningrad Province, was chosen as the reference for the study: it was planted after every 20 plots in the sowing pattern. Research objects are presented in Table 1.

### Field experiment

The selected oat accessions were tested for useful agronomic traits at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR (St. Petersburg, 59°42' N, 30°25' E) in 2017–2019 according to VIR's guidelines for studying and maintaining barley and oat collections (Loskutov et al. 2012). The parameters covered by the study included duration of the germination-heading and germination-harvest periods; plant height, lodging resistance, panicle length, number of spikelets per panicle, 1000 grain weight, yield per plot, field resistance to crown and stem rusts. The soils in the experimental field are sod-podzolic, light loamy, sandy loam, well or moderately cultivated, with a neutral or slightly acidic reaction, low moisture capacity, and good air permeability. The climate in the region is transitional from the maritime climate to a more continental one. The sum of active temperatures is 1600–2000°C. The mean annual precipitation is 500–600 mm, with 65–75% falling in the warm season. Sowing was carried out at the optimal time for the area on 1 m<sup>2</sup> plots. The experiment was performed in two replications.

### Acid resistance assessment technique

Aluminum tolerance (AT) was assessed in 2017 and 2019 for 28 oat varieties (30 grains per each of them). The experiments were carried out in a controlled environment (climate chamber) at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR.

**Table 1. Evaluated oat accessions from the VIR collection**  
**Таблица 1. Изученные образцы овса из коллекции ВИР**

VIR catalogue No.	Cultivar name	Botanical varieties	Origin	Year acquisition
1461	Local	var. <i>aurea</i>	Russia, Penza Prov.	1919
1512	Local	var. <i>aurea</i>	Russia, Saratov Prov.	1919
1539	Local	var. <i>aurea</i>	Russia, Tyumen Prov.	1919
1711	Local	var. <i>ligulata</i>	Russia, Smolensk Prov.	1919
1733	Local	var. <i>brunnea</i>	Russia, Irkutsk Prov.	1920
1670	Local	var. <i>brunnea</i>	France	1919
1722	Local	var. <i>pugnax</i>	France	1919
5336	Local	var. <i>culta</i>	France	1927
5337	Local	var. <i>culta</i>	France	1927
5338	Local	var. <i>mutica</i>	France	1927
2219	Smolenets	var. <i>mutica, aurea</i>	Russia, Arkhangelsk Prov.	1922
2306	Selektsionny 33	var. <i>mutica</i>	Russia, Orel Prov.	1922
2896	Chervonny	var. <i>segetalis</i>	Russia, Kirov Prov.	1922
2919	Shatilovsky	var. <i>mutica</i>	Russia, Tula Prov.	1923
2938	Zhelanny	var. <i>mutica</i>	Russia, Kursk Prov.	1923
2108	Avoine jaune de Ardennes	var. <i>ligulata</i>	France	1921
2122	Avoine nue grosse	var. <i>inermis</i>	France	1921
2113	Avoine d'hiver	var. <i>cinerea</i>	France	1921
7795	Avoine noire inversable	var. <i>montana</i>	France	1929
11145	Trophee Vilmorin	var. <i>aristata</i>	France	1930
14787	Privet	var. <i>aurea</i>	Russia, Moscow Prov.	2000
15276	Borrav 2	var. <i>mutica</i>	Russia, Leningrad Prov.	2010
15439	Gavrosh	var. <i>inermis</i>	Russia, Kemerovo Prov.	2013
15494	Medved	var. <i>mutica</i>	Russia, Kirov Prov.	2014
15495	Vsadnik	var. <i>mutica</i>	Russia, Ulyanovsk Prov.	2014
14516	Negrita	var. <i>brunnea</i>	France	1995
14641	Criniere	var. <i>mutica, aristata</i>	France	1997
14712	Noire de Michamps	var. <i>montana</i>	France	1998
15399	Avoine nue Rennes	var. <i>inermis</i>	France	1995
15401	Chantilly	var. <i>aristata</i>	France	2012

The technique employing the eriochrome cyanine dye for visual assessment of Al resistance in cereals was used in the work. This method was developed by A. Aniol (Aniol, 1991) and modified by the Department of Plant Resistance and Development Physiology at VIR (Kosareva et al., 1995).

The earliest symptoms of toxicity are associated with roots, so inhibition of root growth can be used as a tool to measure Al toxicity.

The method is based on the assessment of mitotic activity restoration in roots after exposure to the Al stress. The area of root tissue damaged by aluminum is stained with Eriochrome cyanine R. This dye is widely used for intraspecific screening and forms a violet-colored complex with aluminum.

The degree of color intensity depends on the Al content in plant tissues. However, this is not a reliable indicator, since the toxicant can accumulate both in the cells of plants sensi-

tive to aluminum and in resistant accessions. Plant resistance to aluminum was assessed by the length of the root tip growth after exposure to the toxicant.

Materials and equipment: climatic chamber with a daytime temperature of 19–21°C and a nighttime temperature of 14–16°C, the length of the light period of 14 hours, and the illumination of 5 klx; thermostat with a temperature of 22–25°C; Petri dishes; filter paper; germinators with cells and mesh bottoms; containers for solutions; distilled water; pH meter; nutrient solution with pH = 4.0, containing  $\text{CaCl}_2 = 177.584 \text{ mg}$ ,  $\text{KNO}_3 = 262.888 \text{ mg}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 203.312 \text{ mg}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 5.28 \text{ mg}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 12.8 \text{ mg}$ ; 1% aqueous solution of Eriochrome cyanine R; salt  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Seeds were placed on moistened filter paper in Petri dishes, and the latter were put into a thermostat at +22°C for 48 hours for germination. After culling, the remaining sprouted high-quality seeds were transferred to germinators with mesh bottoms, which were inserted into plastic containers with a nutrient solution for three days. Then the meshes with seedlings were returned to the same nutrient solution but with added aluminum chloride (concentration 0.25 mM). The pH of the solution was adjusted to 4.2. After 24 hours, the seedlings on the meshes were washed with running water, their roots were quickly dried with filter paper, and the plants were transferred on the meshes to a fresh aluminum-free nutrient solution for 48 hours. Then the roots of the seedlings were stained with a 0.1% solution of Eriochrome cyanine R. For this purpose, the roots were immersed into a dye solution for 10 min, and the solution was slightly stirred. Excess dye at the root tips was washed off with running tapwater, and the roots were dried with filter paper. Seedlings with root meristems damaged by aluminum had intensely colored root tips, while intact ones manifested a colored section followed by a regrown white root tip. The regrown part of the root was measured, and the average root growth after the stressor's impact was calculated. Depending on the length of the root growth after the impact of the Al stressor, the accessions were ranked into groups.

#### Assessment of micronutrient composition

The composition of micronutrients in 30 oat accessions was studied on the harvests of 2017 and 2019. A sample of each accession contained 100 grains.

Micronutrient composition in oat grains was assessed at the Center for Collective Use of St. Petersburg State University.

Ash mineralization was performed using the "wet ashing" technique on a microwave digestion autoclave (CEM, USA). Chemically pure nitric acid and hydrogen peroxide were used. The composition and content of micronutrients were analyzed in the laboratory.

The total content of micronutrients in the tested genotypes was measured using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) with preliminary sample preparation through acid mineralization.

The essence of the method was to register the electromagnetic radiation emitted by excited-state atoms. The excitation source was the Ar plasma initiated by an electric discharge and supported by an HF field. Since the energy of such radiation is individual, a characteristic spectrum was detected for each trace element.

The work was done using the ICPE-9000 device. The data were registered and processed with the ICPEsolution software, and later exported to MC Excel 2016 for further processing.

This method is applicable to liquid samples. Acid mineralization is effective for converting solid samples into a liquid solution.

Sample preparation started with grinding and homogenization. For this purpose, a small fraction of a sample was ground in a coffee grinder (fine grinding). Samples of about 100 mg were selected, and 4 ml of concentrated  $\text{HNO}_3$  and 2 ml of concentrated  $\text{H}_2\text{O}_2$  were added to them as oxidizing agents. As soon as the violent chemical reaction had abated, the samples were decomposed in a microwave oven. Blank samples were prepared to deduct the errors introduced by the reagents. The samples were adjusted to the volume of 30 ml.

Thus, the samples reached homogenization, the matrix effect was averted, and strong dilution was done to avoid errors caused by the difference in rheological characteristics of fluids and self-absorption. As a consequence, aqueous solutions with salts of the studied elements may be used as references.

Reference samples are solutions with a precisely fixed concentration of the chemical elements to be measured. Eleven calibration solutions containing the studied Cu, Zn, Fe and Mg in the range of 0.0001–0 mg/L were prepared from the standard solution (stock solution with a certified concentration) with a concentration of 50.0 mg/L to serve as references. A series of working solutions were prepared from the stock solution with such range of concentrations that harbored the analyzed samples for all the tested chemical elements. Additionally, a "zero reference" was prepared, i.e., a blank sample for reference solutions (an empty flask was filled to the  $\text{HNO}_3$  mark, 1:100), in order to subtract the analytical signal contained in the solvent and auxiliary reagents.

The measured elements and wavelengths corresponding to spectral lines with the lowest detection limit (higher sensitivity):  $\lambda_{\text{Cu}} = 224.700 \text{ nm}$ ;  $\lambda_{\text{Zn}} = 202.548 \text{ nm}$ ;  $\lambda_{\text{Fe}} = 259.940 \text{ nm}$ ;  $\lambda_{\text{Mg}} = 285.213 \text{ nm}$ .

The spectra were registered in the following sequence: "zero standard" → reference samples in the ascending order of their concentrations → analyzed samples. All parallel measurements were performed automatically. To establish the calibration dependence, the software used the following formula describing how the concentration of elements in the solution affects the radiation intensity:

$$C = aI^3 + bI^2 + cI + d,$$

where C is the concentration of a chemical element in the chosen units of measurement; I is the intensity of a spectral line; a, b, c and d are the experimentally determined parameters of the equation.

The resulting volumetric concentration ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) was recalculated into the mass concentration ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) in the oat grain:

$$\omega = \frac{(C_{\text{sample}} - C_{\text{blank}}) \cdot V}{m} \cdot 10^6,$$

where  $C_{\text{sample}}$  is the concentration in a sample;  $C_{\text{blank}}$  is the concentration in the blank sample; V is the volume of a sample; m is the mass of a sample.

#### Data processing technique

Replications were compared using Student's *t*-test for dependent samples. The groups of cultivars differentiated according to their level of breeding improvement and the countries of their origin were compared using the two-way analysis of variance. Fisher's least significant difference (LSD) test was used for a *post hoc* analysis. Pearson correlation coefficient

cients were calculated. The principal component analysis (PCA) was applied to select accessions according to a set of indicators.

### Results and discussion

**Aluminum tolerance.** Student's dependent sample *t*-test confirmed the absence of differences in Al tolerance (AT) among oat genotypes between the 2017 and 2019 years of research ( $p = 0.116$ , for the initial data see Table 3, which suggests that the method used for identifying the genetic diversity of the accessions is reliable and has good convergence of data regardless of the place and year of seed growing. The

analysis that follows is associated with the two-year average indices of root growth (IRG) in centimeters after the Al stress in the studied oat accessions (Table 2, Fig. 1). AT (IRG, cm) varied from 0.4 to 1.9. The reference 'Privet' had AT of 1.7. The two-way ANOVA showed that there was no effect of either the country of origin ( $p = 0.129$ ) or the degree of breeding improvement ( $p = 0.307$ ); however, the effect size of their interaction ( $p = 0.042$ ) was significant (see Fig. 1, Table 3). The *post hoc* analysis using Fisher's LSD test showed that, on average, the group of primitive cultivars from Russia had the lowest AT (0.4–1.5): it was significantly lower than in all other groups. Primitive cultivars from France had the highest average Al resistance (0.5–1.9).

**Table 2. Indices of root growth (IRG) in oat seedlings after the Al stress recorded for two years of reproduction, cm (Pushkin, 2017 and 2019)**

**Таблица 2. Показатели прироста корней проростков овса после Al-стресса образцов двух лет репродукции, см (Пушкин, 2017 г., 2019 г.)**

VIR catalogue No.	Cultivar name	Origin	Level of breeding improvement	(AT) IRG, cm		
				Mean	Min	Max
<b>Highly resistant</b>						
7795	Av. noire Interesable	France	primitive	1.90	1.87	1.94
5336	Local	France	landrace	1.89	1.82	1.98
11145	Trophee Vilmorin	France	primitive	1.86	1.78	1.93
2122	Av. nue Crosse	France	primitive	1.84	1.73	1.95
14712	Noire de Michamps	France	improved	1.78	1.72	1.83
1733	Local	Russia	landrace	1.65	1.57	1.70
14787	Privet	Russia	improved	1.65	1.58	1.74
15495	Vsadnik	Russia	improved	1.60	1.52	1.70
15276	Borrav 2	Russia	improved	1.58	1.55	1.61
1722	Local	France	landrace	1.56	1.52	1.63
2919	Shatilovsky	Russia	primitive	1.54	1.52	1.59
1670	Local	France	landrace	1.53	0.99	1.73
15439	Gavrosh	Russia	improved	1.42	1.26	1.61
<b>Medium resistant</b>						
1461	Local	Russia	landrace	1.33	1.31	1.36
1512	Local	Russia	landrace	1.30	1.30	1.31
1711	Local	Russia	landrace	1.27	1.22	1.30
15399	Av. nue Renne	France	improved	1.25	1.19	1.29
1539	Local	Russia	landrace	1.23	0.98	1.34
5337	Local	France	landrace	1.23	1.14	1.29
14516	Negrita	France	improved	1.13	1.07	1.21
15494	Medved	Russia	improved	1.12	1.04	1.29
5338	Local	France	landrace	1.11	1.05	1.17
15401	Chantilly	France	improved	0.99	0.95	1.02

**Table 2. The end**  
**Таблица 3. Окончание**

VIR catalogue No.	Cultivar name	Origin	Level of breeding improvement	(AT) IRG, cm		
				Mean	Min	Max
<b>Nonresistant</b>						
2306	Seleksionny 33	Russia	primitive	0.78	0.75	0.80
2938	Zhelanny	Russia	primitive	0.67	0.66	0.68
2108	Av. Jeune de Ardenes	France	primitive	0.55	0.39	0.70
2219	Smolenets	Russia	primitive	0.49	0.43	0.56
2896	Chervonny	Russia	primitive	0.39	0.27	0.47
LSD <sub>0.05</sub>				0.19		

The highest Al resistance (1.78–1.90 mm) was recorded for a set of 5 accessions (see Table 2) from France: Avoine Noire Interesable (primitive, k-7795), Avoine Nue Grosse (primitive naked, k-2122), Trophee Vilmorin (primitive, k-11145), Local (landrace, k-5336), and 'Noire de Michamps' (improved, k-14712). The lowest resistance (0.39–0.78) was identified in the group of primitive cultivars: 'Chervonny' (k-2896), 'Smolenets' (k-2219), 'Zhelanny' (k-2938) and 'Seleksionny 33' (k-2306) from Russia, and 'Avoine Jeune de Ardenes' (k-2108) from France.

The observed range of resistance (0.4–1.9 mm) was subdivided into 3 intervals with a step of 0.5: accessions with  $AT < 0.9$  were classified as nonresistant; those with  $0.9 \leq AT < 1.4$ , as medium resistant; and those with  $AT \geq 1.4$ , as highly resistant.

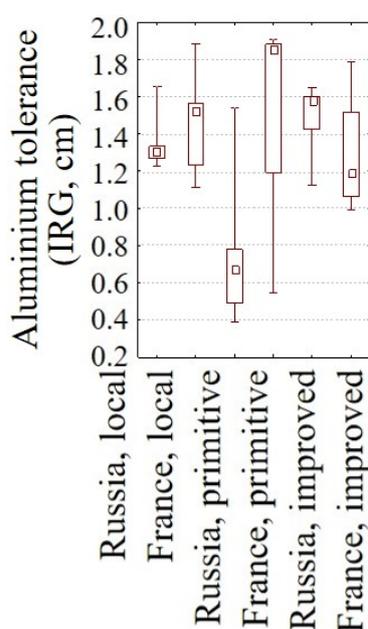
Landraces and modern improved cultivars from the studied set showed a tendency towards medium and high levels of Al resistance; the lowest resistance for landraces was 1.1, and for improved cultivars 1.0. The wide range of variability

among primitive cultivars from both countries shows that cultivars developed by primitive breeding were not the results of targeted improvement for this trait, while landraces and modern improved cultivars were purposefully selected for this indicator.

**Micronutrient composition in the grain of oat genotypes.** The initial data are presented in Table 3. Student's dependent sample *t*-test did not identify significant differences between replications in the content of Cu ( $p = 0.445$ ), Fe ( $p = 0.802$ ), Mg ( $p = 0.502$ ) or Zn ( $p = 0.471$ ), which attests to the reproducibility of the method.

The three-year average values of the Cu, Fe, Mg and Zn content, Al tolerance, and field yield of 30 oat cultivars are shown in Table 3. The analysis of variance proved that there were differences among the cultivars in all the indicators.

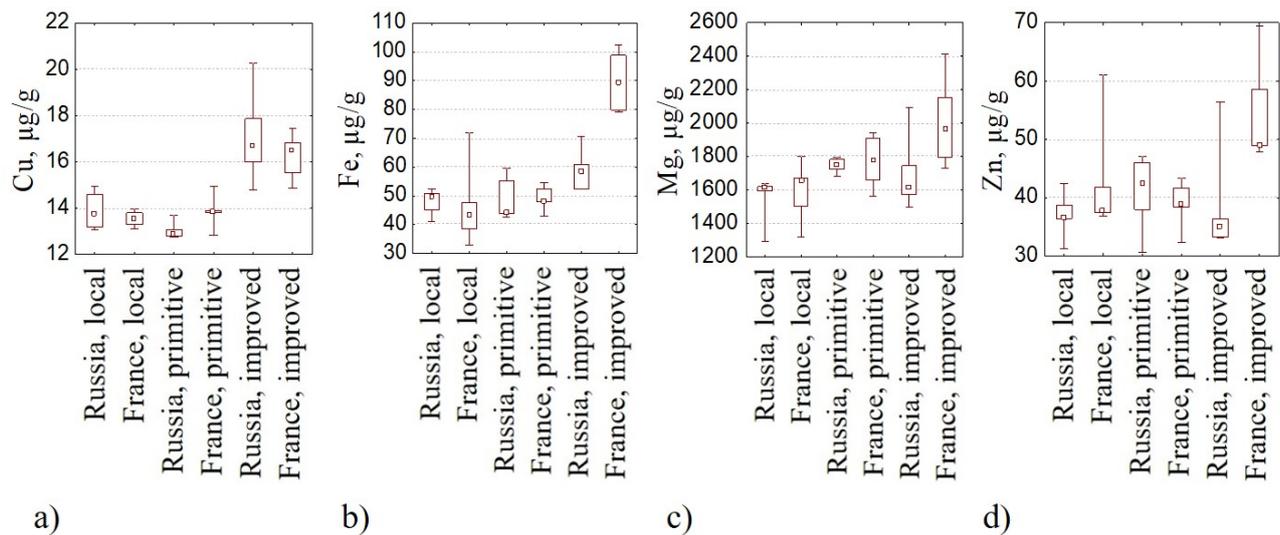
The effect of the country of origin and the level of breeding improvement on the studied indicators was analyzed (Fig. 2).



**Fig. 1. Aluminum tolerance of oat accessions with different levels of breeding improvement from Russia and France**  
**Рис. 1. Алюмотолерантность образцов овса разного уровня селекционной проработки из России и Франции**

**Table 3. Micronutrient content values in the grain of oat cultivars (Pushkin, 2017–2019)****Таблица 3. Характеристика микроэлементного состава зерновок сортов овса (Пушкин, 2017–2019 гг.)**

VIR catalogue No.	Cultivar name	Origin	Content in the grain, µg/g				Yield, g/m <sup>2</sup>	IRG, cm,
			Cu	Fe	Mg	Zn		
<b>Landraces</b>								
1461	Local	Russia	14.6	52.5	1295.4	31.2	341.0	1.33
1512	Local	Russia	14.9	49.6	1616.0	42.5	403.0	1.30
1539	Local	Russia	13.7	50.9	1622.2	36.7	388.0	1.23
1711	Local	Russia	13.2	41.2	1594.8	36.4	402.0	1.27
1733	Local	Russia	13.1	45.2	1641.4	38.7	414.0	1.65
1670	Local	France	13.1	43.8	1319.3	37.5	347.0	1.53
1722	Local	France	13.6	33.0	1659.2	37.8	282.0	1.56
5336	Local	France	13.5	38.7	1502.9	36.8	320.0	1.89
5337	Local	France	14.0	71.9	1801.9	61.1	103.0	1.23
5338	Local	France		47.8	1669.8	41.9	370.0	1.11
<b>Cultivars of primitive breeding</b>								
2219	Smolenets	Russia	13.7	42.5	1748.9	30.6	419.0	0.49
2306	Seleksionny 33	Russia	13.1	59.7	1726.6	47.1	350.0	0.78
2896	Chervonny	Russia	12.8	44.3	1784.1	38.0	408.0	0.39
2919	Shatilovsky	Russia	12.9	43.8	1680.2	42.5	368.0	1.54
2938	Zhelanny	Russia	12.8	55.2	1796.7	46.0	400.0	0.67
2108	Av. Jeune de Ardenne	France	14.9	54.5	1910.3	41.7	342.0	0.55
2113	Av. de Hiver	France	13.8	52.5	1561.3	39.0	122.0	—
2122	Av. nue Crosse	France	13.8	47.9	1944.8	43.4	164.0	1.84
7795	Av. noire Interesable	France	13.9	48.6	1784.0	38.4	416.0	1.90
11145	Trophee Vilmorin	France	12.8	43.1	1660.5	32.3	450.0	1.86
<b>Modern improved cultivars</b>								
14787	Privet	Russia	16.7	58.7	1745.8	35.2	495.0	1.65
15276	Borrav 2	Russia	17.9	52.5	1614.6	33.2	226.0	1.58
15439	Gavrosh	Russia	20.3	70.5	2091.6	56.4	190.0	1.42
15494	Medved	Russia	16.0	60.8	1575.8	36.3	525.0	1.12
15495	Vsadnik	Russia	14.8	52.4	1497.8	33.3	619.0	1.60
14516	Negrita	France	16.5	79.1	1798.4	48.9	538.0	1.13
14641	Criniere	France	14.9	89.0	1728.8	49.1	286.0	—
14712	Noire de Michamps	France	17.4	98.8	1969.4	58.6	519.0	1.78
15399	Av. nue Renne	France	16.8	102.2	2414.5	69.4	282.0	1.25
15401	Chantilly	France	15.6	79.8	2151.8	47.9	683.0	0.99
LSD <sub>0.05</sub>			2.5	31.7	269.1	10.0	139.1	0.19



**Fig. 2.** The range of micronutrient content variability in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from Russia and France

**Рис. 2.** Диапазон изменчивости микроэлементов в зерновке сортов овса различной степени селекционной проработки из России и Франции

**Cu.** The content of copper (see Fig. 2a) in the grain of the studied accessions ranged from 12.8 to 20.3 µg/g. The reference cultivar Privet contained 16.7 µg/g of Cu. The two-way analysis of variance showed that the principal component of breeding improvement ( $p = 0.000$ ) had a significant effect on the Cu content, while the country of origin ( $p = 0.722$ ) and the interaction between the principal components ( $p = 0.227$ ) showed no effect. The highest Cu content was observed in the modern improved cultivars, both Russian and French, without any significant difference between them. The Cu content in improved cultivars was 14.8–20.3 µg/g, which is significantly higher than that in landraces or primitive cultivars. The highest amounts were found in the Russian improved cultivars. The maximum of 20.3 µg/g was recorded for the naked oat cultivar 'Gavrosh' (k-15439).

**Fe.** The iron content (Fig. 2b) in the grain of the studied accessions varied from 33.0 to 102.2 µg/g. The reference Privet had 58.7 µg/g of iron. The Fe content was influenced by both principal components: the country of origin ( $p = 0.006$ ) and breeding improvement level ( $p = 0.000$ ), as well as by their interaction ( $p = 0.001$ ). The highest values (79–102 µg/mg) were recorded in the group of modern improved cultivars from France, including the maximum value of 102.2 µg/g in the naked cultivar 'Avoine Nue Renne' (k-15399). The smallest amount (33.0 µg/g) was observed in the French landrace k-1722.

**Mg.** The magnesium content (see Fig. 2c) in the set of the studied accessions varied from 1295.4 to 2414.5 µg/g. The reference showed 1745.8 µg/g. The level of breeding improvement had a significant effect ( $p = 0.008$ ). Neither the country of origin ( $p = 0.089$ ) nor the interaction of the principal components ( $p = 0.191$ ) had any influence. The group of improved cultivars of French origin demonstrated a high Mg content (1728.8–2414.5 µg/g), significantly exceeding the landraces but not differing reliably from the French cultivars developed by primitive breeding. The highest value (2414.5 µg/g) was registered for the naked cv. 'Avoine Nue Renne'. The smallest amount (1295.4 µg/g) was found in the Russian landrace k-1461.

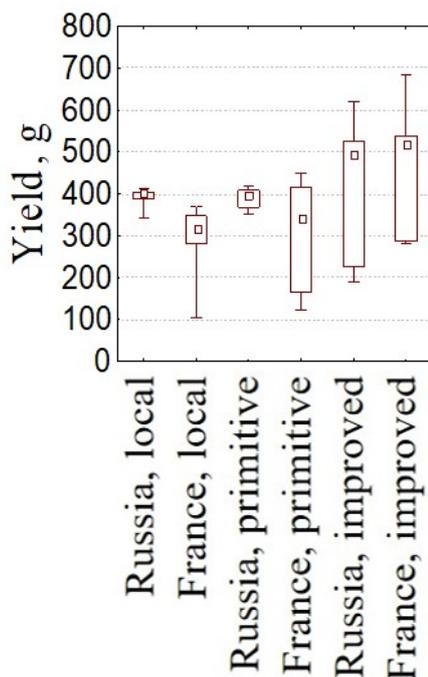
**Zn.** The zinc content (see Fig. 2d) in the grain of the studied accessions ranged from 30.6 to 69.4 µg/g, while the reference Privet contained 35.2 µg/g of Zn. This indicator was af-

ected by the principal component of the geographic origin ( $p = 0.030$ ), while the level of breeding improvement and the interaction between the principal components did not influence the Zn level ( $p = 0.099$  and  $p = 0.057$ , respectively). Accessions from France were characterized by a higher Zn content (on average, 45.6 µg/g) than the Russian genotypes (38.9 µg/g). The group of improved French cultivars showed a high content of Zn (47.9–69.4 µg/g). The highest levels were recorded for two improved cultivars from France, 'Noire de Michamps' and the naked 'Avoine Nue Renne': 58.6 and 69.4 µg/g, respectively, as well as for the French landrace k-5337 (61.1 µg/g). The lowest content was observed in the Russian accessions: 30.6 µg/g in the primitive cultivar 'Smolnets' and 31.6 in the landrace k-1461.

The **yield** varied from 103 to 683 g (Fig. 3). Neither the country of origin ( $p = 0.321$ ) nor the level of breeding improvement ( $p = 0.185$ ) nor their interaction ( $p = 0.353$ ) had any effect on the yield. The highest yields (over 600 g) were observed in the improved cultivars: 'Vsadnik' (k-15495) from Russia (619 g), and 'Chantilly' (k-15401) from France (683 g). The lowest yields (103–226 g) were recorded for French genotypes: landrace k-5337, primitive Avoine de Hiver (k-2113), and primitive naked Avoine Nue Crosse (k-2122).

The **analysis of variance** showed that, among the field characteristics, there was a statistically significant difference between the groups of oat cultivars with different breeding improvement levels in their resistance to crown rust ( $p = 0.019$ ). Modern improved cultivars had the highest average score (4.9) and significantly exceeded the landraces with their lowest score (2.3). Cultivars of primitive breeding had intermediate resistance (3.2). Russian and French cultivars differed in their resistance to crown rust ( $p = 0.042$ ): Russian cultivars scored 2.7, and French ones scored 4.3. The accessions from two countries did not differ in other field characteristics.

**Correlation analysis** showed that micronutrients are closely related to each other (correlation coefficients are 0.42–0.81, all are significant); they practically do not depend on the yield or AT. There was a positive correlation between the content of micronutrients and crown rust resistance: correlation coefficients varied from 0.38 to 0.50. Strong correlations were recorded between the content of Zn and Fe



**Fig. 3.** The yield in the groups of oat accessions with different levels of breeding improvement from Russia and France

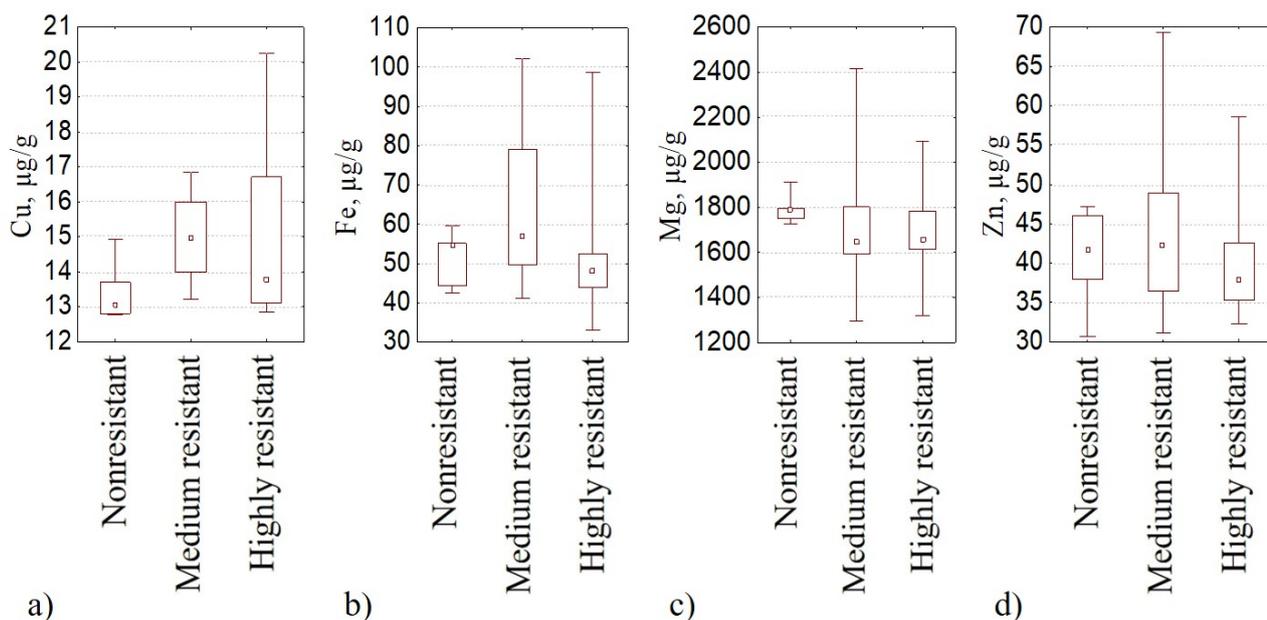
**Рис. 3.** Урожайность групп образцов различной степени селекционной проработки из России и Франции

( $r = 0.81$ ), and between Zn and Mg ( $r = 0.75$ ). Correlations of Al tolerance with all the studied characteristics were insignificant. The yield significantly correlated neither with the content of micronutrients nor with AT. The yield is associated only with agronomic characters: it negatively correlated with the duration of the periods from germination to heading ( $r = -0.62$ ) and from germination to harvest ( $r = -0.48$ ), and positively with lodging resistance ( $r = 0.52$ ) and 1000 grain weight ( $r = 0.42$ ).

**Comparison of micronutrient compositions in the groups contrasting in Al tolerance**

ANOVA (Fig. 4) showed the absence of statistically significant differences in micronutrient composition between the groups with different AT ( $p > 0.220$ ).

The group of nonresistant accessions demonstrated the lowest variability in the content of all micronutrients. The group with medium resistance had an intermediate range of variability in the content of Cu, and the highest variability in other micronutrients. The group of highly resistant accessions was characterized by the greatest variability in the content of Cu and Fe, and in the rest of the micronutrients it had an intermediate variability span.



**Fig. 4.** Micronutrient composition in the groups with different aluminum tolerance

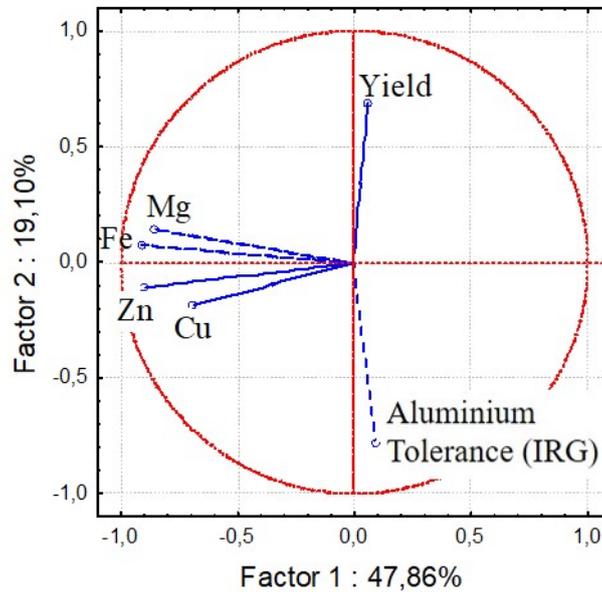
**Рис. 4.** Микроэлементный состав групп с разной алюмотолерантностью

**Polymorphism of oat accessions assessed for a set of characters by means of PCA**

PCA was carried out for 6 indicators: the content of 4 micronutrients, yield, and aluminum tolerance. According to the scree plot criterion, it is sufficient to leave two principal components explaining 67.0% of the variance. The first principal

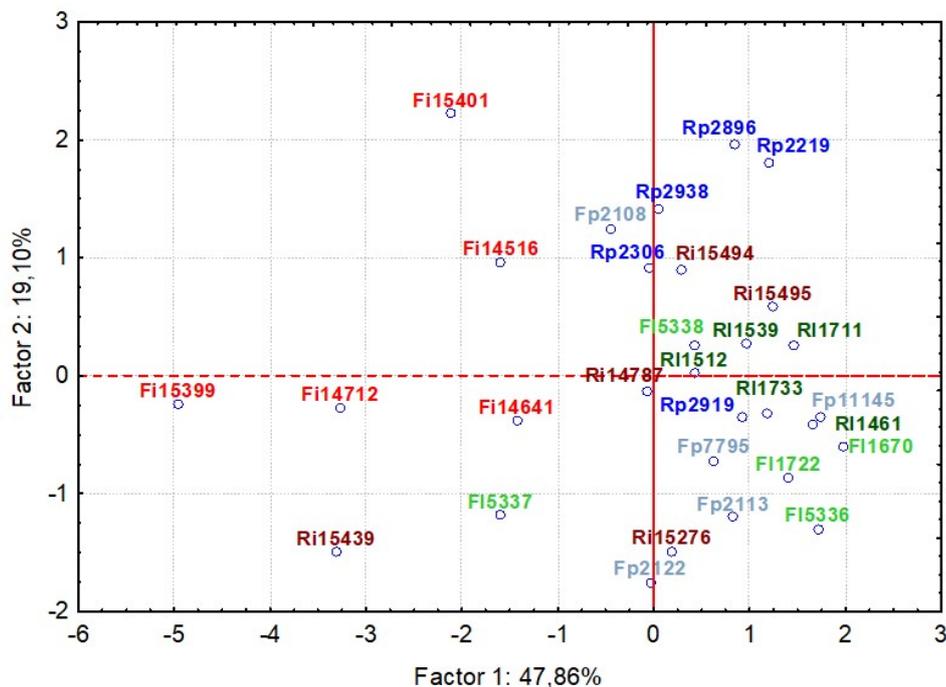
component (PC1 – 47.9%) is associated with the content of 4 trace elements, and the second (PC2 – 19.1%) with the yield and AT (Fig. 5).

As far as PC1 is concerned, the set of micronutrients demonstrates higher amounts than the average level in improved cultivars from France (Fig. 6): the naked ‘Avoine Nue Renne’,



**Fig. 5.** Plot coordinates of variables in the space of the first two principal components

**Рис. 5.** Координаты переменных в пространстве первых двух факторов



**Fig. 6.** Oat accessions with different levels of breeding improvement from Russia and France in the space of the first two factors according to PCA. Designations: **RI** – Russia, landraces (dark-green), **FI** – France, landraces (green), **Rp** – Russia, primitive (blue), **Fp** – France, primitive (light-blue), **Ri** – Russia, improved (brown), **Fi** – France, improved (red).

Designations also contain accession numbers according to the VIR catalogue

**Рис. 6.** Образцов различной селекционной проработки из России и Франции в пространстве первых двух факторов. Обозначения: **RI** – Россия, местные (темно-зеленый цвет), **FI** – Франция, местные (зеленый), **Rp** – Россия, примитивные (синий), **Fp** – Франция, примитивные (голубой), **Ri** – Россия, селекционные (коричневый цвет), **Fi** – Франция, селекционные сорта (красный). Обозначение содержит также номер сорта по каталогу ВИР

'Chantilly', 'Negrita' (k-14516), and 'Noire de Michamps', plus the Russian improved naked cultivar 'Gavrosh'. Among them, 'Chantilly' was distinguished for its yield, and the naked 'Gavrosh' for its Al tolerance.

### Conclusion

Oat cultivars with different breeding improvement levels demonstrated significant differences in the content of micronutrients and aluminum tolerance. The case study of Russian and French accessions showed that oat breeding trends differed in the requirements to these indicators across different countries and periods of their plant breeding history.

The content of Cu, Fe and Mg in grain exhibits statistically significant differences between cultivars with different levels of breeding improvement. The highest content of micronutrients is observed in modern improved cultivars, while the lowest amounts are characteristic of landraces and cultivars developed by primitive breeding.

The content of Fe and Zn was influenced by the geographic origin of genotypes; on average, accessions from France were characterized by higher concentrations of these trace elements.

Among the studied accessions, landraces and modern improved cultivars showed a tendency towards medium or high Al tolerance, the group of primitive cultivars from Russia had the lowest Al tolerance, while primitive cultivars from France demonstrated the highest average resistance (0.5–1.9).

The concentrations of different micronutrients positively correlated with each other, which may be associated with the targeted breeding of these cultivars for functional nutrition. Strong correlations were recorded between the contents of Zn and Fe ( $r = 0.81$ ), and between Zn and Mg ( $r = 0.75$ ). There was a positive correlation between the content of micronutrients and the resistance to crown rust: the correlation coefficients are statistically significant (0.38 to 0.50).

High content of the studied set of micronutrients was registered in such improved cultivars from France as the naked 'Avoine Nue Renne' (k-15399), 'Chantilly' (k-15401), 'Negrita' (k-14516) and 'Noire de Michamps' (k-14712), plus the Russian improved naked cultivar 'Gavrosh' (k-15439). Among them, 'Chantilly' was distinguished for its yield, and the naked 'Gavrosh' for its high tolerance to aluminum.

### References / Литература

Alloway B.J. Micronutrient deficiencies in global crop production. Heidelberg: Springer; 2008.

Aniol A. Metody określania tolerancji na toksyczne działanie jonów glinu. *Bulletin of Plant Breeding and Acclimatization Institute*. 1991;(143):7-11. [in Polish]

Batalova G.A. Oats. Cultivation technology and breeding (Oves. Tekhnologiya vozdevlyvaniya i selektsiya). Kirov; 2000. [in Russian] (Баталова Г.А. Овес. Технология возделывания и селекция. Киров; 2000).

Bhullar N.K. Gruissem W. Nutritional enhancement of rice for human health: The contribution of biotechnology. *Biotechnology Advances*. 2013;31(1):50-57. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2012.02.001

Bitvutskii N., Loskutov I., Yakkonen K., Konarev A., Shelenga T., Khoreva V. et al. Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil contents and fatty acid composition in whole grains. *Cereal Research Communications*. 2020;48(1):87-94. DOI: 10.1007/s42976-019-00002-2

Bitvutskii N., Yakkonen K., Loskutov I. Content of iron, zinc and manganese in grains of *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa* cultivars registered in Russia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(8):1955-1961. DOI: 10.1007/s10722-016-0486-9

Bornhorst J., Ebert F., Hartwig A., Michalke B., Schwerdtle T. Manganese inhibits poly(ADP-ribosyl)ation in human cells: a possible mechanism behind manganese-induced toxicity? *Journal of Environmental Monitoring*. 2010;(11):2062-2069. DOI: 10.1039/C0EM00252F

Doesthale Y.G., Devara S., Rao S., Belavady B.. Effect of milling on mineral and trace element composition of raw and par-boiled rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1979;30(1):40-46. DOI: 10.1002/jfsa.2740300108

Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safanov V.A. Biogeochemical indication of micronutrients (Biogeochemicheskaya indikatsiya mikroelementov). Moscow: Russian Academy of Sciences; 2018. [in Russian] (Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафанов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов. Москва: РАН; 2018).

Frossard E., Bucher M., Mächler F., Mozafar A., Hurrel R. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000;80(7):861-879. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<861:AID-JSFA601>3.0.CO;2-P

Gómez-Galera S., Rojas E., Sudhakar D., Zhu C., Pelacho A.M., Capell T. et al. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. *Transgenic Research*. 2010;19(2):165-180. DOI: 10.1007/s11248-009-9311-y

Graham R.D., Welch R.M., Bouis H.E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*. 2001;70:77-142. DOI: 10.1016/S0065-2113(01)70004-1

Gregorio G.B., Senadhira D., Htut H., Graham R.D. Breeding for trace mineral density in rice. *Food and Nutrition Bulletin*. 2000;21(4):382-386. DOI: 10.1177/156482650002100407

Grusak M.A., DellaPenna D. Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1999;50:133-161. DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.133

Gupta N., Gaurav S.S., Kumar A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a review. *American Journal of Plant Sciences*. 2013;4(12):21-37. DOI: 10.4236/ajps.2013.412A3004

International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG); Brown K.H., Rivera J.A., Bhutta Z., Gibson R.S., King J.C., Lönnerdal B. et al. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) technical document #1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*. 2004; 25(1 Suppl 2):S99-203.

Korenev V.B., Belous I.N., Yagovenko G.L., Vorobieva L.A. Effectiveness of fertilizer's systems in the crop rotation at cultivation oats for grain. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015;9(139):13-18. [in Russian] (Коренев В.Б., Белоус И.Н., Яговенко Г.Л., Воробьева Л.А. Эффективность систем удобрения в севообороте при возделывании овса на зерно. *Аграрный вестник Урала*. 2015;9(139):13-18).

Kosareva I.A., Davydova G.V., Semenova E.R. Methodological guidelines for acid resistance assessment in cereal crops (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu kislotoustoychivosti zernovykh kultur). St. Petersburg: VIR; 1995 [in Russian] (Методические указания по определению кислотоустойчивости зерновых культур. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).

- Kosareva I.A., Melnikova S.V., Loskutov I.G. Aluminum tolerance in Russian breeding oat varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;171:114-116. [in Russian] (Косарева И.А., Мельникова С.В., Лоскутов И.Г. Аллюмоустойчивость сортов овса отечественной селекции). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;171:114-116).
- Kutman U.B., Yildiz B., Cakmak I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. *Plant and Soil*. 2011;342:149-164. DOI: 10.1007/s11104-010-0679-5
- Loskutov I.G. Oat (*Avena L.*) distribution, taxonomy, evolution and breeding value. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: 10.3390/plants10010086
- Loskutov I.G., Kosareva I.A., Melnikova S.V., Blinova E.V., Bagmet L.V. Genetic diversity in tolerance of wild *Avena* species to aluminium (Al). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(5):955-965. DOI: 10.1007/s10722-016-0417-9
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena L.* In: C. Kole (ed.). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Heidelberg; Berlin: Springer; 2011. p.109-184. DOI: 10.1007/978-3-642-14228-4\_3
- Mendoza C. Effect of genetically modified low phytic acid plants on mineral absorption. *International Journal of Food Science and Technology*. 2002;37(7):759-767. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2002.00624.x
- Nichol B.E., Oliveira L.A., Glass A.D.M., Siddiqi M.Y. The effects of aluminum on the influx of calcium, potassium, ammonium, nitrate, and phosphate in an aluminum-sensitive cultivar of barley (*Hordeum vulgare L.*). *Plant Physiology*. 1993;101(4):1263-1266. DOI: 10.1104/pp.101.4.1263
- Olivares E., Peña E., Marcano E., Giannangeli J.M., Aguiar G., Benítez M. et al. Aluminum accumulation and its relationship with mineral plant nutrients in 12 pteridophytes from Venezuela. *Environmental and Experimental Botany*. 2009;65(1):132-141. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.04.002
- Panasenko L.M., Kartseva T.V., Nefedova Zh.V., Zadorina-Khutornaya E.C. Role of the main mineral substances in the child nutrition. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2018;63(1):122-127 [in Russian] (Панасенко Л.М., Карцева Т.В., Нефедова Ж.В., Задорина-Хуторная Е.С. Роль основных минеральных веществ в питании детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2018; 63(1):122-127).
- Pérez-Clemente R.M., Vives V., Zandalinas S.I., López-Clement M.F., Muñoz V., Gómez-Cadenas A. Biotechnological approaches to study plant responses to stress. *BioMed Research International*. 2013;2013:654120. DOI: 10.1155/2013/654120
- Pukhal'skaya N.V. Debatable problems of aluminum toxicity. *Agricultural Chemistry*. 2005;(8):70-82. [in Russian] (Пухальская Н.В. Проблемные вопросы алюминиевой токсичности. *Агрехимия*. 2005;(8):70-82).
- Rebrov V.G., Gromova O.A. Vitamins, macro- and micronutrients (Vitaminy, makro- i mikroelementy). Moscow: Geotar-Media; 2008. [in Russian] (Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. Москва: Геотар-медиа; 2008).
- Shelenga T.V., Kerv Yu.A., Perchuk I.N., Solovyeva A.E., Khlestkina E.K., Loskutov I.G. et al. The potential of small grains crops in enhancing biofortification breeding strategies for human health benefit. *Agronomy*. 2021;11(7):1420. DOI: 10.3390/agronomy11071420
- Silva S., Pinto-Carnide O., Martins-Lopes P., Matos M., Guedes-Pinto H., Santos C. Differential aluminium changes on nutrient accumulation and root differentiation in an Al sensitive vs. tolerant wheat. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;68(1):91-98. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2009.10.005
- Sperotto R.A., Vasconcelos M.W., Grusak M.A., Fett J.P. Effects of different Fe supplies on mineral partitioning and remobilization during the reproductive development of rice (*Oryza sativa L.*). *Rice*. 2012;5(1):27. DOI: 10.1186/1939-8433-5-27
- White P.J., Broadley M.R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*. 2005;10(12):586-593. DOI: 10.1016/j.tplants.2005.10.001

### Information about the authors

**Igor G. Loskutov**, Dr. Sci. (Biology), Assoc. Prof., Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 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>

**Veronika Butris**, Bachelor, Institute of Geosciences, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, veronikabutris@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9694-8933>

**Irina A. Kosareva**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.kosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9654-7235>

**Elena V. Blinova**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.blinova@vir.nw.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

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

**Информация об авторах**

**Игорь Градиславович Лоскутов**, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 19000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. 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>

**Вероника Бутрис**, бакалавр, Институт наук о земле, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, veronikabutris@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9694-8933>

**Ирина Александровна Косарева**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 19000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.kosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9654-7235>

**Елена Владимировна Блинова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 19000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.blinova@vir.nw.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

**Любовь Юрьевна Новикова**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 19000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 18.02.2022; одобрена после рецензирования 30.04.2022; принята к публикации 06.09.2022.  
The article was submitted on 18.02.2022; approved after reviewing on 30.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.358:631.528.62:57.088.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122



## Создание исходного материала для селекции гороха методом химического мутагенеза и оценка его генетического разнообразия с использованием SSR-маркеров

К. П. Гайнуллина<sup>1,2</sup>, Б. Р. Кулуев<sup>1</sup>, Ф. А. Давлетов<sup>2</sup><sup>1</sup>Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Институт биохимии и генетики, Уфа, Россия<sup>2</sup>Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Карина Петровна Гайнуллина, karina28021985@yandex.ru

**Актуальность.** Горох посевной (*Pisum sativum* L.) является ценной зернобобовой культурой мирового значения. Основной проблемой современной селекции культурных растений, в том числе гороха, стало снижение генетического разнообразия. Один из способов повышения генетического полиморфизма – применение химически индуцированного мутагенеза. Азид натрия ( $\text{NaN}_3$ ) является высокоэффективным химическим мутагеном, который с успехом применяется в мутационной селекции для повышения продуктивности культурных растений и приобретения ими новых признаков, в связи с этим он был использован нами для получения нового селекционного материала гороха.

**Материалы и методы.** Проведены опыты по получению мутантов гороха сорта 'Памяти Хангильдина' с помощью азид натрия в концентрации 1, 5 и 10 мМ и времени воздействия 3 и 9 ч. Молекулярно-генетический полиморфизм растений  $M_2$  и исходного сорта оценивали с использованием 10 SSR-маркеров из геномной библиотеки микросателлитов (Agrogene®, Франция).

**Результаты.** Установлены оптимальные концентрации азид натрия и продолжительность обработки им семян: 1–5 мМ в течение 3 ч. Получено 16 мутантных популяций, у 10 из которых было обнаружено изменение типа листовой пластины. Анализ элементов продуктивности выявил достоверное превосходство ( $p < 0,05$ ) над исходным сортом 'Памяти Хангильдина' мутантных популяций № 1, № 5, № 9, № 10, № 15, № 16 по количеству семян в бобе, № 9, № 16 – по массе 1000 семян, № 16 – по массе семян с растения. Построенная на основе данных SSR-анализа дендрограмма отражает степень различий между популяциями растений гороха  $M_2$  и исходным сортом 'Памяти Хангильдина'.

**Заключение.** Полученные мутантные популяции планируется использовать в селекции гороха как источники высокой озерненности бобов, семенной продуктивности, массы семян с растения и крупности семян. Микросателлитный анализ, выполненный по 10 SSR-маркерам, выявил различия между мутантными популяциями  $M_2$  на генетическом уровне и позволил их паспортизировать.

**Ключевые слова:** *Pisum sativum*, азид натрия, семенная продуктивность, микросателлитные маркеры, генетический полиморфизм

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (региональный конкурс) № 22-14-20049 (соглашение № 1 от 06.06.2022 г.).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Гайнуллина К.П., Кулуев Б.Р., Давлетов Ф.А. Создание исходного материала для селекции гороха методом химического мутагенеза и оценка его генетического разнообразия с использованием SSR-маркеров. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):111-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122

## GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122

**Development of source material for pea breeding through chemical mutagenesis and evaluation of its genetic diversity using SSR markers**Karina P. Gainullina<sup>1,2</sup>, Bulat R. Kuluev<sup>1</sup>, Firzinat A. Davletov<sup>2</sup><sup>1</sup> Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa, Russia<sup>2</sup> Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Bashkir Research Institute of Agriculture, Ufa, Russia**Corresponding author:** Karina P. Gainullina, karina28021985@yandex.ru

**Background.** Pea (*Pisum sativum* L.) is a valuable leguminous crop of worldwide importance. The main problem of modern plant breeding is a decrease in the genetic diversity of crops, including pea. One of the ways to increase genetic polymorphism is the use of chemically induced mutagenesis. Sodium azide (NaN<sub>3</sub>) is a highly effective chemical mutagen successfully used in mutation breeding to increase the productivity of cultivated plants and enrich them with new useful traits. We used it to obtain new pea breeding material.

**Materials and methods.** Experiments were carried out to obtain pea mutants using sodium azide at the concentrations of 1, 5 and 10 mM and the exposure time of 3 and 9 h. Molecular genetic polymorphism of the M<sub>2</sub> plants and the original cultivar was assessed using 10 SSR markers from the microsatellite genomic library (AgroGene®, France).

**Results.** Optimal concentrations of sodium azide and the duration of seed treatment with it were identified: 1–5 mM for 3 h. Sixteen mutant populations were obtained; in ten of them a change in the leaf type was found. An analysis of the yield structure components revealed a significant superiority ( $p < 0.05$ ) over the initial cultivar 'Pamyati Khangildina' in the mutant populations No. 1, No. 5, No. 9, No. 10, No. 15 and No. 16 in the number of seeds per pod, No. 9 and No. 16 in the weight of 1000 seeds, and No. 16 in the weight of seeds per plant. A dendrogram constructed on the basis of the SSR analysis data showed the degree of differences between the M<sub>2</sub> populations of pea plants and the initial cultivar 'Pamyati Khangildina'.

**Conclusion.** The obtained mutant populations are planned to be used in pea breeding as sources of high seed numbers in pods, seed yield, seed weight per plant, and large seed size. A microsatellite analysis with 10 SSR markers revealed differences among the M<sub>2</sub> mutant populations at the genetic level and made it possible to identify them.

**Keywords:** *Pisum sativum*, sodium azide, seed yield, microsatellite markers, genetic polymorphism

**Acknowledgments:** the work was carried out with financial support from the grant of the Russian Science Foundation (regional competition): No. 22-14-20049 (Agreement No. 1 of 06.06.2022).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Gainullina K.P., Kuluev B.R., Davletov F.A. Development of source material for pea breeding through chemical mutagenesis and evaluation of its genetic diversity using SSR markers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):111-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122

## Введение

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) – основная зернобобовая культура в Российской Федерации и широко распространенная в странах с умеренным климатом (Makasheva, 1973; Gainullina et al., 2020). Этот вид является важным источником растительного белка и используется в различных отраслях пищевой промышленности и производстве кормов для животных. Горох способен давать высокие урожаи зерна даже в зоне рискованного земледелия, к которой относится большая часть территории нашей страны. Создание новых высокопродуктивных сортов гороха, наиболее полно реализующих почвенно-климатический потенциал и отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства, является актуальной задачей современной селекции. Одна из главных проблем, с которой сталкивается современная селекция, – снижение генетического разнообразия исходного материала (Lee, 1998; Dzyubenko, 2012).

Генетическая изменчивость играет основополагающую роль в селекции растений, размножающихся вегетативным и половым путем (Divanli-Türkan et al., 2006; Jain, 2012). Источником полиморфизма могут быть мутации, возникающие как в естественных условиях, так и в результате искусственного мутагенеза с использованием физических, биологических или химических мутагенов. С помощью индуцированного мутагенеза к настоящему времени было создано более 3000 мутантных сортов культурных растений с улучшенными хозяйственно ценными признаками (Broertjes, van Harten, 1991; Kharkwal, Shu, 2009; Jain, Suprasanna, 2011; Suprasanna et al., 2015). Их широкое внедрение в производство способствовало повышению уровня продовольственной безопасности (Suprasanna et al., 2015).

Химические мутагены вызывают, в основном с высокой частотой, точечные мутации. Обычно для химического мутагенеза применяются диметилсульфат, диэтилсульфат, этилметансульфонат и азид натрия (Maluszynski et al., 2009). Установлено, что воздействие азид натрия приводит к заменам пар оснований, чаще всего GC→AT (Till et al., 2007). Также в результате обработки азидом натрия могут происходить хромосомные aberrации, которые приводят к изменению длины нуклеотидной последовательности (Wannajindaporn et al., 2016).

В мутационной селекции для генетического анализа широко применяются ДНК-маркеры. Они дают возможность отслеживать родословные мутантов, оценивать их генетический полиморфизм. Прямой отбор мутантов на основе ДНК-маркеров позволяет обойти ограничения, связанные с использованием изменений морфологических признаков в качестве маркеров мутаций (влияние факторов внешней среды, плейотропный эффект генов, отсутствие фенотипического проявления мутации), повышает эффективность, а также снижает трудоемкость и время отбора (Wannajindaporn et al., 2016). Так, успешное применение высокополиморфных кодоминантных микросателлитных маркеров (SSR – simple sequence repeat) для идентификации мутантов, полученных в результате воздействия азид натрия, и оценки их генетического разнообразия подтверждается исследованиями A. Şen и F. Sarsu (2018). SSR-маркеры характеризуются равномерным распределением в растительных геномах, и их локализация не ограничивается некодирующими областями: многие из них обнаруживаются в кодирующих последовательностях генов, что позволяет разрабатывать так называемые «генные» SSR-маркеры на осно-

ве доступных EST (expressed sequence tag) (Varshney et al., 2005).

Целью исследования стало создание селекционного материала гороха путем химически индуцированного мутагенеза с помощью азид натрия с последующей оценкой полиморфизма мутантных популяций методом SSR-анализа.

## Материалы и методы

Исследования проводились в 2019–2021 гг. В качестве материала для опытов по химически индуцированному мутагенезу были использованы семена гороха сорта 'Памяти Хангильдина', созданного селекционерами Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Уфимского федерального исследовательского центра РАН (Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН). Сорт гороха 'Памяти Хангильдина', характеризующийся полукарликовым стеблем, усатым типом листа, неосыпающимися семенами, высокой урожайностью, широкими адаптационными способностями, с 2012 г. рекомендован к возделыванию в Волго-Вятском, Средневолжском и Уральском регионах РФ (Davletov, 2015).

Согласно литературным данным, концентрация азид натрия ( $\text{NaN}_3$ ) и время обработки семян, применяемые для химически индуцированного мутагенеза гороха, различаются (Kleinhofs et al., 1978; Kumar, 1988; Divanli-Türkan et al., 2006). В наших опытах сухие, неповрежденные семена гороха сорта 'Памяти Хангильдина' по 100 шт. помещали в стеклянные колбы и инкубировали в 100 мл фосфатного буфера (pH = 3) с добавлением азид натрия в концентрации 1, 5 и 10 мМ и без него при комнатной температуре. Время обработки составляло 3 и 9 часов (ч). По истечении времени обработки семена промывали проточной водопроводной водой в течение 20 мин и дистиллированной водой – 5 мин, после чего высевали на опытные делянки. На контрольную делянку были высеяны необработанные сухие семена гороха сорта 'Памяти Хангильдина' (100 шт.). Посев проводился 30 апреля 2019 г. Площадь питания растений составляла 20 × 5 см.

Семена, полученные от растений гороха  $M_1$ , в 2020 г. были высеяны 18 мая и дали начало 16 мутантным популяциям  $M_2$ . В период вегетации в 2019 и 2020 г. проводили фенологические наблюдения. Отмечали даты всходов, цветения и полной спелости. За начало каждой фазы принимали день, когда в нее вступают 10–15% растений, а за полное наступление фазы – 75% растений. На основании полученных данных определяли продолжительность полного вегетационного и межфазных периодов. После уборки и просушки растения анализировали по морфологическим и хозяйственно ценным признакам.

SSR-анализ мутантных популяций гороха  $M_2$  выполнялся методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) по 10 микросателлитным маркерам из геномной библиотеки микросателлитов Agrogene® (Moissy Gramayel, Франция), характеристика которых представлена в таблице 1.

Для выделения ДНК использовали по 50 мг высушенных листьев. Для выявления возможного внутрисортного и внутривидового полиморфизма анализировали по 3–5 растений каждой из исследуемых мутантных популяций гороха  $M_2$  и 5 растений сорта 'Памяти Хангильдина'. ДНК выделяли с помощью набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва). ПЦР проводили в амплификаторе T-100 (Bio-Rad Laboratories, США). Конечный объем реакционной смеси составлял 20 мкл и содержал 1 мкл раствора тотальной геномной

**Таблица 1. SSR-маркеры, использованные для молекулярно-генетического анализа мутантных популяций гороха M<sub>2</sub>****Table 1. SSR markers used for the molecular genetic analysis of the M<sub>2</sub> pea mutant populations**

SSR-маркер / SSR marker	Последовательность праймера от 5' к 3' / Primer sequence from 5' to 3'	Температура отжига праймеров (T <sub>m</sub> ), °C / Annealing temperature of primers (T <sub>m</sub> ), °C	Число аллелей / Number of alleles	Размер ампликона, пар нуклеотидов / Amplicon size, base pairs
AA5	F: TGCCAATCCTGAGGTATTAACACC R: CATTTTTCAGTTGCAATTTTCGT	48	7	235
AA200	F: ACCGAAGAGCATTTTTCCTAAG R: TCCATCAGTTCCCTAATTCATC	48	4	220
AA355	F: AGAAAAATTCTAGCATGATACTG R: GGAAATATAACCTCAATAACACA	48	7	180
AB28	F: CCTGAGTCATCACATAGGAGAT R: GCAGAAGTATTTGACTTGATGGAA	44	4	377
AB53	F: CGTCGTTGTTGCCGGTAG R: AAACACGTCATCTCGACCTGC	53	7	120
AB71	F: CCAACCATTTGTGAGTTCCTT R: TTCGTCGAACCACGAGAATAGA	53	5	145
AD61	F: CTCATTCAATGATGATAATCCTA R: ATGAGGTACTTGTGTGAGATAAA	53	7	138
AD147	F: AGCCCAAGTTTCTTCTGAATCC R: AAATTCGCAGAGCGTTGTAC	48	7	330
D21	F: TATTCTCCTCCAAAATTTTCCTT R: GTCAAAATTAGCCAAAATTCCTC	51	6	200
Hex42	F: CTAAGAGCCCAACACCAACA R: GTGGGGATAAGGGGAGAGAG	48	5	180

ДНК, 7,5 мкл раствора Dream Taq™ PCR Master Mix (Thermo Fisher Scientific, Литва), по 2 мкл каждого из пары праймеров («Евроген», Россия) и 7,5 мкл стерильной деионизированной воды. Программа амплификации включала следующие этапы: начальная денатурация при 94°C – 4 мин; 35 циклов: денатурация при 94°C – 30 с, отжиг праймеров при T<sub>m</sub> ± 2°C – 30 с, элонгация при 72°C – 1 мин, конечная элонгация при 72°C – 10 мин. Температуру плавления праймеров (T<sub>m</sub>) определяли с помощью программы PrimerSelect (DNASar, USA).

Продукты амплификации разделяли методом вертикального электрофореза в камере VE-20 («Хеликон», Россия) в 10-процентном полиакриламидном геле в течение 4–6 ч при напряжении 400 В. Визуализацию и документирование результатов электрофореза осуществляли при помощи гель-документирующей системы Gel Doc™ EZ Imager (Bio-Rad, США).

Для статистической обработки данных, полученных в результате структурного анализа растений гороха M<sub>2</sub>, использовали программу MS Excel 2010, достоверность различий определяли с помощью U-критерия Манна-Уитни. Информативность изученных SSR-маркеров оценивали по величине PIC (Polymorphism Information Content). Кластерный анализ проводили методом ближайшего соседа (одиночной связи) путем вычисления матрицы нормированных евклидовых расстояний с помощью программы StatSoft® STATISTICA 13.3.

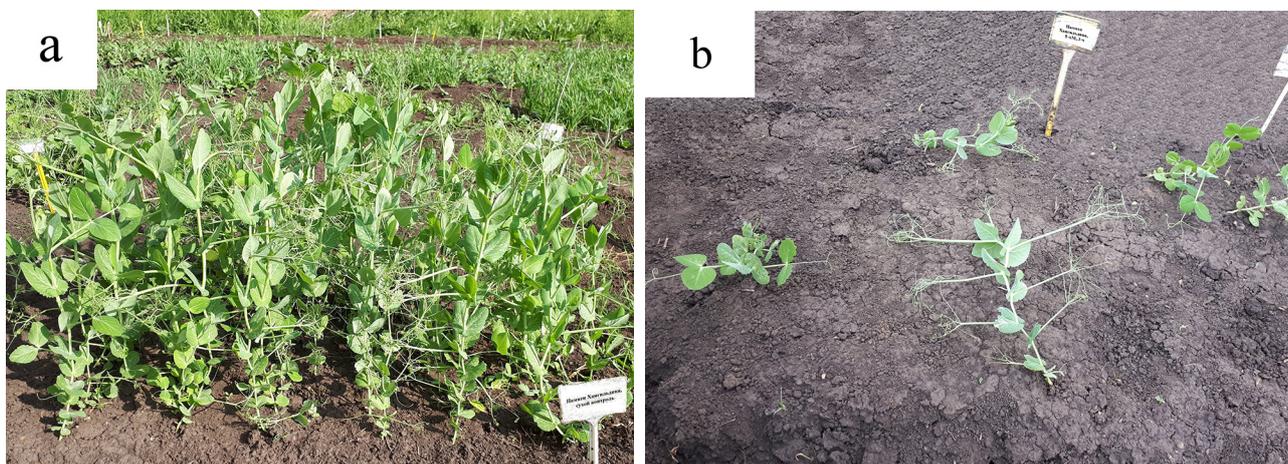
## Результаты

В 2019 г. изучили воздействие различных концентраций азид натрия и продолжительности обработки на прорастание семян гороха сорта 'Памяти Хангильдина'. Появление всходов было отмечено на десятый день после посева на контрольной делянке и на опытных делянках, куда были высеяны семена, инкубированные в фосфатном буфере без добавления азид натрия в течение 3 и 9 ч и в фосфатном буфере с концентрацией азид натрия 1 мМ в течение 3 ч. Наиболее ранними и дружными были всходы на контрольной делянке, в то время как на опытных делянках с вариантами обработки семян азидом натрия в концентрации 5 и 10 мМ в течение 3 ч, а также 1 мМ в течение 9 ч появление всходов полностью завершилось лишь через 21 день после посева. Данные о всхожести семян гороха на контрольной и опытных делянках приведены в таблице 2.

Во время вегетации гороха M<sub>1</sub> проводились фенологические наблюдения и описание морфологических и хозяйственно ценных признаков растений. Было отмечено замедление темпов роста, появление карликовых форм, листочковых форм, а также растений с сильно изогнутыми, зигзагообразными стеблями (рис. 1). После созревания семена с каждого растения M<sub>1</sub> были собраны отдельно. Всего с растений M<sub>1</sub>, полученных в результате инкубирования семян гороха сорта 'Памяти Хангильдина'

**Таблица 2.** Всхожесть семян гороха сорта 'Памяти Хангильдина' в зависимости от варианта обработки мутагеном в 2019 г.**Table 2.** Pea seed germination rates of cv. 'Pamyati Khangildina' depending on the version of mutagen treatment in 2019

Вариант обработки семян мутагеном / Version of seed mutagen treatment	Всхожесть семян, % / Seed germination rate, %
Контроль (без обработки) / Control (without treatment)	85
Фосфатный буфер, 3 ч / Phosphate buffer, 3 h	25
Фосфатный буфер, 9 ч / Phosphate buffer, 9 h	23
Азид натрия (1 мМ), 3 ч / Sodium azide (1 mM), 3 h	7
Азид натрия (5 мМ), 3 ч / Sodium azide (5 mM), 3 h	5
Азид натрия (10 мМ), 3 ч / Sodium azide (10 mM), 3 h	1
Азид натрия (1 мМ), 9 ч / Sodium azide (1 mM), 9 h	3
Азид натрия (5 мМ), 9 ч / Sodium azide (5 mM), 9 h	0
Азид натрия (10 мМ), 9 ч / Sodium azide (10 mM), 9 h	0

**Рис. 1.** Растения гороха сорта 'Памяти Хангильдина' и мутанты  $M_1$ : а – контроль, б – обработка семян азидом натрия в концентрации 5 мМ в течение 3 ч**Fig. 1.** Pea plants of cv. 'Pamyati Khangildina' and the  $M_1$  mutants: а – control, б – seed treatment with sodium azide at the concentration of 5 mM for 3 h

с 1 мМ азид натрия в течение 3 ч, было получено 155 семян, с 5 мМ азид натрия в течение 3 ч – 106 семян, с 10 мМ азид натрия в течение 3 ч – 27 семян, с 1 мМ азид натрия в течение 9 ч – 66 семян.

В 2020 г. семена с каждого из полученных 16 растений  $M_1$  были высеваны на отдельные опытные делянки. В результате визуальной оценки всходов установили, что длительность обработки семян гороха мутагеном ( $\text{NaN}_3$ ) и его концентрация оказывали негативное влияние на прорастание семян даже во втором поколении мутантов ( $M_2$ ). Вероятно, увеличение времени воздействия азид натрия с 3 до 9 ч и его концентрации от 1 до 10 мМ привели к различным нарушениям в процессе формирования семян на растениях  $M_1$ , что вызвало снижение их всхожести при посеве в 2020 г. (табл. 3).

Растения гороха  $M_2$  также изучали по морфологическим, хозяйственно ценным и фенологическим признакам. Было выявлено, что под воздействием  $\text{NaN}_3$  у растений 10 из 16 мутантных популяций произошло изменение типа листовой пластины, усатый лист превратился

в листочковый. Продолжительность вегетационного периода у мутантных растений составляла 64–70 суток, в то время как у сорта 'Памяти Хангильдина' – 67 суток. Наиболее скороспелыми оказались мутантные популяции № 3, № 12, № 13, № 15 (см. табл. 3).

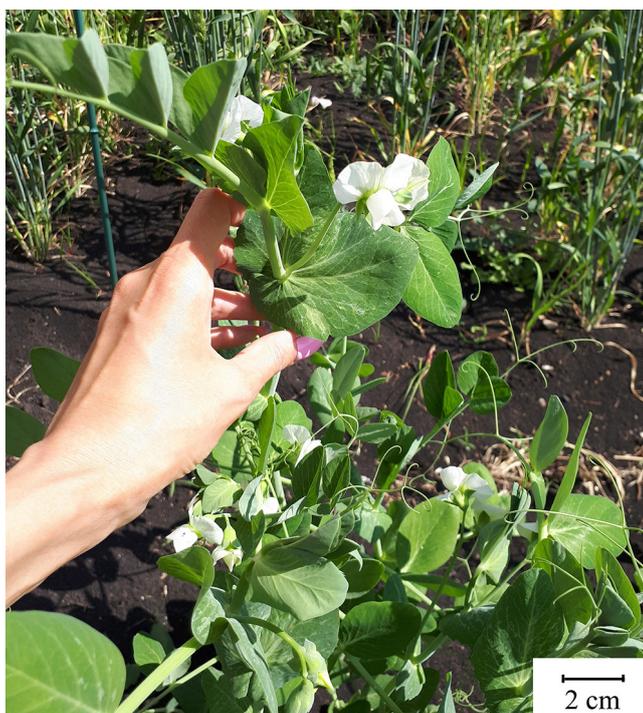
У большинства мутантных популяций наблюдалось расщепление по ряду изученных признаков: часть растений имела тонкие стебли, характеризовалась сильным полеганием, слабо развитым листовым аппаратом, низкой продуктивностью, часть отличалась прочными неполегающими стеблями, крупными прилистниками и листьями, большим числом и высокой массой семян с растения (рис. 2).

Структурный анализ растений, проведенный после созревания семян и уборки, выявил различия между мутантными популяциями  $M_2$  по элементам продуктивности (рис. 3).

По озерненности боба исходный сорт 'Памяти Хангильдина' достоверно превзошли мутантные популяции гороха № 1 (эмпирическое значение стандартизи-

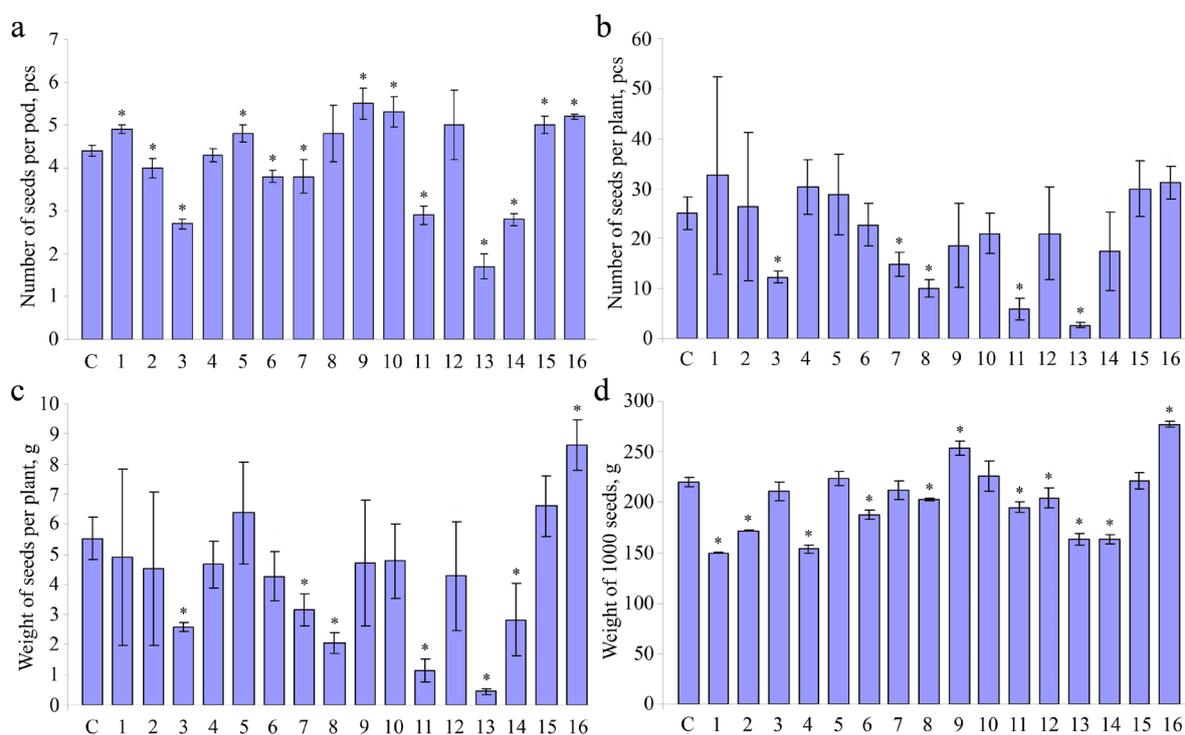
Таблица 3. Характеристика мутантных популяций гороха  $M_2$  (2020 г.)Table 3. Characteristics of the  $M_2$  mutant pea populations (2020)

№ мутантной популяции $M_2$ / No. of the $M_2$ mutant population	Вариант обработки семян мутагеном / Version of seed mutagen treatment	Количество высеванных семян, шт. / Number of sown seeds, pcs.	Всхожесть семян, % / Seed germination rate, %	Дата / Date			Вегетационный период, сутки / Growing season, days
				Всходы / Seedlings	Цветение / Flowering	Созревание / Maturation	
1	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	5	100	25.V	09.VII	30.VII	66
2	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	20	75	25.V	03.VII	03.VIII	70
3	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	10	50	25.V	05.VII	28.VII	64
4	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	18	72	25.V	09.VII	03.VIII	70
5	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	7	71	25.V	07.VII	03.VIII	70
6	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	63	68	25.V	03.VII	30.VII	66
7	1 мМ $NaN_3$ , 9 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 9 h	30	27	25.V	07.VII	03.VIII	70
8	1 мМ $NaN_3$ , 9 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 9 h	23	39	25.V	03.VII	30.VII	66
9	5 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 5 мМ $NaN_3$ , 3 h	18	39	25.V	07.VII	03.VIII	70
10	5 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 5 мМ $NaN_3$ , 3 h	12	25	25.V	03.VII	30.VII	66
11	5 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 5 мМ $NaN_3$ , 3 h	31	19	25.V	07.VII	30.VII	66
12	5 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 5 мМ $NaN_3$ , 3 h	26	58	25.V	03.VII	28.VII	64
13	1 мМ $NaN_3$ , 9 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 9 h	13	23	25.V	03.VII	28.VII	64
14	10 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 10 мМ $NaN_3$ , 3 h	27	48	25.V	03.VII	31.VII	67
15	5 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 5 мМ $NaN_3$ , 3 h	19	21	25.V	07.VII	28.VII	64
16	1 мМ $NaN_3$ , 3 ч / 1 мМ $NaN_3$ , 3 h	32	38	25.V	09.VII	03.VIII	70



**Рис. 2.** Растение мутантной популяции гороха № 16 с измененной архитектурой листостебельной системы в период цветения

**Fig. 2.** A plant of pea mutant population No. 16 with modified architectonics of the leaf-stem system during the flowering period



**Рис. 3.** Показатели элементов структуры урожая растений гороха:

**a** – количество семян в бобе; **b** – количество семян с растения; **c** – масса семян с растения; **d** – масса 1000 семян.  
C – контроль (сорт 'Памяти Хангильдина'); 1–16 – мутантные популяции № 1–№ 16.

\* Различия достоверны при  $p < 0,05$

**Fig. 3.** Indicators of the yield structure components of pea plants:

**a** – number of seeds per pod; **b** – number of seeds per plant; **c** – weight of seeds per plant; **d** – weight of 1000 seeds.  
C – control (cv. 'Pamyati Khangildina'); 1–16 – mutant populations No. 1–No. 16.

\* Differences are significant at  $p < 0.05$

рованной переменной U-критерия Манна – Уитни (Z) и уровень значимости (p) – Z = -2,69, p = 0,007), № 5 (Z = -2,69, p = 0,007), № 9 (Z = -3,36, p = 0,0008), № 10 (Z = -2,69, p = 0,007), № 15 (Z = -2,69, p = 0,007), № 16 (Z = -3,62, p = 0,0003) с количеством семян в бобе  $4,9 \pm 0,1$ ;  $4,8 \pm 0,2$ ;  $5,5 \pm 0,4$ ;  $5,3 \pm 0,3$ ;  $5,0 \pm 0,2$ ;  $5,2 \pm 0,1$  шт. соответственно. Наибольшим количеством семян с растения (32,7 ± 19,8 шт.) характеризовалась мутантная популяция № 16, однако на 5-процентном уровне значимости достоверных различий по данному признаку с сортом ‘Памяти Хангильдина’ выявлено не было (см. рис. 3).

Масса семян с растения – важнейший комплексный признак, который характеризует семенную продуктивность гороха. По данному признаку статистически достоверно (Z = -3,62, p = 0,0003) превзошла сорт ‘Памяти Хангильдина’ мутантная популяция гороха № 16 ( $8,63 \pm 0,83$  г). Масса 1000 семян является показателем крупности и выполненности семян и характеризует качество семенного материала гороха. В наших опытах максимальными значениями массы 1000 семян характеризовались мутантные популяции № 9 ( $253,4 \pm 6,7$  г)

и № 16 ( $277,2 \pm 2,9$  г), превысившие сорт ‘Памяти Хангильдина’ на 5-процентном уровне значимости (Z = -3,36, p = 0,0008, Z = -3,62, p = 0,0003 соответственно) (см. рис. 3).

Таким образом, одновременно по трем признакам продуктивности (озерненность боба, масса семян с растения, масса 1000 семян) достоверно (p < 0,05) превзошла исходный сорт ‘Памяти Хангильдина’ мутантная популяция гороха № 16, отличающаяся также наибольшим количеством бобов на растении и крупными семенами (рис. 4).

Мутантные популяции гороха M<sub>2</sub> с измененным морфотипом (листочковым), 8 из которых выделены по отдельным хозяйственно ценным признакам или их комплексу (см. рис. 3), были отобраны нами для оценки молекулярно-генетического полиморфизма с помощью микросателлитных маркеров. Таким образом, был проведен анализ 10 мутантных популяций (№ 1, № 2, № 4, № 5, № 7, № 9, № 12, № 14–№ 16) и сорта ‘Памяти Хангильдина’ по 10 SSR-локусам (AA5, AA200, AA355, AB28, AB53, AB71, AD61, AD147, D21, Hex42). В результате амплификации был выявлен 41 аллель (табл. 4).



**Рис. 4.** Бобы (а) и семена (б) мутантной популяции гороха № 16 и семена сорта ‘Памяти Хангильдина’ (с)

**Fig. 4.** Pods (a) and seeds (b) of pea mutant population No. 16, and seeds of cv. ‘Pamyati Khangildina’ (c)

**Таблица 4.** Результаты генотипирования мутантных популяций гороха M<sub>2</sub> и сорта ‘Памяти Хангильдина’

**Table 4.** Genotyping results for the M<sub>2</sub> pea mutant populations and cv. ‘Pamyati Khangildina’

Образец Sample	SSR-маркер SSR marker									
	AA 5	AA 200	AA 355	AB 28	AB 53	AB 71	AD 61	AD 147	D 21	Hex 42
Сорт Памяти Хангильдина / Св. Pamyati Khangildina	A, D	B, D	E, I	E, H	A, B	G, I	A, B	A, D	A	A
Мутантная популяция № 1 / Mutant population No. 1	A, D	B, D	E, I	E	A, B	G, I	A, B	A, D	A	A, C
Мутантная популяция № 2 / Mutant population No. 2	A, D	B, D	E, I	E, H	A, B	G, I	A, B	A, D	A	A, C
Мутантная популяция № 4 / Mutant population No. 4	F, I	B, D	E, I	E, H	A, B	G, I	A, B	A, D	I, K	C, F
Мутантная популяция № 5 / Mutant population No. 5	A, D	B, D	E, I	E, H	A, B	J, K	A, B	A, D	A	A, C
Мутантная популяция № 7 / Mutant population No. 7	A, D	B, D	E, I	E, H	A, B	G, I	A	A, D	A	A, C
Мутантная популяция № 9 / Mutant population No. 9	A, D	A, F	E, I	A, E	B	A, D	A, B	B, E	A	A

Таблица 4. Окончание'

Table 4. The end

Образец Sample	SSR-маркер SSR marker									
	AA 5	AA 200	AA 355	AB 28	AB 53	AB 71	AD 61	AD 147	D 21	Hex 42
Мутантная популяция № 12 / Mutant population No. 12	A, D	B, D	E, I	E	A, B	G, I	A	A, D	A	A, C
Мутантная популяция № 14 / Mutant population No. 14	A, D	C, E	E, I	E, H	B	G, I	A, B	A, D	C, E	A
Мутантная популяция № 15 / Mutant population No. 15	A, D	A, F	E, I	A, E	B	A, D	A, D	B, E	A	A, C
Мутантная популяция № 16 / Mutant population No. 16	A, D	B, G	E, I	A, E	B	G, I	A, D	E, H	A	A

Примечание: буквенные обозначения аллелей присвоены случайным образом в алфавитном порядке. Часть аллелей, отсутствующих в данной выборке (например, аллель D маркера AA200), были ранее нами обнаружены у сортообразцов, не вошедших в представленное исследование (Gainullina et al., 2020)

Note: Letter symbols for the alleles were assigned at random in alphabetical order. Some of the alleles that are missing in this set (for example, the D allele of marker AA200) were previously detected in cultivar samples that were not included in the present study (Gainullina et al., 2020)

Число аллелей, амплифицированных в каждом из локусов, менялось от 2 (AA355, AB53) до 7 (AA200) и в среднем составляло 4,1 аллеля на локус (рис. 5). По локусу AA355 полиморфных аллелей не было выявлено.

Для исследованных SSR-маркеров рассчитали индекс полиморфизма, который в зависимости от локуса варьировал от 0,43 (AB53) до 0,74 (AA200) и в среднем равнялся 0,59. На основе данных, полученных в результате оценки молекулярно-генетического полиморфизма мутантных популяций гороха  $M_2$  и сорта 'Памяти Хангильдина', был проведен кластерный анализ и построена дендрограмма, которая отражает распределение генотипов,

изученных образцов в соответствии с их генетическим сходством (рис. 6).

Анализ взаимного расположения образцов на дендрограмме показал, что наиболее близкими между собой и с исходным сортом 'Памяти Хангильдина' оказались мутантные популяции гороха № 1, № 2, № 7, № 12, объединенные с ним в одном кластере. Отдельно сгруппировались мутантные популяции гороха № 9 и № 15, отличающиеся высокой продуктивностью. Также относительно обособленно на дендрограмме расположилась мутантная популяция № 16, выделившаяся наибольшими изменениями листостебельной системы и комплексом хозяйственно ценных признаков.

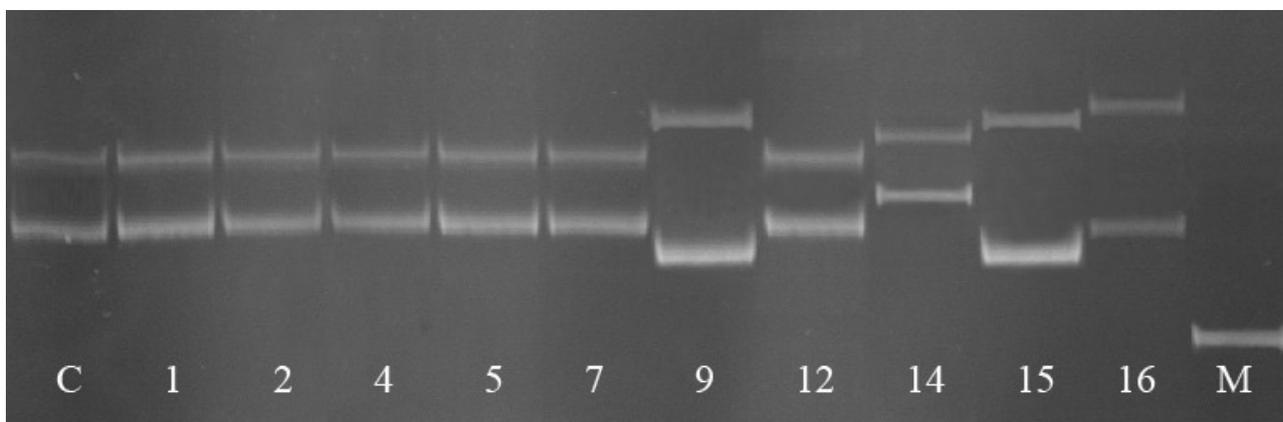
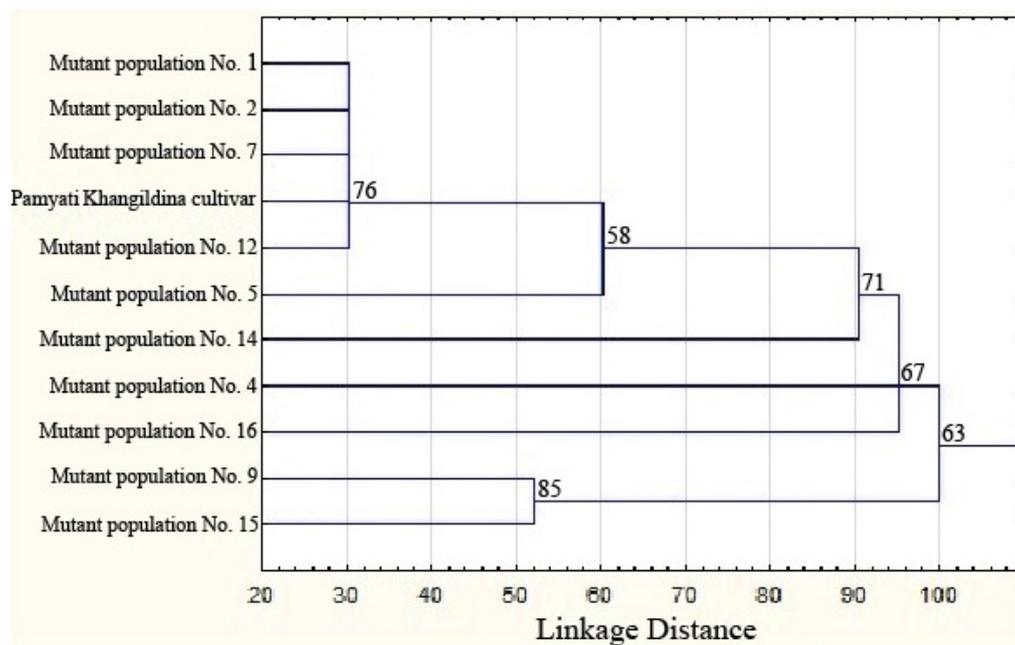


Рис. 5. Электрофоретические спектры, полученные при амплификации SSR-локуса AA200:

С – сорт 'Памяти Хангильдина'; 1–16 – мутантные популяции № 1–№ 16; М – маркер GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder, фрагмент 200 пар нуклеотидов

Fig. 5. Electrophoretic patterns produced by amplification of the SSR locus AA200:

С – cv. 'Pamyati Khangildina'; 1–16 – mutant populations No. 1–No. 16; М – GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder, 200 bp fragment



**Рис. 6.** Дендрограмма генетического сходства мутантных популяций гороха  $M_2$  и сорта 'Памяти Хангильдина' на основе данных SSR-анализа (цифрами указаны значения бутстрепа, %)

**Fig. 6.** A dendrogram showing the genetic relationships among the  $M_2$  pea mutant populations and cv. 'Pamyati Khangildina' based on the data of the SSR analysis (the numbers indicate the bootstrap values, %)

#### Обсуждение результатов

В результате опытов по получению мутантных форм гороха методом химически индуцированного мутагенеза было установлено, что длительность обработки семян азидом натрия оказывает большее влияние на прорастание, чем концентрация мутагена. При увеличении времени инкубирования семян с раствором  $\text{NaN}_3$  до 9 ч и его концентрации до 5 мМ наблюдалось полное отсутствие всходов. Резкое падение всхожести семян при увеличении продолжительности воздействия мутагена свидетельствует о том, что время обработки является наиболее важным фактором для проникновения азид натрия в семена. В наших опытах оптимальными оказались варианты обработки, сочетающие наименьшее время инкубирования семян с азидом натрия (3 ч) и минимальную (1 мМ), среднюю (5 мМ) и максимальную (10 мМ) концентрацию  $\text{NaN}_3$ , при которых были получены 13 мутантных растений гороха  $M_1$ . В то время как при наибольшей продолжительности инкубирования (9 ч), даже при минимальной концентрации мутагена (1 мМ), сформировалось лишь 3 растения. Анализ литературных данных показывает, что при одинаковом времени воздействия (1–18 ч) одних и тех же концентраций азид натрия (1–10 мМ) на семена различных сортов гороха наблюдается разная степень снижения их всхожести (Sander, Muehlbauer, 1977; Kumar, 1988; Divanli-Türkan et al., 2006), поэтому условия обработки семян данным мутагеном следует подбирать эмпирическим путем для каждого сорта культурных растений индивидуально. Исследованный нами сорт 'Памяти Хангильдина' проявил относительно высокую чувствительность к азиду натрия.

В результате фенологических наблюдений и анализа элементов структуры урожая 16 мутантных популяций гороха  $M_2$  были выявлены их отличия от исходного сорта 'Памяти Хангильдина' как по морфологическим (архитектоника листостебельной системы), так и по хозяйственно ценным признакам. Как известно, азид натрия ча-

сто используется в селекционной практике для повышения урожайности сельскохозяйственных культур (Spencer-Lopes et al., 2018). При использовании азид натрия в качестве химического мутагена нам удалось добиться увеличения у полученных мутантных популяций гороха озерненности бобов на 9,1–25,0%, числа семян с растения на 5,2–30,3%, массы семян с растения на 15,6–56,3%, массы 1000 семян на 0,6–26,1% по сравнению с сортом 'Памяти Хангильдина'.

SSR-анализ может применяться для оценки генетических изменений после химического мутагенеза. Например, этот метод был использован для оценки мутагенного воздействия кадмия (в течение 28 дней) на растения салата (Monteiro et al., 2009). Однако в этом эксперименте из 9 проанализированных SSR-маркеров полиморфизм был выявлен только для 1 локуса. R. Pilu et al. (2003) показали высокую эффективность микросателлитных маркеров для картирования мутации *lpa241* у кукурузы в результате обработки пыльцы этилметансульфонатом. Нами впервые был применен SSR-анализ для экспресс-оценки генетических изменений, индуцируемых азидом натрия у гороха. Исследование молекулярно-генетического полиморфизма мутантных популяций гороха  $M_2$  и исходного сорта 'Памяти Хангильдина' показало, что все они обладают уникальным сочетанием аллелей по 9 из 10 изученных микросателлитных локусов. Это свидетельствует о различиях на генетическом уровне как между полученными мутантными популяциями, так и между каждой из них и сортом 'Памяти Хангильдина'. Наиболее эффективными для оценки генетического полиморфизма и идентификации изученных образцов гороха оказались SSR-маркеры AD61, AB28, AA5, D21, AD147, AB71, AA200 со значением PIC > 0,5.

Дендрограмма, построенная на основе данных микросателлитного анализа, позволила визуализировать особенности кластеризации мутантных популяций гороха  $M_2$  и исходного сорта 'Памяти Хангильдина'. Было установлено, что наиболее продуктивные мутантные попу-

ляции № 9, № 15 и 16, превысившие сорт 'Памяти Хангильдина' по ряду хозяйственно ценных признаков, близки между собой, отличаясь от других образцов и по молекулярно-генетическим данным.

### Заключение

Установлено, что концентрация раствора азидата натрия 5 мМ и выше в сочетании с длительностью инкубирования семян 9 ч и более для гороха сорта 'Памяти Хангильдина' является летальной. Обработка семян азидом натрия в концентрации 1 и 5 мМ в течение 3 ч позволяет получить мутантные популяции гороха с различными ценными признаками: скороспелостью, крупносемянностью, с высокой озерненностью бобов, семенной продуктивностью и числом семян с растения, характеризующиеся измененной архитектоникой листостебельной системы, обеспечивающей увеличение площади фотосинтезирующей поверхности листа и повышение устойчивости растений к полеганию. Это дает возможность рекомендовать определенные нами условия (критерии) обработки семян для применения в селекционной практике с целью получения мутантов с улучшенными хозяйственно ценными признаками.

SSR-анализ мутантных популяций гороха  $M_2$  выявил их генетическую гетерогенность, что свидетельствует о высокой эффективности данного метода при оценке генетического полиморфизма мутантных растений, полученных путем обработки азидом натрия.

Новый исходный материал, созданный методом химически индуцированного мутагенеза, в дальнейшем планируется использовать в селекции гороха как источник ряда хозяйственно ценных признаков.

### References / Литература

- Broertjes C., van Harten A.M. Applied mutation breeding for vegetatively propagated crops. *Developments in Crop Science*. 1988;12:197-204. DOI: 10.1007/BF00024972
- Davletov F.A. Breeding and production technology of pea in Bashkortostan (seleksiya i tekhnologiya proizvodstva gorokha v Bashkortostane). Ufa: Mir pechati; 2015. [in Russian] [Давлетов Ф.А. Селекция и технология производства гороха в Башкортостане. Уфа: Мир печати; 2015].
- Divanli-Türkan A., Khawar K.M., Özcan S. Effects of mutagenic sodium azide ( $NaN_3$ ) on *in vitro* development of four pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2006;8(3):349-353. DOI: 1560-8530/2006/08-3-349-351
- Dzyubenko N.I. Vavilov strategy of collecting, maintaining and rational utilization of plant genetic resources of cultivated plants and their wild relatives. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:4-40. [in Russian] [Дзюбенко Н.И. Вавиловская стратегия пополнения, сохранения и рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:4-40].
- Gainullina K.P., Kuluev B.R., Davletov F.A. Genetic diversity assessment in pea cultivars and lines using the SSR analysis. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):70-80. [in Russian] [Гайнуллина К.П., Кулуев Б.Р., Давлетов Ф.А. Оценка генетического разнообразия сортов и линий гороха с помощью SSR-анализа. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):70-80]. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-70-80
- Jain S.M. *In vitro* mutagenesis for improving date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2012;24(5):400-407.
- Jain S.M., Suprasanna P. Induced mutations for enhancing nutrition and food production. *Gene Conserve*. 2011;40:201-215.
- Kharkwal M.C., Shu Q.Y. The role of induced mutations in world food security. In: Q.Y. Shu (ed.). *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. Rome: FAO; 2009. p.33-38.
- Kleinhofs A., Warner R.L., Muehlbauer F.J., Nilan R.A. Induction and selection of specific gene mutations in *Hordeum* and *Pisum*. *Mutation Research*. 1978;51(1):29-35. DOI: 10.1016/0027-5107(78)90005-2
- Kumar S. Recessive monogenic mutation in grain pea (*Pisum sativum*) that causes pyridoxine requirement for growth and seed production. *Journal of Biosciences*. 1988;13(4):415-418.
- Lee M. Genome projects and gene pools: new germplasm for plant breeding? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1998;95(5):2001-2004. DOI: 10.1073/pnas.95.5.2001
- Makasheva R.Kh. Pea (Gorokh). Leningrad: Kolos; 1973. [in Russian] [Макашева Р.Х. Горох. Ленинград: Колос; 1973].
- Maluszynski M., Szarejko I., Bhatia C.R., Nichterlein K., Lagoda P.J.L. Methodologies for generating variability. In: S. Ceccarelli, E.P. Guimaraes, E. Weltzien (eds). *Plant Breeding and Farmers Participation*. Rome: FAO; 2009. p.159-194.
- Monteiro M.S., Lopes T., Mann R.M., Paiva C., Soares A.M.V.M., Santos C. Microsatellite instability in *Lactuca sativa* chronically exposed to cadmium. *Mutation Research*. 2009;672(2):90-94. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2008.10.012
- Pilu R., Panzeri D., Gavazzi G., Rasmussen S.K., Consonni G., Nielsen E. Phenotypic, genetic and molecular characterization of a maize low phytic acid mutant (*lpa241*). *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;107(6):980-987. DOI: 10.1007/s00122-003-1316-y
- Sander C., Muehlbauer F.J. Mutagenic effects of sodium azide and gamma irradiation in *Pisum*. *Environmental and Experimental Botany*. 1977;17(1):43-47. DOI: 10.1016/0098-8472(77)90019-3
- Şen A., Sarsu F. Genetic diversity in sodium azide induced wheat mutants studied by SSR markers. *Trakya University Journal of Natural Sciences*. 2018;19(2):129-135. DOI: 10.23902/trkjnat.424305
- Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski L. (eds). Manual on mutation breeding. Rome: FAO; Vienna: IAEA; 2018.
- Suprasanna P., Mirajkar S.J., Bhagwat S.G. Induced mutations and crop improvement. In: B. Bahadur, M.V. Rajam, S. Leela, K.V. Krishnamurthy (eds). *Plant Biology and Biotechnology. Vol. I. Plant Diversity, Organization, Function and Improvement*. New Delhi: Springer; 2015. p.593-617. DOI: 10.1007/978-81-322-2286-6
- Till B.J., Cooper J., Tai T.H., Colowit P., Greene E.A., Henikoff S. et al. Discovery of chemically induced mutations in rice by TILLING. *BMC Plant Biology*. 2007;7(1):19. DOI: 10.1186/1471-2229-7-19
- Varshney R.K., Graner A., Sorrells M.E. Genic microsatellite markers in plants: features and applications. *Trends in Biotechnology*. 2005;23(1):48-55. DOI: 10.1016/j.tibtech.2004.11.005
- Wannajindaporn A., Kativat C., Tantasawat P.A. Mutation induction of *Dendrobium* 'Earsakul' using sodium azide. *HortScience*. 2016;51(11):1363-1370. DOI: 10.21273/HORTSCI10860-16

### *Информация об авторах*

**Карина Петровна Гайнуллина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН, 450054 Россия, Уфа, пр. Октября, 71, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН, 450059 Россия, Уфа, ул. Р. Зорге, 19, karina28021985@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6246-1214>

**Булат Разяпович Кулуев**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН, 450054 Россия, Уфа, пр. Октября, 71, kuluev@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1564-164X>

**Фирзинат Аглямич Давлетов**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН, 450059 Россия, Уфа, ул. Р. Зорге, 19, davletovfa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7421-869X>

### *Information about the authors*

**Karina P. Gainullina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemistry and Genetics, a subdivision of the UFRC RAS, 71 Oktyabrya Ave., Ufa 450054, Russia, Bashkir Research Institute of Agriculture, a subdivision of the UFRC RAS, 19 R. Zorge St., Ufa 450059, Russia, karina28021985@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6246-1214>

**Bulat R. Kuluev**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemistry and Genetics, a subdivision of the UFRC RAS, 71 Oktyabrya Ave., Ufa 450054, Russia, kuluev@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1564-164X>

**Firzinat A. Davletov**, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Bashkir Research Institute of Agriculture, a subdivision of the UFRC RAS, 19 R. Zorge St., Ufa 450059, Russia, davletovfa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7421-869X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 28.01.2022; одобрена после рецензирования 05.04.2022; принята к публикации 06.09.2022  
The article was submitted on 28.01.2022; approved after reviewing on 05.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022

Научная статья  
УДК 633.13:581.198(571.12)  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131



## Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного 'Тоболяк'

А. В. Любимова\*, М. Н. Фомина, Д. И. Еремин, В. С. Мамаева, В. С. Мишечкина,  
Н. А. Брагин, С. А. Белоусов, М. В. Брагина

*Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Анна Валерьевна Любимова, [ostapenkoav88@yandex.ru](mailto:ostapenkoav88@yandex.ru)

**Актуальность.** Для того чтобы наиболее полно раскрыть преимущества сорта и эффективно использовать его в производстве, необходимо обеспечить высокие посевные и сортовые качества семян, что требует улучшения селекционно-семеноводческой работы. Все шире в первичном семеноводстве применяются биотехнологические методы. Высокую эффективность показал метод электрофореза запасных белков семян – проламинов. Целью исследований была оценка биотипного состава и аллельного состояния проламин-кодирующих локусов нового сорта ярового овса 'Тоболяк' для дальнейшего использования в первичном семеноводстве.

**Материалы и методы.** Методом нативного электрофореза было исследовано 1519 семей сорта 'Тоболяк'. Для анализов методом случайной выборки отбирали по три зерновки от каждой семьи. Электрофорез проводили в вертикальных пластинах 13,2-процентного полиакриламидного геля при постоянном напряжении 500 V в течение 4,5–5,0 часов.

**Результаты.** В результате исследования семей сорта 'Тоболяк' выявлено 13 типов спектра авенина с частотой встречаемости от 96,36 до 0,07%. Описан новый блок компонентов авенина, контролируемый аллелем локуса *Avn B*. Данному блоку присвоен номер 8. Установлено, что сорт 'Тоболяк' создан путем скрещивания минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и первого биотипа сорта 'Орион' (*Avn 2.8.2*). Основу сорта 'Тоболяк' составляет один генотип с формулой авенина *Avn 4.8.2*. Остальные типы спектров возникли в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион', а также механического засорения. Для поддержания генетической стабильности сорта 'Тоболяк' рекомендовано использовать в процессе оригинального семеноводства только семьи с первым типом спектра.

**Ключевые слова:** первичное семеноводство, электрофорез, авенин-кодирующие локусы, блоки компонентов авенина, сортовая чистота, биотипный состав сорта

**Благодарности:** работа выполнена по госзаданию № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Любимова А. В., Фомина М.Н., Еремин Д.И., Мамаева В.С., Мишечкина В.С., Брагин Н.А., Белоусов С.А., Брагина М.В. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного 'Тоболяк'. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):123-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

## Allelic state of prolamin-coding loci in the new oat cultivar 'Tobolyak'

Anna V. Lyubimova, Maria N. Fomina, Dmitry I. Eremin, Victoria S. Mamaeva, Valeria S. Mishechkina, Nikolay A. Bragin, Sergei A. Belousov, Maria V. Bragina

*Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

**Corresponding author:** Anna V. Lyubimova [ostapenkoav88@yandex.ru](mailto:ostapenkoav88@yandex.ru)

**Background.** In order to fully reveal the advantages of a cultivar and use it effectively in production, it is necessary to ensure high sowing and varietal qualities of seeds, which requires improvement in breeding and seed production. Biotechnological methods are increasingly used in initial seed production. High efficiency was shown by the method of electrophoresis of seed storage proteins – prolamins. The aim of this study was to assess the biotype composition and allelic state of the prolamin-coding loci in the new spring oat cultivar 'Tobolyak' for its further use in initial seed production.

**Materials and methods.** In 2021, 1519 families of cv. 'Tobolyak' were studied using the method of native electrophoresis. Three grains from each family were selected for analyses by random sampling. Electrophoresis was carried out in vertical plates of 13.2% polyacrylamide gel at a constant voltage of 500 V for 4.5–5.0 hours.

**Results and conclusion.** The study of cv. 'Tobolyak' families resulted in identifying 13 types of avenin patterns with a frequency of occurrence from 96.36 to 0.07%. A new block of avenin components controlled by the allele of the *Avn B* locus was described. Number 8 was assigned to this block. It was established that cv. 'Tobolyak' had been developed by crossing a minor biotype of cv. 'Taezhnik' (*Avn 4.4.2*) with the first biotype of cv. 'Orion' (*Avn 2.8.2*). The basis of cv. 'Tobolyak' was one genotype with the *Avn 4.8.2* avenin formula. The remaining biotypes arose as a result of crossing the biotypes of cvs. 'Taezhnik' and 'Orion' as well as through mechanical contamination. To maintain the genetic stability of cv. 'Tobolyak', it is recommended to use only families of the first biotype in the process of original seed production.

**Keywords:** initial seed production, electrophoresis, avenin-coding loci, blocks of avenin components, varietal purity, biotype composition of the cultivar

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state task (No. 122011300103-0) and supported by the West Siberian Interregional Scientific and Educational Center.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Lyubimova A.V., Fomina M.N., Eremin D.I., Mamaeva V.S., Mishechkina V.S., Bragin N.A., Belousov S.A., Bragina M.V. Allelic state of prolamin-coding loci in the new oat cultivar 'Tobolyak'. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):123-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

## Введение

Овес посевной (*Avena sativa* L.) – зерновая культура, содержащая большое количество биологически активных веществ, приносящих существенную пользу здоровью. Он характеризуется высоким содержанием пищевых волокон, жизненно важных витаминов (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> и витамин Е) и белка (Martinez et al., 2010; Ibrahim et al., 2020). Кроме того, овес заметно отличается от других злаковых культур по содержанию незаменимых аминокислот, жирных кислот, β-глюканов и фенольных соединений. Потребление овса в пищу снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний и благоприятно влияет на желудочно-кишечный тракт (Grundy et al., 2018; Carlson et al., 2019; Campbell et al., 2021; Kaur et al., 2019). Все это делает овес важным источником ценных питательных веществ для человека и животных.

Селекция овса направлена на создание сортов с высокими показателями продуктивности, качества зерна и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды (Polonskiy et al., 2019; Kabashov et al., 2020, Shvachko et al., 2021). Для получения таких сортов в настоящее время используются не только методы традиционной селекции, но также достижения генетики и биотехнологии, в том числе маркер-ассоциированная и геномная селекция (Shavrukov, 2016; Scheben et al., 2017; Carlson et al., 2019; Loskutov, 2021).

Однако, для того чтобы наиболее полно раскрыть преимущества сорта и эффективно использовать его в производстве, необходимо также обеспечить высокие посевные и сортовые качества семян. В первичном семеноводстве зерновых культур, в том числе овса, основным методом является индивидуальный отбор на основе морфологических признаков. Однако его применение осложняется тем, что многие возделываемые сорта относятся к одной разновидности и трудно различимы внешне. Еще одна сложность – это наличие гетерогенных, то есть состоящих из нескольких биотипов, сортов. При ведении первичного семеноводства таких сортов важно обеспечить не только чистосортность, высокую продуктивность будущей элиты, но и сохранить оптимальное соотношение биотипов. В связи с этим в первичном семеноводстве все шире применяются методы молекулярного и биохимического маркирования. Высокую эффективность показал метод электрофореза запасных белков семян – проламинов. Он позволяет обнаружить сортовую примесь в тех случаях, когда это невозможно сделать по морфологическим признакам, а также дает возможность контролировать и поддерживать постоянство биотипного состава гетерогенных сортов (Zobova et al., 2018; Utebayev et al., 2019; Yarova, Tobolova, 2021).

Проламины овса – авенины – наследуются сцепленно (блоками) и контролируются тремя независимыми локусами *Avn A*, *Avn B* и *Avn C*, по каждому из которых выявлен множественный аллелизм. На сегодняшний день для локуса *Avn A* описано 8 аллелей, *Avn B* – 5, *Avn C* – 7. Полиморфизм проламинов овса ниже, чем у пшеницы и ячменя, однако практически каждый сорт овса, биотип или линия характеризуется уникальным компонентным составом запасных белков (Portyanko et al., 1987; Portyanko et al., 1998). В Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Северного Зауралья – филиале Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН) метод электрофореза авенинов успешно применяется в семеноводстве овса с 2014 г. (Lyubimova et al., 2020a).

В 2020 г. в Государственный реестр селекционных достижений по Тюменской области был включен новый сорт ярового овса ‘Тоболяк’, обладающий высокими продуктивностью и технологическими свойствами (Fomina et al., 2021). Целью наших исследований было оценить биотипный состав и аллельное состояние авенин-кодирующих локусов нового сорта ярового овса ‘Тоболяк’ для дальнейшего использования в первичном семеноводстве.

## Материалы и методы

Исследования проводили на базе лаборатории геномных исследований в растениеводстве Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ТюмНЦ СО РАН) в 2020 и 2021 г. Материалом для исследований послужил сорт ярового овса ‘Тоболяк’, созданный в НИИСХ СЗ – филиале ТюмНЦ СО РАН методом внутривидовой гибридизации с последующим отбором из гибридной популяции Таёжник × Орион (F<sub>1</sub>), разновидность *mutica*. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2020 г. и рекомендован для возделывания в Западносибирском (10), Восточносибирском (11) и Дальневосточном (12) регионах РФ (Fomina et al., 2021).

Растительный материал получен на опытном поле НИИСХ СЗ вблизи поселка Московский. Почва темно-серая лесная, оподзоленная. Агротехника возделывания сорта традиционная для лесостепной зоны Зауралья. В 2020 г. для формирования питомников первичного семеноводства было отобрано 1519 метелок. Для анализа методом нативного электрофореза проламинов от каждой из семей случайным образом отбирали по три зерновки. Всего было проанализировано 4557 зерновок. Кроме того, исследовали по 100 индивидуальных зерновок сортов овса посевного, послуживших исходным материалом для создания сорта ‘Тоболяк’ – ‘Таёжник’ и ‘Орион’ (рис. 1).

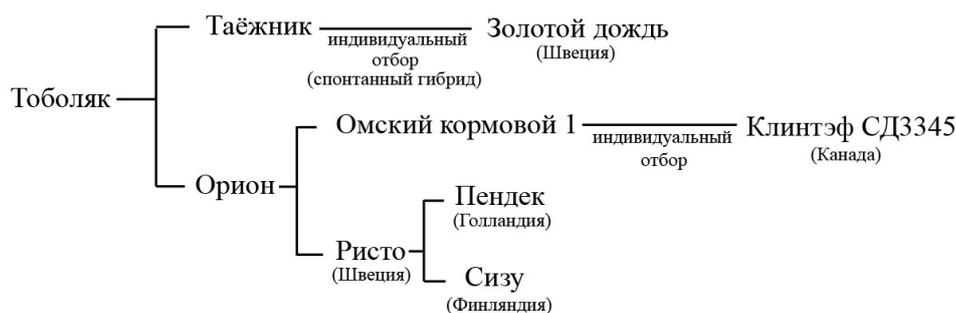


Рис. 1. Родословная сорта овса ярового ‘Тоболяк’ (по: Fomina, 2021)

Fig. 1. Pedigree of the spring oat cultivar ‘Tobolyak’ (from Fomina, 2021)

Электрофорез проводили в вертикальных электрофоретических камерах модели VE-20 (Helicon, Россия) с размерами формируемых пластин  $178 \times 175 \times 1,5$  мм при постоянном напряжении 500 V в течение 4,5–5,0 часов. Подробное описание методики опубликовано ранее (Lyubimova et al., 2020b). Идентификацию аллельных вариантов блоков компонентов авенина, контролируемых авенин-кодирующими локусами, осуществляли согласно каталогу, разработанному В. А. Портянко с соавторами, с дополнениями А. В. Любимовой (Portyanko et al., 1987; Lyubimova, 2022). Если обнаруженный на электрофореграмме блок компонентов отсутствовал в каталоге, вместо его порядкового номера в генетической формуле записывалось сочетание “new”. В качестве стандарта использовали овес посевной сорта ‘Astor’ (Avn 2.4.2).

Частоту встречаемости биотипов рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{n}{N} \times 100, \quad (1)$$

где P – встречаемость биотипа, %; n – количество семей с одинаковым типом спектра авенина; N – общее число проанализированных семей сорта.

### Результаты

В результате исследования компонентного состава авенинов семей сорта ‘Тобольск’ было выявлено 13 различных типов спектра. Частота встречаемости биотипов варьировала от 96,36 до 0,07% (табл. 1).

В ходе исследований было выявлено три семьи, в которых присутствовали зерновки, отличающиеся друг от друга по компонентному составу авенина – семья 59 содержала зерна с 5 и 6, семья 1434 – с 7 и 1, а семья 1460 – зерна с 1 и 13 типами спектров соответственно. При этом 13 биотип представлял собой гетерозиготу и характеризовался наличием двух аллелей локуса Avn A – 1 и 4 (рис. 2).

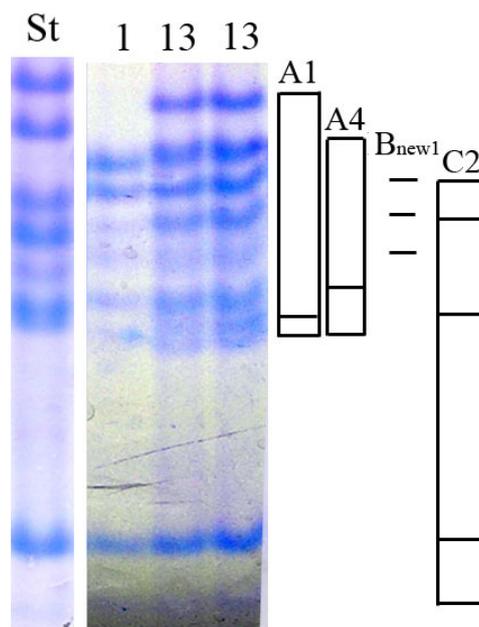
В ходе идентификации аллелей, контролирующих синтез блоков компонентов авенина, было выявлено три новых аллеля локуса Avn A и четыре новых аллеля локуса Avn B (см. табл. 1). В том числе новый аллель по локусу Avn B – new1 – обнаружен в основном биотипе сорта ‘Тобольск’. Чаще всего для описания и внесения в каталог новых аллельных вариантов блоков компонентов авенина необходимо провести гибридизацию и оценить характер наследования белковых спектров. Однако в ряде случаев достаточно оценить компонентный состав авенина родительских сортов и генотипов, полученных в результате скрещивания.

Исследование компонентного состава проламинов сорта овса ‘Таёжник’ проводилось нами ранее (Lyubimova et al., 2020b). Сорт выведен Нарымской государственной селекционной станцией (ныне – Сибирский федеральный центр агробиотехнологий Российской академии наук) в Томской области методом индивидуального отбора, представляет собой спонтанный гибрид сорта ‘Золотой дождь’ (Fomina et al., 2021). В результате электрофоретического анализа проламинов установлено, что сорт состоит из двух биотипов в соотношении 2 : 1 и имеет генетическую формулу авенина Avn 2+1.new8.2.

Сорт овса посевного ‘Орион’ выведен Сибирским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства, (с 2018 г. – ФГБНУ «Омский аграрный научный центр») в Омской области методом внутривидовой гибридизации сортов Омский кормовой 1 × Ристо (Fomina et al., 2021). В результате анализа авенинов установлено, что основу сорта составляет один генотип с формулой Avn 2.new8.2, идентичной формуле первого биотипа сорта ‘Таёжник’. Помимо этого, были выявлены два минорных типа спектров с частотой встречаемости 1 и 2%. Для второго биотипа был идентифицирован только аллель по локусу Avn C (рис. 3). Белковая формула сорта ‘Орион’: Avn 2+new+2. new8+new+1. 2+5+4.

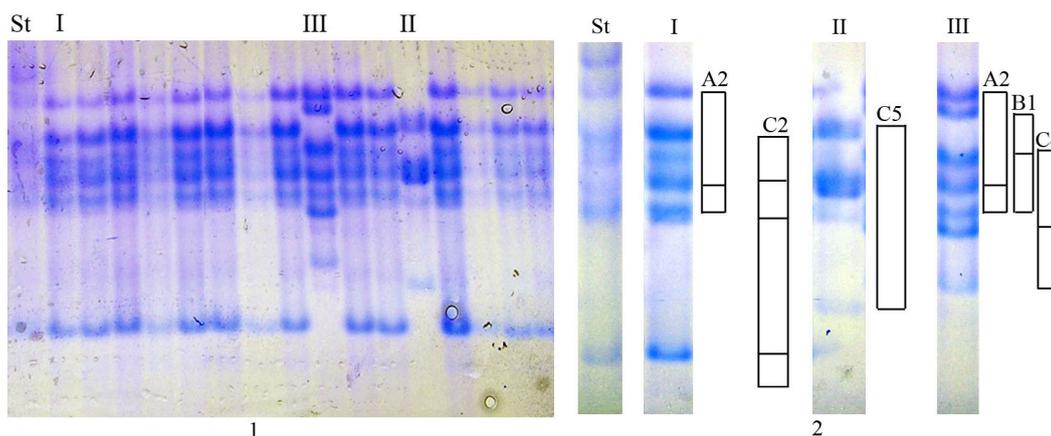
**Таблица 1.** Частота встречаемости и генетические формулы авенина биотипов, выявленных в сорте ‘Тобольск’  
**Table 1.** Frequency of occurrence and genetic formulas of avenin biotypes identified in cv. ‘Tobolyak’

№ биотипа / Biotype No.	Генетическая формула авенина / Genetic formula of avenin	Частота встречаемости, % / Frequency of occurrence, %
1	4.new1.2	96,36
2	4.4.2	1,18
3	2.new1.2	1,51
4	new.new1.1	0,26
5	new2.new2.3	0,07
6	new3.new2.3	0,07
7	4.1.2	0,07
8	2.1.1	0,07
9	2.2.6	0,07
10	2.4.2	0,13
11	2.new3.5	0,07
12	4.new4.6	0,07
13	1,4.new1.2	0,07



**Рис. 2.** Электрофоретические спектры и схемы блоков компонентов гетерозиготного биотипа семьи 1460 сорта 'Тоболяк': St - 'Astor' (стандарт); 1, 13 - типы спектров

**Fig. 2.** Electrophoretic patterns and schemes of blocks of components in the heterozygous biotype of the 1460 family of cv. 'Tobolyak': St - 'Astor' (standard reference); 1, 13 - types of patterns



**Рис. 3.** Эталонный спектр (1) и схема блоков компонентов авенина (2) сорта овса посевного 'Орион': I, II, III - номера биотипов; St - 'Astor' (стандарт)

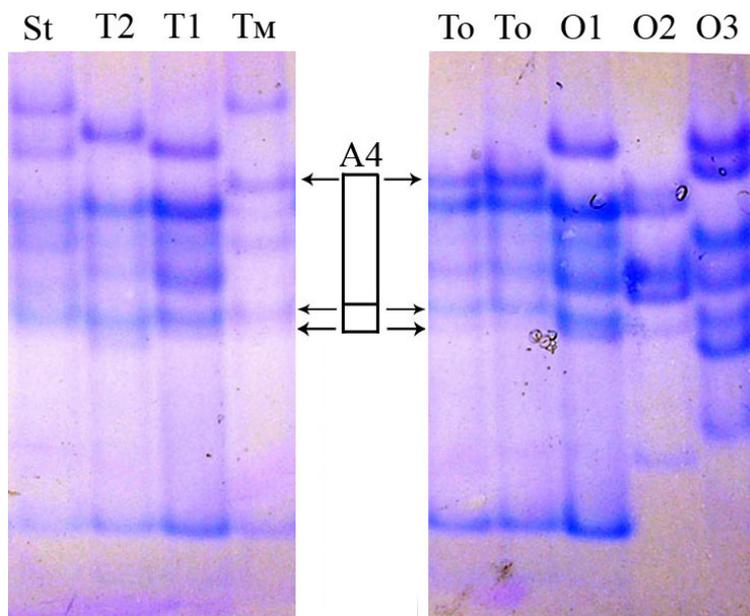
**Fig. 3.** Reference pattern (1) and scheme of blocks of avenin components (2) of the oat cultivar 'Orion': I, II, III - numbers of biotypes; St - 'Astor' (standard reference)

### Обсуждение

В результате проведенного анализа нами установлено, что основу сорта 'Тоболяк' составляет один биотип с генетической формулой авенина *Avn 4.new1.2*. Известно, что компоненты авенина наследуются блоками и имеют кодоминантный тип наследования (Portyanko et al., 1987). Следовательно, спектр сорта 'Тоболяк' должен представлять собой комбинацию аллельных вариантов блоков компонентов родительских сортов. Согласно генетическим формулам родительских сортов, источниками аллелей локусов *Avn B* и *Avn C* могли послужить оба биотипа сорта 'Таёжник' и генотип сорта 'Орион' с первым типом спектра авенина. Но сорт 'Тоболяк' имеет аллель 4 локуса *Avn A*, отсутствующий у всех этих биотипов.

Для того чтобы определить, какой из сортов послужил источником аллеля *A4*, нами был проведен дополнительный анализ, в результате которого искомым аллель был выявлен в сорте 'Таёжник'. Несущий его биотип имеет крайне низкую частоту встречаемости и не был обнаружен нами при первоначальных исследованиях, из-за чего не включен в формулу сорта. Однако электрофоретический анализ авенинов показывает, что именно он вошел в родословную сорта 'Тоболяк' (рис. 4).

Таким образом, сорт овса посевного 'Тоболяк' был создан путем скрещивания минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и генотипа сорта 'Орион' с первым типом спектра авенина (*Avn 2.new8.2*). Следовательно, аллель *Bnew1* сорта 'Тоболяк' идентичен аллелю *Bnew8* сорта 'Орион'.



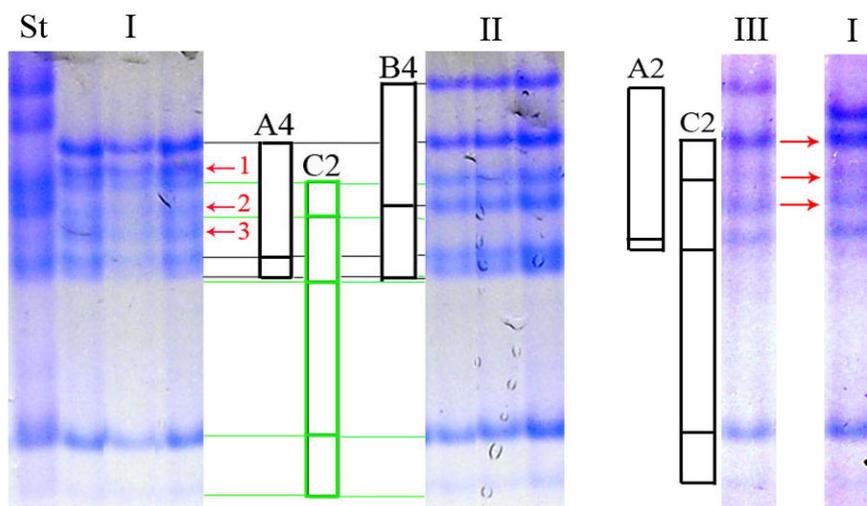
**Рис. 4. Определение родительских биотипов сорта 'Тоболяк' с использованием метода электрофореза авенинов:**

St – 'Astor' (стандарт); T2–T1 – II и I биотипы сорта 'Таёжник'; Tm – минорный биотип сорта 'Таёжник'; To – 'Тоболяк'; O1–O3 – I, II, III биотипы сорта 'Орион'

**Fig. 4. Identification of parental biotypes of cv. 'Tobolyak' using the avenin electrophoresis technique:**  
St – 'Astor' (standard reference); T2–T1 – biotypes II and I of cv. 'Taezhnik'; Tm – minor biotype of cv. 'Taezhnik'; To – 'Tobolyak'; O1–O3 – biotypes I, II and III of cv. 'Orion'

Внешний вид блока компонентов, контролируемого аллелем *new8* локуса *Avn B*, был определен путем сравнения различных типов спектра сорта 'Тоболяк'. Наиболее показательным оказалось сравнение электрофореграмм первого и второго биотипов, отличающихся только аллелем локуса *Avn B* (рис. 5).

При сравнении электрофореграмм этих биотипов нами выявлены два компонента проламина (1 и 3 на рис. 5), которые были на спектрах первого биотипа и отсутствовали у второго. Также на электрофореграммах первого и второго типов спектра был установлен компонент авенина (2 на рис. 5), который не входит в состав



**Рис. 5. Определение блока компонентов авенина, синтез которого контролируется локусом *Avn B*.**

Стрелками отмечены компоненты определяемого блока компонентов;

1–3 – номера компонентов блока. Тонкие линии указывают на принадлежность компонентов электрофореграмм определенному блоку.

St – 'Astor' (стандарт); I–III – биотипы сорта 'Тоболяк'

**Fig. 5. Identification of the block of avenin components whose synthesis is controlled by the *Avn B* locus.**

The arrows mark the components of the identified block of components;

1–3 – numbers of block components. Thin lines indicate that the electrophoresis components belong to a certain block.

St – 'Astor' (standard reference); I–III – biotypes of cv. 'Tobolyak'

блоков A4 и C2. При сравнении первого и третьего биотипов, отличающихся блоками, контролируемые локусом *Avn A*, на электрофореграмме третьего также были обнаружены белковые полосы № 1, 2 и 3.

Это позволило нам без проведения гибридизации определить состав нового блока компонентов, синтез которых контролируется локусом *Avn B*, отсутствующего в каталоге генетической номенклатуры (Portuauko et al., 1987; Lyubimova, 2022). Данному блоку присвоен номер 8. Он же характерен для первого и второго типов спектра сорта 'Таёжник' и основного биотипа сорта 'Орион'. Необходимо отметить, что первые компоненты блоков B8 и C2 близки по своей электрофоретической подвижности. Это приводит к тому, что данные белковые бэнды занимают практически одинаковое положение на некоторых электрофореграммах. При этом образованная ими спектральная полоса характеризуется более высокой интенсивностью окраски (см. рис. 2, биотип 1, 13; рис. 3, биотип I). Компоненты № 2 блоков B8 и B4 также совпадают по электрофоретической подвижности.

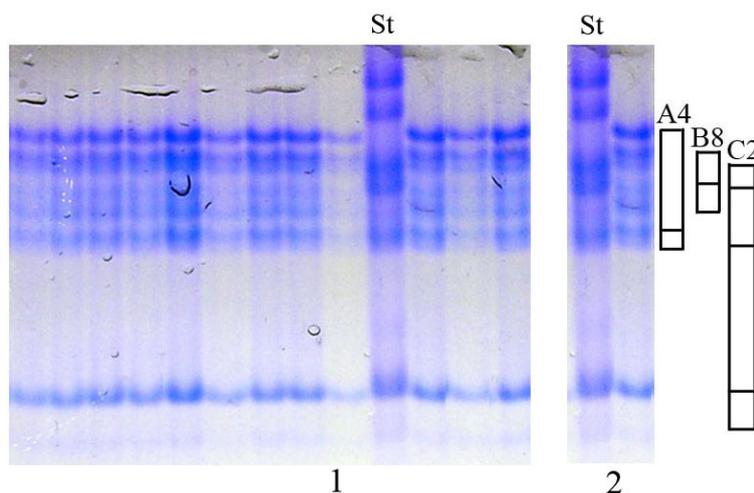
Таким образом, формула авенина сорта 'Тоболяк' имеет вид *Avn 4.8.2*. Белковый паспорт сорта представлен на рисунке 6.

шие в спектрах сортов 'Таёжник' и 'Орион'. Так, например, биотип № 8 имеет аллели *B1* и *C1*, а № 9 – аллель *C6*. Учитывая, что частота встречаемости таких биотипов редко превышала 0,07%, их появление, вероятнее всего, вызвано простым механическим засорением семенного материала. Также возможно, что они возникли путем гибридизации, но в качестве одного из родительских растений выступил генотип с крайне низкой частотой встречаемости или сортовая примесь.

Выявленные в результате анализа гетерозиготные растения являются следствием остаточной гетерозиготности сорта и свидетельствуют о продолжающемся процессе расщепления. При дальнейших пересевах такие растения могут послужить источником сортовой примеси, и очень важно своевременно исключить их из дальнейшего размножения.

### Выводы

1. Основу сорта 'Тоболяк' составляет один генотип (96,36%) с формулой авенина *Avn 4.8.2*. Сорт получен путем гибридизации минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и первого биотипа сорта 'Орион' (*Avn 2.8.2*).



**Рис. 6. Паспорт сорта овса посевного 'Тоболяк':**

1 – эталонный спектр авенина; 2 – схема блоков компонентов авенина; St – 'Astor' (стандарт)

**Fig. 6. Passport of the oat cultivar 'Tobolyak':**

1 – reference avenin pattern; 2 – scheme of blocks of avenin components; St – 'Astor' (standard reference)

Всего в результате анализа семей сорта 'Тоболяк' выявлено 12 типов спектра, отличающихся по компонентному составу авенина от основного. Для всех биотипов были идентифицированы блоки компонентов авенина, контролируемые локусами *Avn A*, *Avn B* и *Avn C*. Помимо основного генотипа сорта 'Тоболяк', на основе данных об аллельном составе авенин-кодирующих локусов можно сделать вывод о том, что в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион' возникли генотипы с типами спектра № 2, 3, 7, 10, 11 и 13. При этом необходимо отметить, что биотип № 2 по компонентному составу идентичен минорному биотипу сорта 'Таёжник', а № 3 – второму биотипу сорта 'Таёжник' и основному – сорта 'Орион'. В данном случае нельзя исключить и возможность появления особей стаком генотипом в результате самоопыления, а не гибридизации.

Для остальных обнаруженных генотипов были характерны аллели авенин-кодирующих локусов, отсутствующие

2. В результате анализа компонентного состава родительских сортов и биотипов, выявленных при анализе семей сорта 'Тоболяк', описан новый блок компонентов, контролируемый аллелем локуса *Avn B*. Данному блоку присвоен номер 8.

3. Частота встречаемости 12 биотипов сорта 'Тоболяк', отличающихся от основного, варьирует от 0,07 до 1,51%. Данные генотипы возникли в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион', а также механического засорения. Три семьи являлись гетерозиготными по компонентному составу авенина, что свидетельствует о продолжающемся процессе расщепления сорта.

4. Для поддержания генетической стабильности сорта 'Тоболяк' рекомендовано использовать в процессе оригинального семеноводства только семьи первого биотипа.

## References / Литература

- Campbell M.T., Hu H., Yeats T.H., Caffè-Tremblé M., Gutierrez L., Smith K.P. et al. Translating insights from the seed metabolome into improved prediction for lipid-composition traits in oat (*Avena sativa* L.). *Genetics*. 2021;217(3):iyaa043. DOI: 10.1093/genetics/iyaa043
- Carlson M.O., Montilla-Bascón G., Hoekenga O.A., Tinker N.A., Poland J., Basergio M. et al. Multivariate genome-wide association analyses reveal the genetic basis of seed fatty acid composition in oat (*Avena sativa* L.). *G3 – Genes Genomes Genetics*. 2019;9(9):2963-2975. DOI: 10.1534/g3.119.400228
- Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Pay O.A., Bragin N.A. 'Tobolyak': an oat cultivar for universal use. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):107-113. [in Russian] (Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Пай О.А., Брагин Н.А. 'Тоболяк' – сорт овса ярового универсального использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):107-113). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113
- Grundy M.M.-L., Fardet A., Tosh S.M., Richa G.T., Wilde P.J. Processing of oat: the impact on oat's cholesterol lowering effect. *Food & Function*. 2018;(3):1328-1343. DOI: 10.1039/C7FO02006F
- Ibrahim M.S., Ahmad A., Sohail A., Asad M.J. Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties*. 2020;23(1):1373-1385. DOI: 10.1080/10942912.2020.1806297
- Kabashov A.D., Loskutov I.G., Vlasenko N.M., Leibovich Y.G., Markova A.S., Filonenko Z.V. et al. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):110-118. [in Russian] (Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г., Власенко Н.М., Лейбович Я.Г., Маркова А.С., Филоненко З.В. и др. Сорта овса немчинновской селекции, включенные в Государственный реестр в последние годы (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):110-118). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118
- Kaur S., Bhardwaj R.D., Kapoor R., Grewal S.K. Biochemical characterization of oat (*Avena sativa* L.) genotypes with high nutritional potential. *LWT*. 2019;110:32-39. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.04.063
- Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding. *Plants*. 2021;10(8):1705. DOI: 10.3390/plants10081705
- Lyubimova A.V. Studying the nature of inheritance of avenin components in F<sub>2</sub> hybrids from crossing oat varieties of Siberian selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;02(217):48-59. [in Russian] (Любимова А.В. Изучение характера наследования компонентов авенина у гибридов F<sub>2</sub> от скрещивания сортов овса посевного сибирской селекции. *Аграрный вестник Урала*. 2022;02(217):48-59). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59
- Lyubimova A.V., Fomina M.N., Tobolova G.V., Eremin D.I. The efficiency of systematic application of the prolamine electrophoresis method in primary seed production of oats. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020a;165(12):75-82. [in Russian] (Любимова А.В., Фомина М.Н., Тоболова Г.В., Еремин Д.И. Эффективность систематического применения метода электрофореза проламинов в первичном семеноводстве овса посевного. *Вестник КрасГАУ*. 2020a;165(12):75-82). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-75-82
- Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020b;24(2):123-130. DOI: 10.18699/VJ20.607
- Martinez M.F., Arelovich H.M., Wehrhahne L.N. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *Field Crops Research*. 2010;116(1-2):92-100. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.11.018
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Portyanko V.A., Pomortsev A.A., Kalashnik N.A., Bogachkov V.I., Sozinov A.A. The genetic control of avenins and the principles of classification. *Genetika = Genetics*. 1987;23(5):845-853. [in Russian] (Портянко В.А., Поморцев А.А., Калашник Н.А., Богачков В.И., Созинов А.А. Генетический контроль авенинов и принципы их классификации. *Генетика*. 1987;23(5):845-853).
- Portyanko V.A., Sharopova N.R., Sozinov A.A. Characterization of European oat germ plasm: allelic variation at complex avenin loci detected by acid polyacrylamide gel electrophoresis. *Euphytica*. 1998;102:15-27.
- Scheben A., Batley J., Edwards D. Genotyping-by-sequencing approaches to characterize crop genomes: choosing the right tool for the right application. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(2):149-161. DOI: 10.1111/pbi.12645
- Shavrukov Y. Comparison of SNP and CAPS markers application in genetic research in wheat and barley. *BMC Plant Biology*. 2016;16:11. DOI: 10.1186/s12870-015-0689-9
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovaleva O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Utebayev M., Dashkevich S., Bome N., Bulatova K., Shavrukov Y. Genetic diversity of gliadin-coding alleles in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan. *PeerJ*. 2019;7:e7082. DOI: 10.7717/peerj.7082
- Yarova E.T., Tobolova G.V. Using electrophoresis of spare proteins for spring tritikale selection. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;170(5):96-102. [in Russian] (Ярова Э.Т., Тоболова Г.В. Использование электрофореза запасных белков для селекции яровой тритикале. *Вестник КрасГАУ*. 2021;170(5):96-102). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-96-102
- Zobova N.V., Surin N.A., Gerasimov S.A., Chuslin A.A., Onufrienok T.V. Spectra of prolamines in agroecological evaluation of the collection barley. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(5):45-47. [in Russian] (Зобова Н.В., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Чуслин А.А., Онуфриенок Т.В. Спектры проламинов в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(5):45-47). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10511

### *Информация об авторах*

**Анна Валерьевна Любимова**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, ostapenkoav88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>

**Мария Николаевна Фомина**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Дмитрий Иванович Еремин**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

**Виктория Сергеевна Мамаева**, стажер-исследователь, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru

**Валерия Сергеевна Мишечкина**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, leokin404@gmail.com

**Николай Александрович Брагин**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Сергей Александрович Белоусов**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com

**Мария Владимировна Брагина**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com

### *Information about the authors*

**Anna V. Lyubimova**, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, ostapenkoav88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>

**Maria N. Fomina**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Dmitry I. Eremin**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

**Victoria S. Mamaeva**, Intern Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru

**Valeria S. Mishechkina**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, leokin404@gmail.com

**Nikolay A. Bragin**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Sergei A. Belousov**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com

**Maria V. Bragina**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 24.02.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 24.02.2022; approved after reviewing on 28.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья  
УДК 635.615:631.527.56  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139



## Характеристика межлинейных гибридов $F_1$ арбуза столового по степени доминирования и величине истинного и гипотетического гетерозиса

Е. А. Варивода, Н. Г. Байбакова

Федеральный научный центр овощеводства, Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО, Быковский р-н, Волгоградская обл., Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Александровна Варивода, elena-varivoda@mail.ru

**Актуальность.** В селекции растений гетерозис является одним из важнейших и перспективных направлений. Развитие гетерозисной селекции в бахчеводстве позволит получать гибриды с высокой приспособляемостью к различным условиям выращивания, высоким гетерозисным эффектом по количественным и качественным признакам.

**Материалы и методы.** Исследования проводились в богарных условиях Волгоградского Заволжья. Объект исследований – гетерозисные гибриды арбуза. Методы исследования – гибридизация и инцухт. Стандарт – гибрид арбуза Бархан  $F_1$ .

**Результаты.** В результате исследований по средней массе плода стандарт превысили гибриды ЧмсМт и ЧмсФт на 1,1 кг. Самая высокая средняя урожайность за два года исследований отмечена у гибридов  $F_1$  ЧмсНц – 24,3 т/га, ЧмсФт – 24,1 т/га, ЧмсМт – 23,1 т/га (стандарт – 20,8 т/га). Наследование массы плода по принципу сверхдоминирования отмечено у гибридов ЧмсМк, ЧмсРн, ЧмсНц, ЧмсМт. Эти же гибриды по массе плода отличались положительными показателями гипотетического и истинного гетерозиса. Высокую степень доминирования по урожайности показали гибриды ЧмсФт, ЧмсНц, ЧмсИр. У всех гетерозисных гибридов арбуза показатель гипотетического гетерозиса имеет положительные результаты. Отрицательный истинный гетерозис (–0,49%) отмечен у гибридов ЧмсРн и ЧмсПХ. У остальных исследуемых гибридов арбуза истинный гетерозис имел положительные показатели и колебался от 2,4% у ЧмсИр до 11,06% у ЧмсФт.

**Заключение.** Выделены гетерозисные гибриды арбуза, созданные на основе стерильной материнской линии Чмс, обладающие высокими показателями истинного и гипотетического гетерозиса по показателям массы плода и урожайности.

**Ключевые слова:** гетерозисные гибриды, урожайность, масса плода, наследование признаков

**Благодарности:** работа выполнена по Государственному заданию № FNRN-2019-0067 ФНП Фундаментальные научные исследования «Создать сорта и гибриды овощных, бахчевых и цветочных культур с комплексом хозяйственно ценных признаков для открытого грунта и различных культивационных сооружений, различных целей использования (свежее потребление, переработка, хранение), высокими потребительскими качествами и повышенным содержанием БАВ с целью включения в технологии разного уровня интенсивности».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Варивода Е.А., Байбакова Н.Г. Характеристика межлинейных гибридов  $F_1$  арбуза столового по степени доминирования и величине истинного и гипотетического гетерозиса. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):132-139. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139

## DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139

**Characteristics of interline table watermelon  $F_1$  hybrids according to the degrees of dominance and indices of true and hypothetical heterosis**

Elena A. Varivoda, Nina G. Baibakova

*Federal scientific vegetable center, Bikovskaya Cucurbit Breeding Experimental Station – branch of the FSBSI FSVC, Bykovsky Dist., Volgograd Province, Russia***Corresponding author:** Elena A. Varivoda, elena-varivoda@mail.ru

**Background.** Heterosis is one of the most important and promising plant breeding trends. Its development will make it possible to obtain hybrids with high adaptability and a high heterosis effect in their quantitative and qualitative characteristics.

**Materials and methods.** The studies were carried out under dry conditions of the Volgograd Trans-Volga region in 2019–2020. Heterotic hybrids of table watermelon served as the research material, and hybridization and inbreeding as research methods. The heterotic  $F_1$  hybrid of watermelon Barkhan was used as the reference.

**Results.** The characteristics of heterotic watermelon hybrids were compared with the parental forms and the Barkhan  $F_1$  reference. The length of the growing season in heterotic hybrids was inherited intermediately. In the average fruit weight, the reference was exceeded by the hybrids ChmsMt and ChmsFt by 1.1 kg. The highest average yield for the two years of research was observed in the  $F_1$  hybrids ChmsNts (24.3 t/ha), ChmsFt (24.1) and ChmsMt (23.1) (reference: 20.8 t/ha). The inheritance of fruit weight according to the principle of overdominance occurred in the  $F_1$  hybrids ChmsMk, ChmsRn, ChmsNts and ChmsMt. In their fruit weight, the same hybrids showed positive indices of hypothetical and true heterosis. The  $F_1$  hybrids ChmsFt, ChmsNts and ChmsIR demonstrated high degrees of dominance in yield (1.8 to 5.0%). The index of hypothetical heterosis had positive results in all studied heterotic watermelon hybrids. Negative true heterosis (–0.49%) was observed in two  $F_1$  hybrids, ChmsRn and ChmsPH. The remaining watermelon hybrids had positive true heterosis indices that ranged from 2.4% in ChmsIR to 11.06% in ChmsFt.

**Conclusion.** As a result of the studies, heterotic hybrids of watermelon, developed on the basis of the sterile mother line Chms, were identified for high indices of true and hypothetical heterosis in fruit weight and yield parameters.

**Key words:** heterotic hybrids, yield, fruit weight, inheritance of traits

**Acknowledgements:** the work was carried out according to State Task No. FNRN-2019-0067 FNP: Fundamental scientific research “To create cultivars and hybrids of vegetable, cucurbit and flower crops with a set of valuable agronomic traits for open ground and various cultivation facilities, for various uses (fresh consumption, processing, and storage), with high consumer qualities and high content of bioactive compounds in order to include them in technologies of different intensity levels”. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Varivoda E.A., Baibakova N.G. Characteristics of interline table watermelon  $F_1$  hybrids according to the degrees of dominance and indices of true and hypothetical heterosis. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3): 132-139. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139

## Введение

Одним из важнейших факторов процветания страны является здоровье и повышение долголетия нации. Отрасль овощеводства является одним из главных факторов обеспечения продовольственной безопасности, так как овощи играют важную роль в структуре питания (Soldatenko, Pishnaya, 2018). Неотъемлемой частью этой отрасли является бахчеводство. Доля потребления бахчевых культур, по нормам Минздрава РФ, должна составлять 10,7% от всей овощной продукции (15 кг в год на 1 человека). По данным Федеральной службы государственной статистики, потребление овощной и бахчевой продукции в 2020 г. составило 103,9 кг в среднем на потребителя в год, из них арбуза и дыни – 12,1 кг (Federal State..., 2021). Для обеспечения населения бахчевой продукцией в полном объеме необходимо расширить сортимент высокоурожайных отечественных сортов и гибридов, отличающихся хорошей технологичностью, отзыв-

определение истинного и гипотетического гетерозиса, а также степени доминирования фенотипических признаков.

## Материалы и методы

Объект исследований – восемь гетерозисных гибридов арбуза, полученных при скрещивании стерильной материнской линии Чмс с отцовскими линиями. Место проведения исследований – Быковская бахчевая селекционная опытная станция, зона Волгоградского Заволжья. Район исследований, согласно климатическому районированию, отнесен к очень теплой и умеренно сухой сухостепной и полупустынной зоне с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 0,6–0,4 (Agroclimatic reference..., 1967).

Погодные условия периода исследований (табл. 1) оценивали по гидротермическому коэффициенту (ГТК), который рассчитывали по формуле Г. Т. Селянинова (Selyaninov, 1958).

**Таблица 1. Характеристика погодных условий периода исследований 2019–2020 гг.**  
(Быковская бахчевая опытная станция)

**Table 1. Characteristics of weather conditions in the research period of 2019–2020**  
(Bykovskaya Cucurbit Breeding Experimental Station)

Период исследований	Сумма осадков, мм	Сумма активных температур, °С	Гидротермический коэффициент	Влагообеспеченность
Май – сентябрь 2019 г.	165,7	3285	0,5	засушливый
Май – сентябрь 2020 г.	272,6	3388	0,8	средневлажный
Среднее за вегетационный период	219,15	3336,5	0,65	

чивостью на высокие дозы удобрений, выравненностью по форме и размеру, высококачественными пищевыми свойствами, а также устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям, болезням и вредителям. Одним из перспективных направлений в растениеводстве является гетерозисная селекция, позволяющая быстро проводить сортосмену и сортообновление. Гетерозисные гибриды можно получить за 3–4 года, тогда как на получение нового сорта методом классической селекции уходит 6, а зачастую и 10 лет (Varivoda et al., 2020).

Наиболее распространенная культура среди бахчевых – это арбуз. Арбуз (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) является одной из наиболее экономически важных мировых продовольственных культур (Wijesinghe et al., 2020). Гетерозис у арбуза может проявляться по урожайности, массе плода и содержанию сухих растворимых веществ (Bansal et al., 2002; Do Nascimento et al., 2018). Однако создание гетерозисных гибридов арбуза затруднено в связи с трудностью получения стерильных родительских форм (Zhang, 2012). Одной из форм проявления стерильности у арбуза является генная мужская стерильность, механизм которой у арбуза малоизучен (Wei et al., 2021).

На Быковской бахчевой селекционной опытной станции получена материнская линия арбуза с мужской стерильностью и двумя рецессивными признаками (цельнолистность, контролируемая геном *nl*, и светло-зеленая окраска плода, контролируемая геном *q*) – Линия Чмс (ЛЧмс).

Цель данной работы – оценка гетерозисных гибридов арбуза, созданных на основе стерильной материнской линии, по комплексу хозяйственно ценных признаков,

Участок размещался в трехпольном севообороте: пар, бахча, яровые зерновые. Почвы светло-каштановые, супесчаные. Метод исследования – лабораторно-полевой. Гетерозисные гибриды испытывались в полевых условиях, по 30 растений на делянке, площадь питания одного растения – 4 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Проводили оценку гибридов F<sub>1</sub> по хозяйственно ценным признакам: длина вегетационного периода, масса плода, урожайность – в сравнении с родительскими формами и стандартом. В качестве стандарта использовали гетерозисный гибрид арбуза столового иностранной селекции Бархан F<sub>1</sub>.

Определяли истинный и гипотетический гетерозис. Гетерозис истинный (Г<sub>ист.</sub>) характеризует более сильное проявление признака в F<sub>1</sub> по сравнению с лучшей родительской формой. Для оценки использовали метод расчета коэффициентов истинного гетерозиса по Д. С. Омарову (Omarov, 1975):

$$Г_{ист.} = F_1 - P_{луч.} / P_{луч.} \times 100\%;$$

где F<sub>1</sub> – изучаемый показатель у гибрида; P<sub>луч.</sub> – этот же показатель у лучшего родителя.

Гипотетический гетерозис (Г<sub>гип.</sub>) – превосходство гибрида над средним, характерным для обоих родителей признаком. Формула для определения гипотетического гетерозиса имеет следующий вид:

$$Г_{гип.} = F_1 - P_{ср.} / P_{ср.} \times 100\%;$$

где F<sub>1</sub> – изучаемый показатель у гибрида; P<sub>ср.</sub> – средний показатель между родительскими формами (P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub>) / 2.

Степень фенотипического доминирования (показатель наследования признаков) в контролируемых скрещиваниях определяли по методу Гриффинга (Griffing, 1956). Степень доминирования ( $H_p$ ) определяли по формуле:

$$H_p = \frac{F_1 - MF}{HF - MF},$$

где  $H_p$  – показатель наследования;  $F_1$  – среднее значение признака в гибридной семье;  $MF$  – среднее значение признака между обоими родителями;  $HF$  – значение признака у лучшего родителя.

### Результаты исследований и их обсуждение

Как доказано большинством отечественных и зарубежных исследователей, величина гетерозиса зависит от выбора родителей и их генетических признаков. Селекционеры могут подбирать родительские формы для скрещивания по различным параметрам: эколого-географические особенности, продуктивность, продолжительность фаз вегетации, различная устойчивость к бо-

лезням и вредителям (Sapovadiya et al., 2013; Gadjiyev et al., 2020). Для успешного создания гетерозисных гибридов необходимо комплексное изучение селекционного материала. Выделение доноров и источников эффективной работы генетических систем, определяющих адаптивность и продуктивность родительских форм создаваемых гибридов, обеспечит возможность предсказания величины признака у гибрида при объединении в генотипе гибрида наиболее эффективно работающих аллелей (Dragavtsev, 2011).

В нашей работе в качестве материнской формы использовалась линия с мужской стерильностью – Линия Чмс (ЛЧмс). Линия имеет плоды средних размеров, светло-зеленой окраски, без рисунка. Мякоть розовая. Содержание сухого растворимого вещества – 10,2–11,2%. Вегетационный период – 63–65 сут. В качестве отцовских форм использовали линии, полученные с помощью инцухтирования сортов отечественной селекции.

Характеристика полученных гибридов  $F_1$  арбуза и родительских форм по основным хозяйственным признакам представлена в таблице 2.

**Таблица 2.** Характеристика родительских форм и гетерозисных гибридов арбуза по хозяйственно ценным признакам, среднее за 2019–2020 гг.

**Table 2.** Characteristics of parental forms and heterotic hybrids of watermelon according to valuable agronomic traits, averaged for 2019–2020

Название образца	Длина вегетационного периода	Содержание общего сахара, %	Содержание сухого вещества, %	Масса плода, кг		Урожайность, т/га	
				средняя	отклонение от стандарта	средняя	отклонение от стандарта
<b>Родительские формы</b>							
ЛЧмс	65	9,15	10,8	6,5	–	20,5	–
Нц	75	8,40	11,2	7,0	–	22,8	–
Рн	75	8,85	11,3	7,3	–	18,1	–
Мк	75	11,35	12,5	7,0	–	20,1	–
ПХ	74	9,15	11,4	7,0	–	18,2	–
Мр	72	10,45	12,5	7,7	–	21,2	–
Мт	77	10,00	12,6	8,5	–	21,8	–
Фт	79	10,50	12,1	9,0	–	21,7	–
Ир	84	10,65	12,9	7,5	–	19,3	–
НСР <sub>05</sub>	–	–	–	0,42	–	1,43	–
<b>Гетерозисные гибриды</b>							
Бархан, st	72	8,45	10,9	7,7		20,8	
ЛЧмсНц	67	8,50	10,9	7,3	-0,4	24,3	+3,5
ЛЧмсРн	67	8,85	10,9	7,5	-0,2	20,4	-0,4
ЛЧмсМк	69	10,45	11,9	7,5	-0,2	22,5	+1,7
ЛЧмсПХ	70	9,15	10,8	6,5	-1,2	20,4	-0,4
ЛЧмсМр	67	10,00	11,4	7,3	-0,4	22,3	+1,5
ЛЧмсМт	71	10,45	12,0	8,8	+1,1	23,1	+2,3
ЛЧмсФт	72	10,00	11,8	8,8	+1,1	24,1	+3,3
ЛЧмсИр	72	10,00	11,6	7,3	-0,4	21,0	+0,2
НСР <sub>05</sub>	–	0,42	–	0,34	–	1,16	–

По данным таблицы 2 видно, что самым коротким вегетационным периодом обладает материнская линия ЛЧмс – 65 суток, у отцовских форм этот показатель колебался от 72 у линии Мр до 84 суток у линии Ир. Среди гетерозисных гибридов арбуза по скороспелости выделились гибриды: ЛЧмсНц, ЛЧмсРн, ЛЧмсМр. Период их вегетации составил 67 суток, что на 5 суток короче стандарта, гибрида Бархан F<sub>1</sub>. Быстрее стандарта на 2-3 суток созрели гибриды ЛЧмсМк, ЛЧмсПХ. Все остальные гетерозисные гибриды по скорости вступления в плодоношение были на уровне стандарта. По сравнению с родительскими формами, по скороспелости гетерозисные гибриды занимают промежуточное положение.

Содержание общего сахара и сухого вещества у гибридов F<sub>1</sub> наследуется промежуточно. Самыми высокими зна-

самая высокая урожайность была у ЛЧмсНц и ЛЧмсФт: превышение над стандартом составило 3,5 и 3,3 т/га соответственно (см. табл. 2).

При производстве гибридов F<sub>1</sub> важно знать тип наследования признака и его адаптивные возможности. Для анализа закономерности наследования признаков рассчитывали степень доминирования признаков и эффекты гипотетического и истинного гетерозиса по показателям «средняя масса плода» и «урожайность».

Сверхдоминирование по признаку «средняя масса плода» отмечено у четырех гибридных комбинаций арбуза: ЛЧмсНц (2,5), ЛЧмсРн (1,5), ЛЧмсМк (3,5), ЛЧмсМт (1,3). Отрицательное сверхдоминирование наблюдается у комбинации ЛЧмсПХ, а отрицательное доминирование – у ЛЧмсИр (табл. 3).

**Таблица 3. Степень доминирования гетерозисных гибридов арбуза столового по средней массе плода**

**Table 3. The degree of dominance in heterotic hybrids of table watermelon according to the average fruit weight**

Комбинация скрещивания	Масса плода, кг			Степень доминирования, Нр*	
	у гибридов F <sub>1</sub>	средняя по родителям, Р <sub>р</sub>	у лучшего родителя, Р <sub>л</sub>		
ЛЧмсНц	7,3	6,8	7,0	2,5	СД
ЛЧмсРн	7,5	6,9	7,3	1,5	СД
ЛЧмсМк	7,5	6,8	7,0	3,5	СД
ЛЧмсПХ	6,5	6,8	7,0	-1,5	-СД
ЛЧмс Мр	7,3	7,1	7,7	0,3	ПР
ЛЧмсМт	8,8	7,5	8,5	1,3	СД
ЛЧмсФт	8,8	7,8	9,0	0,8	Д
ЛЧмсИр	7,3	7,5	7,0	-0,7	-Д

Примечание: \* – значения Нр от -∞ до -1 – отрицательное сверхдоминирование признака (-СД); от -1 до -0,5 – отрицательное доминирование (-Д); от -0,5 до 0,5 – промежуточное наследование (ПР); от 0,5 до 1 – положительное доминирование (Д); от 1 до ∞ – положительное сверхдоминирование (СД); при Нр = ±1 – полное доминирование лучшего (+) или худшего (-) проявления признака

Note: \* – Нр values from -∞ to -1: negative overdominance of the trait (-СД); from -1 to -0.5: negative dominance (-Д); from -0.5 to 0.5: intermediate inheritance (ПР); from 0.5 to 1: positive dominance (Д); from 1 to ∞: positive overdominance (СД); at Нр = ±1: complete dominance of the best (+) or worst (-) manifestation of the trait

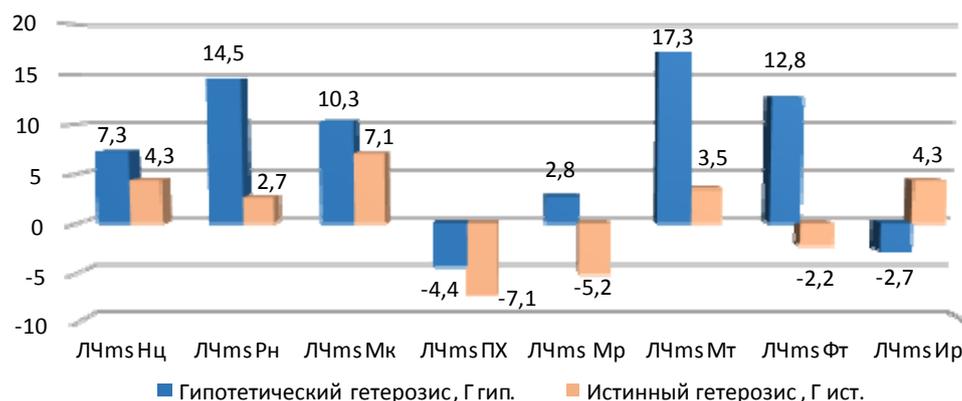
чениями по содержанию общего сахара (10,45%) отличались гетерозисные гибриды ЛЧмсМк и ЛЧмсМт. По содержанию сухого вещества превысили стандарт Бархан F<sub>1</sub> (10,9%) гибриды: ЛЧмсМт – 12,0%, ЛЧмсМк – 11,9%, ЛЧмсФт – 11,8%, ЛЧмсИр – 11,6% и ЛЧмсМр – 11,4%.

Показатель «масса плода» у родительских форм варьирует от 6,5 кг (материнская ЛЧмс) до 9,0 кг (отцовская линия Фт). У гетерозисных гибридов колебание показателя «средняя масса плода» составило от 6,5 до 8,8 кг. Достоверно превышают стандарт гибриды ЛЧмсМт и ЛЧмсФт – на 1,1 кг.

Средняя урожайность гетерозисных гибридов арбуза за годы исследования составляла от 20,4 до 24,3 т/га. Самый низкий показатель урожайности среди родительских форм отмечен у образцов Рн (18,1 т/га) и ПХ (18,2 т/га). Выше всех показатель урожайности был у образца Нц – 22,8 т/га. Среди гетерозисных гибридов

Высокий гипотетический гетерозис по средней массе плода выявлен у гетерозисных гибридов ЛЧмсНц, ЛЧмсРн, ЛЧмсМк, ЛЧмсМт, ЛЧмсФт, его показатель варьировал от 7,3 до 17,3%. Показатель истинного гетерозиса колебался от 2,7% у комбинации ЛЧмсРн до 7,1% у комбинации ЛЧмсМк. Отрицательными показателями истинного гетерозиса характеризовались гибриды ЛЧмсМр и ЛЧмсФт – от -5,2% до -2,2% соответственно. По признаку «средняя масса плода» гетерозис отсутствовал у комбинации ЛЧмсПХ (рис. 1).

Степень доминирования по признаку «урожайность» практически во всех гибридных комбинациях характеризовалась как сверхдоминирование. Только у комбинаций ЛЧмсРн и ЛЧмсПХ этот признак наследуется по принципу доминирования (табл. 4). У этих же двух комбинаций (рис. 2) отмечен отрицательный эффект истинного гетерозиса (-0,49%).



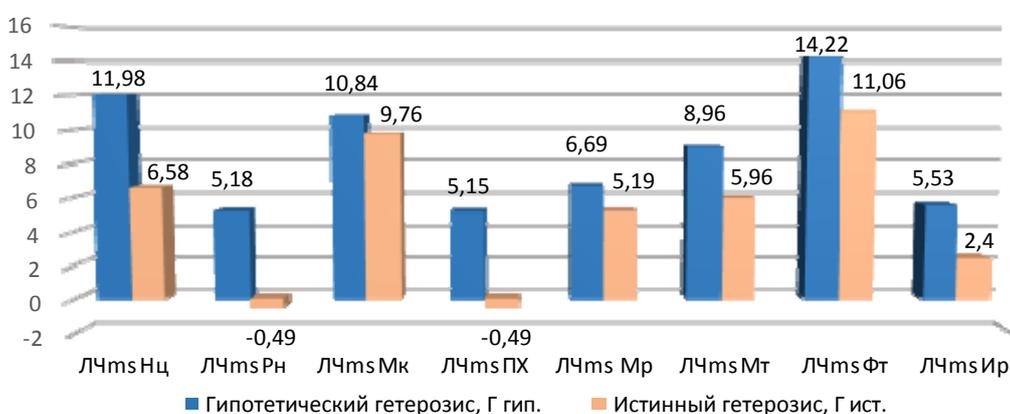
**Рис. 1.** Величина гипотетического и истинного гетерозиса у гибридов  $F_1$  арбуза столового по средней массе плода  
**Fig. 1.** Hypothetical and true heterosis index values for table watermelon  $F_1$  hybrids according to their average fruit weight

**Таблица 4.** Степень доминирования гетерозисных гибридов арбуза столового по урожайности  
**Table 4.** The degree of dominance in heterotic table watermelon hybrids according to their yield

Комбинация скрещивания	Урожайность, т/га			Степень доминирования, $H_p^*$	
	у гибридов $F_1$	средняя по родителям, $P_{cp}$	у лучшего родителя, $P_l$		
ЛЧmsНц	24,3	21,7	22,8	2,3	СД
ЛЧmsРн	20,4	19,3	20,5	0,9	Д
ЛЧmsМк	22,5	20,3	20,5	1,1	СД
ЛЧmsПХ	20,4	19,4	20,5	0,9	Д
ЛЧms Мр	22,3	20,9	21,2	1,1	СД
ЛЧmsМт	23,1	21,2	21,8	1,3	СД
ЛЧmsФт	24,1	21,1	21,7	5,0	СД
ЛЧmsИр	21,0	19,9	20,5	1,8	СД

Примечание: \* – значения  $H_p$  от  $-\infty$  до  $-1$  – отрицательное сверхдоминирование признака ( $-СД$ ); от  $-1$  до  $-0,5$  – отрицательное доминирование ( $-Д$ ); от  $-0,5$  до  $0,5$  – промежуточное наследование ( $ПР$ ); от  $0,5$  до  $1$  – положительное доминирование ( $Д$ ), от  $1$  до  $\infty$  – положительное сверхдоминирование ( $СД$ ); при  $H_p = \pm 1$  – полное доминирование лучшего (+) или худшего (–) проявления признака

Note: \* –  $H_p$  values from  $-\infty$  to  $-1$ : negative overdominance of the trait ( $-СД$ ); from  $-1$  to  $-0,5$ : negative dominance ( $-Д$ ); from  $-0,5$  to  $0,5$ : intermediate inheritance ( $ПР$ ); from  $0,5$  to  $1$ : positive dominance ( $Д$ ); from  $1$  to  $\infty$ : positive overdominance ( $СД$ ); at  $H_p = \pm 1$ : complete dominance of the best (+) or worst (–) manifestation of the trait



**Рис. 2.** Величина гипотетического и истинного гетерозиса у гибридов  $F_1$  арбуза столового по урожайности, %  
**Fig. 2.** Hypothetical and true heterosis index values for table watermelon  $F_1$  hybrids according to their yield, %

Самым высоким гетерозисом, как гипотетическим, так и истинным, обладают гибридные комбинации ЛЧmsФТ ( $\Gamma_{\text{гип.}}$  – 14,22%,  $\Gamma_{\text{ист.}}$  – 11,06%), ЛЧmsНц ( $\Gamma_{\text{гип.}}$  – 11,98%,  $\Gamma_{\text{ист.}}$  – 6,58%), ЛЧmsМк ( $\Gamma_{\text{гип.}}$  – 10,84%,  $\Gamma_{\text{ист.}}$  – 9,76%), ЛЧmsМт ( $\Gamma_{\text{гип.}}$  – 8,96%,  $\Gamma_{\text{ист.}}$  – 5,96%).

### Выводы

Результаты проведенных исследований по изучению новых гетерозисных гибридов арбуза показали, что наследование таких показателей, как длина вегетационного периода, содержание сухого вещества и общего сахара, у гетерозисных гибридов арбуза носит промежуточный характер.

Наследование урожайности у гибридов арбуза происходит по принципу сверхдоминирования и доминирования. Признак «масса плода» у 50% изученных гетерозисных гибридов наследуется по принципу сверхдоминирования.

В результате проведенной работы выделены перспективные гетерозисные гибриды арбуза столового по комплексу хозяйственно ценных признаков. По урожайности и высокому содержанию сухого вещества для дальнейшей работы перспективными являются гибриды  $F_1$ : ЛЧmsМк, ЛЧmsМр, ЛЧmsМт, ЛЧmsФт.

Высоким гипотетическим и истинным гетерозисным эффектом по признакам «масса плода» и «урожайность» обладают гибридные комбинации: ЛЧmsНц, ЛЧmsМк, ЛЧmsМт.

### References / Литература

- Agroclimatic reference book for Volgograd Province (Agroklimaticheskiy spravochnik po Volgogradskoy oblasti). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1967. [in Russian] (Агроклиматический справочник по Волгоградской области. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1967).
- Bansal R., Sooch B.S., Dhall R.K. Heterosis in watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.). *Environment and Ecology*. 2002;20(4):976-979.
- Do Nascimento T.L., de França Souza F., de Cássia Souza Dias R., da Silva E.F. Agronomic characterization and heterosis in watermelon genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2018;48(2):170-177.
- Dragavtsev V.A. Ecological and genetic organization of quantitative traits of plants and the theory of breeding indices (Ekologo-geneticheskaya organizatsiya kolichestvennykh priznakov rasteniy i teoriya selektsionnykh indeksov). In: *Ecological Genetics of Cultivated Plants (Ekologicheskaya genetika kulturnykh rasteniy)*. Krasnodar; 2011. p.31-50. [in Russian] (Драгавцев В.А. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и теория селекционных индексов. В кн.: *Экологическая генетика культурных растений*. Краснодар; 2011. С.31-50).
- Federal State Statistics Service. Household food consumption in 2020 (Potrebleniye produktov pitaniya v domashnikh khozyaystvakh v 2020 godu). Moscow; 2021. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2020 году. Москва; 2021). URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Potreb\\_prod\\_pitan-2020.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Potreb_prod_pitan-2020.pdf) [дата посещения: 16.11.2021].
- Gadjiyev N.M., Lebedeva V.A., Rybakov D.A., Ivanov A.V., Zheltova V.V., Fomina N.A. et al. On using data from marker-assisted selection of source material and intervarietal hybrids in practical potato breeding. *Agricultural Biology*. 2020;55(5):981-994. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.5.981eng
- Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*. 1956;(9):463-493.
- Lushchik A.A. Assessment of the need for vegetables in accordance with rational norms of consumption. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;2(46):16-21. [in Russian] (Лущик А.А. Оценка потребности в овощах в соответствии с рациональными нормами их потребления. *Овощи России*. 2019;2(46):16-21). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-16-21
- Omarov D.S. To the method of recording and assessing heterosis in plants (K metodike ucheta i otsenki geterozisa u rasteniy). *Agricultural Biology*. 1975;10(1):123-127. [in Russian] (Омаров Д.С. К методике учета и оценки гетерозиса у растений. *Сельскохозяйственная биология*. 1975:123-127).
- Sapovadiya M.H., Dhaduk H.L., Mehta D.R., Patel N.B. Heterosis in watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.]. *Progressive Research*. 2013;8(2):217-220.
- Selyaninov G.T. The origin and dynamics of droughts (Proiskhozheniye i dinamika zasukh). In: *Droughts in the USSR. Their origin, frequency and impact on the yield (Zasukhi v SSSR. Ikh proiskhozheniye, povtoryayemost i vliyaniye na urozhay)*. A.I. Rudenko (ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1958. p.5-30. [in Russian] (Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух. В кн.: *Засухи в СССР. Их происхождение, повторяемость и влияние на урожай* / под ред. А.И. Руденко. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1958. С.5-30).
- Soldatenko A.V., Pishnaya O.N. The role of vegetable breeding and modern researches in food stability. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(5):5-8. [in Russian] (Солдатенко А.В., Пышная О.Н. Роль селекции овощных культур и современных исследований в продовольственной стабильности. *Овощи России*. 2018;(5):5-8). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-5-8
- Varivoda E.A., Baybakova N.G., Varivoda G.V. General combi-native ability of parental lines of watermelon in terms of yield and dry matter content. *Vegetable Crops of Russia*. 2020;(5):29-33. [in Russian] (Варивода Е.А., Байбакова Н.Г., Варивода Г.В. Общая комбинационная способность родительских линий арбуза по урожайности и содержанию сухого вещества. *Овощи России*. 2020;(5):29-33). DOI: 10.18619/2072-9146-2020-5-29-33
- Wei C., Zhang R., Yue Z., Yan X., Cheng D., Li J. et al. The impaired biosynthetic networks in defective tapetum lead to male sterility in watermelon. *Journal of Proteomics*. 2021;243:104241. DOI: 10.1016/j.jprot.2021.104241
- Wijesinghe S.A.E.C., Evans L.J., Kirkland L., Rader R. A global review of watermelon pollination biology and ecology: The increasing importance of seedless cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2020;271:109493. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109493
- Zhang Y., Cheng Z., Ma J., Xian F., Zhang X. Characteristics of a novel male–female sterile watermelon (*Citrullus lanatus*) mutant. *Scientia Horticulturae*. 2012;140:107-114. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.03.020

*Информация об авторах*

**Елена Александровна Варивода**, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр овощеводства, Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО (Быковская БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО), 404067 Россия, Волгоградская обл., Быковский р-н, пос. Зеленый, ул. Сиреневая, 11, elena-varivoda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5580-4813>

**Нина Генриховна Байбакова**, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр овощеводства, Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО (Быковская БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО), 404067 Россия, Волгоградская обл., Быковский р-н, пос. Зеленый, ул. Сиреневая, 11, <https://orcid.org/0000-0002-6407-2631>

*Information about the authors*

**Elena A. Varivoda**, Senior Researcher, Federal scientific vegetable center, Bikovskaya Cucurbit Breeding Experimental Station – branch of the FSBSI FSVC, 11 Sirenevaya St., Zelyony Settlem., Bykovsky Dist., Volgograd Province 404067, Russia, elena-varivoda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5580-4813>

**Nina G. Baibakova**, Senior Researcher, Federal scientific vegetable center, Bikovskaya Cucurbit Breeding Experimental Station – branch of the FSBSI FSVC, 11 Sirenevaya St., Zelyony Settlem., Bykovsky Dist., Volgograd Province 404067, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6407-2631>

**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 17.02.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 06.09.2022.  
The article was submitted on 17.02.2022; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Новый сорт костреца безостого 'Гвардеец' Тюменской селекции

Н. А. Феоктистова, Ю. Е. Леонидов

Федеральный Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,  
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья, Тюменская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Александровна Феоктистова, [nata\\_feo@mail.ru](mailto:nata_feo@mail.ru)

**Актуальность.** Многолетнее травянистое растение кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) - культура универсального использования: как кормовая в отрасли животноводства, как фитомелиорант при биологической рекультивации, как компонент травосмесей для создания прочного естественного покрытия при благоустройстве территорий. Генетическое разнообразие вида позволяет создавать новые сорта, способные на продуктивное долголетие. **Материалы и методы.** В 2017 г. на Государственное сортоиспытание РФ был передан новый сорт костреца безостого 'Гвардеец', созданный методом химического мутагенеза из сорта 'Свердловский 38' с последующим многократным отбором. В течение вегетационных периодов 2012–2020 гг. на опытном поле НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья была проведена его сравнительная оценка с сортами-стандартами 'Лангепас' и 'Свердловский 38' по основным показателям продуктивности. Наблюдения проводились по общепринятым методикам.

**Результаты и выводы.** По морфобиологическим особенностям новый сорт 'Гвардеец' среднеспелый, сенокосно-пастбищного типа использования. В северных регионах преимущественно одноукосный. От весеннего отрастания до укосной спелости проходит 50–60 дней, до сбора семян – 95–110 дней. Растения образуют прямостоячий куст средней плотности, высотой 115–145 см, с облиственностью 38–50%. Содержание протеина в сухом веществе растений – 7,0–12,0%; клетчатки – 28,2–34,0%. Отличается хорошей продуктивностью: урожайность зеленой массы за 9 лет в среднем составила 22,8 т/га; сбор сена – 7,7 т/га; сбор семян – 0,19 т/га, что выше исходной формы 'Свердловский 38' (♀) на 13, 12 и 16% соответственно, а продуктивного сорта 'Лангепас' на 5–7%. Устойчив к полеганию, технологичен, адаптивен к неблагоприятным условиям среды, что обеспечивает его высокую ценность для практического использования. По результатам ГСИ в 2021 г. районирован по Волго-Вятскому (4), Западно-Сибирскому (10), Восточно-Сибирскому (11) регионам РФ.

**Ключевые слова:** показатель, кормовая продуктивность, урожайность семян, сравнение, морфологическое описание

**Благодарности:** исследование выполнялось в соответствии с тематическим планом Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального Тюменского научного центра СО РАН № НИОКТР АААА-А 18-118013090023-0 «Создание новых сортов зерновых, зернобобовых культур и многолетних трав. Новые сорта с улучшенными полезно-хозяйственными признаками, повышенной устойчивостью к био- и абиофакторам среды».

**Для цитирования:** Феоктистова Н.А., Леонидов Ю.Е. Новый сорт костреца безостого 'Гвардеец' Тюменской селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(3):140-148. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-140-148

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-140-148

## 'Gvardeets': a new awnless brome (*Bromopsis inermis*) cultivar developed in Tyumen Province

Natalya A. Feoktistova, Yury E. Leonidov

*Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, Tyumen Province, Russia***Corresponding author:** Natalya A. Feoktistova, [nata\\_feo@mail.ru](mailto:nata_feo@mail.ru)

**Background.** Awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) is a perennial herbaceous plant used as feed in animal husbandry, for phytomelioration, and as a component of grass mixtures to make a durable natural cover for landscaping. Studying the genetic diversity of this species and selecting the best accessions will help to develop new cultivars capable of productive longevity.

**Materials and methods.** In 2017, a new cultivar of *B. inermis* called 'Gvardeets' was submitted to the State Variety Trials. It was developed using chemical mutagenesis followed by multiple selection from cv. 'Sverdlovsky 38' at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, a branch of Tyumen Scientific Center. During the growing seasons of 2012–2020, the cultivar was compared in the field according to the main productivity indicators with the reference cvs. 'Langepas' and 'Sverdlovsky 38'. Observations were performed according to the guidelines for the study of fodder crops.

**Results and conclusions.** The new cultivar 'Gvardeets' is mid-season: it takes 50–60 days for its plants to develop from spring regrowth to the beginning of mowing and 95–110 days to harvesting. The plants are erect, 115–145 cm high; foliage content is 38–50%. Protein content in dry matter is 7.0–12.0%; fiber content, 28.2–34.0%. It has a good yield: the harvest of green mass for 9 years averaged 22.8 t/ha; hay, 7.7 t/ha; seeds, 0.19 t/ha, which is higher the original cv. 'Sverdlovsky 38' (♀) by 13, 12 and 16% and the productive cv. 'Langepas' by 6, 7 and 5%, respectively. It is winter-hardy, resistant to lodging, technology-friendly, and well adaptable to adverse environmental conditions, which ensures its high value for practical use. It was designed for hayfields and pastures. According to the results of the State Variety Trials, in 2021 it was commercialized for the Volga-Vyatka (4), West Siberian (10), and East Siberian (11) regions of Russia.

**Keywords:** indicator, forage productivity, seed yield, comparison, morphological description

**Acknowledgments:** the study was carried out in accordance with the theme plan of the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of Tyumen Scientific Center, Siberian Branch of the RAS, No. NIOKTR AAAA-A 18-118013090023-0 "Development of new cereal, grain legume and perennial grass cultivars. New cultivars with improved useful agronomic characteristics, and increased resistance to bio- and abiofactors of the environment".

**For citation:** Feoktistova N.A., Leonidov Yu.E. 'Gvardeets': a new awnless brome (*Bromopsis inermis*) cultivar developed in Tyumen Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):140-148. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-140-148

## Введение

Многолетние злаковые травы в настоящее время востребованы в связи с их универсальным использованием. Кроме основного назначения для отрасли животноводства их стали широко применять для биологической рекультивации, так как они доказали свою эффективность в восстановлении растительного покрова нарушенных земель (Zelenskiy, Sariyev, 2008; Sariyev, 2018), для городского и специального озеленения. С увеличением темпов промышленного освоения природных ресурсов актуальность применения сеяных луговых трав возрастает с каждым годом (Sariyev, Ochikolova, 2017).

Почвенно-климатические условия Тюменской области хорошо подходят для проведения опытов с многолетними травами и позволяют получать достоверные данные по действию на растения резко меняющихся условий среды. Кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) в Тюменской области изучается с 1980-х гг., и то, что с течением времени выделяются новые продуктивные формы, говорит о богатом потенциале этого вида кормовых злаков. По сравнению с другими многолетними травами он является наиболее долголетним. Посевы костреца безостого в чистом виде меньше всего снижают урожайность, а в бобово-злаковой травосмеси он на четвертый год пользования остается в единственном числе (Zarjanova et al., 2014).

Растения *B. inermis* относятся к интенсивно растущим видам, которые активно формируют биомассу в течение всей вегетации (Maslova et al., 2005). Как перекрестно-опыляемый вид кострец безостый способен к гетерозису, и его сорта представляют собой сложногобридные популяции, обладающие высокой генетической изменчивостью, что позволяет выделять среди них наиболее продуктивные (Kashevarov et al., 2014, 2019). Кроме того, перекрестный способ опыления данного вида растений создает предпосылки для сохранения равновесия в сформировавшейся системе растительного сообщества (Osirova, Serikraeva, 2008).

*Цель исследований* – в питомнике КСИ костреца безостого провести сравнительную оценку нового сорта 'Гвардеец' с сортами-стандартами для характеристики сортовых особенностей.

## Материалы и методы

Объектом исследований являлась перспективная селекционная линия костреца безостого из питомника конкурного сортоиспытания (КСИ) 7-1-54, переданная в 2017 г. на Государственное сортоиспытание под названием «Гвардеец». Генетическим источником для создания новой популяции являлся октоплоидный сорт костреца безостого 'Свердловский 38' селекции Уральского аграрного федерального научно-исследовательского центра и Челябинского НИИСХ, зарегистрированный по 7 регионам РФ с 1971 г. Первый этап работы проводился в 1984 г. с применением экспериментального для тех лет метода химического мутагенеза, который заключался в воздействии сильнодействующих химических веществ на семена растений. В лабораторных условиях семена костреца безостого обрабатывали химическими мутагенами – диметилсульфатом, нитрозометилмочевинной, этиленимином в концентрациях 0,005, 0,01, 0,02% в чистом виде и совместно с парааминобензойной кислотой. Были получены новые растения с измененной наследственностью, среди которых неоднократно проводился индиви-

дуальный отбор (Sheveleva, 2006; Lipovtysna, 2016). Работа выполнялась в соответствии с рекомендациями И. А. Рапорорта (Rapoport, Zoz, 1971). Выполнение всех работ и исследований в 1984–2017 гг. проводилось под руководством селекционера по многолетним травам Липовцовой Татьяны Поликарповны (Lipovtysna, 2016); авторами сорта являются Т. П. Липовцына, Ю. Е. Леонидов, Л. В. Марченко.

В статье приведены данные, полученные на заключительном этапе – в периоды, предшествующие передаче нового сорта на ГСИ и во время проведения испытаний (2012–2020 гг.) – и включающие разные годы пользования травостоя. Наблюдения за растениями проводились в условиях полевого опыта в НИИСХ Северного Зауралья – филиале Тюменского научного центра СО РАН, территориально находящемся в черте г. Тюмени. Характер климата среднеконтинентальный, умеренно увлажненный. Среднегодовая сумма положительных температур более 5°C за период с мая по сентябрь составляет 1400–1500°C, в отдельные годы достигает свыше 1800°C, продолжительность безморозного периода со среднесуточной температурой воздуха выше +5°C составляет 160 дней (Karetin, 1990).

Почва опытного поля по типу серая лесная, оподзоленная, тяжелосуглинистая. Содержание гумуса – 3,4%; нитратного азота – 2,2–3,9 мг; подвижного фосфора – 5–7 мг; обменного калия – 6,5–9,0 мг/100 г почвы. Посевы экспериментальных делянок размещали по паре. Агротехника состояла из общепринятых полевых мероприятий в сроки с учетом почвенно-климатических показателей. Исследования проводили по методическим указаниям для опытов с многолетними травами (Guidelines for conducting..., 1997) и методикой опытного дела (Dospikhov, 1985). Устойчивость растений к болезням отмечали глазомерно на естественном фоне (Osokin, 1977; Ashmarina et al., 2010). Морфологическое описание составлено по классификатору семейства злаки (Lubenets, 1974). Сорт 'Гвардеец' сравнивался со стандартом (St<sub>1</sub>) 'Лангепас' – высокопродуктивным сортом собственной селекции, допущенным к использованию в шести регионах РФ с 1998 г., и со своей материнской формой (♀) – сортом 'Свердловский 38' в качестве второго стандарта (St<sub>2</sub>).

## Результаты и обсуждение

Агроклиматические показатели в годы проведения исследований были типичными для региона. Возобновление вегетации 75% посевов начиналось в III декаде апреля – I декаде мая. Скашивание зеленой массы на сено проводили однократно в начале цветения (II – III декада июня); учет семенной продуктивности – во II декаде августа. В среднем за последние шесть лет наблюдений период от начала весеннего отрастания до начала цветения составил 54 дня, от отрастания до созревания семян – 51 день, а общая продолжительность вегетации – 105 дней, что соответствует среднеспелому типу (табл. 1). Холодный период года опытные посевы переносили хорошо; зимостойкость составляла 4-5 баллов. По фазам развития растений существенных отличий между наблюдаемыми сортами не отмечалось.

За девятилетний период испытаний получены данные о продуктивности в разные годы жизни травостоя: 1-й г. п. (4 года наблюдений), 2-й г. п. (три года наблюдений), 3-й, 4-й г. п. (по одному году наблюдений). В таблице 2 приведены средние данные по продуктивности за

**Таблица 1. Вегетационный период костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub)**  
(Тюменская обл., 2015–2020 гг.)

**Table 1. The growing season of awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) plants**  
(Tyumen Province, 2015–2020)

Дата начала весеннего отрастания	Дата уборки на сено	Число дней от начала отрастания до укоса	Дата уборки на семена	Число дней от укоса до созревания семян	Вегетационный период, дней
01.05.15	25.06.15	55	10.08.15	46	101
19.04.16	20.06.16	62	13.08.16	54	116
27.04.17	25.06.17	59	17.08.17	53	112
10.05.18	28.06.18	49	15.08.18	48	97
05.05.19	24.06.19	50	07.08.19	44	94
25.04.20	16.06.20	52	14.08.20	59	111
<b>Среднее</b>		54		51	105

**Таблица 2. Статистика продуктивности сортов костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub), т/га**  
(Тюменская область, 2012–2020 гг.)

**Table 2. Productivity statistics of awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub), t/ha**  
(Tyumen Province, 2012–2020)

Год пользования травостоя	Лангепас St <sub>1</sub>	Свердловский 38, St <sub>2</sub>	Гвардеец	+, -, т/га; %		НСР <sub>05</sub>
				St <sub>1</sub>	St <sub>2</sub>	
<b>Урожайность зеленой массы, т/га</b>						
1-й г. п.	24,0	21,0	28,0	+4,0	+7,0	3,5
	28,0	23,0	26,0	-2,0	+3,0	1,5
	24,6	19,3	26,6	+2,0	+7,3	3,0
	14,3	16,3	16,0	+1,7	-0,3	1,5
Среднее	22,7	19,9	24,1	+1,45	+4,2	1,2
2-й г. п.	24,5	23,5	27,0	+2,5	+3,5	2,0
	24,0	24,7	23,7	-0,3	-1,0	0,3
	28,0	25,0	26,0	-2,0	+1,0	0,9
Среднее	25,5	24,4	25,5	-	+1,1	0,9
3-й г. п.	15,0	13,7	16,7	+1,7	+3,0	1,6
4-й г. п.	10,0	12,0	15,0	+5,0	+3,0	2,0
За весь цикл	21,4	19,8	22,8	+1,4 (+6%)	+3,0 (+13%)	1,3

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Год пользования травостоя	Лангепас St <sub>1</sub>	Свердловский 38, St <sub>2</sub>	Гвардеец	+, -, т/га; %		НСР <sub>05</sub>
				St <sub>1</sub>	St <sub>2</sub>	
<b>Выход сухого вещества, т/га</b>						
1-й г. п.	7,7	6,4	9,3	+1,6	+2,9	1,3
	8,5	6,9	6,9	-1,6	-	0,3
	8,1	6,2	8,0	+0,1	+1,8	0,2
	5,1	6,0	6,1	+1,0	+0,1	0,1
Среднее	7,35	6,4	7,57	+0,22	+1,17	0,2
2-й г. п.	6,6	6,6	7,0	+0,4	+0,4	0,3
	9,6	10,4	9,9	+0,3	-0,5	0,2
	10,1	8,5	9,4	-0,7	+0,9	0,5
Среднее	8,8	8,5	8,8	-	+0,3	0,3
3-й г. п.	5,7	5,3	6,0	+0,3	+0,7	0,2
4-й г. п.	3,9	5,2	6,6	+2,7	+1,4	1,3
За весь цикл	7,2	6,8	7,7	+0,5 (+7%)	+0,9 (+12%)	0,3
<b>Урожайность семян, т/га</b>						
1-й г. п.	0,08	0,07	0,10	+0,02	+0,03	0,01
	0,17	0,09	0,14	-0,03	+0,05	0,02
	0,28	0,26	0,31	+0,03	+0,05	0,02
	0,16	0,18	0,19	+0,03	+0,01	0,02
Среднее	0,17	0,15	0,18	+0,012	+0,03	0,01
2-й г. п.	0,32	0,31	0,35	+0,03	+0,04	0,02
	0,21	0,18	0,17	-0,04	-0,01	0,02
	0,07	0,06	0,06	-0,01	-	0,01
Среднее	0,20	0,15	0,19	-0,01	+0,04	0,02
3-й г. п.	0,15	0,13	0,22	+0,07	+0,09	0,04
4-й г. п.	0,15	0,16	0,21	+0,06	+0,05	0,03
За весь цикл	0,18	0,16	0,19	+0,01 (+5%)	+0,03 (+16%)	0,01

каждый год пользования травостоя и за весь цикл. Во время наблюдений максимальные урожаи зеленой массы у всех сортов были получены по два раза, минимальные – один раз. В половине случаев урожайность зеленой массы у сортов находилась в среднем диапазоне: 'Лангепас' (St<sub>1</sub>) – 24 т/га; 'Свердловский 38' (St<sub>2</sub>) – 22 т/га; 'Гвардеец' – 26 т/га. Во время наблюдений по продуктивности зеленой массы новый сорт 'Гвардеец' превышал сорт-стандарт 'Лангепас' на 1,4–5,0 т/га (среднее +1,4 т/га), материнскую форму 'Свердловский 38' (St<sub>2</sub>) на 1,1–4,2 т/га (среднее +3,0 т/га). Содержание сухого вещества в растениях во время укоса находилось на уровне 35 ± 5% (табл. 3), а интервал значений по его сбору имел следующее распределение: 'Лангепас' (St<sub>1</sub>) – 3,9–10,1 т/га (среднее 7,2), 'Свердловский 38' (St<sub>2</sub>) – 5,2–10,4 т/га (среднее

6,8), 'Гвардеец' – 6,0–9,9 т/га (среднее 7,7). По урожайности семян минимальные значения у наблюдаемых сортов находилось на уровне 0,06–0,07 т/га, а средние и максимальные значения стандартов сорт 'Гвардеец' превысил на 0,03–0,04 т/га.

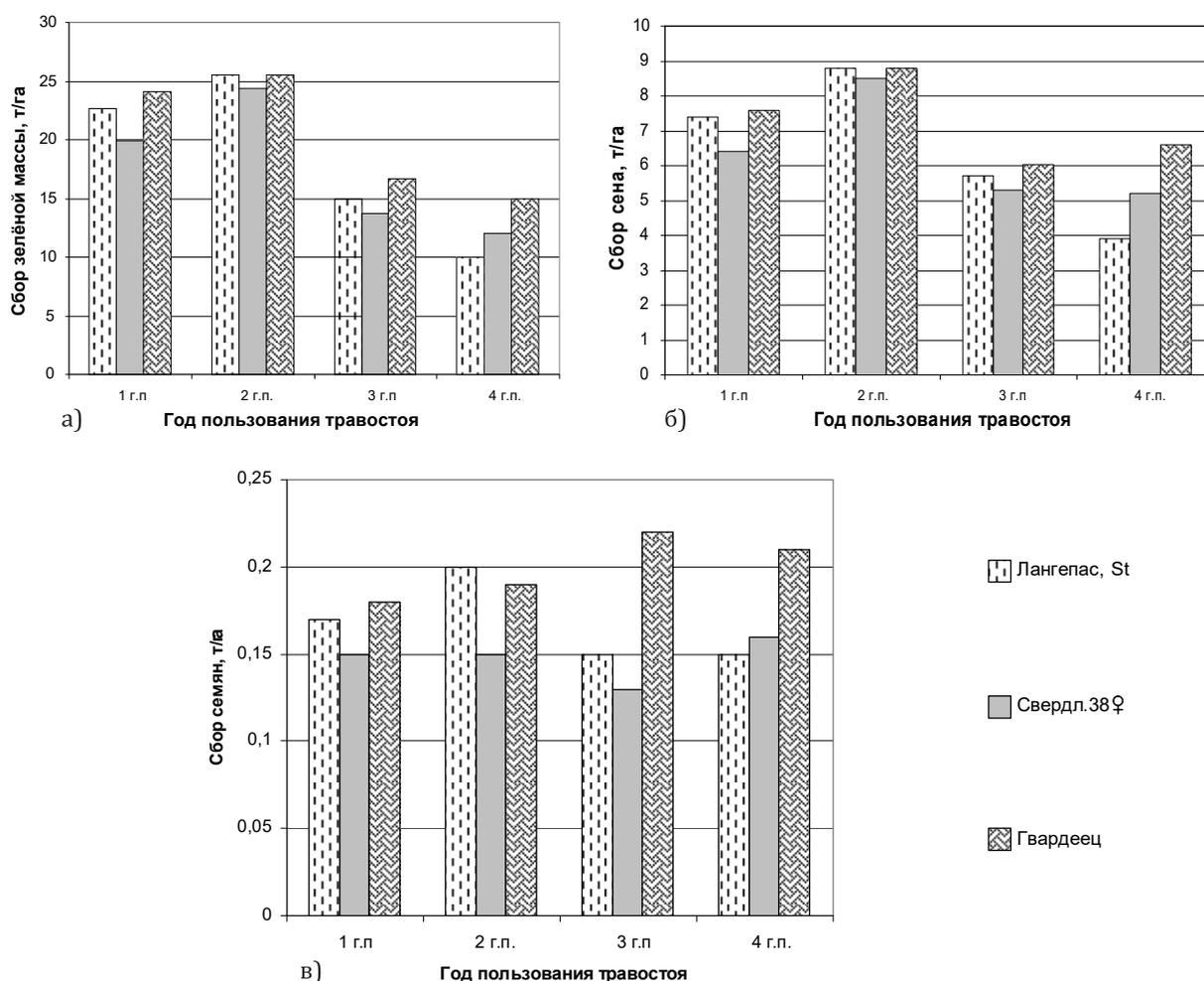
Для наибольшей наглядности полученные данные изображены на рисунке, где показан генетический потенциал продуктивности каждого сорта за весь период наблюдений в разные годы пользования травостоя. Видно, что сорт 'Гвардеец' стабильно превышал диапазон значений продуктивности своей исходной формы 'Свердловский 38' (St<sub>2</sub>) в течение всего периода исследований.

По зеленой массе превышение составляло от 5 до 20%; по сбору сухого вещества – от 4 до 21%, по урожайности семян – от 17 до 24% в зависимости от года пользо-

**Таблица 3.** Структура травостоя сортов костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub), КСИ, 2012–2020 гг.

**Table 3.** Herbage structure of awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) cultivars, competitive variety trials, 2012–2020

Показатель	Лангепас, St <sub>1</sub>		♀Свердловский 38, St <sub>2</sub>		Гвардеец	
	среднее	s	среднее	s	среднее	s
Содержание сухого вещества,%	35	±4	35	±5	35	±6
Облиственность,%	44	±4	44	±8	44	±6
Высота растений, см	128	±15	125	±16	129	±14
Количество побегов на 1 м <sup>2</sup> , шт.	618	±220	610	±257	606	±196
Масса 100 побегов, г	321	±67	333	±134	363	±76



**Рисунок.** Диаграммы продуктивности сортов костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub), 2012–2020 гг.: а) урожайность зелёной массы, б) выход сухого вещества, в) урожайность семян

**Figure.** Productivity diagrams of awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) cultivars, 2012–2020: а) dry matter yield, б) green biomass yield, в) seed yield

вания травостоя. С сортом 'Лангепас' (St<sub>1</sub>) конкуренция была более заметна, так как последний является одним из продуктивных сортов в регионе, но достоверное преимущество нового сорта отмечалось в большинстве лет. По зелёной массе в разные годы пользования значения сорта 'Гвардеец' были либо на одном уровне, либо превышали значения сорта 'Лангепас' (St<sub>1</sub>) – от 6 до 33%; по сухому веществу – от 6 до 40%, по сбору семян – от 6 до 30%.

Превышение значений у сорта 'Гвардеец' над сортами-стандартами было достоверно в большинстве лет изучения. Минимальный уровень прибавки и продуктивность на уровне сортов-стандартов чаще всего отмечались во 2-й г. п. травостоя. Наибольшее преимущество перед стандартами 'Гвардеец' показал в 3-й и 4-й г. п. травостоя, что характеризует его высокое продуктивное долголетие. Анализ структуры травостоя подтвердил,

что сорт 'Гвардеец' обеспечивал свою урожайность за счет более устойчивого числа побегов (606 шт.) при стандартном отклонении ( $s$ )  $\pm 196$  шт., в то время, когда у сортов-стандартов число побегов имело значения  $618 \pm 220$  и  $610 \pm 257$  шт. Растения сорта 'Гвардеец' были мощнее растений сортов-стандартов; вес 100 побегов составлял  $363 \pm 76$  г, особенно в сравнении с сортом 'Свердловский 38' ( $St_2$ ), у которого средний вес 100 побегов был 333 г. и большое варьирование  $\pm 134$  г (табл. 3).

Высокая продуктивность нового сорта также может быть обусловлена тем, что он создан из октоплоидной формы. Среди октоплоидных популяций (Kashevarov et al., 2014) чаще встречаются образцы с высокими показателями урожайности, чем среди тетраплоидных. В работах исследователей (Osipova, Serikraeva, 2008) также отмечено, что октоплоидные формы вида *B. inermis* наиболее часто встречаются в северных широтах и лучше приспособлены к неблагоприятным условиям среды, что обеспечивает их высокую ценность для практического использования, а также выделяет как наиболее перспективные для селекционной работы.

По кормовой ценности существенных отличий между сортами не выявлено; показатели содержания сырого протеина и клетчатки имели приближенные средние значения (табл. 4).

Среди болезней, встречающихся на кострече безостом, в питомнике КСИ ежегодно отмечались пятнистости листьев, вызванные в основном возбудителем рода *Septoria* Sacc. (септориоз) и *Claviceps purpurea* (Fr) Tul. (спорынья пурпурная). Утверждать об устойчивости сор-

тов к патогенам можно лишь после их проверки на инфекционном фоне. В данном случае наличие заболеваний отмечалось глазомерно в естественных условиях. В период укосной спелости (II декада июня) растения изучаемых сортов имели только первые признаки поражения на листьях нижнего яруса. В период созревания семян пятнистости наблюдались уже и на листьях верхних ярусов, но в связи с естественным окончанием жизненного цикла растений их влияние на продуктивность было несущественным.

Наиболее вредоносным было влияние возбудителя спорыньи. Вредоносность патогена особенно сильно проявлялась в старовозрастных посевах на 4-й и 5-й годы жизни растений, когда содержание склероциев составляло 7–10% от общей массы семян. В большинстве лет наблюдений фитосанитарное состояние посевов было удовлетворительным; экономический порог вредоносности по отмеченным болезням не превышался, и существенной разницы по восприимчивости к септориозу и спорынье между сортами на естественном фоне не выявлено.

Морфологические характеристики свидетельствуют о том, что сорт 'Гвардеец' имеет признаки октоплоидных форм (табл. 5): куст прямостоячий, средней плотности; стебли круглые, полые, высотой 115–145 см, средней толщины, без опушения, с числом междоузлий 4–5, высоким листовым горизонтом; листья удлиненные (20–30 см), без опушения и воскового налета; облиственность равномерная (38–50%). Сорт устойчив к полеганию, технологичен.

**Таблица 4.** Питательность сухого вещества костреча безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), 2012–2020 гг.

**Table 4.** Nutritional value of *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub dry matter, 2012–2020

Сорт	Содержание сырого протеина, %		Содержание клетчатки, %	
	min-max	среднее	min-max	среднее
Лангепас, $St_1$	8,3–12,2	7,9	24,1–36,8	32,3
(♀)Свердловский 38, $St_2$	7,2–12,1	8,0	30,8–4,0	32,6
Гвардеец	7,0–12,2	7,3	28,2–34,0	32,0

**Таблица 5.** Морфологическое описание сорта костреча безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) 'Гвардеец'

**Table 5.** Morphological description of cv. 'Gvardeets' (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub)

Признак	Описание
Плоидность	октоплоид
Образование соцветий в год посева	отсутствует
Тип куста	прямостоячий
Стебли:	
– форма	круглые, полые
– грубость	не грубые
– опушение	отсутствует
– окраска узлов	светло-коричневая
– число междоузлий	4–5
Положение листьев по отношению к стеблю	полувертикальное

Таблица 5. Окончание

Table 5. The end

Признак	Описание
Высота листового горизонта	высокий
Флаговый лист:	
– длина	23–31 см
– ширина	0,8–1,2 см
Соцветие:	
– длина	14–20 см
– соотношение длины и ширины	4 : 1
Семена: масса 1000 семян	3,5–4,2 г
Плотность куста в период созревания	рыхлый

### Заключение

Новый сорт костреца безостого 'Гвардеец' селекции Тюменского научного центра СО РАН по результатам ГСИ в 2021 г. районирован по Волго-Вятскому (4), Западно-Сибирскому (10), Восточно-Сибирскому (11) регионам РФ. Рекомендуются для сенокосно-пастбищного использования. В северных регионах преимущественно одноукосный. Зимостойкий, пластичный с хорошим отрастанием весной и после скашивания на сено. Устойчив к полеганию, технологичен. Отличается стабильной продуктивностью: средняя урожайность зеленой массы за девять лет составила 22,8 т/га; выход сухого вещества – 7,7 т/га; семенная продуктивность – 0,19 т/га, что выше исходной формы сорта 'Свердловский 38' на 13, 12 и 16%, а распространяемого сорта-стандарта 'Лангепас' – на 6, 7 и 5% соответственно. Содержание протеина в сухом веществе – 7,0–12,0%; клетчатки – 28,2–34,0%. За время наблюдений сорт 'Гвардеец' обеспечивал свою урожайность за счет устойчивого числа побегов и мощности растений. Генетический материал, полученный из октоплоидного сорта 'Свердловский 38', в результате селекции образовал новую устойчивую популяцию растений, характеризующуюся адаптивными способностями к меняющимся условиям окружающей среды, вследствие чего имеющую преимущество перед родительской формой.

### References / Литература

- Ashmarina L.F., Gorobey I.M., Konyaeva N.M., Agarkova Z.V. Atlas of forage crop diseases in Western Siberia (Atlas bolezney kormovykh kultur v Zapadnoy Sibiri). N.I. Kashevarov (ed.). Novosibirsk: Siberian Regional Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences; 2010. [in Russian] (Ашмарина Л.Ф., Горобей И.М., Коняева Н.М., Агаркова З.В. Атлас болезней кормовых культур в Западной Сибири / под ред. Н.И. Кашеварова. Новосибирск: Сибирское региональное отделение Россельхозакадемии; 2010).
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Guidelines for conducting field experiments with feed crops (Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kulturami). Moskva: V.R. Williams Forage Research Institute; 1997. [in Russian] (Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Москва: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса; 1997).
- Karetin L.N. Soils of Tyumen Province (Pochvy Tyumenskoj oblasti). Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch; 1990. [in Russian] (Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение; 1990).
- Kashevarov N.I., Osipova G.M., Tyuryukov A.G., Filippova N.I. The results of the study smooth brome grass *Bromopsis inermis* Leys and its use under extreme environmental conditions. *Russian Agricultural Sciences*. 2014;(6):14-17. [in Russian] (Кашеваров Н.И., Осипова Г.М., Тюрюков А.Г., Филиппова Н.И. Исследование особенностей биологических признаков костреца безостого *Bromopsis inermis* Leys. для возделывания в экстремальных условиях. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014;(6):14-17).
- Kashevarov N.I., Polyudina R.I., Kazarinova I.N., Potapov D.A. "Flagman" – new variety of *Bromus inermis*. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2019;(1):17-19. [in Russian] (Кашеваров Н.И., Полюдина Р.И., Казаринова И.Н., Потапов Д.А. Новый сорт костреца безостого Флагман. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2019;(1):17-19). DOI: 10.30850/vrsn/2019/1/17-19
- Lipovtynina T.P. Results of awnless brome-grass (*Bromopsis inermis* Leys.) breeding in Northern Trans-Ural Region. *Agrarian Science Euro-North-East*. 2016;4(53):15-21. [in Russian] (Липовцына Т.П. Результаты селекции костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leys.) в Северном Зауралье. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016;4 (53):15-21).
- Lubenets P.A. (ed.). Descriptor list of a family (fodder grasses) (Klassifikator semeystva [kormovye zlaki]). Leningrad: VIR; 1974. [in Russian] (Классификатор семейства (кормовые злаки) / под ред. П.А. Лубенца. Ленинград: ВИР; 1974).
- Maslova S.P., Kurenkova S.V., Tabalenkova G.N. Morphophysiological characteristics and chemical composition of Hungarian brome biomass. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN = Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2005;12(98):8-10. [in Russian] (Маслова С.П., Курен-

- кова С.В., Табаленкова Г.Н. Морфофизиологические характеристики и химический состав биомассы костреца безостого. *Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2005;12(98):8-10).
- Osipova G.M., Serikpaeva S.V. Inbreeding in awnless brome (*Bromopsis inermis* (Leysser) Holub). (Inbriding kostretsa bezostogo (*Bromopsis inermis* (Leysser) Holub). Novosibirsk; 2008. [in Russian] (Осипова Г.М., Серикпаева С.В. Инбридинг у костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leysser) Holub). Новосибирск; 2008).
- Osokin E.V. (ed.). Guidelines for studying the resistance of cereal grasses to pathogens of fungal diseases for the conditions of the non-black-soil zone of the RSFSR (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu ustoychivosti zlakovykh trav k vzbuditel'yam gribnykh bolezney dlya usloviy nechernozemnoy zony RSFSR). Leningrad: VIR; 1974. [in Russian] (Методические указания по изучению устойчивости злаковых трав к возбудителям грибных болезней для условий нечерноземной зоны РСФСР / под ред. Е.В. Осокина. Ленинград: ВИР; 1977).
- Rapoport I.A., Zoz N.N. Regularities of chemical mutagenesis in cultivated plants. Chemical mutagenesis and plant breeding (Zakonomernosti khimicheskogo mutagenez na kulturnykh rasteniyakh. Khimicheskij mutagenez i selektsiya). Moscow: Nauka; 1971. [in Russian] (Рапопорт И.А., Зоз Н.Н. Закономерности химического мутагенеза на культурных растениях. Химический мутагенез и селекция. Москва: Наука; 1971).
- Sariev A.Kh. Seeded meadow formations during biological reclamation of disturbed lands in the Yenisey North (Seyaney lugovye formatsii pri biologicheskoy rekultivatsii narushennykh zemel na Yeniseyskom Severe). Novosibirsk; 2018. [in Russian] (Сариев А.Х. Сеяные луговые формации при биологической рекультивации нарушенных земель на Енисейском Севере. Новосибирск; 2018).
- Sariev A.Kh., Ochikolova N.N. Artificial meadow phytocenoses in the system of restoration of vegetative and soil cover of tundra lands of the Yenisei North. *The Bulletin of KrasGau*. 2017;12(135):195-203. [in Russian] (Сариев А.Х., Очиколева Н.Н. Искусственные луговые фитоценозы в системе восстановления растительно-почвенного покрова тундровых земель Енисейского Севера. *Вестник КрасГАУ*. 2017;12(135):195-203).
- Sheveleva T.L. The results and methods selection job with the *Bromus inermis* in the Tyumen region. *Fundamental Research*. 2006;(7):29-31. [in Russian] (Шевелева Т.Л. Результаты и методы селекционной работы с кострецом безостым в Тюменской области. *Фундаментальные исследования*. 2006;(7):29-31).
- Zarjanova Z.A., Osin A.A., Kirjuhina S.V. Fodder productivity and longevity of some species of the perennial grass and grass mixtures in the conditions of the Oryol region. *Legumes and Groat Crops*. 2014;1(9):72-79. [in Russian] (Зарьянова З.А., Осин А.А., Кирюхин С.В. Кормовая продуктивность и долголетие отдельных видов многолетних трав и травосмесей в условиях Орловской области. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;1(9):72-79).
- Zelenskiy V.M., Sariyev A.Kh. Perennial grasses for recultivation in subarctic tundra of Taimir. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2008;8(188):40-50. [in Russian] (Зеленский В.М., Сариев А.Х. Многолетние травы для рекультивации земель в субарктической тундре Таймыра. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2008;8(188):40-50).

#### Информация об авторах:

**Наталья Александровна Феоктистова**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, nata\_feo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-6218>

**Юрий Ефремович Леонидов**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, Yura.Leonidov.60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0329-5954>

#### Information about the authors

**Natalya A. Feoktistova**, Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, nata\_feo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-6218>

**Yury E. Leonidov**, Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, Yura.Leonidov.60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0329-5954>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 21.09.2021; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 21.09.2021; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

# СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК: 582.661.56:581.524.2 (477.75)

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-149-160



## Характеристика и распространение натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (Cactaceae)

Н. А. Багрикова, Я. А. Перминова

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталия Александровна Багрикова, nbagrik@mail.ru

**Актуальность.** Представители рода *Opuntia* Mill. (Cactaceae), произрастающие в естественном ареале в Южной и Северной Америке, Мексике, Западной Индии, на Галапагосских островах, широко используются как декоративные, пищевые, лекарственные растения в разных регионах земного шара. Многие виды натурализовались, не менее 27 видов (или 14%) являются инвазионными растениями, так как представляют угрозу видовому и ценобитическому разнообразию. Наибольшее число натурализовавшихся видов отмечено в Испании, Южной Африке и Австралии. Актуальность исследований по изучению распространения опунций на территории Крымского полуострова определена тем, что в настоящее время в регионе выявлена натурализация восьми представителей рода.

**Материалы и методы.** Сведения об *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck var. *lindheimeri* (Engelm.) U. Guzman & Mandujano, *O. fragilis* (Nutt.) Haw., *O. humifusa* (Raf.) Raf., *O. macrorhiza* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth., *O. polyacantha* Haw., *O. tortispina* Engelm. & J.M. Bigelow, *O. tunoidea* Gibbes даны на основании исследований, проведенных в 2007–2021 гг. Выделение единиц классификации растительности выполнено на основании геоботанических описаний.

**Результаты.** Приведены общая характеристика и распространение восьми представителей рода *Opuntia* в природном и культурном ареалах. Установлено, что в Крыму опунции были изначально намеренно посажены, но позже распространились в нарушенных и естественных биотопах, которые отнесены к девяти классам растительности: *Quercetea pubescentis*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthetea*, *Koelerio-Corynephoretea*, *Artemisietea vulgaris*, *Asplenietea trichomanis*, *Cisto-Micromerietea julianae*, *Thero-Brachypodietea*, *Pegano harmalae-Salsoletea vermiculatae*. Наибольшее распространение имеют *O. humifusa*, *O. engelmannii* var. *lindheimeri*. Все виды размножаются семенным и вегетативным способами. Текст иллюстрирован фотографиями видов и картами их распространения на территории полуострова.

**Ключевые слова:** распространение, типы растительности, инвазионные виды, особо охраняемые природные территории, Крымский полуостров

**Благодарности:** работа выполнена в рамках тем государственного задания (0829-2019-0028; 0829-2019-0037) «НБС – ННЦ».

Авторы благодарят Л. Э. Рыфф, П. Е. Евсеенкова, Ю. В. Корженевскую, А. О. Эмирсалиева и других коллег за предоставленные данные по находкам некоторых ценопопуляций опунций, а также О. Л. Мунтяна за помощь в подготовке картографического материала.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Багрикова Н.А., Перминова Я.А. Характеристика и распространение натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (Cactaceae). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):149-160. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-149-160

## SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-149-160

### Characteristics and distribution of the *Opuntia* (Cactaceae) representatives naturalized in Crimea

Nataliya A. Bagrikova, Yana A. Perminova

*Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia*

**Corresponding author:** Nataliya A. Bagrikova, nbagrik@mail.ru

**Background.** Representatives of the *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae), growing in natural habitats in South and North Americas, Mexico, Western India, and the Galapagos Islands, are widely used as ornamental, food and medicinal plants in different regions of the world. Many species have naturalized, and at least 27 species (or 14%) are invasive plants, thus posing a threat to local species and plant diversity. The largest numbers of naturalized species were observed in Spain, South Africa, and Australia. Studying the distribution of *Opuntia* Mill. representatives over Crimea is relevant because eight naturalized representatives of the genus have already been found in the region.

**Materials and methods.** The information about *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck var. *lindheimeri* (Engelm.) U. Guzman & Mandujano), *O. fragilis* (Nutt.) Haw., *O. humifusa* (Raf.) Raf., *O. macrorhiza* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth., *O. polyacantha* Haw., *O. tortispina* Engelm. & J.M. Bigelow, and *O. tunoidea* Gibbes is based on the research carried out in 2007–2021. Vegetation classification units were identified on the basis of geobotanical studies.

**Results.** General characteristics and distribution of eight *Opuntia* representatives in natural and cultigenic areas are presented. It has been established that prickly pears were originally planted intentionally in Crimea, but later they spread in anthropogenically disturbed and seminatural biotopes, assigned to nine classes of vegetation (*Quercetea pubescentis*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthetea*, *Koelerio-Corynephoretea*, *Artemisietea vulgaris*, *Asplenieta trichomanis*, *Cisto-Micromerietea julianae*, *Thero-Brachypodietea*, and *Pegano harmalae-Salsoletea vermiculatae*). *Opuntia humifusa* and *O. engelmannii* var. *lindheimeri* have the widest distribution in Crimea. All species reproduce by seeds and vegetatively. The text is illustrated with photographs of the species and schematic maps of their distribution over the Crimean Peninsula.

**Keywords:** distribution, types of vegetation, protected areas, invasive species, the Crimean Peninsula

**Acknowledgements:** these studies were carried out in the framework of the state task (themes 0829-2019-0037 and 0829-2019-0028) assigned to the Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS.

The authors are grateful to L. E. Ryff, P. E. Evseenkov, Yu. V. Korzhenevskaya, A. O. Emirsaliev and other colleagues for providing data on the findings of some cenopopulations of prickly pear as well as to O. L. Muntyan for his help in the preparation of the maps.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Bagrikova N.A., Perminova Ya.A. Characteristics and distribution of the *Opuntia* (Cactaceae) representatives naturalized in Crimea. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):149-160. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-149-160

## Введение

Род *Opuntia* Mill. является одним из крупнейших в семействе Састасеае Juss. Он включает, по данным разных авторов (Britton, Rose, 1919; Backeberg, 1977; Anderson, 2001; Griffith, Porter, 2009), от 90 до 250 видов, из которых, согласно базе данных The Plant List (<http://www.theplantlist.org>), признается 226 таксонов видового и внутривидового ранга, в том числе 191 вид. Для данного рода характерно значительное разнообразие гибридов, разновидностей, форм как в природе, так и в коллекциях. В естественных условиях опунции произрастают в Южной и Северной Америке, Мексике Западной Индии, на Галапагосских островах (Pinkava, 2003; Bulot, 2007; Majure, Ervin, 2008). Многие виды были интродуцированы и широко используются как декоративные, пищевые, лекарственные растения в Европе, Африке, Азии, Австралии, на Канарских островах (Dean, Milton, 2000; Frawley, 2007; Erre et al., 2009; Walters et al., 2011; Cindi, Jaca, 2016). До 2014 г. было установлено, что не менее 27 видов (или 14%) рода *Opuntia* являются инвазионными растениями в различных регионах земного шара (Novoa et al., 2015). К настоящему времени имеются данные об инвазии еще нескольких видов; наибольшее число натурализовавшихся представителей отмечено в Испании, Южной Африке и Австралии (Randall, 2017; Kaplan et al., 2017; Naydenova et al., 2019; Opuntioidei cacti..., 2020).

На территории Российской Федерации натурализовавшиеся растения опунций отмечены на Черноморском побережье Кавказа, Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, на Крымском полуострове (Sagalaev, Pilipenko, 2007; Afanasiev, 2009; Byalt, 2012; Bagrikova, Ryff, 2014b; Bagrikova et al., 2021; <https://www.gbif.org>; <https://www.inaturalist.org>; <https://www.plantarium.ru>). Климатические условия Крыма, в частности южного побережья, подходят для культивирования опунций в открытом грунте. Они используются как перспективные виды для зеленого строительства, так как растения прекрасно размножаются вегетативным способом, образуют плотные группы, которые способствуют укреплению береговых склонов и выполняют противозерозионную функцию. Кроме того, растения отличаются необычностью форм, обильным цветением и яркой окраской спелых плодов.

Многоплановые исследования по интродукции и изучению представителей рода *Opuntia* на территории Крыма проводятся на базе одного из старейших научных учреждений – Никитского ботанического сада (НБС) (Belousova, Bagrikova, 1999; Gubanova, Belousova, 2003; Gubanova, 2007, 2008, 2012; Bagrikova, Ryff, 2014a, b; Bagrikova et al., 2014, 2020, 2021; Fateryga, Bagrikova, 2017; Bagrikova, Chichkanova, 2018), в котором собрана одна из богатейших коллекций суккулентов (Belousova, 1998; Plugatar et al., 2016).

Актуальность исследований по изучению распространения разных представителей рода на территории Крымского полуострова определена тем, что в последние годы отмечается неконтролируемый процесс введения в культуру видов, которые могут в будущем представлять угрозу биоразнообразию. До 2014 г. было известно о самовозобновлении четырех представителей рода *Opuntia* на территории Крыма. К настоящему времени установлено, что в регионе натурализовались не менее восьми таксонов видового и внутривидового ранга (Bagrikova, Ryff, 2014b; Bagrikova et al., 2021), а некоторые из них (*O. humifusa* (Raf.) Raf., *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) B.D. Parfitt & Pinkava,

*O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth.) представляют угрозу для природных экосистем, так как активно внедряются в разные типы сообществ, в том числе на особо охраняемых природных территориях (Belousova, Bagrikova, 1999; Bagrikova, Ryff, 2014a; Bagrikova et al., 2014, 2020; Fateryga, Bagrikova, 2017; Bagrikova, 2018).

Цель работы – оценить современное состояние натурализовавшихся на территории Крымского полуострова представителей рода *Opuntia*, привести их общую характеристику и обобщить данные по распространению в разных типах растительных сообществ.

## Материалы и методы

Объект исследований – натурализовавшиеся на территории Крымского полуострова представители рода *Opuntia* (рис. 1).

Опунции определяли по работам, касающимся систематики семейства Састасеае (Britton, Rose, 1919; Zamyatin, 1958; Backeberg, 1977; Anderson, 2001; Pinkava, 2003), а также на основе анализа интернет-ресурсов (<http://opuntiads.com>; <http://www.tropicos.org>). Номенклатура и объем таксонов приводится в соответствии с международными базами данных The Plant List (<http://www.theplantlist.org>), Catalogue of Life (<https://www.catalogueoflife.org>), Tropicos.org (<http://www.tropicos.org>), Plants of the World Online (<http://www.plantsoftheworldonline.org>). Названия растительных сообществ даны согласно синтаксисной растительности Европы (Mucina et al., 2016) и продромуса растительности Украины (Dubyna et al., 2019). Распространение опунций в природном и вторичном ареалах приведено на основании анализа литературных и интернет-источников, указанных далее по тексту.

Общая характеристика и современное распространение натурализовавшихся растений опунций на территории Крымского полуострова даны на основании собственных исследований, проведенных в 2007–2021 гг. в разных природных зонах, а также подтвержденных данных, приведенных в литературных источниках (Krainyuk, Ryff, 2019) и интернет-ресурсах (<https://www.gbif.org>; <https://www.inaturalist.org>; <https://www.plantarium.ru>).

## Результаты и обсуждение

### *O. humifusa* (Raf.) Raf.

В природном ареале опунции, рассматриваемые в рамках данного вида, распространены в Северной Америке от северной Мексики на север до Онтарио, Канады и на юге до островов Флорида-Кис (Majure et al., 2017). Имеет во многих регионах земного шара тенденцию к натурализации, произрастает в разных типах растительности, включая нарушенные и естественные травянистые и разреженные древесно-кустарниковые сообщества на каменистых местообитаниях. Во вторичном ареале вид является инвазионным не менее чем в десяти странах, в том числе на Пиренейском полуострове (в Испании и Португалии) (Gómez-Bellver, Sáez, 2017), в Италии (Wilhelm et al., 2019), Южной Африке, Франции, Хорватии, Швейцарии, Германии, Майями, Ботсване (Novoa et al., 2015; Randall, 2017), а также в Болгарии (Tashev, 2012; Naydenova et al., 2019). Натурализация вида отмечена на Украине (Ostapko, 2020; Rasevich et al., 2021), в Российской Федерации – на Черноморском побережье Кавказа, в том числе на мысе Пеная, южных отрогах Маркотхского хребта (Zernov, 2006; <https://www.plantarium.ru>; <https://www.inaturalist.org>) и на территории Крымского



**Рис. 1.** Общий вид натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* Mill.:

1а – *O. humifusa*, б – *O. mesacantha*; 2 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, 3 – *O. macrorhiza*, 4 – *O. tortispina*; 5 – *O. polyacantha*; 6 – *O. tunoidea*; 7 – *O. phaeacantha* f. *rubra*; 8 – *O. fragilis*

**Fig. 1.** General view of the *Opuntia* Mill. taxa naturalized in Crimea:

1а – *O. humifusa*, б – *O. mesacantha*; 2 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, 3 – *O. macrorhiza*, 4 – *O. tortispina*; 5 – *O. polyacantha*; 6 – *O. tunoidea*; 7 – *O. phaeacantha* f. *rubra*; 8 – *O. fragilis*

полуострова (Bagrikova, Ryff, 2014b; Bagrikova et al., 2014, 2021; Fateryga, Bagrikova, 2017; Krainyuk, Ryff, 2019; Zavalova et al., 2021).

Наиболее распространенный в Крыму, вид используется как декоративное растение с конца XIX в., встречается во всех природных зонах полуострова (рис. 2), в последние годы отмечено активное внедрение вида, в том числе в естественные ценозы.

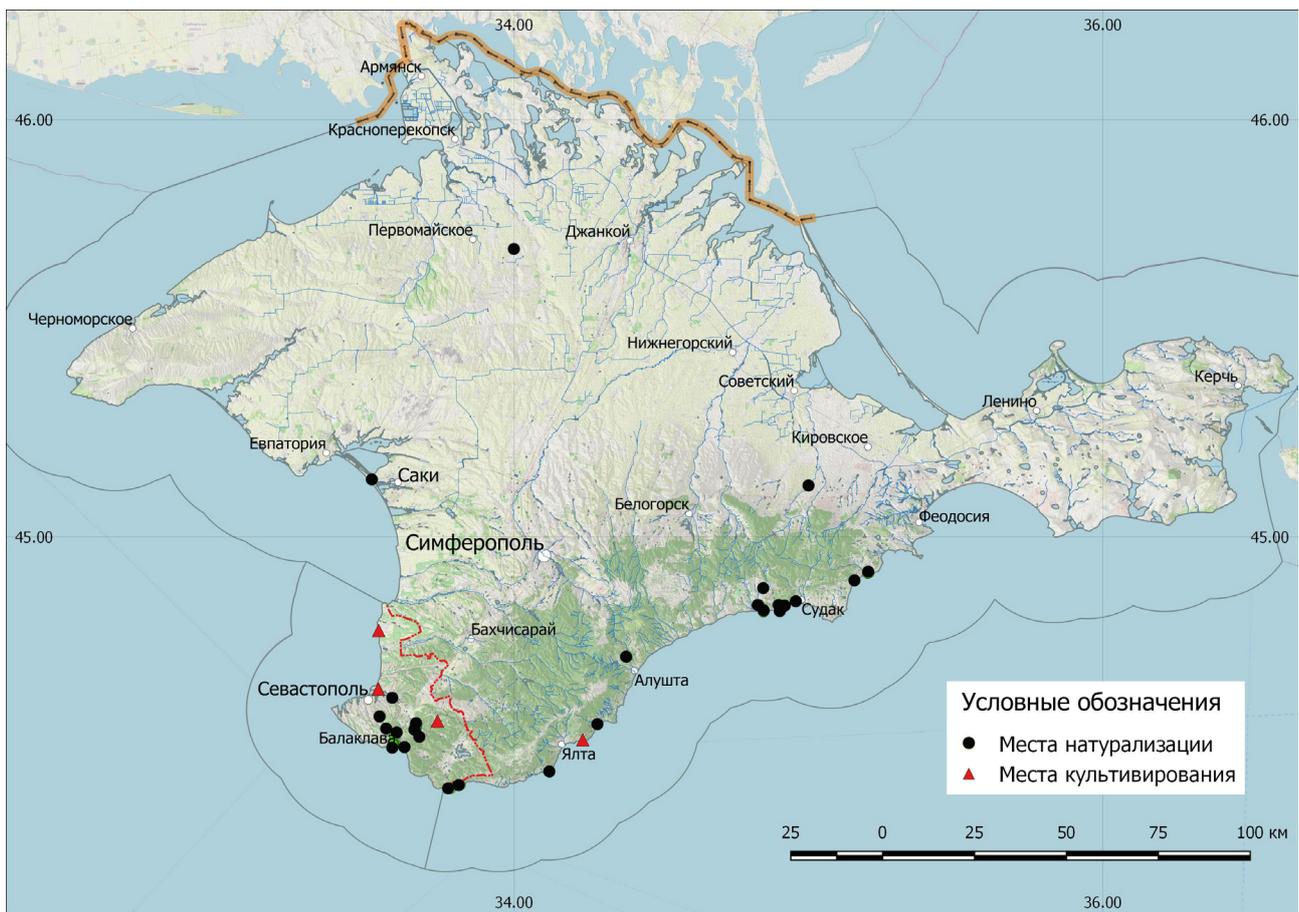
Самовозобновляющиеся ценопопуляции произрастают на территории города федерального значения Севастополя: г. Инкерман (в р-не ГРЭС, на склонах Воловьев балки, 100 м н. у. м.), в Делагардовой балке (в том числе ООПТ «Максимова дача», 135 м), г. Балаклава (1\*Кадык-ские высоты, (бывшее с. Кадыковка), 35–40 м; склоны гор \*Таврос, 7–55 м; \*Аскети (или Спилия), 155–320 м); окр. с. Оборонное (\*гора Гасфорта, 190–217 м), окр. с. Черноречье (в том числе \*гора Телеграфная, 20–40 м), окр. Тороповой дачи (хребет Каядес, гора Орта-Кая, 150–180 м); Чернореченский каньон, 115–120 м; урочище Батилиман и его окрестности (25–130 м); на территории Республики Крым: пгт Форос и его окрестности (10–15 м), \*пос. Береговое (на территории бывшего имения Н.Я. Данилевского в Мшатке, 20–30 м), с. Нижняя Кутузовка (бывшее селение Шума, 160–170 м), окр. с. Ворон, 60–80 м, Междуречье, 185 м, в том числе ООПТ «Папайя-Кая», 160–215 м; пгт Новый Свет и его окрестности (в том числе \*ООПТ «Новый Свет», 60–120 м; склоны горы Сандык-Кая, 95–260 м), г. Судак и его окрестности (в том числе \*старое немецкое кладбище, 50 м; у Генуэзской крепости, 50–60 м; по дороге к Византийскому храму, 240 м; склоны гор Голая, 145 м, Харт-Кая, 130–140 м, Чиянчи,

340 м, Перчем, 450 м и др.); подножье п-ва Меганом в окр. оз. Бугаз, 30 м; пос. Курортное и его окрестности (в том числе Лисья бухта, 10 м; \*ООПТ «Карадагский природный заповедник», 8–260 м), пос. Коктебель, 25–30 м; в степной зоне – у с. Каменка Первомайского р-на (старое немецкое кладбище селения Куллар-Кипчак, 30 м), окр. г. Саки (раскоп Кора-Тобе, 5 м), в предгорье – окр. с. Золотое Поле Кировского р-на (старое немецкое кладбище селения Цюрихталь, 120 м).

Во флоре Крымского полуострова вид включен в группу с первым инвазионным статусом (видов-трансформеров) (Bagrikova, Skurlatova 2021), так как растения выявлены в разных типах растительности, в некоторых из них преобразуют состав и структуру фитоценозов. Опунии произрастают в можжевеловых и фисташковых редколесьях, входящих в класс *Quercetea pubescentis* Döng-Kraft ex Scamoni et Passarge 1959, в сообществах петрофитных степей классов *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947, *Sedo-Scleranthetea* Br.-Bl. 1955, *Koelerio-Corynephoretea* Klika in Klika et Novák 1941, формирующихся между скальными обнажениями верхнеюрских известняков на пологих или среднекрутых склонах с достаточно хорошо развитым почвенным покровом. В нарушенных сообществах отмечается значительное участие характерных видов класса *Artemisietea vulgaris*.

Растения *O. humifusa* (см. рис. 1.1а, 1.7) распростерты по поверхности почвы или приподнимаются на высоту 5–10, реже 20 см над ней, образуют дерновины (до 0,5–1,0 м). Сегменты (клатодии) от желто-зеленого до темно-зеленого цвета, от округлой до почти яйцевидной формы от 2,5 до 16,0 см длиной, 2,0–11,0 см шириной, 0,4–1,0 см толщиной, становятся морщинистыми зимой. Колючки (шипы), как правило, отсутствуют, иногда встречаются растения с 1–2 длинными до 6 см колючками, глохидии желто- или красно-коричневого цвета. Цветки желтые,

<sup>1</sup> \* отмечены локалитеты, в которых ценопопуляции опунций занимают значительные площади, вид является трансформером полуприродных и естественных сообществ. В остальных местонахождениях отмечены единичные особи или небольшие группы растений опунции.



**Рис. 2.** Распространение культурных и натурализовавшихся растений *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. на территории Крымского полуострова

**Fig. 2.** Distribution of cultivated and naturalized plants of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. over the Crimean Peninsula

ярко-желтые или лимонно-желтые. Плоды на растениях многочисленны (до 15 на один сегмент), созревают в сентябре-октябре, недозрелые плоды могут оставаться на растениях до начала следующего вегетационного периода. Поверхность плодов гладкая, голая, пурпурная или розово-красная, в ареолах много желто-коричневых или коричневых глохидий. Мякоть отличается более светлой окраской, сочная, вкус кисло-сладкий, приятный. Плоды (1,8–5,8 см длиной и 0,7–2,3 см в диаметре) резко суженные в основании, варьируют по форме от почти округло-грушевидных до удлинённо-кеглевидных, но на одном растении форма плода достаточно стабильна, что свидетельствует о генетической детерминированности этого признака. Размеры кладодиев и плодов зависят как от наследственных особенностей, так и от условий произрастания, и могут значительно изменяться. В разреженных древесно-кустарниковых или высоко-разнотравно-злаковых степных сообществах кладодии, плоды более удлиненной формы, чем у растений, произрастающих на открытых каменистых местообитаниях. Количество семян на один плод – от 13 до 43, в среднем до 25. Семена дисковидные, 3,8–5,0 мм в диаметре, с относительно узким (до 1,1 мм) и ровным ободком. Семенная кожура серо-желтого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021b). На горе Телеграфная в 2014, 2019 г. среди зарослей *O. humifusa* отмечены экземпляры опунций с единичными колючками из ареолов в верхней части сегментов, по описанию близких к тетраплоиду *O. mesacantha* Raf. subsp. *mesacantha* (Gómez-Bellve, Sáez, 2017; Majure et al., 2012, 2017) или *O. pollardii* Britton &

Rose, которые согласно Plants of the World Online (<http://www.plantsoftheworldonline.org>) приводятся как синонимы *O. mesacantha* Raf.

Таким образом, натурализовавшиеся в разных сообществах растения отличаются по размерам, форме кладодиев и плодов, вид чаще отмечается на южном побережье от Севастополя до Коктебеля, где наибольшее распространение имеет в юго-западной части на территории г. Севастополь и в юго-восточном Крыму в районе от Морского до Судака, редко – в степной и предгорной зонах в створе высот от 5 до 450 м н. у. м. На особо охраняемых природных территориях Крыма самовосстанавливающиеся растения отмечены в «Карадагском природном заповеднике» (Fateruga, Bagrikova, 2017), заказниках «Новый Свет», «Папайя-Кая», природном парке «Максимова дача».

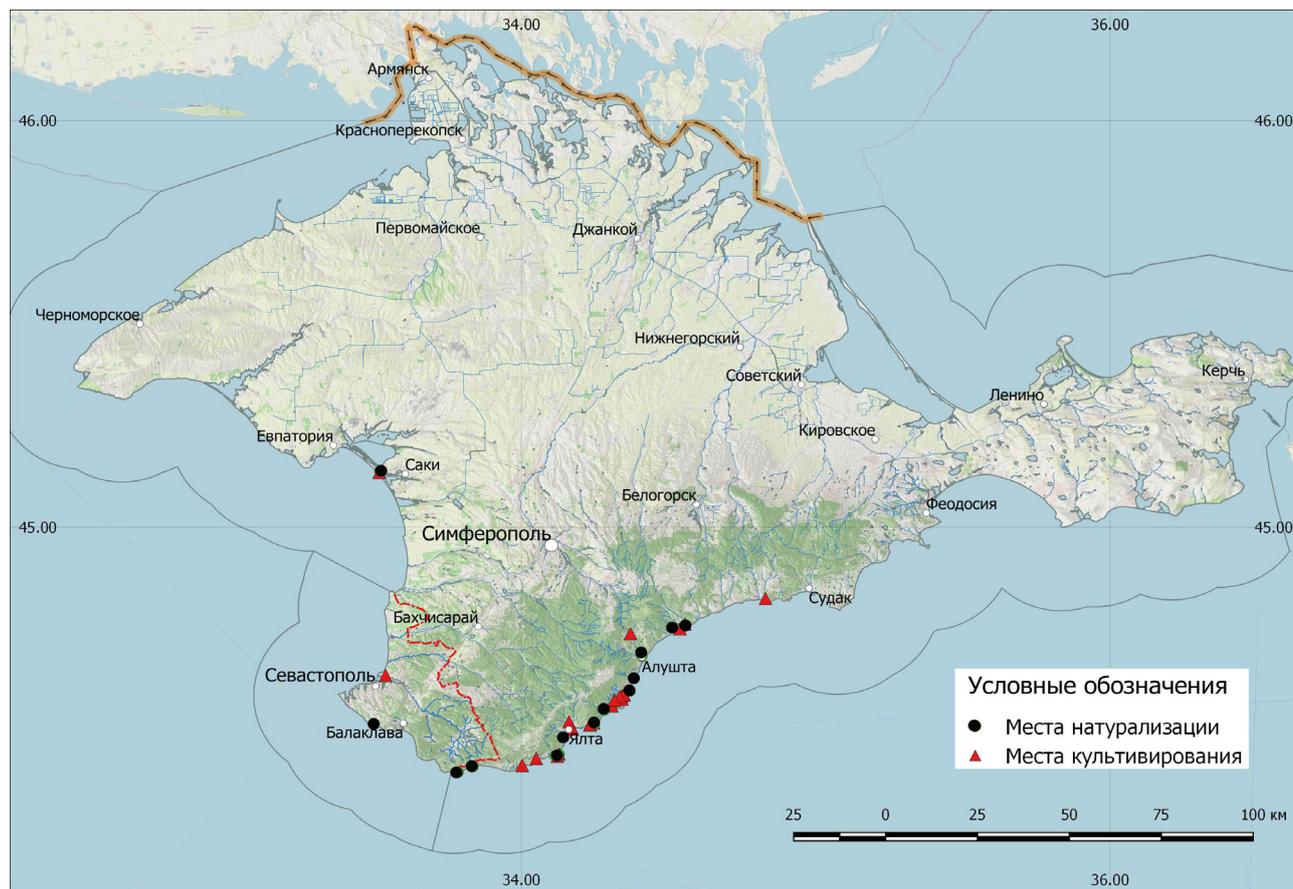
#### *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) B.D. Parfitt & Pinkava

В природном ареале произрастает на территории США (юго-запад Луизианы, Техас) (Backeberg, 1977). Во вторичном ареале натурализовавшиеся растения отмечены в Италии (Celesti-Gradow et al., 2010), в том числе в травянистых сообществах на каменистых местообитаниях, а также в составе пушистодубовых и смешанных пушистодубово-сосновых редколесий в провинции Болзано (Gómez-Bellver, Sáez, 2017). В Австралии, Южной Африке, Намибии, Испании (Novoa et al., 2015; Randall, 2017), Болгарии (Naydenova et al., 2019) к инвазионному виду относят *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm., который от-

личается от описанной нами разновидности *O. engelmannii* var. *lindheimeri* (Bagrikova, Ryff, 2014a, Bagrikova et al., 2021).

На основании проведенных нами исследований установлено, что в различных растительных сообществах южного побережья Крыма (от Фороса до Малореченского) (рис. 3) самовозобновляется *O. engelmannii* var. *lindheimeri* (Bagrikova, Chichkanova, 2018; Bagrikova et al., 2020, 2021), которая приводится в литературных или интернет-источниках под названием *O. lindheimeri* Engelm. (Bagrikova, Ryff, 2014a) или *O. engelmannii* (Byalt, 2012; Yena, 2012; <https://www.plantarium.ru>).

сток побережья между пос. Солнечногорское и Малореченское» (городской округ Алушта), на ООПТ «Мыс Фиолент» (Севастополь), в составе можжевельников редколесий (класс *Quercetea pubescentis*) и на каменисто-щебнистых склонах в составе кустарниковых зарослей средиземноморского типа (*Cisto-Micromerietea julianae* Oberdorfer 1954) с участием отдельных экземпляров низкорослых деревьев и кустарников, петрофитно-степных сообществ (*Festuco-Brometea*), кальцефобного эфемерету (*Koelerio-Corynephoretea*), а также дериватных группировок средиземноморского класса *Thero-Brachypodietea* Br.-Bl. ex O. de Bolòs y Vayreda 1950. Натурализовавшиеся ра-



**Рис. 3.** Распространение культурных и натурализовавшихся растений *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) V.D. Parfitt & Pinkava на территории Крымского полуострова

**Fig. 3.** Distribution of cultivated and naturalized plants of *Opuntia engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) V.D. Parfitt & Pinkava over the Crimean Peninsula

Самая крупная популяция произрастает на приморских склонах на ООПТ \*«Мыс Плака» (пос. Утес, городской округ Алушта) на высоте 10–30 м н. у. м., где растения опунции являются трансформерами естественных сообществ (см. рис. 1.2), в том числе относящихся к хазмофитным группировкам классов *Asplenietea trichomanis* (Br.-Bl. in Meier et Br.-Bl. 1934) Oberdorfer 1977 и *Koelerio-Corynephoretea*. Растения опунций, проявляющие инвазионную активность, отмечены на территориях МДЦ «Артек» (между лагерями «Прибрежный» и «Морской»), ООПТ «Мыс Мартыан» (пгт Никита, 20–170 м н. у. м.), в парке Харакс, 30–40 м н. у. м. (пгт Гаспра), отдельные одичавшие экземпляры или небольшие группы – в Гурзуфе, в парке сан. «Меллас» (пгт Форос), на горе Ай-Никола, входящей в ООПТ «Ялтинский горно-лесной природный заповедник» (пос. Ореанда), на приморских склонах ООПТ «Уча-

стения отмечены также в степной зоне полуострова – в окр. г. Саки (раскоп Кора-Тобе, 5 м) в составе нарушенных степных сообществ с доминированием растений рода *Artemisia* (*Festuco-Brometea*) и синантропных группировок (*Artemisietea vulgaris*). Поэтому в «черном списке» флоры Крыма вид включен в группу с первым инвазионным статусом (Bagrikova, Skurlatova 2021).

Растения *O. engelmannii* var. *lindheimeri* (см. рис. 1.2) крупные, 0,5–0,7 м высотой, куртины 1–2 м в диаметре, могут образовывать заросли. Сегменты плоские, 17–30 см длиной, 15–20 см шириной, 0,7–1,0 см толщиной, от яйцевидной или ромбовидной формы до удлинённых, от желто-зеленых до сине-зеленых. Глохидии 1–2 мм длиной, желтые или зеленовато-коричневые с красноватым (ржавым) оттенком. Колючки (от 1 до 3–5) крепкие, иногда слегка изогнутые, расположены почти по всему

сегменту. Окраска колючек в основании красно-коричневая, выше – янтарно-желтая до лимонно-желтой на кончике. Цветки крупные, ярко-, темно- или оранжево-желтые. Плоды многочисленные, в среднем 5–7 шт. на сегмент, реже до 10–13, созревают в октябре – ноябре. Окраска поверхности плодов коричневато-бордовая или темно-красно-бордовая; мякоти – бордово-пурпурная. Плоды мягкие, сочные, слегка волокнистые, кисло-сладкие, приятные на вкус. В разных ценопопуляциях в Крыму плоды варьируют по размерам (3,5–8,5 см длиной, 2,2–4,5 см в диаметре) и форме (от почти округлых до грушевидных, но чаще бывают овальными или бочонкообразными с закругленным основанием). Семян много (от 90 до 265 на плод), мелкие (3,2–4,3 мм в диаметре), семенная кожура кремово-светло-серого цвета, зародыш выделяется более темной окраской, поверхность матовая (Bagrikova, Ryff, 2014a; Bagrikova, Chichkanova, 2018; Bagrikova et al., 2021).

Таким образом, натурализовавшиеся в разных сообществах растения *O. engelmannii* var. *lindheimeri* отличаются по размерам, форме кладодиев и плодов, в основном распространены на южном побережье полуострова, наиболее крупные ценопопуляции выявлены в центральной части Южного берега Крыма (ЮБК) (от Фороса до Партенита). На особо охраняемых природных территориях Крыма отмечены в природных заповедниках «Мыс Мартьян» (Bagrikova, Chichkanova, 2018; Bagrikova et al., 2020), «Ялтинский горно-лесной», заказнике «Мыс Фиолент», памятниках природы «Мыс Плака», «Участок побережья между пос. Солнечногорское и Малореченское».

Остальные представители рода в Крыму имеют локальное распространение.

#### ***O. macrorhiza* Engelm.**

В природном ареале произрастает на территории США (Миссури, Канзас, до Техаса) (Backeberg, 1977). В Крыму локальная ценопопуляция в Гурзуфе, на территории МДЦ «Артек», на приморском склоне между комплексами лагерей «Морской» и «Прибрежный» (Bagrikova, Ryff, 2014b) занимает незначительную по размеру площадь, где растения опунции произрастают на каменных обнажениях глинистых сланцев таврической серии в створе высот от 5 до 15 м н. у. м., на склонах крутизной 5–10°. Естественная растительность представляет собой сочетание кустарниковых зарослей средиземноморского типа (*Cisto-Micromerietea julianae*) с участием отдельных экземпляров низкорослых древесных видов, фрагментов кальцефобного эфемеретума (*Koelerio-Corynephoretea*) и петрофитных степных сообществ (*Festuco-Brometea*). Единичные самовозобновляющиеся особи выявлены на мысе Ай-Годор, на приморских склонах в границах санатория «Днепр» (пгт Гаспра). Вполне вероятно, что растения данного вида или гибридные формы произрастают на горе Таврос в Балаклаве вместе с растениями других видов опунций, описание которых приводится ниже.

Так же как *O. humifusa*, растения *O. macrorhiza* (см. рис. 1.3) приподнимаются над поверхностью почвы, формируют дерновины шириной до 1,0 м, сегменты голубовато-зеленого цвета, округлой или овальной формы, до 10 см длиной, 7 см шириной, около 1 см толщиной, матовые, часто морщинистые, ареолы довольно крупные, с многочисленными глохидиями от желтого до красно-коричневого цвета. Колючки числом до 4-х – до 2,5 см длиной, светло-серые, в основании коричневые, как правило расположены в верхней трети сегмента, лепестки,

тычиночные нити и рыльце пестика лимонно-желтого или желтого цвета. Плоды многочисленные (до 6–10 шт. на сегмент), отличаются незначительным количеством глохидий, грушевидные, по размерам (2,0–5,0 см длиной и 1,2–2,2 см в диаметре) и форме имеют большое сходство с плодами *O. humifusa*, созревают в сентябре – октябре, недозрелые плоды могут оставаться на растениях до начала следующего вегетационного периода. Поверхность плодов красная или розово-красная, мякоть светлая, достаточно плотная по консистенции, сладкая по вкусу. Количество семян на один плод – от 20 до 40, в среднем – 25. Семена дисковидно-округлые, 4,1 мм в диаметре, семенная кожура серо-желто-коричневатого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

В смешанных группах с *O. humifusa* в Балаклаве, на склонах горы \*Таврос, высотах Кая-Баш в створе высот от 5 до 55 м н. у. м. на каменистых террасированных склонах в травянистых сообществах, представляющих дериватные или базальные группировки разных классов растительности (*Festuco-Brometea*, *Koelerio-Corynephoretea* и др.) отмечены популяции *O. tortispina* и *O. polyacantha* (Bagrikova, Ryff, 2014b), характеристика которых приводится далее по тексту.

#### ***O. tortispina* Engelm. & J.M. Bigelow**

В природном ареале вид произрастает на территории США (Backeberg, 1977). Во вторичном ареале натурализация вида, который приводится под названиями *O. cymochila* Engelm. & J.M. Bigel., *O. tortispina* var. *cymochila* (Engelm. & J.M. Bigel.) Backeb., *O. tortispina*, отмечена на территории Российской Федерации в Нижнем Поволжье (<https://www.gbif.org>), в том числе в Харабалинском районе, где растения высаживались в начале XX в. для закрепления астраханских песков (Sagalaev, Pilipenko, 2007; Afanasiev, 2009; Byalt, 2012).

Натурализовавшиеся в Крыму растения *O. tortispina*, как правило, распростерты, характерно активное нарастание побегов в горизонтальной плоскости (см. рис. 1.4), произрастают одиночно или группами, образуя плоскости, зимой побеги сильно полегают, летом немного приподнимаются. Сегменты – от круглой до яйцевидной формы, 5,0–8,5 см длиной и 5,0–8,0 см шириной, темно-зеленого цвета, зимой сильно сморщенные. Ареолы – с большим количеством относительно длинных желто-коричневых глохидий. От 2 до 4 колючек расположено в верхней половине сегмента. Колючки светло-коричневые, более темные или почти черные в основании, 3,5–7,5 см длиной. Цветки желтые. Плоды относительно немногочисленные (от 4 до 8 шт. на сегмент), красного или красно-бордового цвета, сочные, достаточно мясистые, при полном созревании в сентябре – октябре консистенция рыхлая, более темной красно-фиолетовой окраски, по вкусу сладкие, ближе к нейтральному. На поверхности плодов хорошо развиты ареолы с большим количеством глохидий. По форме плоды грушевидно-бочонкообразные, так же как у *O. humifusa* и *O. macrorhiza* небольшие – 2,4–4,8 см длиной и 1,1–1,8 см в диаметре, содержат от 17 до 44 семян, но отличаются от плодов этих видов по форме и цвету. Ободок плода в верхней части чаще всего закругленный. Семена дисковидные, 4,3–6,5 мм в диаметре, с неровной поверхностью и извилистым краем, по размерам крупнее, чем у *O. macrorhiza*. Ободок шире чем у *O. humifusa* и *O. macrorhiza*, но уже (до 2,6 мм) чем у *O. polyacantha* и *O. phaeacantha*. Семенная кожура серо-желтого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

***O. polyacantha* Haw.**

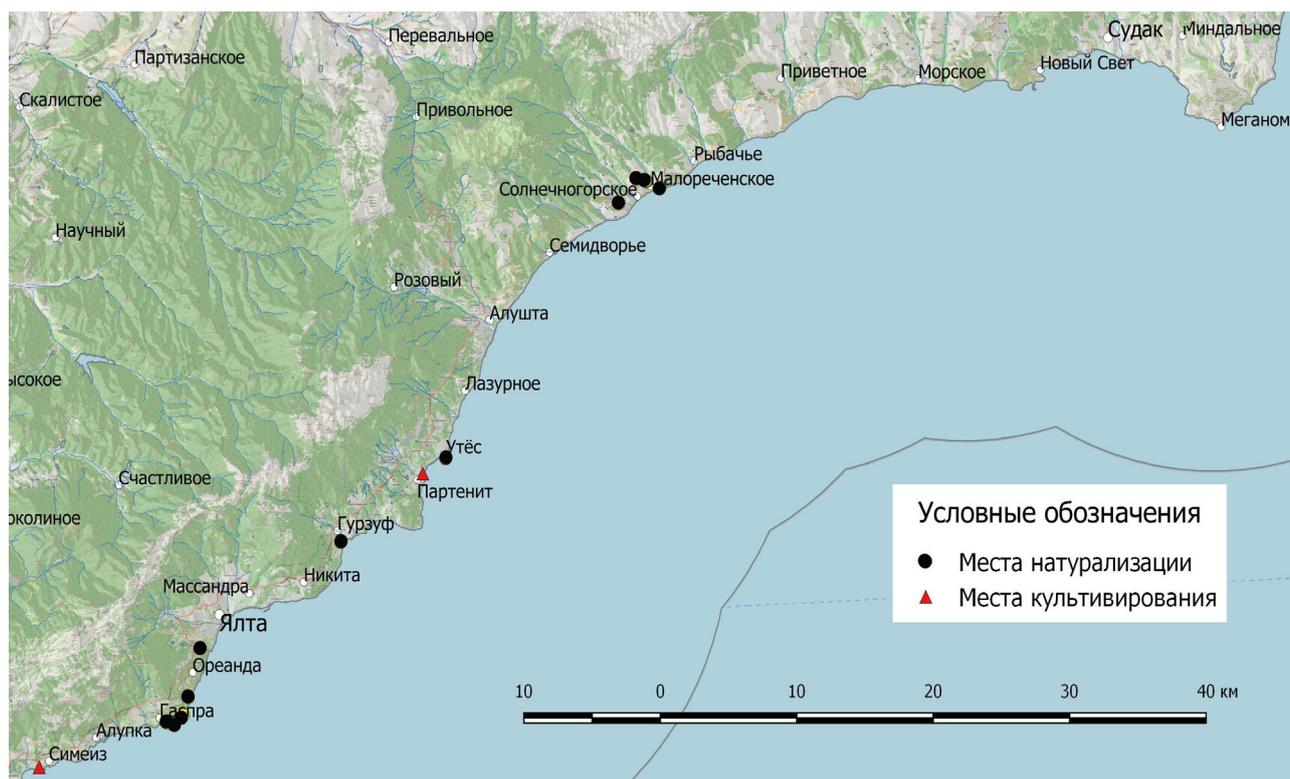
В природном ареале произрастает в США, Северной Мексике (Backeberg, 1977). Во вторичном ареале натурализовавшиеся растения отмечены в травянистых сообществах порядка *Festucetalia valesiacae* в провинции Болзано в Италии (Gómez-Bellver, Sáez, 2017), статус чужеродного вида имеет в Австралии, Канаде, Чехии (Randall, 2017).

В Крыму растения *O. polyacantha* (см. рис. 1.5) прямостояче-распростертые, высотой до 0,3–0,4 м, произрастают одиночно или небольшими группами. Сегменты зеленого цвета, округлой формы, 10–12 см, относительно толстые (до 0,9–1,2 см). Верхняя часть сегмента покрыта длинными светлыми (с розоватым оттенком) колючками, которые в основании имеют розово-коричневый цвет, кончик – темно-коричневый цвет. В ареолах расположено до 2-3 крупных (до 3,5–6,0 см длиной) и 3-4 коротких (до 1,0–1,5 см длиной) колючек, глосидии зеленого или желто-коричневого цвета. Плоды немногочисленные, до 6 шт. на сегмент, от бочонкообразной до округлой формы, закругленные в основании, ободок плода в верхней части заостренный; розово-красного или оранжево-красного цвета, сочные; мякоть плотная, относительно вязкая, при полном созревании в сентябре – октябре становится относительно рыхлой, сладкая по вкусу, имеет более светлую окраску по сравнению с поверхностью плода. В каждом плоде

***O. tunoidea* Gibbes**

Согласно базам данных (<http://www.theplantlist.org>; <http://www.plantsoftheworldonline.org>), является признанным таксоном, тогда как в Catalogue of Life (<https://www.catalogueoflife.org>) приводится как синоним *O. stricta* var. *dillenii* (Ker Gawl.) L.D. Benson. В некоторых источниках (Briton, Rose, 2019; <http://opuntiads.com>) отмечается сходство *O. tunoidea* с *O. dillenii* (Ker Gawl.) Haw. и *O. bentonii* Griffiths. Но культивируемые и натурализовавшиеся в Крыму растения отличаются от вышеприведенных таксонов по общей характеристике и распространению, как в природном ареале, так и за его пределами.

В природном ареале произрастает на территории США, на побережье в Южной Каролине (<http://opuntiads.com>; Holmes, 2016, <http://www.plantsoftheworldonline.org>). В культуре на территории ЮБК от Фороса до Малореченского встречается достаточно часто, редко – в окрестностях полуострова Меганом на юго-востоке Крыма (рис. 4). В некоторых из этих локалитетов отмечены единичные самовозобновляющиеся растения, тогда как на приморских склонах среди растений *O. engelmannii* var. *lindheimeri* (Bagrikova, Ryff, 2014b) в парке Харакс (пгт Гаспра), на мысе Плака, в составе сообществ, относящихся к классам *Koelerio-Corynephereetea*, *Cisto-Micromerietea julianae*, *Thero-Brachypodietea*, выявлено наибольшее количество натурализовавшихся растений.



**Рис. 4.** Распространение культурных и натурализовавшихся растений *Opuntia tunoidea* Gibbes на Южном берегу Крыма

**Fig. 4.** Distribution of cultivated and naturalized plants of *Opuntia tunoidea* Gibbes on the southern coast of Crimea

содержится от 26 до 70, в среднем 25 семян. Семена дисковидные, с неровной поверхностью и извилистым краем, 3,6–5,7 мм в диаметре, при ширине ободка до 2,8 мм. Семенная кожура желто-кремового цвета с розоватым оттенком, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

Растения *O. tunoidea* (см. рис. 1.6) крупные, до 0,7–1,2 м в высоту и 1,0–1,2 м в диаметре, могут образовывать заросли из нескольких экземпляров. Сегменты светло- или сизо-зеленого цвета, от продолговатой до овальной формы, до 30 см длиной, 25 см шириной. Колючек в ареале 1-2, они часто одиночные, распределены прак-

тически по всему сегменту, но чаще в верхней части, лимонно- или соломенно-желтого цвета. Глохидии такого же цвета, многочисленные, длинные (1,0–1,5 см). Цветки светло-желтые или желтые. Плоды многочисленные, до 9–15 шт. на сегмент, красновато-пурпурного цвета, грушевидной формы, 5,8 см длиной, 3,5 см в диаметре, при полном созревании диаметр более 4,0 см, пупок слегка вдавленный или имеет почти ровную поверхность. Плоды чаще всего не успевают созреть до окончания вегетации и остаются на растении до следующего вегетационного сезона. Мякоть более темной пурпурной окраски, сочная, волокнистая, кисло-сладкая на вкус. Семена мелкие, 3,9–4,0 мм, но отличаются более волнистой поверхностью, а также более узким (0,3–1,0 мм) по сравнению с *O. engelmannii* var. *lindheimeri* ободком. Семенная кожура желто-серого цвета, зародыш – кремово-зеленовато-серого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

#### *O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth.

В природном ареале вид *O. phaeacantha* произрастает на территории США (Техас до Аризоны), Северной Мексики (Чихуахуа), тогда как многочисленные разновидности отмечаются в других штатах США (Backeberg, 1977). Во вторичном ареале является инвазионным видом в Австралии, Испании, Италии, Австрии (Novoa et al., 2015; Randall, 2017), натурализовавшиеся растения отмечены также в Чехии, Словакии (Medvecká et al., 2012; Ryšek et al., 2012). В Италии вид произрастает на каменистых местообитаниях, сложенных вулканическими и порфирированными породами, в том числе на скалах (Gómez-Bellver, Sáez, 2017).

На территории Крыма натурализовавшиеся растения красноцветковой формы *O. phaeacantha* имеют локальное распространение: в окр. пос. Курортное (городской округ Феодосия), в том числе на ООПТ «Карадагский природный заповедник», где отмечается в монодоминантных или смешанных группах с *O. humifusa* (Bagrikova, Ryff, 2014b; Fateryga, Bagrikova, 2017) в разных типах растительности (см. рис. 1а): в сообществах петрофитных степей (*Festuco-Brometea*), полупустынных кустарниковых группировок бедлендов (*Pegano harmalae-Salsolatea vermiculatae*) с участием отдельных элементов осыпей (*Thlaspietea rotundifolii* Br.-Bl. 1948) и сообществ приморских клифов (*Onosmo polyphyllae-Ptilostemonetalia* Kozhenevsky 1990), является трансформером в фисташковых редколесьях. В «черном списке» флоры Крыма вид имеет переходный статус – от инвазионного вида (второй статус) к виду-трансформеру (первый статус) (Bagrikova, Skurlatova 2021), так как растения в некоторых типах растительности преобразуют состав и структуру фитоценозов.

Растения красноцветковой формы *O. phaeacantha* (рис. 1.7) прямостояче-распростертые, до 0,3–0,5 м высоты, до 2,5 м ширины, произрастают одиночно или группами, образуя дернину. Сегменты от сизо-зеленого до темно-зеленого цвета, округло-яйцевидной формы, до 20–25 см длиной, 7–20 см шириной. Длинными (до 6 см) серо-коричневыми колючками в количестве от 2 до 4 шт. покрыты верхние 2/3 сегмента. В основании колючки часто темно- или красно-коричневые. В ареолах большое количество длинных глохидий зеленовато-коричневого цвета. Цветки красные. Плоды относительно многочисленные, до 7–10 шт. на сегмент, от красно-пурпурного до пурпурного цвета, сочные, консистенция более темная, при полном созревании рыхлая, сладкая по вкусу, по форме от обратнаяйцевидных до бочонкообразных. Количе-

ство семян на один плод составляет в среднем до 50, но варьирует значительно от 21 до 89. Семена дисковидно-удлиненные, с неровной поверхностью и извилистым краем, достаточно крупные (до 5,6–6,8 мм в диаметре), с широким ободком (до 2,8 мм). Семенная кожура серо-желтого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

#### *O. fragilis* (Nutt.) Haw.

В природном ареале распространены в Британской Колумбии и США (Вашингтон, Орегон до Аризоны и северо-запад Техаса) (Backeberg, 1977). Во вторичном ареале натурализация вида отмечена в Крыму (Protodorova, Shevera, 2014), вместе с двумя другими видами опунций (*O. humifusa*, *O. engelmannii*) растения *O. fragilis* описаны в петрофитных сообществах с участием единичных и низкорослых деревьев и кустарников в Болгарии (Naydenova et al., 2019).

На территории Крымского полуострова самовозобновляющиеся ценопопуляции имеют локальное распространение – на ЮБК, на мысе Ай-Тодор: у Ай-Тодорского маяка, а также на территории санатория «Днепр» в парке Харакс (пгт Гаспра), где занимают значительные площади, произрастая на бровках обрывов и на крутых приморских каменистых склонах, образуя дериватные и базальные группировки в составе травянистых сообществ, относящихся к классам *Koelerio-Corynephoretea*, *Cisto-Micromerietea julianae* с участием единичных экземпляров кустарников и деревьев, в том числе *Juniperus excelsa*, *Pistacia mutica*. Поэтому в «черном списке» флоры Крыма вид включен в группу «видов-трансформеров» (Bagrikova, Skurlatova 2021). В этих же сообществах отмечено значительное число растений *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, *O. tunoidea*, единично – *O. humifusa*, *O. macrorrhiza*.

Растения *O. fragilis* (см. рис. 1.8) стелющиеся, высотой до 10,0 см, образуют дерновины до 0,5–0,8 м в диаметре. Сегменты округло- или удлиненно-цилиндрической формы, слегка уплощенные, от 2,5 до 6,5 см длиной, 1,5–2,5 см в диаметре, в основном темно-зеленого цвета, легко отделяются друг от друга. Колючки, числом от 3 до 6, до 2,5–3,5 см длиной, серо-коричневого цвета, часто светлые сверху, глохидии желтовато-коричневые цвета; цветки до 7 см в диаметре, лепестки бледно- или лимонно-желтые, иногда красные в основании, тычиночные нити красные, рыльце пестика зеленое. Плоды светло-серо- или желтоватого цвета, сухие, с очень колючими короткими шипиками, несъедобные, 1,5 см длиной, 0,9 см в диаметре. В одном плоде – от 4 до 14 плотно прилегающих друг к другу семян. Семена плоские, округлой или слегка продолговатой формы, с неровной поверхностью и искривленными краями. Отличаются от семян всех натурализовавшихся в Крыму опунций самыми крупными размерами, до 7,2 мм в диаметре. Семенная кожура светло-желтого цвета, поверхность матовая (Bagrikova et al., 2021).

#### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что в Крыму разные виды опунций были изначально намеренно посажены, но позже хорошо адаптировались, распространились в антропогенно нарушенных и естественных биотопах. Виды размножаются семенным и вегетативными способами, представлены самовозобновляющимися и увеличивающимися популяциями, активно внедряются в разные типы сообществ, которые отнесе-

ны к девяти классам растительности (*Quercetea pubescens*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthetea*, *Koelerio-Corynephoretea*, *Artemisietea vulgaris*, *Asplenieta trichomanis*, *Cisto-Micromerietea julianae*, *Thero-Brachypodietea*, *Pegano harmalae-Salsoletea vermiculatae*).

Наибольшее распространение на территории Крымского полуострова имеют два представителя рода: *Opuntia humifusa* и *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, которые отнесены к видам-трансформерам, так как не только внедряются в естественные сообщества, но и в отдельных локалитетах, вытесняя аборигенные виды, занимают доминирующее положение. Остальные представители рода встречаются локально, занимают небольшие по площади территории, в основном на приморских склонах Южного берега Крыма. Но такие виды, как *O. fragilis*, красноцветковая форма *O. phaeacantha*, также представляют угрозу биоразнообразию естественных биотопов, образуя монодоминантные группировки.

Приведенная общая характеристика натурализовавшихся представителей рода *Opuntia*, данные по качественным и количественным параметрам, распространению подтверждают и дополняют сведения, приведенные в литературных и интернет-источниках.

### References / Литература

- Afanasyev V.E. About methods of immigration of new species into the flora of the Astrakhan region. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2009;1(48):89-91. [in Russian] (Афанасьев В.Е. О способах иммиграции новых видов во флору Астраханской области. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2009;1(48):89-91).
- Anderson E.F. The cactus family. Portland, OR: Timber Press; 2001.
- Backeberg C. Das Kakteen lexicon. Enumeratio diagnostica Cactacearum. Jena: Magnus Poser; 1977. [in German]
- Bagrikova N.A., Bondareva L.V., Ryff L.E. Distribution peculiarities of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Sevastopol. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2014;139:32-46. [in Russian] (Багрикова Н.А., Бондарева Л.В., Рыфф Л.Э. Особенности распространения *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. на территории г. Севастополя. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2014;139:32-46).
- Bagrikova N.A., Chichkanova E.S. About some morphological and morphometric features of *Opuntia engelmannii* subsp. *lindheimeri* (Cactaceae), naturalised in the "Cape Martyan" Nature Reserve (Crimea). *Nature Conservation Research*. 2018;3(Suppl 2):54-65. [in Russian] (Багрикова Н.А., Чичканова Е.С. О некоторых морфологических и морфометрических особенностях *Opuntia engelmannii* subsp. *lindheimeri* (Cactaceae), натурализовавшейся в природном заповеднике «Мыс Мартыан» (Крым). *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. 2018;3(Suppl 2):54-65). DOI: 10.24189/ncr.2018.066
- Bagrikova N.A., Perminova Ya.A., Chichkanova E.S. Features of growth and development of *Opuntia engelmannii* var. *lindheimeri* (Cactaceae) in the South coast of Crimea. *Science of the South of Russia*. 2020;16(4):63-72. [in Russian] (Багрикова Н.А., Перминова Я.А., Чичканова Е.С. Особенности роста и развития *Opuntia engelmannii* var. *lindheimeri* (Cactaceae) в условиях Южного берега Крыма. *Наука Юга России*. 2020;16(4):63-72). DOI: 10.7868/S25000640200407
- Bagrikova N.A., Ryff L.E. Invasive species of *Opuntia lindheimeri* Engelm. in South Crimea. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2014a;139:47-66. [in Russian] (Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э. Инвазионный вид *Opuntia lindheimeri* Engelm. в Южном Крыму. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2014а;139:47-66).
- Bagrikova N.A., Ryff L.E. On the naturalisation of representatives of the genus *Opuntia* Mill. in the territory of the Crimean Peninsula. In: *VI Botanical Readings in Memory of J.K. Pachozki: Proceedings of the International Scientific Conference; Kherson, Ukraine, 19–22.05.2014*. Kherson; 2014b. p.19–21. [in Russian] (Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э. О натурализации представителей рода *Opuntia* Mill. на территории Крымского полуострова. В кн.: *VI ботаничні читання пам'яті Й.К. Пачоського: матер. міжнарод. наук. конф.; Херсон, Україна; 19–22.05.2014 г.*). Херсон; 2014b. С.19-21).
- Bagrikova N.A., Ryff L.E., Chichkanova E.S., Perminova Ya.A. Features of fruits and seeds of *Opuntia* (Cactaceae) species naturalized in Crimea. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2021;(10):1002-1015. [in Russian] (Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э., Чичканова Е.С., Перминова Я.А. Характеристика плодов и семян натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (Cactaceae). *Ботанический журнал*. 2021;106(10):1002-1015). DOI: 10.31857/S0006813621100033
- Bagrikova N.A., Skurlatova M.V. The materials to the "Black Book" of the flora of the Crimean Peninsula. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2021;12(3):244-257. DOI: 10.1134/S2075111721030036
- Belousova O.V. Introduction of species of the genus *Opuntia* Mill. in the Nikitsky Botanical Garden. *Succulents / Bilingual*. 1998;(1):8-10. [in Russian] (Белоусова О.В. Интродукция видов рода *Opuntia* Mill. в Никитском ботаническом саду. *Суккуленты / bilingual*. 1998;(1):8-10).
- Belousova O.V., Bagrikova N.A. Naturalization of *Opuntia* (Tournef.) Mill. in the central southern coast of Crimea. *Introduction of Plants*. 1999;(3-4):33-37. [in Russian] (Белоусова О.В., Багрикова Н.А. Натурализация *Opuntia* (Tournef.) Mill. в центральном Южном берегу Крыма. *Интродукция растений*. 1999;(3-4):33-37).
- Britton N.L., Rose J.N. The Cactaceae Juss.: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington; 1919.
- Bulut L.J. Les espèces d'*Opuntia* (Cactaceae) naturalisées dans la haute vallée de l'Allier (Haute-Loire). *Bulletin de l'Association Botanique Digitalis*. 2007;6:50-53. [in French]
- Byalt V.V. *Opuntia* Mill. In: *Conspectus florum of Eastern Europe. Vol. 1*. St. Petersburg; Moscow: КМК; 2012. p.198-200. [in Russian] (Бялт В.В. *Opuntia* Mill. В кн.: *Конспект флоры Восточной Европы. Т. 1*. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2012. С.198-200).
- Catalogue of Life: [site]. Available from: <https://www.catalogueoflife.org/> [accessed June 15, 2021].
- Celesti-Grappow L., Pretto F., Carli E., Blasi C. (eds). Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d'Italia. Roma: Casa Editrice Università La Sapienza; 2010. [in Italian]
- Cindi D.D., Jaca T.P. First record of *Opuntia pubescens* H.L. Wendland ex Pfeiffer, 1835 naturalised in South Africa. *BioInvasions Records*. 2016;5(4):213-219. DOI: 10.3391/bir.2016.5.4.04
- Dean W.R.J., Milton S.J. Directed dispersal of *Opuntia* species in the Karoo, South Africa: Are crows the responsible

- agents. *Journal of Arid Environments*. 2000;45(4):305-314. DOI: 10.1006/jare.2000.0652
- Dubyna D.V., Dzyuba T.P., Emelyanova S.M., Bagrikova N.O., Borisova O.V., Borsukevich L.M. et al. Prodrum of vegetation of Ukraine. Kyiv: Naukova dumka; 2019. [in Ukrainian] (Дубина Д.В., Дзюба Т.П., Емельянова С.М., Багрикова Н.О., Борисова О.В., Борсукевич Л.М. и др. Продромус рослинності України. Киев: Наукова думка; 2019).
- Erre P., Chessa I., Nieddu G. Jones P.G. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*. 2009;73(12):1058-1066. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.05.010
- Fateryga V.A., Bagrikova N.A. Invasion of *Opuntia humifusa* и *O. phaeacantha* (Cactaceae) into plant communities of the Karadag Nature Reserve. *Nature Conservation Research*. 2017;2(4):26-39. DOI: 10.24189/ncr.2017.011
- Frawley J. Prickly pear land: Transnational networks in settler Australia. *Australian Historical Studies*. 2007;38(130):323-338.
- GBIF. Global Biodiversity Information Facilit: [site]. Available from: <https://www.gbif.org/> [accessed June 17, 2021].
- Gómez-Bellver C., Sáez L. *Opuntia humifusa* complex in northeastern Iberian Peninsula. *Orsis*. 2017;31:21-30. DOI: 10.5565/rev/orsis.41
- Griffith M.P., Porter J.M. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). *International Journal of Plant Sciences*. 2009;170(1):107-116. DOI: 10.1086/593048
- Gubanova T.B. Comparative characteristics of low-temperature resistance in stem and leaves succulents. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2008;129:22-36. [in Russian] (Губанова Т.Б. Сравнительная характеристика низкотемпературной устойчивости стеблевых и листовых суккулентов. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2008;129:22-36).
- Gubanova T.B. Some aspects of low-temperature adaptation of stem and leaf succulents. *Scientific Notes of VI. Vernadsky Taurida National University. Series: Biology, Chemistry*. 2007;20(3):24-31. [in Russian] (Губанова Т.Б. Аспекты низкотемпературной адаптации стеблевых и листовых суккулентов. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия»*. 2007;20(3):24-31).
- Gubanova T.B. The influence of the temperature factor on the winter hardiness of succulents in the conditions of the southern coast of Crimea. *News of the Askania-Nova Biosphere Reserve*. 2012;14:63-67. [in Russian] (Губанова Т.Б. Влияние температурного фактора на зимостойкость суккулентов в условиях Южного берега Крыма. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2012;14:63-67).
- Gubanova T.B., Belousova O.V. Physiological aspects of frost resistance of species of the genus *Opuntia* Mill. *News of Askania-Nova Biosphere Reserve*. 2003;5:104-109. [in Russian] (Губанова Т.Б., Белоусова О.В. Физиологические аспекты морозостойкости видов рода *Opuntia* Mill. *Вісті біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2003;5:104-109).
- Holmes K. Morphological and ecological characterization of *Opuntia* Miller on the coast of South Carolina. *All Theses*. 2016:2466. Available from: [https://tigerprints.clemson.edu/all\\_theses/2466](https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/2466) [accessed June 17, 2021].
- iNaturalist: [сайт]. URL: <https://www.inaturalist.org/> [дата обращения: 15.06.2021].
- Kaplan H., Wilson J.R.U., Klein H., Henderson L., Zimmermann H.G., Manyama P. et al. A proposed national strategic framework for the management of Cactaceae in South Africa. *Bothalia*. 2017;47(2):a2149. DOI: 10.4102/abc.v47i2.2149
- Krainyuk E.S., Ryff L.E. Flora of Nature Reserve "Papaya-Kaya" on the South-East of the Crimea. *Scientific Notes of the "Cape Martyan" Nature Reserve*. 2019;(10):81-105. [in Russian] (Крайнюк Е.С., Рыфф Л.Э. Флора природного заказника «Папая-Кая» в юго-восточном Крыму. *Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан»*. 2019;(10):81-105).
- Majure L.C., Ervin G.N. The opuntias of Mississippi. *Haseltonia*. 2008;14:111-126. DOI: 10.2985/1070-0048-14.111
- Majure L.C., Judd W.S., Soltis P.S., Soltis D.E. Taxonomic revision of the *Opuntia humifusa* complex (Opuntieae: Cactaceae) of the eastern United States. *Phytotaxa*. 2017;290(1):1-65. DOI: 10.11646/phytotaxa.290.1
- Majure L. C., Puente R., Griffith M.P., Judd W., Soltis D., Soltis P.S. Phylogeny of *Opuntia* s.s. (Cactaceae): Clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. *American Journal of Botany*. 2012;99(5):847-864.
- Medvecká J., Kliment J., Májeková J., Halada L., Zaliberová M., Gojdičová E. et al. Inventory of the alien flora of Slovakia. *Preslia*. 2012;4:257-309.
- Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.P., Raus T., Čarni A. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016;19(Suppl 1):3-264. DOI: 10.1111/avsc.12257
- Naydenova T., Vladimirov V., Bancheva S. Contribution to the knowledge of naturalised *Opuntia* species (Cactaceae) in the Bulgarian flora. *Phytologia Balcanica*. 2019;25(1):39-46.
- Novoa A., Le Roux J.J., Robertson M.P., Wilson J.R.U., Richardson D.M. Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*. 2015;7:plu078. DOI: 10.1093/aobpla/plu078
- Opuntia Web: [site]. Available from: <http://opuntiads.com> [accessed Mar. 15, 2021].
- Opuntoid cacti *Austrocylindropuntia*, *Cylindropuntia* and *Opuntia* species: Restricted invasive plant. The State of Queensland, Department of Agriculture and Fisheries, 2020. Available from: [https://www.daf.qld.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/383822/opuntoid-cacti.pdf](https://www.daf.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/383822/opuntoid-cacti.pdf) [accessed Jan. 20, 2022].
- Ostapko V.M. Escape in the wild of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Donbass. *Industrial Botany*. 2020;20(3):76-81. [in Russian] (Остапко В.М. Дичание *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. в Донбассе. *Промышленная ботаника*. 2020;20(3):76-81).
- Pinkava D.J. *Opuntia* Miller. In: *Flora of North America*. Vol. 4. 2003. p.123-148. Available from: <http://beta.flora-northamerica.org/Opuntia> [accessed Apr. 17, 2021].
- Plantarium: [site]. URL: <https://www.plantarium.ru/> [дата обращения: 10.05. 2021].
- Plants of the World Online. Kew Royal Botanic Gardens: [site]. Available from: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> [accessed Apr. 20, 2021].
- Plugar Yu.V., Goncharova O.I., Chichkanova E.S., Golovneva Ye. Ye. Devoted to 20th anniversary of Cactus Gallery in Nikita Botanical Gardens. *Bulletin of the State Nikita botanical gardens*. 2016;(119):88-95. [in Russian] (Плугатарь Ю.В., Гончарова О.И., Чичканова Е.С., Головнёва Е.Е. К 20-летию юбилею кактусовой оранжереи в Никитском ботаническом саду. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2016;(119):88-95).
- Protopopova V.V., Shevera M.V. Ergasiophytes of the Ukrainian flora. *Biodiversity. Research and Conservation*. 2014;35:31-46. DOI: 10.2478/biorc-2014-0018

- Pyšek P., Danihelka J., Sádlo J., Chrtek J.Jr., Chytrý M., Jarošík V. et al. Catalogue of alien plants of the Czech Republic (2nd edition): Checklist update, taxonomic diversity and invasion patterns (2nd edition). *Preslia*. 2012;84(2):155-255.
- Randall R.P. A global compendium of weeds. 3rd ed. Perth; 2017.
- Rasevich V.V., Didukh Ya.P., Daciuk V.V., Boiko G.V. Dispersal of *Opuntia humifusa* (Cactaceae) in the continental part of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*. 2021;78(1):62-68. [in Ukrainian] (Расевич В.В., Дідух Я.П., Дацюк В.В., Бойко Г.В. Поширення *Opuntia humifusa* (Cactaceae) на території континентальної України. *Український ботанічний журнал*. 2021;78(1):62-68). DOI: 10.15407/ukrbotj78.01.062
- Sagalaev V.A., Pilipenko V.N. *Opuntia cymochila* Engelm. et Bigel. (Cactaceae) in the Astrakhan Trans-Volga region (*Opuntia cymochila* Engelm. et Bigel. (Cactaceae) v astrakhanskom Zavolzhye). In: *Biosystems, Biomonitoring, Education, Health: Proceedings of the Scientific and Practical Conference; Volgograd, April 2006 (Biosistemy, biomonitoring, obrazovaniye, zdorovye: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii; Volgograd, aprel 2006 g.)*. Volgograd: Peremena; 2007. p.52-54. [in Russian] (Сагалаев В.А., Пилипенко В.Н. *Opuntia cymochila* Engelm. et Bigel. (Cactaceae) в астраханском Заволжье. В кн.: *Биосистемы, биомониторинг, образование, здоровье: Материалы научно-практической конференции; Волгоград, апрель 2006 г.* Волгоград: Перемена; 2007. С.52-54).
- Tashev A. Characteristics of the *Opuntia humifusa* (Cactaceae) locality in the Harmanli district, South Bulgaria. *Phytologica Balcanica*. 2012; 18(1): 11-16.
- The Plant List. A working list of all plant species: [site]. Available from: <http://www.theplantlist.org/> [accessed Mar. 17, 2021].
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden: [site]. Available from: <http://www.tropicos.org> [accessed Feb. , 2021].
- Walters M., Figueiredo E., Crouch N.R., Winter P.J.D., Smith G.F., Zimmermann H.G. et al. Naturalised and invasive succulents of Southern Africa. *ABC Taxa*. 2011;11:1-346.
- Wilhelm Th., Fink M., Guiggi A. Die Gattung *Opuntia* in Südtirol (Provinz Bozen, Italien). *Gredleriana*. 2019;19:15-33. [in German] DOI: 10.5281/zenodo.3565285
- Yena A.V. The natural flora of the Crimean Peninsula: a monograph (Prirodnaya flora Krymskogo poluostrova: monografiya). Simferopol: N. Orianda; 2012. [in Russian] (Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова: монография. Симферополь: Н. Орианда; 2012).
- Zamyatnin B.N. Family 73. Cacti – Cactaceae Lindl. (Kaktusovyye – Cactaceae Lindl.) In: S.Ya. Sokolov (ed.). *Trees and Shrubs of the USSR. Vol. 4*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1958. p.857-879. [in Russian] (Замятнин Б.Н. Сем. 73. Кактусовые – Cactaceae Lindl. В кн.: *Деревья и кустарники СССР / под ред. С.Я. Соколова*. Москва; Ленинград: АН СССР; 1958. С:857-879).
- Zavialova L.V., Kucher O.O., Shevera M.V., Protopopova V.V., Ryff L.E. Plant invasions in Ukraine. *Environmental and Socio-Economic Studies*. 2021;9(4):1-13. DOI: 10.2478/envi-ron-2021-0020
- Zernov A.S. Flora of the Northwest Caucasus (Flora Severo-Zapadnogo Kavkaza). Moscow: KMK; 2006. [in Russian] (Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. Москва: КМК; 2006).

#### Информация об авторах:

**Наталья Александровна Багрикова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52, nbagriko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

**Яна Альвидасовна Перминова**, младший научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52, yana240866@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-079X>

#### Information about the authors

**Nataliya A. Bagrikova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta, Republic of Crimea 298648, Russia, nbagriko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

**Yana A. Perminova**, Associate Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta, Republic of Crimea 298648, yana240866@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-079X>

**Вклад авторов:** Багрикова Н.А. – планирование работ и анализ данных, полевые и геоботанические описания, написание обзора и редактирование текста, подготовка фотоматериалов и картосхем; Перминова Я.А. – полевые исследования, обработка данных, подготовка списка литературы.

**Contribution of the authors:** N.A. Bagrikova: research planning and data analysis, field and geobotanical research, writing and editing the review, photos and maps; Ya.A. Perminova: field research, data analysis, references.

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

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

Статья поступила в редакцию 02.07.2021; одобрена после рецензирования 14.02.2022; принята к публикации 06.09.2022  
The article was submitted on 02.07.2021; approved after reviewing on 14.02.2022; accepted for publication on 06.09.2022



## Конспект рода *Juniperus* L., произрастающего в Казахстане

М. М. Ермагамбетова<sup>1,2</sup>, С. И. Аbugалиева<sup>1,2</sup>, Е. К. Туруспеков<sup>1</sup>, Ш. С. Альмерекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Шырын Семизбайкызы Альмерекова, [almerekovakz@gmail.com](mailto:almerekovakz@gmail.com)

**Актуальность.** Род *Juniperus* L., самый многочисленный в семействе Cupressaceae Bartl., включает около 75 видов. Согласно разным источникам, в Казахстане встречается от 7 до 10 видов данного рода. Все виды можжевельника широко используются в народной медицине, играют важную экологическую роль. Целью нашей работы стало изучение современного состояния, систематики и распространения видов можжевельника. Это будет способствовать уточнению и дополнению сведений по современному местонахождению видов рода *Juniperus* на территории Республики Казахстан и в дальнейшем изучению их внутри- и межвидового генетического разнообразия.

**Материалы и методы.** Для изучения распространения и составления конспекта видов рода *Juniperus*, произрастающих в Казахстане, проанализированы флористические сводки, материалы экспедиционных выездов и соответствующие гербарные коллекции за период с 1890 по 2021 г. из гербарного фонда Института ботаники и фитоинтродукции (АА), гербарные материалы Института биологии и биотехнологии растений, а также цифрового гербария Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова – депозитария живых систем «Ноев Ковчег» (MW).

**Результаты.** В результате исследования обработано 630 гербарных листов и выявлено 70 местонахождений 7 видов можжевельника, произрастающих в Казахстане, относящихся к 2 секциям – *Juniperus* (= *Oxycedrus* Endl.) и *Sabina* Endl. Составлен конспект для 7 видов можжевельника, выявленных при анализе трех вышеуказанных гербарных фондов. Основное разделение видов отражено в разрезе областей и флористических регионов Казахстана. Наибольшая видовая насыщенность приходится на Южный, Юго-Восточный и Восточный Казахстан. Результаты исследования способствуют инвентаризации и поиску ранее описанных забытых мест произрастания видов рода *Juniperus*. Также продолжение комплексных ботанических и молекулярно-генетических исследований можжевельников будет способствовать изучению и сохранению генетического разнообразия видов и сохранению лесных биоресурсов.

**Ключевые слова:** виды можжевельника, гербарий, систематика, распространение видов, флористические регионы

**Благодарности:** статья подготовлена в рамках грантового проекта AP09259027 «Изучение генетического разнообразия видов рода *Juniperus* L., произрастающих в Казахстане», финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан (2021–2023).

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института ботаники и фитоинтродукции (лаборатория флоры высших растений) за предоставленную возможность работы с гербарным материалом, а также администрациям Сайрам-Угамского государственного национального природного парка и государственного природного заповедника Аксу-Жабаглы за предоставленную возможность сбора материала можжевельников для исследований, Иващенко А.А. – за помощь в определении видовой принадлежности можжевельников, а также сотрудникам, участвовавшим в НТП (2015–2017).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Ермагамбетова М.М., Аbugалиева С.И., Туруспеков Е.К., Альмерекова Ш.С. Конспект рода *Juniperus* L., произрастающего в Казахстане. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):161-170. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-161-170

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-161-170

## Conspectus of the genus *Juniperus* L. growing in Kazakhstan

Moldir M. Yermagambetova<sup>1,2</sup>, Saule I. Abugalieva<sup>1,2</sup>, Yerlan K. Turuspekov<sup>1</sup>, Shyryn S. Almerekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Corresponding author:** Shyryn S. Almerekova, [almerekovakz@gmail.com](mailto:almerekovakz@gmail.com)

**Background.** The genus *Juniperus* L. is the most numerous in the family Cupressaceae Bartl. and includes about 75 species. There are from 7 to 10 species of this genus in Kazakhstan. All types of juniper are widely used in folk medicine and play an important ecological role. The purpose of our work was to study the current status, systematics and distribution of juniper species. This will help to clarify and expand the information on the current location of *Juniperus* species in Kazakhstan and will be used in the future to study intra- and interspecific genetic diversity of the genus.

**Materials and methods.** To study the distribution and make a conspectus of the *Juniperus* spp. growing in Kazakhstan, floristic reports, materials of plant explorations and the herbarium collections for the period from 1890 to 2021 obtained from the herbarium of the Institute of Botany and Phytointroduction (AA), herbarium materials of the Institute of Plant Biology and Biotechnology as well as the digital herbarium of the Lomonosov Moscow State University – Depository of Living Systems “Noah’s Ark” (MW) were analyzed.

**Results.** As a result of the study, 630 herbarium sheets were processed and 70 locations of 7 juniper species growing in Kazakhstan belonging to 2 sections – *Juniperus* (= *Oxycedrus* Endl.) and *Sabina* Endl. – were identified. A conspectus of 7 juniper species identified during the analysis of the three above-mentioned herbarium collections was made. The main division of species is observed in the context of administrative and floristic regions of Kazakhstan. The greatest species concentration occurs in Southern, South-Eastern and Eastern Kazakhstan. The results of the study contribute to the inventory and search for previously forgotten places of growth for the genus *Juniperus*. Besides, the continuation of comprehensive botanical and molecular genetic studies on junipers will help to examine and preserve the genetic diversity of the species and conserve forest biore-sources.

**Keywords:** juniper species, herbarium, taxonomy, species distribution, floristic regions

**Acknowledgements:** this publication was accomplished within the framework of Grant Project No. AP09259027 “Study of the genetic diversity of species of the genus *Juniperus* L. growing in Kazakhstan”, funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (2021–2023).

The authors express their gratitude to the staff of the Institute of Botany and Phytointroduction (Laboratory of the Flora of Higher Plants) for the opportunity to work with the herbarium material as well as to the management of the Sairam-Ugam State National Nature Park and the Aksu-Zhabagly State Nature Reserve for the opportunity to collect the material of junipers for research purposes. The authors appreciate the help rendered by A. A. Ivashchenko in identifying the species of junipers as well as by employees who participated in the project (2015–2017).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Yermagambetova M.M., Abugalieva S.I., Turuspekov Y.K., Almerekova S.S. Conspectus of the genus *Juniperus* L. growing in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):161-170. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-161-170

## Введение

Род Можжевельник (синоним: Арча – среднеазиатское название горных можжевельников) (*Juniperus* L.) является самым многочисленным в семействе Кипарисовые (Cupressaceae Bartl.) и включает в себя около 75 видов можжевельника (Adams, Schwarzbach, 2013), распространенных практически на всех континентах северного полушария (Farjon, 2017). Благодаря экологической разьединенности рода одни его представители произрастают в арктической зоне, другие – в альпийском поясе южных гор, на разных высотах горных хребтов субтропической и тропической зон. Виды можжевельника распространены от подножья хребтов до 4000 м н. у. м. и встречаются на песчаных наносах морских побережий, на песках горных пустынь (Ismailov, 1975). Большинство видов рода зафиксировано в горах аридных областей. Их ареал распространяется от Арктики до Азорских и Канарских островов, Гималаев, Китая, Северной Америки; также они встречаются в Северной Африке, Эфиопии, Мексике и Вест-Индии. Многие виды играют большую роль в растительном покрове горных систем (Rahmonov et al., 2017).

В Казахстане можжевельник является одним из важных компонентов лесов в высокогорных цепях Алтая, Тарбагатай, Джунгарского Алатау, Тянь-Шаня, а также в горных лесах Северного Казахстана (Perezhogin, 2008; Kotukhov et al., 2009; Ivashchenko et al., 2014; Ivashchenko, 2015, 2020). *Juniperus* является самым крупным родом в семействе Кипарисовых; эти вечнозеленые хвойные деревья или кустарники встречаются в разнообразных экологических условиях земли, будучи адаптированы к сухому климату и скудным почвам (Ismailov, 1974; Kozubov, Muratova, 1986; Kozhevnikov, 2011; Adams, 2014). Отличительным признаком рода является наличие ягодообразной шишки, называемой шишкоягодой, которая образуется после срастания чешуевидных мегаспорофиллов (Salakhov, Ibragimova, 2007).

Систематика рода, включающая несколько подродов, секций и серий (Kozhevnikov, 2011; Adams, 2014), основана на различиях в строении вегетативных органов – листьев (хвои) и генеративных органов – шишкоягод. В 1700 г. P. Tournefort впервые описал данный род, включив в него только игольчатохвойные можжевельники и выделив чешуйчатые можжевельники в отдельный род *Cedrus* (Ismailov, 1975). Спустя тридцать лет К. Линней на основе описания генеративных органов, не обнаружив значительных отличий между *Juniperus* и *Cedrus*, объединил оба рода в один – *Juniperus* L. Сосредоточившись на существенных различиях внутри рода, E. Spach в 1841 г. выделил в нем две основные секции: *Oxycedrus* Spach и *Sabina* Spach. В 1847 г. S. Endlicher на основе строения шишкоягод представил свою систематику, отдельно выделив подсемейство *Juniperoideae* Endl., секцию *Oxycedrus* Spach разбил на две секции: *Caryocedrus* Endl. и *Oxycedrus* Endl., секцию *Sabina* Spach оставил без изменения (Pisarev, 2007; Kozhevnikov, 2011; Adams, 2014). М. И. Исмаилов (Ismailov, 1974), используя не только морфологические признаки, но также и эколого-географический анализ, составил классификацию, подразделив род *Juniperus* L. на три секции (*Oxycedrus* Endl., *Caryocedrus* Endl., *Sabina* Endl.). В результате филогенетических анализов и многолетнего изучения морфологических особенностей можжевельников R. Adams (2014), монограф рода *Juniperus*, сформировал окончательную систематику, выделив 3 секции: *Caryocedrus* Endl. (1 вид – *J. dru-*

*pacea* Labill.), *Juniperus* (= *Oxycedrus* Endl., 14 видов) и *Sabina* Endl. (около 60 видов).

В мире насчитывается около 75 видов можжевельника (Adams, Schwarzbach, 2013). Во «Флоре Казахстана» (Flora of Kazakhstan..., 1956) было описано 10 видов, произрастающих в Казахстане: *Juniperus communis* L. (можжевельник обыкновенный), *J. sibirica* Burgsd. (м. сибирский), *J. pseudosabina* Fisch. et C.A. Mey. (м. ложноказацкий), *J. turkestanica* Kom. (м. туркестанский), *J. intermedia* Drob. (м. средний), *J. seravschanica* Kom. (м. зеравшанский), *J. sabina* L. (м. казацкий), *J. semiglobosa* Regel (м. полшаровидный), *J. talassica* Lipsky (м. таласский) и *J. drobovii* Sumn. (м. Дробова). Однако в работе С. А. Абдулиной (Abdulina, 1999) выделяется всего 7 видов: *J. communis*, *J. × media* Dmitr., (*J. intermedia*), *J. pseudosabina*, *J. sabina*, *J. semiglobosa*, *J. sibirica* и *J. seravschanica*. Согласно R. Adams (2014), *J. talassica* является разновидностью *J. semiglobosa* и описывается автором как *J. semiglobosa* Regel var. *talassica* (Lipinsky) Silba; *J. drobovii* – как синоним *J. semiglobosa*, а *J. turkestanica* – как разновидность или синоним *J. pseudosabina*. Тем не менее многие исследователи придерживаются той или иной сводки (Zubairov et al., 2019; Ivashchenko, 2020).

Следует отметить, что *J. seravschanica* является редким краснокнижным видом с сокращающейся численностью (III категория) (The Red Book of Kazakhstan..., 2014).

Некоторые виды можжевельника (названия видов приводятся в интерпретации авторов) в связи с их распространением в Казахстане, а также в качестве доминирующего или сопутствующего вида определенного ареала, были отмечены в трудах А. А. Иващенко (Ivashchenko et al., 2014; Ivashchenko, 2015, 2020) – *J. sabina*, *J. sibirica*, *J. pseudosabina*, *J. semiglobosa*, *J. seravschanica*, *J. turkestanica*; Ю. А. Котухова (Kotukhov et al., 2009) – *J. sabina*, *J. sibirica*, *J. davurica*; Ю. В. Пережогина (Perezhogin, 2008) – *J. sabina*; С. А. Айпеисовой (Aipeisova, 2013) – *J. sabina*; О. А. Артёмовой (Artyomova, 2012) – *J. communis*; Т. В. Дикаревой и Н. Б. Леоновой (Dikareva, Leonova, 2014) – *J. communis*; Е. К. Туруспекова и др. (Turuspekov et al., 2017a) – *J. sibirica*.

Все виды можжевельника широко используются в народной медицине, играют важную экологическую роль водоохранного, почвозащитного и противоселевого значения (Seim et al., 2016). Виды *Juniperus* представляют интерес как лекарственные растения (Grudzinskaya et al., 2014) и источник сырья для получения эфирных масел (Najar et al., 2020; Salamon et al., 2020). В Казахстане опубликован ряд работ по изучению состава эфирных масел (Suleimen et al., 2013; Myrzagalieva, Medeubaeva, 2014) и фитохимическому анализу (Özek et al., 2021). Благодаря засухоустойчивости, морозостойкости и малотребовательности к почве, декоративные сорта можжевельника часто используются для ландшафтного дизайна в парках, в городском озеленении, а также в ботанических садах (Korneeva et al., 2019; Karpukhin, 2020).

В литературе опубликован ряд работ по типовым образцам различных таксонов растений (Ferrer-Gallego et al., 2017; Yang, Hoch, 2020), включая конспекты по гербарным материалам различных видов, произрастающих в Казахстане (Izbastina et al., 2017; Sumbembayev et al., 2020; Kotukhov et al., 2020). Однако данные по современному распространению видов рода *Juniperus* на территории Казахстана являются фрагментарными. Настоящее научное исследование направлено на анализ гербарных коллекций видов можжевельников Казахстана, имеющихся в различных коллекциях, включая

материал наших экспедиционных сборов, а также флористических сводок. Оно будет способствовать уточнению и дополнению сведений по современному местонахождению видов рода *Juniperus* на территории Республики Казахстан.

### Материалы и методы

Для изучения распространения и составления конспекта видов рода *Juniperus* в Казахстане проанализированы гербарные коллекции за период с 1890 по 2021 г. Изучены материалы гербарного фонда Института ботаники и фитоинтродукции (АА) (г. Алматы, Казахстан) – 507 гербарных листов, гербарные материалы Института биологии и биотехнологии растений (ИББР, г. Алматы, Казахстан) – 32 гербарных листа, а также цифрового гербария Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия) – депозитария живых систем «Ноев Ковчег» (MW) (<https://plant.depo.msu.ru>) – 91 гербарный лист (табл. 1). Поскольку среди анализированного материала встречались повторы гербарных листов видов можжевельника в определенных географических точках сборов, для данного конспекта учитывались те гербарные материалы, которые были собраны и определены раньше.

Коллекция гербария ИББР пополнена в результате экспедиций, проведенных в рамках научно-технической программы «Изучение генетического разнообразия и сохранение генетических ресурсов эндемичных, редких и хозяйственно ценных видов растений в Республике Казахстан» (2015–2017 гг.) и проектов «Информационная система по молекулярно-генетической и ботанической документации дикорастущей флоры Казахстана» (2018–2020 гг.), «Изучение генетического разнообразия видов

рода *Juniperus* L., произрастающих в Казахстане» (2021–2023), где было собрано 32 популяции 6 видов можжевельника (см. табл. 1).

На рисунке представлена карта-схема распространения видов рода *Juniperus* в Казахстане, составленная на основе Красной книги Казахстана (The Red Book of Kazakhstan..., 2014), литературных источников (Artyomova, 2012; Aipeisova, 2013; Dikareva, Leonova, 2014; Adams, 2014; Kotukhov et al., 2009; Ivashchenko, 2015, 2020), материалов гербарных фондов (АА, «Ноев Ковчег» (MW)) и по результатам экспедиционных выездов в рамках вышеуказанных программ и проектов. К сожалению, не найдены гербарии и информация по точным местонахождениям трех видов – *J. intermedia*, *J. drobovii* и *J. talassica*.

Для обозначения географического распределения видов рода *Juniperus* на территории Казахстана были использованы флористическое районирование и схематическая карта выделенных флористических районов, представленная во «Флоре Казахстана» (Flora of Kazakhstan..., 1956). Латинские названия видов приведены согласно сводкам С. К. Черепанова (Cherepanov, 1995) и С. А. Абдулиной (Abdulina, 1999).

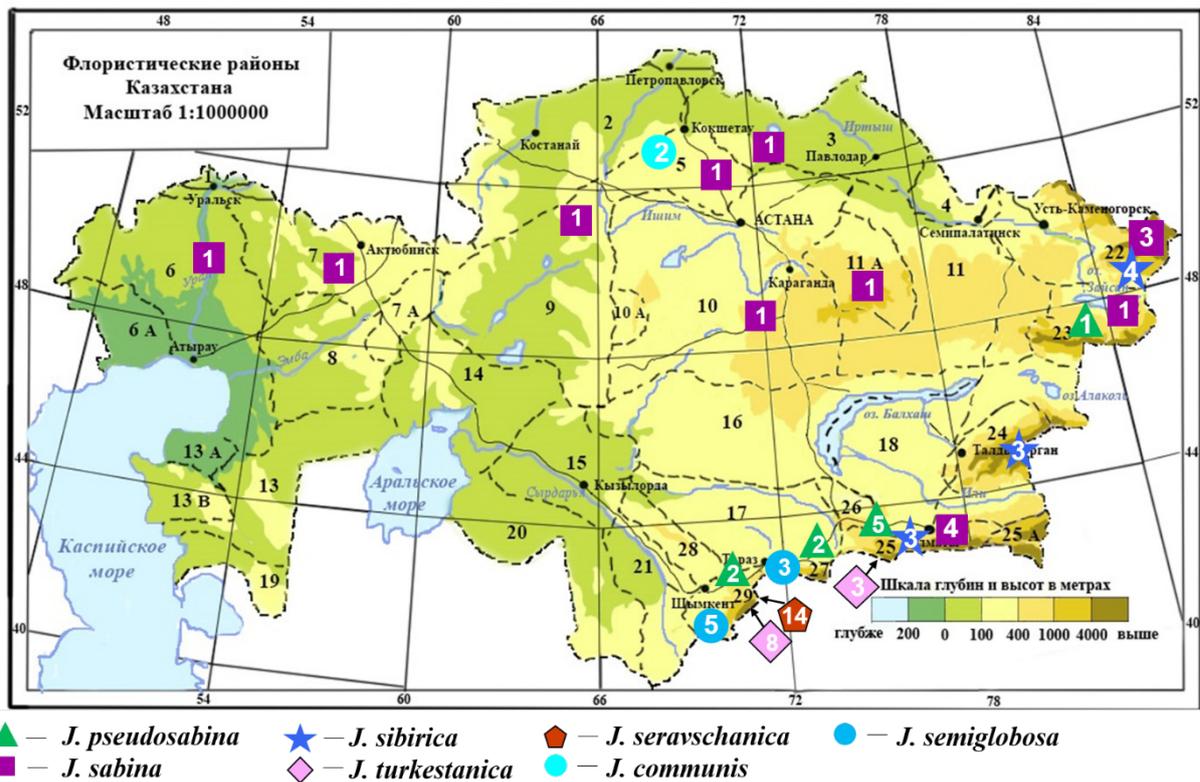
### Результаты и обсуждение

В результате анализа гербарного материала установлены возможные местонахождения 7 видов можжевельника в Казахстане, относящихся к 2 секциям (*Juniperus* (= *Oxycedrus* Endl.), *Sabina* Endl.). Ниже приводится конспект из 7 видов можжевельника, выявленных при анализе трех вышеуказанных гербарных фондов, флористических сводок, экспедиционных выездов. Основное разделение видов отражено в разрезе областей и флористических регионов Казахстана.

**Таблица 1.** Список гербарных листов видов рода *Juniperus* L., имеющих в гербарном фонде (АА), депозитарии живых систем «Ноев Ковчег» (MW) и коллекции ИББР

**Table 1.** The list of herbarium sheets of *Juniperus* L. spp. available in the herbaria (AA), Noah's Ark Depository (MW) and the IPBB collection

Название (латынь)	Название (рус.)	АА	ИББР	Депозитарий живых систем «Ноев Ковчег» (MW)
<i>Juniperus seravschanica</i> Kom.	Можжевельник зеравшанский	60	7	8
<i>Juniperus sabina</i> L.	Можжевельник казацкий	202	7	48
<i>Juniperus pseudosabina</i> Fisch. et C.A. Mey.	Можжевельник ложноказацкий	86	4	10
<i>Juniperus sibirica</i> Burgsd.	Можжевельник сибирский	34	4	8
<i>Juniperus turkestanica</i> Kom.	Можжевельник туркестанский	33	5	12
<i>Juniperus communis</i> L.	Можжевельник обыкновенный	13	-	1
<i>Juniperus semiglobosa</i> Regel.	Можжевельник полушаровидный	79	5	4
<b>Общее количество листов:</b>		<b>507</b>	<b>32</b>	<b>91</b>



**Примечание.** Флористические районы Казахстана: 1 – Отроги общего сырта; 2 – Тобольско-Ишимский; 3 – Иртышский; 4 – Семипалатинский боровой; 5 – Кокчетавский; 6 – Прикаспийский; 6а – Букеевский; 7 – Актыбинский; 7а – Мугоджары; 8 – Эмбенский; 9 – Тургайский; 10 – Западный мелкосопочник; 10а – Улутая; 11 – Восточный мелкосопочник; 11а – Каркаралинский; 12 – Зайсанский; 13 – Северный Усть-Урт; 13а – Бузачи; 13б – Мангышлак; 14 – Приаральский; 15 – Кзыл-Ординский; 16 – Бетпақдалинский; 17 – Муңкүмүсский; 18 – Балхаш-Алакульский; 19 – Южный Усть-Урт; 20 – Кзыл-Кумский; 21 – Туркестанский; 22 – Алтай; 23 – Тарбағатай; 24 – Джунгарский Алатау; 25 – Зайлийский Кунгей Алатау; 25а – Кетмень-Терскей Алатау; 26 – Чу-Илийские горы; 27 – Киргизский Алатау; 28 – Каратау; 29 – Западный Тянь-Шань (Flora of Kazakhstan, 1956)

**Note.** Floristic regions of Kazakhstan: 1 – Spurs of the Common Syrt; 2 – Tobolo-Ishimsky; 3 – Irtysh; 4 – Semipalatinskiy Borovoy; 5 – Kokshetau; 6 – Caspian; 6a – Bukeyevsky; 7 – Aktobe; 7a – Mugodzhary; 8 – Emba; 9 – Turgai; 10 – Western Small Hills; 10a – Ulutau; 11 – Eastern Small Hills; 11a – Karkaraly; 12 – Zaisansky; 13 – Northern Ust-Urt; 13a – Buzachi; 13b – Mangyshlak; 14 – Aral; 15 – Kyzyl-Orda; 16 – Betpakdala; 17 – Muyunkumsky; 18 – Balkhash-Alakulsky; 19 – Southern Ust-Urt; 20 – Kyzyl-Kumsky; 21 – Turkestan; 22 – Altai; 23 – Tarbagatai; 24 – Dzungarian Alatau; 25 – Trans-Ili Kungei Alatau; 25a – Ketmen-Terskey Alatau; 26 – Chu-Ili Mountains; 27 – Kirghiz Alatau; 28 – Karatau; 29 – Western Tien Shan (Flora of Kazakhstan, 1956)

**Рис. 1.** Карта-схема распространения видов рода *Juniperus* L. в Казахстане (составленная по результатам проработки литературы и гербарных фондов)

**Fig. 1.** Schematic map of the distribution of *Juniperus* L. spp. in Kazakhstan (based on the results of the study of published sources and the herbaria)

#### Семейство Cupressaceae Bartl. – Кипарисовые

#### Род *Juniperus* L. – Можжевельник

#### 1. Секция *Juniperus* (= *Oxycedrus*): (2 вида)

#### *J. communis* L. Sp. pl. (1973) 1040.

Ксеромезофит, кустарник, теневыносливый, мезотроф. Растет в сосновых борах и березовых колках, реже по сухим горным склонам. Встречается только в 2. Тоб.-Ишим. и 5. Кокчет. районах.

**Северный Казахстан:** Кокчетау, заповедник «Боровое» (на вершине северного склона горы «Синюха» [Кокшетау]; 03.VIII.1948, Демченко Л.А.; 11.IX.2021, Ермагамбетова М.М., Альмерикова Ш.С.; Кокчетавские горы, окрестности оз. Лебяжье, каменистые склоны, 06.VII.1988, Вильде И.Ф.; 10.IX.2021, Ермагамбетова М.М., Альмерикова Ш.С.).

*J. sibirica* Burgsd. Anliet. 2 Aufl (1790) №272, 127; (Fl. Ross., 1(2): 12, 1789).

Ксеромезофит, кустарник, ореофит. Растет на субальпийском и альпийском поясах. Встречается в 22. Алтай, 23. Тарб., 24. Джунгар. Алат., 25. Заил. Алат., 25а. Кетм. Терск. Алат., 29. Зап. ТШ.

**Восточный Казахстан:** Восточный Алтай (в притоке реки Яйсу, Телецкое озеро, верхней границы леса, 08. VII.1929, Поляков П.П.); Западный Алтай (40 км к северо-западу от Лениногорска, около 1650 м н. у. м., 28. VIII.1947, Поляков П.П.); Курчумский хребет (оз. Маркаколь, окрестности Еровка, сухой восточный склон, вблизи скал, 18.VIII.1986, Иващенко А.А.); Катон-Карагайский хребет (ерниковый подпояс субальпийского пояса хребта Алтайский Тарбағатай, 29.VIII.2017, Мырзағалиева А.Б.).

**Юго-Восточный Казахстан:** хребет Джунгарский Алатау (район между с.с. Сарканд и Лепинск, в ельнике на северном склоне хребта Джильды Карагай, 22.07.1934,

Поляков П.П., Куприянова Л.А.; Юго-восточные отроги Джунгарского Алатау, Алтын-Эмельский хребет, горы Матай, ущ. Матай, по северным каменистым склонам, 20.VI.1956, Голоскоков В.П.; Сев.-вост. отроги Джунгарского Алатау, ущ. р. Кендырсана у верхней границы леса, 12.VII.1960, Ролдугин И.И.); Заилийский Алатау (Иле-Алатауский ГНПП, Большое Алматинское ущелье, выше озера, у дороги между озером и обсерваторией, 12.V.2017, Альмерекова Ш.С., Иващенко А.А.; ущелье Ким Асар, 27.IX.2020, Ермагамбетова М.М., Оразов А.Е.; урочище Кокжайлау, между Малым и Большим Алматинскими ущельями, 22.05.2021, Ермагамбетова М.М.).

## 2. Секция *Sabina*: (5 видов)

а) *Гладкие края листьев. Одно семя / шишкоягода, эллипсоидальные шишкоягоды*

*J. pseudosabina* Fisch. et C.A. Mey. Animadv. Ad Index sem. VIII Hort. Petrop. (1841).

Ксеромезофит, стелющийся кустарник, ореофит. Растет в субальпийском и альпийском поясах гор. Встречается в 12. Зайс., 22. Алтай, и 23. Тарб.

*Восточный Казахстан*: Тарбагатай (Урджарский район, Тарбагатайский горный хребет, 15.VII.2020, Оразов А.Е.).

*Юго-Восточный Казахстан*: Заилийский Алатау (окрестности села Турген, в горах сев. ельника, 04.VIII.1935, Рахманина С., опр.: 10.V.1965, Пахомова М.Г.; г. Кумбель, водораздел р.р. Бол. и Мал. Алматинка, у верхней границы леса, 28.V.1967, Ролдугин И.И.; Заилийский Алатау, перед плато Ассы, правый берег реки Турген, 27.05.2021, собр.: Ермагамбетова М.М., опр.: Иващенко А.А.; Кунгей Алатау (Сев. склон хребта Кунгей Алатау, в зоне хвойного леса, на верхней границе пер. Курмекты, 08.VII.1937, Михайлова В.; Иле-Алатауский ГНПП, Большое Алматинское ущелье, выше озера, у дороги между озером и обсерваторией, 12.V.2017, Иващенко А.А., Альмерекова Ш.С.; ущелье Ким Асар, 27.IX.2020, Ермагамбетова М.М., Оразов А.Е.; Киргизский Алатау (ущелье Аспара, подъем на перевал Кумбель, юго-вост. склон, 13.VIII.1984, Зарипов Р.; Сев. макросклон Кир. Алатау, ущ. Аксуу, южный склон, 2500 м н. у. м., 05.VIII.1985, Нелина, Оспанбекова).

*Южный Казахстан*: Западный Тянь-Шань (Таласский Алатау, река Кумысты, 13.VII.1956, Байтенов М.С.; ущелье Джабаглы-су, на водоразделе Киши и Улкен Кайынды, 2100 м н. у. м., 13.VIII.1960, Ролдугин И.И.).

б) *Многосемянная ((1) 2–6 семян / яйцевидные шишкоягоды) / Восточное полушарие*

*J. seravschanica* Kom. Ботан. журн. СССР, XVII (1932) 481.

Ксерофит, дерево, типичный ореофит, редкий, краснокнижный вид III категории с сокращающейся численностью. Растет по сухим горным склонам в нижнем и среднем поясах. Встречается в 26. Чу-Ил. горы, 27. Кирг. Алат., 28. Карат. и 29. Зап. ТШ.

*Южный Казахстан*: Западный Тянь-Шань (Сырдарьинский окр., южные каменистые склоны под вершиной Машатских гор, против ст. Тюлькуба, 29.VII.1934, Павлов Н.В.; Угамский хребет, верховья ущелья Каратал, 07.VII.1936, Дмитриев А.; отроги Таласского Алатау, ущ. Даубаба, 02.VI.1947, Быков Б.; Бостандык, арчевый лесок на южном склоне гор в вершине Аксар-сая, 26.VII.1949, Павлов Н.В.; Бостандык, долина реки Угам, на склонах выс. 1100 м н. у. м., 15.IX.1954, Павлов Н.В.; хребет Каржантау, дол. р. Азатбашсай, 22.V.1961, Кармышева Н.; Северные отроги Алайского хребта, окрестности Шахмардана, по склонам гор, 19.IX.1969, Голоскоков В.П.;

хребет Каржантау, южный макросклон, 25.VII.1981, Самойлова В.А.; хребет Каржантау, долина реки Каскасу, 03.VI.2000, Аралбаев Н.К.; Сайрам-Угамский ГНПП, ущелье Сарыайгыр, 2016, Сакауова Г.Б., Шамшадин Д.; Тюлькубасский район, ущелье Машат, 2019, Затыбеков А.К.). В результате экспедиций были найдены новые точки в Сайрам-Угамском ГНПП (Сайрамское ущелье, левый берег реки Сайрамсу; хребет Кабжайлау; хребет Кызылзау, 12.V.2021; ущелье Каскасу, левый берег реки Сайрамсу, хребет Майлыошак; хребет Карабастау, 13.V.2021) и Аксу-Жабаглинском ГПЗ (каньон Аксу, правый берег реки Аксу, 14.V.2021; долина реки Жетымсай, урочище Кызылжар, 14.V.2021, Альмерекова Ш.С., Ермагамбетова М.М.).

*J. turkestanica* Kom. Not. syst. Herb. Horti Petrop. V, 2 (1924) 26. (*J. pseudosabina* Fisch. et C.A. Mey var. *turkestanica* Kom. (Adams, 2014)). Ксерофит, приземистый, стланцевый кустарник, ореофит. Растет в субальпийском, альпийском и по верхней окраине лесного пояса гор. Встречается в 24. Джунг. Алат., 25. Заил. Алат., 25а. Кетм. Терск. Алат., 27. Кирг. Алат. и 29. Зап. ТШ.

*Южный Казахстан*: Западный Тянь-Шань (хребет Хандытау, в нижней части северного склона, 23.VIII.1923, Синицин Г.; хребет Таласский Алатау, долина реки Джабаглы, 17.VII.1933, Лиговский; Вост. часть Таласского Алатау, ущелье Бешташ, на каменистом склоне верхних групп елей, 2600 м н. у. м., 19.VIII.1970, Ролдугин И.И.); Западные отроги Таласского Алатау, долина реки Коксай, 25.IV.1976, Харламова Н.; Аксу-Джабаглинский заповедник, выс. 1900 м н. у. м., склон северной экспозиции, 28.V.1982, Самойлова В.А.; ущелье Сарыайгыр, горы Улар, долина реки Каскасу, 08.VII.2016, Шамшадин Д., Сакауова Г.Б.; Угамский хр., ущелье реки Сайрамсу, 2020, Затыбеков А.К.). Новые точки: Туркестанская область, Сайрам-Угамский ГНПП, Сайрамское ущелье, левый берег реки Сайрамсу, хребет Кызылзау, 12.V.2021; Аксу-Жабаглинский ГПЗ, долина реки Жетымсай, урочище Кызылжар, 14.V.2021, Альмерекова Ш.С., Ермагамбетова М.М.).

*Юго-Восточный Казахстан*: Заилийский Алатау (Левый Талгар, лужайки и скалы выше елового леса, 21.IX.1966, Лушпа О.У.; хребет Кетменту, ущелье реки Турген, 15.VIII.1978, Арыстангалиев С.А.; Нарынкольский район, Кирова, среднегорье 2600 м н. у. м., юго-западная экспозиция, 18.VII.1989, Усенко).

с) *Одно или несколько семян / шишкоягоды / Восточное полушарие*

*J. sabina* L. Sp. pl. (1753) 1039.

Ксерофит, петрофит, стелющийся кустарник, ореофит. Растет на песках, меловых выходах, по скалам и сухим горным склонам в нижнем поясе. Встречается в 1. Отр. общ. сырта, 2. Тоб.-Ишим., 3. Ирт., 4. Семип. бор., 5. Кокчет., 6. Прикасп., 6а. Букеев., 7. Актюб., 7а. Мугодж., 8. Эмб., 9. Тург., 10. Зап. мелкосоп., 10а. Улутау, 11. Вост. мелкосоп., 11а. Карк., 12. Зайс., 23. Тарб., 24. Джунг. Алат., 25. Заил. Кунг, Алат.

*Восточный Казахстан*: Алтай (Восточный Алтай, на южном скалистом склоне дол. Чулышмана (граница), 14.8.1929, Павлов Н.В.; Курчумский хр., оз. Маркаколь, окрестности еловки, сухой восточный склон 1600 м, 18.VIII.1986, Иващенко А.А.; Нарымский хребет, окрестности с. Маралика, западный каменистый склон, 07.VIII.1987, Бидуллаева А.; Урджарский район, Тарбагатайский горный хребет, 15.VII.2020; Катон-Карагайский район, Нарымский хребет, 31.VII.2020, Оразов А.Е.; хребет Линейский, Западно-Алтайский заповедник, 12.VIII.2020, Сумбембаев А.А.).

**Юго-Восточный Казахстан:** Заилийский Алатау (Река Чилик, по открытым юго-западным склонам, 1900 м н. у. м., 22.VIII.1940, Серебряков И.; р. Малая Алматинка, южный склон, выс. 1650 м, 27.VIII.1955, Кульгина-Губайдулина Е.; Северный Тянь-Шань, Заилийский Алатау, Бутаковское ущелье, 13.IX.2018, Альмерикова Ш.С., Ермагамбетова М.М.; Северный Тянь-Шань, Заилийский Алатау, Аксайское ущелье, 17.IX.2020; ущелье Ким Асар, 27.IX.2020, Ермагамбетова М.М., Альмерикова Ш.С.; Заилийский Алатау, перед плато Ассы, правый берег реки Турген, 27.05.2021, собр.: Ермагамбетова М.М., опр.: Иващенко А.А.).

**Северный Казахстан:** Кокчетау (Павлодарский округ, обрыв берега р. Арчалы (глинистые), к югу от Кокчетауского р., 29.VI.1929, Ильина М.М.; Павлодарский округ, на склоне мелкосопочника, 07.VII.1936, Мельвил Г.А.; Наурызумский заповедник, ущ. Катын-Тал, 01.VIII.1977, Лященко Н.В.).

**Центральный Казахстан:** Западный мелкосопочник (Мелкосопочник Сары-Арка, северн. пустыня Бетпақдала, на каменистой вершине, 07.VII.1940, Кубанская З.В.; Карагандинская обл., отроги горы Актау, 05.IX.1948, Долгушин И.; горы Кызыл-Рай, осиново-березовый заболоченный лес в межсопочной долине, 16.VI.1968, Денисова Л.В.; Актогайский район, горы Бектауата, центральная часть, каменистые склоны сопок, 594 м н. у. м., 19.VII.2015, Ишмуратов М.Ю.).

**Западный Казахстан:** Прикаспийский (Уральская долина, на песчаных буграх Кара-Ачалы, 06.08.1927, Рожевин Р.Ю.; Верховья р. Чингирлау (левый приток Урала в среднем течении), бугристые пески, 08.VIII.1959, Шаповалова Д.К.).

#### ***J. semiglobosa* Regel** A.N.P. VI, 2 (1880) 487.

Ксерофит, дерево, ореофит. Растет по сухим горным склонам, нередко большими группами. Встречается только в 29. Зап. ТШ.

**Южный Казахстан:** Западный Тянь-Шань (в примеси на склоне Аксар-сая, близ пос. Канай, 23.VI.1948, Павлов Н.В.; Заповедник Аксу-Джабаглы, долина р. Джабаглы, уроч. Киши-Кайнды, выс. 1800 м н. у. м., 08.VII.1955, Кармышева Н.; Таласский Алатау, запов. Аксу-Джабаглы, Дарбаза, ущелье р. Бакар-су, 21.VII.1961, Барабанов Е.; Западн. отроги Таласского Алатау, долина р. Джабаглы, уроч. Есбала, 18.VII.1968, Кармышева Н.; Таласский Алатау, ущелье реки Чичкал, в разреженном хвойном лесу, в пойме, 18.VII.1970, Ролдугин И.И.; Аксу-Джабагалинский заповедник, выс. 1470 м н. у. м., 28.V.1982, Самойлова В.А.); Киргизский Алатау (верховье долины р. Карабалты, субальпийский степь, 09.V.1976, Кармышева Н.К.; Западные оконечности Кирг. Алатау, западный склон в арчевом поясе, 17.V.1984, Нелина Н.В.; Южный макросклон Кирг. Алатау, долина р. Кенкол, юго-вост. склон, 27.VII.1985, Оразымбетов). В результате экспедиций нами был собран гербарный материал и были найдены новые точки произрастания данного вида в Южном Казахстане: Сайрам-Угамский ГНПП: Сайрамское ущелье, левый берег реки Сайрамсу; хребет Кабжайлау; хребет Кызылзау, 12.V.2021; – Аксу-Жабагалинский ГПЗ: Долина реки Жетымсай, урочище Кызылжар, 14.V.2021, Альмерикова Ш.С., Ермагамбетова М.М.).

Большинство казахстанских видов можжевельника относится к секции *Sabina*, за исключением *J. communis* и *J. sibirica*, отнесенных к секции *Juniperus*. Видовое распределение на территории Казахстана неравномерно: в Восточном Казахстане можно встретить 3 из 7 видов (29%), в Южном Казахстане – 4 (57%), на Юго-Востоке –

4 (57%), на Севере – 2 (29%), в Центре – 1 (14%) и на Западе – 1 (14%), соответственно. В разрезе флористических регионов наблюдается следующее распределение: *J. communis* встречается в 5 – Кокчетавском флористическом регионе; *J. sibirica* – в 22 – Алтай, 24 – Джунгарский Алатау, 25 – Заилийский Кунгей Алатау; *J. pseudosabina* – в 23 – Тарбагатай, 25 – Заилийский Кунгей Алатау, 27 – Киргизский Алатау, 29 – Западный Тянь-Шань; *J. seravschanica* – в 29 – Западный Тянь-Шань; *J. turkestanica* (*J. pseudosabina* var. *turkestanica*) – в 25 – Заилийский Кунгей Алатау, 29 – Западный Тянь-Шань; *J. sabina* в 3 – Иртышский, 5 – Кокчетавский, 6 – Прикаспийский, 7 – Актюбинский, 9 – Тургайский, 10 – Западный мелкосопочник, 11а – Каркаралинский, 22 – Алтай, 23 – Тарбагатай, 25 – Заилийский Кунгей Алатау; *J. semiglobosa* – в 27 – Киргизский Алатау, 29 – Западный Тянь-Шань (см. рисунок). В результате экспедиционных въездов нами были выявлено 9 новых местонахождений видов: *J. seravschanica* – 4, *J. turkestanica* (*J. pseudosabina* var. *turkestanica*) – 2, *J. semiglobosa* – 3. В экологическом плане доминируют ксерофитные виды – 4 вида (57%), далее ксеромезофиты – 3 (43 %) и почти все, кроме *J. communis* является ореофитами (86%).

Карта распространения и фото собранных гербариев видов рода *Juniperus* в рамках вышеуказанных программ и проектов по дикорастущей флоре Казахстана (Turuspekov et al., 2017b) загружены в базу данных «Биоразнообразия флоры Казахстана» ([www.kazflora.kz](http://www.kazflora.kz)).

В литературе имеются спорадические исследования по степени родства *J. pseudosabina* и *J. turkestanica* из юго-восточного Казахстана с использованием недостаточно надежных RAPD (случайно амплифицированный полиморфизм ДНК) маркеров, относящие оба вида к *J. pseudosabina* (Adams, Turuspekov, 1998). Исследования монографа рода R. Adams свидетельствуют о том, что *J. media* является тетраплоидным культивируемым гибридом от скрещиваний между *J. sabina* и *J. chinensis* и не является отдельным видом (Adams et al., 2019). Такие спорные вопросы в будущем предстоит подтвердить или опровергнуть с помощью современных молекулярно-генетических методов, в том числе с помощью ДНК-маркеров, ДНК-баркодирования и т. д. (Turuspekov, Abugalieva, 2015). Использование современных методов и подходов актуально для изучения генетического разнообразия и сохранения генетических ресурсов растений.

#### **Заключение**

В результате проведенного анализа гербария видов можжевельников, хранящихся в гербарном фонде Института ботаники и фитоинтродукции (АА), депозитария «Ноев Ковчег» (МВ) и коллекции Института биологии и биотехнологии растений (ИББР), в общей сложности обработано 630 гербарных листов. При исключении повторов гербарных листов, собранных в определенных географических точках сборов, выявлено 70 местонахождений популяций видов можжевельника. Наибольшая видовая насыщенность приходится на Южный, Юго-Восточный и Восточный Казахстан. Результаты исследования способствуют инвентаризации и поиску ранее забытых мест произрастания видов рода *Juniperus*, составлению рекогносцировочного маршрута для экспедиционных выездов, установлению возможных ареалов в структурных географических единицах Казахстана. Также продолжение комплексных ботанических и молекулярно-генетических исследований можжевельников на внутри-

видовом уровне будет способствовать изучению и сохранению генетического разнообразия видов и лесных биоресурсов.

### References / Литература

- Abdulina S.A. Checklist of vascular plants of Kazakhstan (Spisok sosudistykh rasteniy Kazakhstana). Almaty; 1999. [in Russian] [Абдулина С.А. Список сосудистых растений Казахстана. Алматы; 1999.]
- Adams R.P. Junipers of the world: The genus *Juniperus*. 4th ed. Victoria, BC: Trafford; 2014.
- Adams R.P., Johnson S.T., Anderson J., Rushforth K., Farhat P., Valentin N. et al. The origin of *Juniperus xpfitzeriana*, an allo-tetraploid hybrid of *J. chinensis* × *J. sabina*. *Phytologia*. 2019;101(2):164-174.
- Adams R.P., Schwarzbach A. E.. Taxonomy of the turbinate shaped seed cone taxa of *Juniperus*, section *Sabina*: Revisited. *Phytologia*. 2013;95(2):122-124.
- Adams R.P., Turuspekov Y.K. Taxonomic reassessment of some Central Asian and Himalayan scale-leaved taxa of *Juniperus* (Cupressaceae) supported by random amplification of polymorphic DNA. *Taxon*. 1998;47:75-84.
- Aipeisova S.A. Flora of the Aktobe Floristic District (Flora Aktyubinskogo floristicheskogo okruga). Aktobe; 2013. [in Russian] [Айпеисова С.А. Флора Актюбинского флористического округа. Актобе; 2013.]
- Artyomova O.A. Features of flora and vegetation of the Kokchetav Upland (Republic of Kazakhstan) (Osobennosti flory i rastitelnosti Kokchetavskoy vozvyshennosti [Respublika Kazakhstan]). *Aktualnye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk = Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences*. 2012;(12):24-26. [in Russian] [Артёмова О.А. Особенности флоры и растительности Кокчетавской возвышенности (Республика Казахстан). *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2012;(12):24-26.]
- Biodiversity of the flora of Kazakhstan (Bioraznoobrazie flory Kazakhstana): [site]. [in Russian] [Биоразнообразие флоры Казахстана: [сайт]. URL: <https://kazflora.kz> [дата обращения 23.02.2022].]
- Cherapanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR) (Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv [v predelakh byvshego SSSR]). St. Petersburg: Mir i semya; 1995. [in Russian] [Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995.]
- Dikareva T.V., Leonova N.B. Phytocoenotic diversity in the piedmont regions of the Karkaraly National Park (Republic of Kazakhstan). *Arid Ecosystems*. 2014;20(4-61):105-114. [in Russian] [Дикарева Т.В., Леонова Н.Б. Фиторазнообразие сопкок Каркаралинского национального парка (Республика Казахстан). *Аридные экосистемы*. 2014;20(4-61):105-114.]
- Farjon A.A. Handbook of the world's conifers. Leiden: Koninklijke Brill NV; 2017.
- Ferrer-Gallego P.P., Nazzaro R., Ferrando I., Laguna E. Typification of the Mediterranean endemic conifer *Juniperus turbinata* (Cupressaceae). *Phytotaxa*. 2017;302(2):165. DOI: 10.11646/phytotaxa.302.2.6
- Flora of Kazakhstan (Flora Kazakhstana). Vol. 1. Alma-Ata; 1956. [in Russian] [Флора Казахстана. Т. 1. Алма-Ата; 1956.]
- Grudzinskaya L.M., Gemedzhieva N.G., Nelina N.V., Karzhaubekova Zh.Zh. Annotated list of medicinal plants in Kazakhstan. Reference edition (Annotirovanny spisok lekarstvennykh rasteniy Kazakhstana. Spravochnoye izdaniye). Almaty; 2014. [in Russian] [Грудзинская Л.М., Гемеджиева Н.Г., Нелина Н.В., Каржаубекова Ж.Ж. Аннотированный список лекарственных растений Казахстана. Справочное издание. Алматы: 2014.]
- Ismailov M.I. Botanical and geographical survey of junipers (*Juniperus* L.) in the context of their origin and development (Botaniko-geograficheskiy obzor mozhzhevelnikov (*Juniperus* L.) v svyazi s ikh proiskhozhdeniyem i razvitiyem). In: *Questions of ecology and geography of plants (Voprosy ekologii i geografii rasteniy)*. Dushanbe; 1974. p.3-80. [in Russian] [Исмаилов М.И. Ботанико-географический обзор можжевельников (*Juniperus* L.) в связи с их происхождением и развитием. В кн.: *Вопросы экологии и географии растений*. Душанбе: 1974. С.3-80.]
- Ismailov M.I. Junipers of the USSR (botanical, geographical and taxonomic study of the genus *Juniperus* L. in the context of its origin and evolution) (Mozhzhewelniki SSSR [botaniko-geograficheskoye i sistematicheskoye issledovaniye roda *Juniperus* L. v svyazi s yego proiskhozhdeniyem i evolyutsiyey]). Tashkent: Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR; 1975. [in Russian] [Исмаилов М.И. Можжевельники СССР (ботанико-географическое и систематическое исследование рода *Juniperus* L. в связи с его происхождением и эволюцией). Ташкент: Институт ботаники АН УзССР; 1975.]
- Ivaschenko A.A. Materials to the flora of the Ile-Alatau National Park: higher sporous and gymnosperms. *KazNU Bulletin. Biology Series*. 2015;2-1(64):28-35. [in Russian] [Иващенко А.А. Материалы к флоре Иле-Алатауского национального парка: высшие споровые и голосеменные. *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. 2015;2-1(64):28-35.]
- Ivaschenko A.A., Kotukhov Yu.A., Utebekov K.I. Flora of the forest belt of the Chindagatui mountain range (Flora lesnogo poyasa Chindagatuyskogo gornogo massiva). *Botanical Research of Siberia and Kazakhstan*. 2014;(20):250-264. [in Russian] [Иващенко А.А., Котухов Ю.А., Утебеков К.И. Флора лесного пояса Чиндагатуйского горного массива. *Ботанические исследования Сибири и Казахстана*. 2014;(20):250-264.]
- Ivashchenko A.A. The flora Sairam-Ugam state national natural park (Kazakhstan). *Botanical Research of Siberia and Kazakhstan*. 2020;(26):52-63. [in Russian] [Иващенко А.А. Список флоры Сайрам-Угамского государственного национального природного парка (Казахстан). *Ботанические исследования Сибири и Казахстана*. 2020;(26):52-63.]
- Izbastina K., Aipeisova S., Kurmanbayeva M., Kurmantayeva A., Baishanbo A. Review of genus *Anthemis* L. (Asteraceae) species, stored in some Kazakhstan herbarial funds. *KazNU Bulletin. Ecology Series*. 2017;50(1):88-99.
- Karpukhin M.Yu. Application of juniper (*Juniperus* L.) in park landscaping (Primeneniye mozhzhevelnika (*Juniperus* L.) v parkovom landshafte). In: *Konyaev Readings – 2019: VII International Scientific and Practical Conference (Konyayevskiye chteniya – 2019: VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya)*. Yekaterinburg; 2020. p.59-62. [in Russian] [Карпухин М.Ю. Применение можжевельника (*Juniperus* L.) в парковом ландшафте. В кн.: *Коняевские чтения – 2019: VII Международная научно-практическая конференция*. Екатеринбург; 2020. С.59-62.]

- Korneeva L.V., Semizelnikova O.A., Astashina S.I. Evaluation of the decorative properties of thuja and juniper, grown in the urban environment (Otsenka dekorativnykh svoystv tui i mozhzhevelnika, vyrashchivayemykh v usloviyakh gorodskoy sredy). In: *Current Problems of Environment and Nature Management: Collection of articles presented at the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (Aktualnye problemy ekologii i prirodopolzovaniya: Sbornik statey po materialam III Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii)*. Kurgan; 2019. p.42-47. [in Russian] (Корнеева Л.В., Семизельникова О.А., Асташина С.И. Оценка декоративных свойств туи и можжевельника, выращиваемых в условиях городской среды. В кн.: *Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Курган; 2019. С.42-47).
- Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Anufrieva O.A. List of species of the genus *Betula* L. (family Betulaceae S.F. Gray) of the Kazakhstan Altai, Saur-Manrak and the Zaysan depression. *KazNU Bulletin. Biological Series*. 2020;(84)3:4-16. [in Russian] (Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Ануфриева О.А. Конспект видов рода *Betula* L. (сем. Betulaceae) Казахстана Алтай, Сауро-Манрака и Зайсанской впадины. *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. 2020;(84)3:4-16). DOI: 10.26577/eb.2020.v84.i3.01
- Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Anufrieva O.A. State of populations of Daurian juniper (*Juniperus davurica* Pall.) in East Kazakhstan (Sostoyaniye populyatsiy mozhzhevelnika daurskogo (*Juniperus davurica* Pall.) v Vostochnom Kazakhstane). *Botanical Research of Siberia and Kazakhstan*. 2009;(15):143-147. [in Russian] (Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Ануфриева О.А. Состояние популяций можжевельника даурского (*Juniperus davurica* Pall.) в Восточном Казахстане. *Ботанические исследования Сибири и Казахстана*. 2009;(15):143-147).
- Kozhevnikov A.P. Juniper ecology (Ekologiya mozhzhevelnika). Yekaterinburg; 2011. [in Russian] (Кожевников А.П. Экология можжевельника. Екатеринбург; 2011).
- Kozubov G.M., Muratova E.N. Modern gymnosperms (morphological and anatomical review and karyology) (Sovremennye golosemennye [morfologo-anatomicheskii obzor i kariologiya]). Leningrad: Nauka; 1986. [in Russian] (Козубов Г.М., Муратова Е.Н. Современные голосеменные (морфолого-анатомический обзор и кариология). Ленинград: Наука; 1986).
- Murzagalieva A.B., Medeubaeva B.Z. To the study of essential oil content of representatives of the family Cupressaceae Bartl. of Eastern Kazakhstan's flora. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014;(5-5):1021-1024. [in Russian] (Мурзагалиева А.Б., Медеубаева Б.З. К изучению эфирномасличности представителей семейства Cupressaceae Bartl. флоры Восточного Казахстана. *Фундаментальные исследования*. 2014;(5-5):1021-1024).
- Najar B., Pistelli L., Mancini S., Fratini F. Chemical composition and *in vitro* antibacterial activity of essential oils from different species of *Juniperus* (section *Juniperus*). *Flavour and Fragrance Journal*. 2020;35(6):623-638. DOI: 10.1002/ffj.3602
- National Depository Bank of Live Systems. Moscow Digital Herbarium: [site]. [in Russian] (Национальный банк-депозитарий живых систем. Цифровой гербарий МГУ: [сайт]. URL: <https://plant.depo.msu.ru> [дата обращения: 05.03.2021])
- Özek G., Schepetkin I.A., Yermagambetova M., Özek T., Kirpentina L.N., Almerikova S.S. et al. Innate immunomodulatory activity of cedrol, a component of essential oils isolated from *Juniperus* species. *Molecules*. 2021;26(24):7644. DOI: 10.3390/molecules26247644
- Perezhogin Yu.V. Relicts in flora of Kostanay region (Northern Kazakhstan). *Vestnik of the Orenburg State University*. 2008;4(85):130-132. [in Russian] (Пережогин Ю.В. Реликты во флоре Костанайской области (Северный Казахстан). *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2008;4(85):130-132).
- Pisarev D.I. Review of the current state of research in the field of taxonomy, chemistry and pharmacology of the genus *Juniperus* L. (Obzor sovremennogo sostoyaniya issledovaniy v oblasti sistematiki, khimii i farmakologii roda *Juniperus* L.). In: *Modern problems of phytodesign: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Sovremennyye problemy fitodizayna: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii)*. Belgorod: Belgorod State University; 2007. p.296-304. [in Russian] (Писарев Д.И. Обзор современного состояния исследований в области систематики, химии и фармакологии рода *Juniperus* L. В кн.: *Современные проблемы фитодизайна: материалы международной научно-практической конференции*. Белгород: Белгородский государственный университет; 2007. С.296-304).
- Rahmonov O., Szczypek T., Niedźwiedz T., Myga-Piątek U., Rahmonov M., Snytko V.A. The human impact on the transformation of juniper forest landscape in the western part of the Pamir-Alay range (Tajikistan). *Environmental Earth Sciences*. 2017;76(8):324. DOI: 10.1007/s12665-017-6643-4
- Salakhov N.V., Ibragimova K.K. The biotic forms and tempo of *Juniperus* development in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Tatarskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta = Bulletin of the Tatar State Humanitarian and Pedagogical University*. 2007;2-3(9-10):108-111. [in Russian] (Салахов Н.В., Ибрагимова К.К. Жизненные формы и темпы развития можжевельника обыкновенного в республике Татарстан. *Вестник Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета*. 2007;2-3(9-10):108-111).
- Salamon I., Kryvtsova M., Hrytsyna M. Chemical and phytotherapeutically properties of essential oils from three *Juniperus* species. *Medicinal Plants – International Journal of Phytomedicines and Related Industries*. 2020;12(2):220-226. DOI: 10.5958/0975-6892.2020.00029.5
- Seim A., Omurova G., Azisov E., Musuraliev K., Aliev K., Tulyaganov T. et al. Climate change increases drought stress of juniper trees in the mountains of Central Asia. *PLoS ONE*. 2016;11(4):e0153888. DOI: 10.1371/journal.pone.0153888
- Suleimen Ye.M., Ishmuratova M.Yu., Iskakova Zh.B. Comprehensive phytochemical study of *Juniperus sabina* L. from Kazakhstan. *Yestetvennyye i matematicheskiye nauki v sovremennom mire = Natural and Mathematical Sciences in the Modern World*. 2013;(12):185-195. [in Russian] (Сулеймен Е.М., Ишмуратова М.Ю., Искакова Ж.Б. Комплексное фитохимическое изучение *Juniperus sabina* L. из Казахстана. *Естественные и математические науки в современном мире*. 2013;(12):185-195).
- Sumbembayev A.A., Danilova A.N., Abugalieva S.I. List of Orchidaceae family of the Kazakhstan part of the Altai mountains. *KazNU Bulletin. Biology Series*. 2020;82(1):87-94. [in Russian] (Сумбембаев А.А., Данилова А.Н., Аbugалиева С.И. Конспект семейства Orchidaceae казахстанской части алтайской горной страны. *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. 2020;82(1):87-94). DOI: 10.26577/eb.2020.v82.i1.0

- The Red Book of Kazakhstan: plants (Krasnaya kniga Kazakhstana: rasteniya). Astana: ArtPrintXXI LLP; 2014. [in Russian] (Красная книга Казахстана: растения. Астана: ArtPrintXXI LLP; 2014).
- Turuspekov Y., Abugaliev S. Plant DNA barcoding project in Kazakhstan. *Genome*. 2015;5:290.
- Turuspekov E.K., Ivaschenko A.A., Ishmuratova M.Yu., Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Myrzagalieva A.B. et al. Genetic diversity of the wild flora of Kazakhstan (Geneticheskoye raznoobrazie dikorastushchey flory Kazakhstana). In: *Studying, Conservation and Sustainable Utilization of the Eurasian Plant World: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 85th Anniversary of the Institute of Botany and Phytointroduction (Izucheniye, sokhraneniye i ratsionalnoye ispolzovaniye rastitelnogo mira Yevrazii: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Instituta botaniki i fitointroduktsii)*. Almaty; 2017a. p.143-148. [in Russian] (Туруспеков Е.К., Иващенко А.А., Ишмуратова М.Ю., Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Мырзагалиева А.Б. и др. Генетическое разнообразие дикорастущей флоры Казахстана. В кн.: *Изучение, сохранение и рациональное использование растительного мира Евразии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Института ботаники и фитоинтродукции*. Алматы; 2017а. С.143-148).
- Turuspekov E.K., Myrzagalieva A.B., Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Ogar N.P., Amalova A.Y., Abugaliev S.I. Catalogue of endemic, rare, endangered and wild economically valuable plant species in Kazakhstan. 1. East Kazakhstan (Katalog endemichnykh, redkikh, ischezayushchikh i dikorastushchikh khozyaystvenno-tsennykh vidov rasteniy Kazakhstana. 1. Vostochny Kazakhstan). Almaty; 2017b. [in Russian] (Туруспеков Е.К., Мырзагалиева А.Б., Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Огарь Н.П., Амалова А.Ы., Аbugалиева С.И. Каталог эндемичных, редких, исчезающих и дикорастущих хозяйственно-ценных видов растений Казахстана. 1. Восточный Казахстан. Алматы; 2017б).
- Yang Y, Hoch J. Typification of *Juniperus pingii* W.C. Cheng (Cupressaceae). *PhytoKeys*. 2020;170:39-43. DOI: 10.3897/phytokeys.170.59775
- Zubairov B., Lentschke J., Schröder H. Dendroclimatology in Kazakhstan. *Dendrochronologia*. 2019;56(9):125602.

### Информация об авторах

**Молдир Макаткызы Ермагамбетова**, младший научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, докторант, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, 050040 Казахстан, Алматы, просп. Аль-Фараби, 71, ermaganbetova.moldir@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4737-2384>

**Сауле Изтелеуовна Аbugалиева**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, 050040 Казахстан, Алматы, просп. Аль-Фараби, 71, absaule@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-9748-507X>

**Ерлан Кенесбекович Туруспеков**, кандидат биологических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, yerlant@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-8590-1745>

**Шырын Семизбайкызы Альмерекова**, PhD, ведущий научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, almerkovakz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6079-264X>

### Information about the authors

**Moldir M. Yermagambetova**, Associate Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040 Kazakhstan, PhD Student, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty 050040, Kazakhstan, ermaganbetova.moldir@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4737-2384>

**Saule I. Abugaliev**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Principal Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty 050040, Kazakhstan, absaule@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-9748-507X>

**Yerlan K. Turuspekov**, Cand. Sci. (Biology), Professor, Head of a Laboratory, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, yerlant@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-8590-1745>

**Shyryn S. Almerikova**, PhD, Leading Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, almerkovakz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6079-264X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 25.06.2021; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 25.06.2021; approved after reviewing on 18.05.2022; accepted for publication on 06.09.2022.



## Сравнительные показатели морфологии и семенной продуктивности редких видов рода *Iris* L. в природных местообитаниях и в условиях культуры на Южном Урале

А. В. Крюкова, А. Н. Мустафина, Л. М. Абрамова

Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лариса Михайловна Абрамова, [abramova.lm@mail.ru](mailto:abramova.lm@mail.ru)

**Актуальность.** Дикорастущие ирисы перспективны для культивирования и использования в селекции, многие из них включены в Красные книги, поскольку исчезают под влиянием антропогенных факторов. Изучение их морфометрических и репродуктивных параметров имеет важное биологическое значение и позволяет рекомендовать наиболее устойчивые и высокодекоративные виды для расширения ассортимента цветочных растений.

**Материалы и методы.** Биологические особенности четырех редких на территории Южного Урала видов рода *Iris* L. (*I. pseudacorus* L., *I. pumila* L., *I. scariosa* Willd. ex Link, *I. humilis* Georgi) изучались в 2012–2017 гг. в 23 природных и четырех интродукционных ценопопуляциях. Сравнение параметров особей проведено на 25 средневозрастных растениях каждой ценопопуляции в фазе массового цветения и плодоношения по 11 биометрическим параметрам по общепринятым методикам. Достоверность различий оценивалась по критерию Стьюдента.

**Результаты.** Сравнение морфометрических показателей четырех видов рода *Iris* в Республике Башкортостан за шесть лет исследований в природных местообитаниях и в интродукции выявило достоверные различия между ценопопуляциями при 5-процентном уровне значимости для большинства признаков *I. pumila* и *I. pseudacorus*. Для *I. scariosa* и *I. humilis* различия преимущественно недостоверны (при  $t$ -факт < 2,064). Средние значения большинства репродуктивных параметров в условиях интродукции у *I. scariosa*, *I. humilis* и *I. pseudacorus* достоверно ниже, чем в природных популяциях. В культуре семенная продуктивность *I. pumila* возрастает. Изменчивость большинства морфометрических признаков ирисов в границах нормы реакции вида. В условиях культуры в Башкирском Предуралье изученные виды ежегодно цветут и плодоносят, кроме *I. humilis*.

**Заключение.** Из четырех редких видов *Iris* для озеленения населенных пунктов на Южном Урале рекомендован как наиболее устойчивый вид *I. pumila*.

**Ключевые слова:** *Iris pumila*, *Iris scariosa*, *Iris humilis*, *Iris pseudacorus*, морфометрические параметры, изменчивость, критерий Стьюдента

**Благодарности:** работа выполнена по теме ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-03-2022-001 от 14.01.2022 г.

**Для цитирования:** Крюкова А.В., Мустафина А.Н., Абрамова Л.М. Сравнительные показатели морфологии и семенной продуктивности редких видов рода *Iris* L. в природных местообитаниях и в условиях культуры на Южном Урале. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):171-182. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-171-182

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-171-182

## Comparative indicators of morphology and seed productivity in rare *Iris* L. spp. within their natural habitats and under cultivation in the Southern Urals

Anastasiya V. Kryukova, Alfiya N. Mustafina, Larisa M. Abramova

Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRC RAS, Ufa, Russia

Corresponding author: Larisa M. Abramova, [abramova.lm@mail.ru](mailto:abramova.lm@mail.ru)

**Background.** Wild irises are promising for cultivation and use in breeding practice. Many of them are included in Red Lists, as they disappear under the impact of anthropogenic factors. It is biologically important to study their morphometric and reproductive parameters, so that the most stable and highly ornamental species could be recommended for expanding the range of flower plants.

**Materials and methods.** Biological features of four *Iris* L. species rarely occurring in the Southern Urals: *I. pseudacorus* L., *I. pumila* L., *I. scariosa* Wild. ex Link, and *I. humilis* Georgi, were studied in 2012–2017 in 23 natural and 4 introduced cenopopulations. Individual parameters were compared for 25 medium-age plants from each cenopopulation in their mass-flowering and fruiting phase according to 11 biometric parameters using conventional methods. Statistical significance of the differences was assessed using Student's *t*-test.

**Results.** Comparison of morphometric parameters of four rare *Iris* spp. naturally occurring and introduced in Bashkortostan during six years of research showed significant differences between cenopopulations at a 5% significance level for most traits of *I. pumila* and *I. pseudacorus*. As for *I. scariosa* and *I. humilis*, differences were mostly insignificant (at  $t_{\text{fact}} < 2.064$ ). Mean values of most reproductive parameters for *I. scariosa*, *I. humilis* and *I. pseudacorus* were significantly lower under introduction conditions than in natural populations. Under cultivation, seed productivity of *I. pumila* increased. Variability of most morphometric features of the studied irises was within normal response limits for the studied species. When cultivated in the environments of the Bashkir Cis-Urals, they bloom and bear fruit every year, except for *I. humilis*.

**Conclusion.** Of the four rare *Iris* spp., *I. pumila* is recommended for landscaping settlements in the South Urals as the most stable species.

**Keywords:** *Iris pumila*, *Iris scariosa*, *Iris humilis*, *Iris pseudacorus*, morphometric parameters, variability, Student's *t*-test

**Acknowledgments:** the work was carried out within the framework of the state task assigned to the South-Ural Botanical Garden–Institute, subdivision of Ufa Federal Research Center of the RAS, No. 075-03-2022-001 “Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: evaluation of the status and monitoring of the dynamics, problems of conservation, reproduction, replenishment and sustainable utilization” dated January 14, 2022.

**For citation:** Kryukova A.V., Mustafina A.N., Abramova L.M. Comparative indicators of morphology and seed productivity in rare *Iris* L. spp. within their natural habitats and under cultivation in the Southern Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):171-182. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-171-182

## Введение

Виды рода *Iris* L. (Касатик, или Ирис) отличаются высокими декоративными качествами, с древнейших времен введены в цветочную культуру и широко используются как в озеленении городов и других населенных пунктов, так и на дачных участках. В естественной флоре представлен ряд дикорастущих видов ирисов, перспективных для культуры и селекционных работ (Мамаева, 2013). Многие дикорастущие касатики включены в Красные книги различных регионов, поскольку исчезают вследствие влияния антропогенных факторов. Изучение их морфометрических и репродуктивных параметров не только имеет важное биологическое значение, но и позволяет рекомендовать наиболее устойчивые виды с ценными декоративными качествами для расширения ассортимента цветочно-декоративных растений.

Различные аспекты биологии видов семейства Iridaceae Juss. (Касатиковые) исследовались российскими (Rodionenko, 2003; Alexeyeva, 2006; Elisafenko, 2010; Efimov et al., 2012; Indzheeva, Baktasheva, 2013a, b; Khaltanova, 2013; etc.) и зарубежными авторами (Tarasjev et al., 2009; Wilson, 2009; Vuleta et al., 2010; Bublyk et al., 2013; Tucic et al., 2013; Vujić et al., 2015; Parnikoza et al., 2017; etc.). Изучены ареалы распространения, таксономия, репродуктивная биология, генетика, хромосомные числа, интродукция и другие биологические особенности ирисов.

Объектами нашего исследования стали редкие для Южного Урала декоративные виды рода *Iris* – *I. pseud-*

тродукционное изучение биологии видов (Abramova, Kryukova, 2013; Kryukova, Abramova, 2014; 2015; 2016; Kryukova et al., 2014).

Целью настоящей работы было сравнение морфологических параметров и семенной продуктивности редких видов ирисов в культуре и в природных местообитаниях на территории Южного Урала, оценка их устойчивости и перспективности для озеленения.

## Материалы и методы

Исследования проведено в 2012–2017 гг. в общей сложности на 23 природных ценопопуляциях. Район исследований – Южный Урал: территория РБ и близлежащие районы Оренбургской и Челябинской областей. Интродукционное испытание выполнено на территории Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН (г. Уфа).

*Iris pumila* (касатик карликовый) – многолетнее растение 8–15 см высотой, поликарпик, с одиночными цветками разнообразной окраски (рис. 1). Плод – трехгранная сидячая коробочка. Европейско-кавказско-малоазиатский вид. Распространен в Средней и Восточной Европе, Средиземноморье, Малой Азии и на Кавказе. Редкий вид Южного Урала и Приуралья. Произрастает в луговых и каменистых степях. Внесен в Красную книгу РБ с категорией 3 – редкий вид (Red Book..., 2021), в Красную книгу РФ (Red Book..., 2008) с категорией и статусом 3 б – редкий вид. Находится под охраной во многих областях России (Red List..., 2004 (2005)).



Рис. 1. *Iris pumila* L.

(Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 11.05.2015 г.; фото А. В. Крюковой)

Fig. 1. *Iris pumila* L.

(South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRS RAS, May 11, 2015; photo by A. V. Kryukova)

*corus* L., *I. pumila* L., *I. scariosa* Willd. ex Link, *I. humilis* Georgi. В Республике Башкортостан (РБ) произрастают пять видов рода, из них четыре исследуемых вида занесены в Красную книгу РБ (Red Book..., 2021) и два – в Красную книгу РФ (Red Book..., 2008). Нами проводятся исследования природных популяций редких ирисов, а также ин-

*I. scariosa* (к. кожистый) – травянистый многолетник 10–20 см высотой, с толстым корневищем (рис. 2). Цветоносный побег удлинённый, с двумя, реже с тремя цветками различной окраски. Плод – продолговато-эллиптическая, шестигранная, к обоим концам заостренная коробочка (Demina, Mayorov, 2002). Эндем юго-востока евро-



**Рис. 2. *Iris scariosa* Willd. ex Link**

(д. Рамазаново, Кувандыкский район Оренбургской области, 10.05.2016 г.; фото А. В. Крюковой)

**Fig. 2. *Iris scariosa* Willd. ex Link**

(Ramazanovo Village, Kuvandyksky District, Orenburg Province, May 10, 2016; photo of A. V. Kryukova)

пейской части РФ. Восточноевропейско-азиатский петрофитный вид. Область распространения вида – Восточная Европа, Западная Сибирь, Средняя и Центральная Азия. Обитает в петрофитных и солонцеватых степях. В РБ является редким и имеет категорию 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения (Red Book..., 2021). Включен в Красную книгу РФ (Red Book..., 2008) с категорией и статусом 2 а – вид, сокращающийся в численности. Охраняется еще в 12 регионах России (Red List..., 2004 (2005)).

*I. humilis* (к. низкий) – малоизученный степной вид, корневищный поликарпик около 15 см высотой, с ярко-желтыми цветками, одиночными или в числе двух (рис. 3). Плод – коробочка эллиптическая, шестигранная. Азиатский вид, распространенный на Южном Урале, в Западной и Восточной Сибири, на юге Европейской России, Дальнем Востоке, в Закавказье, на Украине, в Молдове, Казахстане, на северо-западе Китая, в Японии, Монголии. Растет в каменистых, луговых и песчаных степях, на прибрежных лугах, в борах, на лесных полянах. Включен



**Рис. 3. *Iris humilis* Georgi**

(Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 26.05.2013 г.; фото А. Н. Мустафиной)

**Fig. 3. *Iris humilis* Georgi**

(South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRS RAS, May 26, 2013; photo by A. N. Mustafina)

в Красную книгу РБ (Red Book..., 2021) с категорией 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения, охраняется еще в 12 регионах РФ (Red List..., 2004 (2005)).

*I. pseudacorus* (к. болотный) – травянистый поликарпик до 160 см высотой, с толстым ветвистым корневищем (рис. 4). Цветки в числе 3–5 на разветвлениях стебля, ярко-золотисто-желтые. Плод – продолговато-овальная трехгранная коробочка. Европейско-югозападноазиатский вид. Распространен в Восточной и Западной Европе, европейской части России, Западной Сибири, Белоруссии, на Украине, Кавказе, Дальнем Востоке. Растет на сырых лугах, в низинных заболоченных лесах и зарослях ивы на торфянистой почве. Внесен в Красную книгу РБ (Red Book..., 2021) с категорией 2 – вид, сокращающийся в численности. Редкое растение Урала и Приуралья, занесенное в Красный список особо охраняемых редких и находящихся под угрозой исчезновения животных и растений (Red List..., 2004 (2005)).



**Рис. 4. *Iris pseudacorus* L.**

(д. Ильмурзино, Кушнаренковский район РБ, 10.06.2014 г.; фото А. В. Крюковой)

**Fig. 3. *Iris pseudacorus* L.**

(Ilmurzino Village, Kushnarenkovsky District, Bashkortostan, June 10, 2014; photo by A. V. Kryukova)

Изучение морфометрических параметров редких ирисов в культуре и в природе проводилось в фазе полного цветения растений по методике Г. И. Дохман и В. Н. Голубева (Dokhman, Golubev, 1962). В каждой ценопопуляции (ЦП) измеряли 25 среднегенеративных особей по 11 параметрам, в качестве счетной единицы был принят один годичный побег.

Для редких видов растений важное значение имеет оценка их репродуктивных качеств, определяющих семенное возобновление (Levina, 1981). Семенную продуктивность определяли по стандартной методике (Rabotnov, 1960; Vainagiy, 1974).

Статистический анализ провели с помощью пакета статистических программ Statistica 10 в MS Excel 2010 (Zaitsev, 1990). Сравнение средних значений проведено с использованием t-критерия Стьюдента (Halafyan, 2008).

## Результаты

Результаты измерения морфометрических параметров, их изменчивость, а также сравнение по t-критерию Стьюдента четырех видов рода *Iris* в условиях интродукции и в природных ценопопуляциях приведены в таблице 1.

Сравнение морфометрических показателей для *I. pumila* выявило, что растения в условиях культуры превосходят растения из природных местообитаний, что особенно важно для декоративных качеств вида. В вегетативной сфере размерность растений по диаметру клона в культуре (25,9 см) выше в 1,3 раза природных (19,6 см), по числу вегетативных побегов – в 2,4 раза (55,1 и 20,3 шт. соответственно), по длине листа – в 1,3 раза (19,1 и 14,6 см соответственно). В генеративной сфере растения в культуре по числу генеративных побегов (22,8 шт.) превосходят природные (5,0 шт.) в 4,6 раза, а по длине

и ширине нижней доли околоцветника – в 1,6 и 2,3 раза. Различия связаны суходом за растениями в условиях культуры, большей влажностью почвы, отсутствием конкуренции с другими видами растений в сравнении с природными местами произрастания в южном Предуралье.

Изучение изменчивости в природе и культуре морфометрических признаков *I. pumila* выявило нормальное варьирование ( $C_v = 5,6–42,3\%$ ) большинства параметров; в природе отмечено значительное варьирование лишь для числа вегетативных побегов ( $C_v = 60,2\%$ ) и очень большое – для числа генеративных побегов ( $C_v = 81,5\%$ ). В культуре выявлено значительное варьирование для диаметра клона ( $C_v = 47,3\%$ ) и числа вегетативных побегов ( $C_v = 48,6\%$ ).

Сравнение показателей растений *I. pumila* в природе и интродукции с использованием t-критерия Стьюдента

**Таблица 1. Изменчивость морфометрических показателей редких видов рода *Iris* L. в природе и культуре в генеративной фазе развития (сравнение по критерию Стьюдента)****Table 1. Variability of morphometric indicators in the generative phase of rare *Iris* L. species in nature and under cultivation (comparison by Student's *t*-test)**

Местообитание, Cv, %	Параметры и изменчивость растений										
	Диаметр клона, см	Число вегетативных побегов, шт.	Длина листа, см	Ширина листа, см	Число генеративных побегов, шт.	Высота генеративных побегов, см	Длина нижней доли околоцветника, см	Ширина нижней доли околоцветника, см	Длина верхней доли околоцветника, см	Ширина верхней доли околоцветника, см	Диаметр цветка, см
<b><i>I. pumila</i> L.</b>											
В природе	19,6 ± 1,15	20,3 ± 1,45	14,6 ± 1,03	1,3 ± 0,14	5,0 ± 0,35	16,1 ± 0,50	4,9 ± 0,05	1,6 ± 0,03	4,8 ± 0,05	1,5 ± 0,02	5,3 ± 0,10
Cv	47,3	60,2	24,0	20,6	81,5	13,4	12,2	15,5	12,0	17,8	16,5
В культуре	25,9 ± 2,46	<b>55,1</b> ± 4,52	19,1 ± 1,31	1,8 ± 0,15	<b>22,8</b> ± 2,18	17,2 ± 1,44	<b>7,8</b> ± 0,21	<b>3,7</b> ± 0,12	4,8 ± 0,41	2,3 ± 0,11	6,7 ± 0,38
Cv	25,2	48,6	5,6	24,4	42,3	10,5	8,1	7,4	14,8	18,6	17,2
t <sub>факт</sub>	4,271*	5,243*	2,784*	1,153	4,418*	1,317	8,255*	11,725*	1,323	1,054	2,035
<b><i>I. scariosa</i> Willd. ex Link</b>											
В природе	<b>43,0</b> ± 1,42	<b>62,7</b> ± 3,20	13,7 ± 0,27	1,4 ± 0,02	16,6 ± 0,81	16,1 ± 0,29	5,3 ± 0,07	1,7 ± 0,02	4,7 ± 0,08	1,6 ± 0,02	<b>6,2</b> ± 0,09
Cv	28,6	44,2	17,1	13,7	42,3	15,8	11,8	11,2	15,1	12,6	12,7
В культуре	13,0 ± 0,63	6,2 ± 0,48	<b>14,6</b> ± 0,28	1,3 ± 0,04	2,4 ± 0,27	12,5 ± 0,31	5,1 ± 0,11	1,3 ± 0,03	4,4 ± 0,14	1,3 ± 0,03	5,4 ± 0,12
Cv	24,2	38,9	9,8	16,5	54,3	12,3	11,1	10,1	16,1	10,9	10,8
t <sub>факт</sub>	11,463*	12,183*	1,284	0,783	16,049*	9,994*	1,362	0,540	1,213	0,344	1,514
<b><i>I. humilis</i> Georgi</b>											
В природе	16,0 ± 1,89	7,8 ± 1,06	10,0 ± 0,36	0,9 ± 0,05	3,5 ± 0,26	8,2 ± 0,23	4,7 ± 0,18	1,0 ± 0,02	2,7 ± 0,04	0,9 ± 0,02	4,9 ± 0,04
Cv	59,2	68,1	18,1	26,2	60,1	19,8	11,8	11,2	7,2	14,5	3,7
В культуре	11,2 ± 0,31	4,5 ± 0,27	9,8 ± 0,33	1,2 ± 0,05	1,7 ± 0,26	8,7 ± 0,21	5,9 ± 0,21	<b>4,4</b> ± 0,05	3,2 ± 0,15	1,3 ± 0,04	<b>5,4</b> ± 0,06
Cv	12,3	26,5	15,0	15,5	48,4	7,8	11,1	3,9	6,7	10,1	3,5
t <sub>факт</sub>	4,674*	0,636	6,767*	0,635	1,024	10,803*	1,013	0,829	1,285	2,034	1,064
<b><i>I. pseudacorus</i> L.</b>											
В природе	<b>76,6</b> ± 4,08	<b>34,3</b> ± 1,47	<b>95,7</b> ± 1,88	<b>2,4</b> ± 0,04	<b>6,5</b> ± 0,31	<b>87,6</b> ± 2,29	5,9 ± 0,07	3,1 ± 0,03	2,5 ± 0,04	0,6 ± 0,02	<b>8,8</b> ± 0,06
Cv	53,2	42,9	19,5	16,7	48,1	26,2	11,5	10,9	17,0	24,9	6,5
В культуре	27,2 ± 1,17	6,8 ± 0,41	32,8 ± 0,94	1,5 ± 0,08	1,5 ± 0,14	42,7 ± 3,16	5,2 ± 0,11	3,4 ± 0,06	2,3 ± 0,04	0,9 ± 0,02	7,8 ± 0,13
Cv	21,5	30,3	14,3	28,5	47,0	37,0	10,8	8,3	9,9	10,5	8,3
t <sub>факт</sub>	7,945*	7,325*	6,527*	0,624	4,211*	3,130*	0,538	0,558	1,213	0,068	1,322

Примечание: \* - показатели достоверны на 5-процентном уровне значимости, недостоверны значения параметров для *I. pumila* и *I. pseudacorus* при  $t_{\text{факт}} < 2,064$ , для растений *I. scariosa* и *I. humilis* при  $t_{\text{факт}} < 2,262$ . Жирным шрифтом выделены максимальные значения морфометрических параметров, курсивом - минимальные

Note: \* - indicators are statistically significant at a 5% significance level; parameter values are insignificant for *I. pumila* and *I. pseudacorus* at  $t_{\text{факт}} < 2,064$ , and for *I. scariosa* and *I. humilis* at  $t_{\text{факт}} < 2,262$ . Maximum values of morphometric parameters are boldfaced, while minimum values are italicized

показало достоверные различия при 5-процентном уровне значимости для большинства признаков, за исключением ширины листа, высоты генеративного побега, длины и ширины верхней доли околоцветника, диаметра цветка.

Аналогичное сравнение морфометрических параметров *I. scariosa* показало, что в условиях культуры, по сравнению с природными местами произрастания растений, уменьшаются параметры: диаметр клона в 3,3 раза (в природе – 43,0 см, в культуре – 13,0 см), число вегетативных побегов в 10,1 раза (62,7 и 6,2 шт. соответственно) и генеративных побегов в 6,9 раза (16,6 и 2,4 шт. соответственно), высота генеративного побега в 1,3 раза (16,1 и 12,5 см соответственно). Снижение показателей, очевидно, обусловлено несоответствием условий культуры и экотопов естественного произрастания вида. В природных местообитаниях данный вид произрастает в каменистых степях на крайнем юге Зауралья РБ и в Оренбургской области, где в период цветения растений рано весной отмечаются более высокие положительные температуры и больший уровень инсоляции, чем в условиях центрального Предуралья, где расположен ботанический сад. Более высокие показатели диаметра клона и числа побегов также связаны, видимо, с меньшим возрастом растений в интродукционной популяции.

Для особей *I. scariosa* в природе, и в культуре выявлено нормальное варьирование ( $C_v$  – от 9,8 до 42,2%), кроме единственного параметра – числа генеративных побегов ( $C_v = 54,3\%$ ) в культуре.

Такое же сравнение морфометрических показателей растений *I. scariosa* в природе и в культуре выявило достоверные различия при 5-процентном уровне значимости для четырех параметров: диаметр клона, число вегетативных, генеративных побегов и высота генеративного побега. Параметры генеративной сферы в культуре близки к природным.

Исследование особей *I. humilis* по морфометрическим показателям в природе и культуре показало, что в культуре происходит незначительное ухудшение габитуса растений, снижение значений параметров: диаметра клона (в культуре – 11,2 см, в природе – 16,0 см), числа вегетативных (4,5 и 7,8 шт. соответственно) и генеративных побегов (1,7 и 3,5 шт. соответственно). В интродукции не все растения ежегодно цветут и плодоносят, возможно, потому что в природе они произрастают на специфическом субстрате – на мелкоземле между камней, на склонах, где снег сдувается ветрами, а в ботаническом саду уровень снега в отдельные годы высокий, что может приводить к весеннему застою воды и вымоканию корневищ, что отрицательно сказывается на цветении растений и может даже привести к их гибели. Некоторые авторы (Elisafenko, 2010) отмечают, что в интродукции происходит сокращение длительности онтогенеза, что также приводит к быстрому выпадению растений.

По коэффициенту вариации для *I. humilis* отмечено нормальное варьирование большинства параметров. Значительное варьирование определено для параметров: диаметр клона ( $C_v = 59,2\%$ ), число вегетативных ( $C_v = 68,1\%$ ) и генеративных побегов ( $C_v = 60,1\%$ ) в природе, число генеративных побегов ( $C_v = 48,4\%$ ) в культуре.

В результате сравнения морфометрических показателей *I. humilis* по критерию Стьюдента выявлены при 5-процентном уровне значимости достоверные различия для небольшого числа параметров генеративной сферы.

Исследование морфометрических показателей *I. pseudacorus* выявило, что большинство параметров в природе превышают аналогичные в культуре в 2,8 раза по диаметру клона (в природе – 76,6 см, в культуре – 27,2 см), по числу вегетативных побегов в 5 раз (34,3 и 6,8 шт. соответственно), генеративных побегов в 4,3 раза (6,5 и 1,5 шт. соответственно), высоте генеративного побега в 2,1 раза (87,6 и 42,7 шт. соответственно). Параметры цветка менялись незначительно. Различия в параметрах природных и интродукционной популяций связаны с тем, что в природе вид произрастает в более влажных условиях с богатой почвой (на влажных и сырых лугах по берегам водоемов), а в ботаническом саду – на серой лесной почве без полива, поэтому общий габитус растений снижается.

По коэффициенту вариации в природных местообитаниях отмечено значительное варьирование для параметров: диаметр клона ( $C_v = 53,2\%$ ), число генеративных побегов ( $C_v = 48,1\%$ ); для других показателей наблюдалось нормальное варьирование ( $C_v = 11,0–42,9\%$ ). В культуре значительное варьирование характерно для числа генеративных побегов ( $C_v = 47,0\%$ ), нормальное – для остальных параметров ( $C_v = 8,3–37,0\%$ ).

Сравнение морфометрических показателей растений *I. pseudacorus* в природе и в интродукции с применением критерия Стьюдента показало достоверные различия при 5-процентном уровне значимости для большинства признаков, за исключением длины и ширины листа, длины и ширины нижней и верхней доли околоцветника, диаметра цветка.

Результаты изучения семенной продуктивности изучаемых видов ирисов в природе и культуре представлены в таблице 2.

Изучение элементов репродуктивной биологии *I. pumila* выявило, что большинство репродуктивных показателей в условиях культуры выше средних параметров природных ценопопуляций, что служит весомым показателем хорошей адаптации вида в интродукции. Реальная семенная продуктивность культивируемых растений в 1,2 раза выше, чем в природных условиях. На один генеративный побег образуется всего один плод. Семян в плоде образуется в среднем больше в культуре (36,2), чем в природе (29,4). Коэффициент семенной продуктивности в природе на один генеративный побег составил 59,5%, а для культивируемых растений – 68,7%.

По результатам исследования семенной продуктивности *I. scariosa* установлено, что в культуре растения имеют реальную семенную продуктивность ниже в 3,7 раза (12,5 семян на один генеративный побег), чем в природных местообитаниях (45,9). Значения коэффициента семенной продуктивности для *I. scariosa* в природе выше (61,2%), чем в культуре (55,0%), вследствие большего образования семян, но семена этого вида сильно повреждаются фитофагами, что мы наблюдали в природных условиях. На одном генеративном побеге в интродукции образуется 1-2 цветка (1,6 в среднем), что меньше значений, полученных в природных условиях (1,9 в среднем); плодов образуется также меньше в культуре в 1,4 раза, чем в природе.

Плодообразование на один генеративный побег в условиях культуры составляет 89,5%, в природе – 75,0%. В культуре растения образуют в 2,6 раза меньше семян на один плод (10,4 шт.), что связано, по-видимому, с тем, что в климатических условиях, где находятся естественные местообитания вида, складываются более бла-

**Таблица 2.** Сравнение элементов семенной продуктивности редких видов рода *Iris* L. с использованием критерия Стьюдента в культуре и в природных условиях

**Table 2.** Comparison of seed productivity components for rare *Iris* L. species under cultivation and under natural conditions using Student's *t*-test

Местообитание	Число цветков на один генеративный побег	Число плодов на один генеративный побег	Число выполненных семян на один плод	Число невыполненных семян на один плод	РСП на один генеративный побег	ПСП на один генеративный побег	Коэффициент СП, %
<i>I. pumila</i>							
П	1,0	1,0	29,4 ± 0,52	20,0 ± 0,61	29,4 ± 0,52	49,4 ± 1,82	59,5 ± 1,52
Cv%	-	-	38,6	60,8	38,6	12,0	18,0
И	1,0	1,0	<b>36,2 ± 1,21</b>	16,5 ± 1,02	<b>36,2 ± 1,35</b>	<b>52,7 ± 1,47</b>	<b>68,7 ± 1,39</b>
Cv%	-	-	40,2	45,6	40,2	10,1	15,7
t <sub>факт</sub>	-	-	2,781*	4,344*	5,116*	4,134*	1,341*
<i>I. scariosa</i>							
П	1,9 ± 0,16	1,7 ± 0,30	27,0 ± 0,43	17,1 ± 0,57	<b>45,9 ± 1,68</b>	<b>75,0 ± 1,87</b>	61,2 ± 1,44
Cv%	48,0	55,1	32,0	57,4	25,6	53,2	20,7
И	1,6 ± 0,13	1,2 ± 0,20	10,4 ± 0,55	8,7 ± 0,46	12,5 ± 0,55	22,9 ± 0,72	55,0 ± 1,56
Cv%	61,6	46,3	24,4	51,9	23,2	17,0	14,7
t <sub>факт</sub>	2,124	1,283	2,223*	2,145*	8,261*	4,184*	2,782*
<i>I. humilis</i>							
П	1,7 ± 0,05	1,2 ± 0,15	9,7 ± 0,47	12,7 ± 0,35	<b>11,6 ± 0,46</b>	<b>26,8 ± 0,74</b>	43,3
Cv%	46,4	35,9	28,8	27,4	23,7	7,7	12,8
И	1,4 ± 0,05	1,0 ± 0,15	5,8 ± 0,42	4,4 ± 0,35	5,8 ± 0,42	10,2 ± 0,66	56,8
Cv%	25,2	34,6	39,6	49,9	24,6	21,1	10,4
t <sub>факт</sub>	2,227	2,113	2,829*	3,423*	7,325*	5,244*	3,520*
<i>I. pseudacorus</i>							
П	11,5 ± 0,45	7,9 ± 0,22	77,4 ± 1,47	17,4 ± 0,48	<b>561,8 ± 78,3</b>	<b>686,8 ± 73,70</b>	81,6
Cv%	26,3	21,1	35,6	78,7	8,3	11,6	27,5
И	8,4 ± 0,35	5,9 ± 0,48	50,3 ± 1,45	19,5 ± 0,81	317,1 ± 48,5	439,8 ± 58,72	72,0
Cv%	9,5	11,4	43,2	58,6	8,2	18,6	29,8
t <sub>факт</sub>	5,751*	3,884*	2,153*	1,965	10,133*	11,331*	8,231*

Примечание: П – в природе, И – в интродукции, РСП – реальная семенная продуктивность, ПСП – потенциальная семенная продуктивность,

\* – показатель достоверен на 5-процентном уровне значимости. Значения параметров СП *I. pumila*, *I. pseudacorus* недостоверны при  $t_{\text{факт}} < 2,064$  для *I. scariosa* и *I. humilis* – при  $t_{\text{факт}} < 2,262$ . Жирным шрифтом выделены максимальные значения морфометрических параметров, курсивом – минимальные

Note: П – in nature, И – introduced, РСП – factual seed productivity, ПСП – potential seed productivity, \* – the value is statistically significant at a 5% significance level. For *I. pumila* and *I. pseudacorus*, the values of seed productivity parameters are insignificant at  $t_{\text{факт}} < 2.064$ ; for *I. scariosa* and *I. humilis*, at  $t_{\text{факт}} < 2.262$ . Maximum values of morphometric parameters are boldfaced, while minimum values are italicized

поприятные условия для репродуктивных возможностей.

У *I. humilis* в природе на одном генеративном побеге развивается один или два плода. В культуре на побеге формируется в среднем 1,4 цветка, из которых образуется только один плод. Плодообразование культивируемых растений составляет 71,4%, в природе – 70,6%, но семян образуется мало.

Реальная семенная продуктивность очень низкая – 5,8 шт. семян на один генеративный побег, потенциальная продуктивность – 14,2 семечек. Соответственно, низок и коэффициент продуктивности в культуре – 40,8%, в природе в 1,5 раза больше – 62,4%. Низкая семенная продуктивность является одной из причин редкости вида в природных местообитаниях Южного Урала.

*I. pseudacorus* обладает более высокими репродуктивными возможностями. Коэффициент семенной продуктивности вида высокий (81,6%), реальная семенная продуктивность на один генеративный побег – 561,8 шт. семян, что в 1,8 раза выше значений параметра в культуре. Плодообразование в культуре больше, чем в природе – 70,2%: из 8,4 цветков образуется 5,9 плодов в среднем. Число семян на один генеративный побег в культуре в среднем – 50,3 шт., что в 1,4 раза меньше, чем в природе, семечек – 69,8 шт., из них 72,1% дают семена.

По коэффициенту вариации для большинства параметров семенной продуктивности изучаемых видов ириса в природе и в культуре отмечено нормальное варьирование ( $C_v = 7,7-43,2\%$ ), значительное варьирование – для числа цветков и плодов на один генеративный побег ( $C_v = 46,3-61,6\%$ ), числа невыполненных семян на один плод ( $C_v = 45,6-78,7\%$ ).

Сравнение параметров семенной продуктивности *I. pumila*, *I. scariosa*, *I. humilis* в природных условиях и в интродукции выявило достоверные различия при 5-процентном уровне значимости по критерию Стьюдента для большинства показателей, за исключением параметров: число цветков и плодов на один генеративный побег. Для *I. pseudacorus* все полученные значения значимы, кроме числа невыполненных семян на один плод: этот показатель выявлен как статистически недостоверный.

### Обсуждение

Исследуемые редкие виды рода *Iris* значительно различаются по условиям произрастания в природных местообитаниях: три из них – степные растения, причем *I. pumila* встречается в петрофитных степях Предуралья, а *I. humilis* и *I. scariosa* – также в петрофитных степях, но соответственно в лесостепной и степной зонах Зауралья. *I. pseudacorus* растет в совершенно иных экологических условиях – на сырых пойменных лугах и в понижениях рельефа (Kryukova et al., 2014). Таким образом, условия интродукции (г. Уфа) в большей степени соответствовали природным условиям местообитания для *I. pumila*, но значительно отличались для других трех видов, два из которых произрастают в Зауралье, где климатические условия отличаются большей континентальностью и засушливостью, а третий, *I. pseudacorus* – прибрежно-водно-болотный вид, для которого необходима высокая влажность почвы.

Изучение основных морфометрических параметров редких ирисов РБ выявило, что по габитусу лидируют растения *I. pseudacorus*, которые в природе произрастают на сырых лугах и в прибрежных ценозах. Данный вид

можно отнести к высокорослым растениям: его генеративный побег достигает 1 м и более. Остальные три вида произрастают в петрофитных степях, высота их генеративного побега – 7,3–18,0 см, и их можно отнести к среднерослым растениям. Максимальные значения морфометрических показателей из степных видов ириса выявлены у *I. scariosa*, минимальные – у *I. humilis*, произрастающего в неоптимальных условиях на крайнем северо-западном пределе ареала.

В условиях интродукции в лесостепной зоне Предуралья Башкортостана все исследуемые редкие ирисы цветут и плодоносят, за исключением *I. humilis*, который плодоносит не ежегодно. В культуре, в сравнении с природными условиями, у большинства ирисов снижаются значения морфометрических показателей и параметров семенной продуктивности, за исключением *I. pumila*, у которого в интродукции все показатели возрастают, что свидетельствует о перспективности данного вида для культивирования в Предуралье РБ.

Изменчивость большинства признаков исследуемых ирисов находится в пределах нормы реакции вида. Максимум внутривидовой изменчивости для ряда параметров выявлен у *I. pumila* ( $C_v = 81,5\%$ ), минимум – у *I. humilis* ( $C_v = 3,7\%$ ). Более чувствительны к экологическим факторам признаки: число вегетативных и генеративных побегов, диаметр клона.

Сравнение параметров семенной продуктивности *I. pumila*, *I. scariosa*, *I. humilis* в природе и культуре по критерию Стьюдента выявило достоверные различия по большинству показателей семенной продуктивности при 5-процентном уровне значимости, за исключением числа цветков и плодов на один генеративный побег. Для *I. pseudacorus* показано отсутствие различий по числу невыполненных семян на один плод.

Исследование ирисов в природе, изучение эколого-биологических особенностей видов в культуре и разработка на этой основе агротехники разведения и возделывания в перспективе позволят получить массовый посадочный материал адаптированных к местным условиям растений для использования в озеленении населенных пунктов республики. Введение в культуру редких видов ирисов помогает предотвратить полное уничтожение их в природе и может быть использовано для восстановления численности природных популяций вида в местах естественного обитания (Abramova et al., 2004).

### Выводы

1. В условиях культуры в лесостепной зоне Предуралья Башкортостана редкие виды ирисов, включенные в исследования: *I. pumila*, *I. scariosa*, *I. humilis*, *I. pseudacorus* – цветут и плодоносят ежегодно, за исключением *I. humilis*, плодоносящего не ежегодно.

2. В культуре, в сравнении с природными условиями, у трех видов ирисов снижаются значения морфометрических показателей и семенной продуктивности; у *I. pumila*, наоборот, все показатели в культуре возрастают.

3. *I. pumila* рекомендован для озеленения населенных пунктов в регионе Южного Урала как очень перспективный и устойчивый декоративный вид.

4. Введение в культуру редких видов ирисов помогает предотвратить полное уничтожение их в природе и может быть использовано для восстановления численности природных популяций в местах естественного обитания вида.

## References / Литература

- Abramova L.M., Karimova O.A., Shigapov Z.Kh. Protection of *ex situ* biodiversity in Bashkortostan: state of the problem, strategy and prospects (Okhrana bioraznoobraziya *ex situ* v Bashkortostane: sostoyaniye problemy, strategiya i perspektivy). *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2004;9(3):60-68. [in Russian] [Абрамова Л.М., Каримова О.А., Шигапов З.Х. Охрана биоразнообразия *ex situ* в Башкортостане: состояние проблемы, стратегия и перспективы. *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. 2004;9(3):60-68].
- Abramova L.M., Kryukova A.V. Rare *Iris pumila* L. species seed productivity in nature and in the introduction. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2013;10(159):156-159. [in Russian] [Абрамова Л.М., Крюкова А.В. Семенная продуктивность редкого вида *Iris pumila* L. в природе и в условиях интродукции. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013;10(159):156-159].
- Alexeyeva N.B. Genus *Iris* L. (Iridaceae) in Russia. *Turczaninowia*. 2008;11(2):5-70. [in Russian] [Алексеева Н.Б. Род *Iris* L. (Iridaceae) в России. *Turczaninowia*. 2008;11(2):5-70].
- Bublyk O.M., Andreev I.O., Kalendar R.N., Spiridonova K.V., Kunakh V.A. Efficiency of different PCR-based marker systems for assessment of *Iris pumila* genetic diversity. *Biologia*. 2013;68(4):613-620. DOI: 10.2478/s11756-013-0192-4
- Demina O.N., Mayorov S.R. *Iris scariosa* Willd. ex Link (Iridaceae) in Rostov Province (*Iris scariosa* Willd. ex Link (Iridaceae) v Rostovskoy oblasti). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2002;107(6):69-74. [in Russian] [Демина О.Н., Майоров С.Р. *Iris scariosa* Willd. ex Link (Iridaceae) в Ростовской области. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2002;107(6):69-74].
- Dokhman G.I., Golubev V.N. Fundamentals of biomorphology of herbaceous plants of the Central Forest-Steppe (Osnovy biomorfologii travyanistykh rasteniy Tsentralnoy lesostepi). Voronezh: Voronezh University; 1962. [in Russian] [Дохман Г.И., Голубев В.Н. Основы биоморфологии травянистых растений Центральной лесостепи. Воронеж: Воронежский университет; 1962].
- Efimov S.V., Chernyshenko O.V., Kirpicheva L.F., Datsyuk E.I. Crimean populations of *Iris pumila* L.: distribution and morphological features (Krymskiye populyatsii irisa karlikovogo (*Iris pumila* L.): rasprostraneniye i morfologicheskiye osobennosti). *Forestry Bulletin*. 2012;(4):7-12. [in Russian] [Ефимов С.В., Чернышенко О.В., Кирпичева Л.Ф., Дацюк Е.И. Крымские популяции ириса карликового (*Iris pumila* L.): распространение и морфологические особенности. *Лесной вестник*. 2012;(4):7-12].
- Elisafenko T.V. Ontogenesis of *Iris humilis* (Iridaceae) in natural habitat in the Central Altai and under introduction in Novosibirsk City. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2010;46(4):21-34. [in Russian] [Елисафенко Т.В. Особенности онтогенеза *Iris humilis* (Iridaceae) в естественных условиях в Центральном Алтае и в условиях интродукции в г. Новосибирск. *Растительные ресурсы*. 2010;46(4):21-34].
- Halafyan A.A. Statistica 6. Statistical data analysis (Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh). Moscow: Binom; 2008. [in Russian] [Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. Москва: Бином; 2008].
- Indzheeva L.A., Baktasheva N.M. Biological peculiarities and structure of natural populations of *Iris scariosa* Willd. ex Link. *Bulletin of the Kalmyk Institute for Humanities of the RAS*. 2013a;6(2):135-139. [in Russian] [Инджеева Л.А., Бакташева Н.М. Биологические особенности и структура природных ценопопуляций *Iris scariosa* Willd. ex Link. *Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН*. 2013a;6(2):135-139].
- Indzheeva L.A., Baktasheva N.M. Characterization of population of *Iris pumila* L. in the Republic of Kalmykia. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*. 2013b;(3):22-26. [in Russian] [Инджеева Л.А., Бакташева Н.М. Характеристика ценопопуляций *Iris pumila* L. в Республике Калмыкия. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2013b;(3):22-26].
- Khaltanova E.P. Ontogenetic structure of *Iris humilis* Georgi coenopopulations in the conditions of Vitim Plateau and East Sayan. *BGU Bulletin. Biology, Geography*. 2013;(4):74-78. [in Russian] [Халтанова Е.П. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Iris humilis* Georgi в условиях Витимского плоскогорья и Восточного Саяна. *Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география*. 2013;(4):74-78].
- Kryukova A.V., Abramova L.M. On biology of a rare species *Iris humilis* Georgi in Bashkortostan. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*. 2016;2(18):58-63. [in Russian] [Крюкова А.В., Абрамова Л.М. К биологии редкого вида *Iris humilis* Georgi в Башкортостане. *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2016;2(18):58-63].
- Kryukova A.V., Abramova L.M. On the biology of *Iris scariosa* Willd. ex Link, a rare species of the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2015;(3):49-52. [in Russian] [Крюкова А.В., Абрамова Л.М. К биологии редкого вида Республики Башкортостан *Iris scariosa* Willd. ex Link. *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2015;(3):49-52].
- Kryukova A.V., Abramova L.M. To biology of a rare for Bashkortostan Republic species *Iris pseudacorus* L. in the nature and the introduction. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*. 2014;17(188):32-35. [in Russian] [Крюкова А.В., Абрамова Л.М. К биологии редкого вида Республики Башкортостан *Iris pseudacorus* L. в природе и интродукции. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2014;17(188):32-35].
- Kryukova A.V., Muldashev A.A., Golovanov Ya.M., Abramova L.M. Distribution and phytoceenotic confinedness of rare species of genus *Iris* L. in the South Urals (Bashkortostan Republic). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series Natural Sciences*. 2014;23(194):5-11. [in Russian] [Крюкова А.В., Мулдашев А.А., Голованов Я.М., Абрамова Л.М. Распространение и фитоценотическая приуроченность редких видов рода *Iris* на Южном Урале (Республика Башкортостан). *Научные ведомости Белгородского университета. Серия: Естественные науки*. 2014;23(194):5-11].
- Levina R.E. Reproductive biology of seed plants (Reproduktivnaya biologiya semennykh rasteniy). Moscow: Nauka; 1990. [in Russian] [Левина Р.Е. Репродуктивная биология семенных растений. Москва: Наука; 1981].
- Mamaeva N.A. Possibilities of using the gene pool of natural flora in the breeding of *Iris hybrida* hort. (Vozmozhnosti ispolzovaniya genofonda prirodnoy flory v selektsii *Iris hybrida* hort.). In: *Floriculture: Traditions and Modernity. Proceedings of the VI International Scientific Conference*;

- Volgograd; May 15–18, 2013 (Tsvetovodstvo: traditsii i sovremennost. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii; 15–18 maya 2013 goda)*. Belgorod; 2013. p.115–118. [in Russian] [Мамаева Н.А. Возможности использования генофонда природной флоры в селекции *Iris hybrida* hort. В кн: *Цветоводство: традиции и современность. Материалы VI Международной научной конференции; Волгоград; 15–18 мая 2013 года*. Белгород; 2013. С.115–118).
- Parnikoza I.Yu., Andreev I.O., Bublyk O.M., Spiridonova K.V., Górnjak M., Kunakh V.A. et al. The current state of steppe perennial plants populations: A case study on *Iris pumila*. *Biologia*. 2017;72(1):24–35. DOI: 10.1515/biolog-2017-0002
- Rabotnov T.A. Methods of studying the seed reproduction of herbaceous plants in communities (Metody izucheniya semennoy razmnozheniya travyanistykh rasteniy v soobshchestvakh). In: *Field geobotany. Vol. 2 (Polevaya geobotanika. T. 2)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1960. [in Russian] [Работнов Т.А. Методы изучения семенного размножения травянистых растений в сообществах. В кн.: *Полевая геоботаника. Т. 2*. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1960).
- Red Book of the Republic of Bashkortostan. Vol. 1: Plants and mushrooms. 3rd ed. (Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan. T. 1: Rasteniya i griby. 3-e izd.). Moscow: Studiya Online; 2021. [in Russian] [Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1: Растения и грибы. 3-е изд. Москва: Студия онлайн; 2021).
- Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms) (Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii [rasteniya i griby]). Moscow: КМК; 2008. [in Russian] [Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). Москва: КМК; 2008).
- Red List of rare and endangered species of animals and plants, which particularly protected in Russia. Part 3.1 (Seminal plants). Moscow: Nauka; 2004 (2005). [in Russian] [Красный список особо охраняемых редких и находящихся под угрозой исчезновения животных и растений. Ч. 3.1 (Семенные растения). Москва: Наука; 2004 (2005)].
- Rodionenko G.I. On the taxonomic structure of *Iris pseudacorus* s.l. (*Iridaceae*). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2003;88(5):133–138. [in Russian] [Родионенко Г.И. О таксономической структуре *Iris pseudacorus* s.l. (*Iridaceae*). *Ботанический журнал*. 2003;88(5):133–138].
- Tarasjev A., Barisić Klisarić N., Stojković B., Avramov S. Phenotypic plasticity and between population differentiation in *Iris pumila* transplants between native open and anthropogenic shade habitats. *Genetika*. 2009;45(8):1078–1086.
- Tucić B., Vuleta A., Manitašević-Jovanović S. Exploring phenotypic floral integration in *Iris pumila* L.: A common-garden experiment. *Archives of Biological Sciences*. 2013;65(2):781–793. DOI: 10.2298/ABS1302781T
- Vainagiy I.V. On the methodology for studying seed productivity (O metodike izucheniya semennoy produktivnosti). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1974;59(6):826–830. [in Russian] [Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности. *Ботанический журнал*. 1974;59(6):826–830].
- Vujić V., Avramov S., Tarasjev A., Barišić Klisarić N., Živković U., Miljković D. The effects of traffic-related air pollution on the flower morphology of *Iris pumila* – Comparison of a polluted city area and the unpolluted Deliblato Sands (Nature reserve). *Applied Ecology and Environmental Research*. 2015;13(2):405–415. DOI: 10.15666/aer/1302\_405415
- Vuleta A., Šešlija D., Tucić B., Manitašević-Jovanović S. Seasonal dynamics of foliar antioxidative enzymes and total anthocyanins in natural populations of *Iris pumila* L. *Journal of Plant Ecology*. 2010;3(1)5:9–69. DOI: 10.1093/jpe/rtp019
- Wilson C.A. Phylogenetic relationships among the recognized series in *Iris* section *Limniris*. *Systematic Botany*. 2009;(34):277–284.
- Zaitsev G.N. Mathematics in experimental botany (Matematika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1990. [in Russian] [Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1990].

### Информация об авторах

**Анастасия Владимировна Крюкова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3, anastasiya.ufa@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3788-1879>

**Альфия Науфалевна Мустафина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3, alfverta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9163-177X>

**Лариса Михайловна Абрамова**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3, abramova.lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

### Information about the authors

**Anastasiya V. Kryukova**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRC RAS, 195, Bldg. 3, Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, anastasiya.ufa@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3788-1879>

**Alfiya N. Mustafina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRC RAS, 195, Bldg. 3, Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, alfverta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9163-177X>

**Larisa M. Abramova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Chief Researcher, Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute of the UFRC RAS, 195, Bldg. 3, Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, abramova.lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

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

Статья поступила в редакцию 30.07.2022; одобрена после рецензирования 28.03.2022; принята к публикации 06.09.2022.  
The article was submitted on 30.07.2022; approved after reviewing on 28.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

Научная статья  
УДК 57.061:001.4  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-183-187



## Русскоязычный перевод Международного кодекса номенклатуры культурных растений

И. Г. Чухина, С. Р. Мифтахова

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

**Автор, ответственный за переписку:** Чухина Ирина Георгиевна, [i.chukhina@vir.nw.ru](mailto:i.chukhina@vir.nw.ru)

Международный кодекс номенклатуры культурных растений содействует единообразию, точности и стабильности в названиях сельскохозяйственных, лесных и декоративных растений. Он регламентирует номенклатуру таких категорий, как культивар, группа культиваров, грекс, и обеспечивает стабильность правил их наименования, избегая или отвергая использование названий, которые могут привести к ошибкам или неясностям. Первое издание Кодекса номенклатуры культурных растений увидело свет в 1953 г. В настоящее время актуально девятое издание Международного кодекса номенклатуры культурных растений (International Code..., 2016).

Первый перевод Кодекса на русский язык был осуществлен по поручению Всесоюзного ботанического общества профессором Я. И. Прохановым и опубликован в 1957 г. Работа над русскоязычным переводом девятого издания Международного кодекса номенклатуры культурных растений была начата по инициативе Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Научный перевод подготовили И. Г. Чухина (ВИР), С. Р. Мифтахова (ВИР) и В. И. Дорофеев (БИН РАН). Все части Кодекса, включая преамбулу, принципы, правила, рекомендации, примеры и приложения, опубликованы в пяти номерах журнала *Vavilovia*.

**Ключевые слова:** культивар, единообразие и стабильность номенклатуры, принцип приоритета, номенклатурный стандарт, деноминационный класс

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0006 «Раскрытие научного потенциала гербарной коллекции ВИР как особой специфической единицы хранения мирового агробиоразнообразия для научно обоснованной мобилизации, эффективного изучения и сохранения генофонда».

**Для цитирования:** Чухина И.Г., Мифтахова С.Р. Русскоязычный перевод Международного кодекса номенклатуры культурных растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):183-187. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-183-187

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-183-187

## Russian translation of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants

**Irena G. Chukhina, Snezhana R. Miftakhova***N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Irena G. Chukhina, [i.chukhina@vir.nw.ru](mailto:i.chukhina@vir.nw.ru)

The International Code of Nomenclature for Cultivated Plants promotes uniformity, accuracy, and stability in the naming of agricultural, forestry and horticultural plants. It governs the nomenclature of such categories as Cultivar, Group and Grex, and provides stability in the rules of their naming avoiding or rejecting the use of names that may cause errors or ambiguities. The first edition of the Code was published in 1953. Currently, the ninth edition of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants is relevant (International Code..., 2016).

The first translation of the Code into Russian was made on behalf of the All-Union Botanical Society by Professor Ya. I. Prokhanov and published in 1957. The work on the Russian translation of the ninth edition of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants was initiated by the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. The scientific translation was carried out by I. G. Chukhina (VIR), S. R. Miftakhova (VIR), and V. I. Dorofeyev (BIN RAS). All parts of the Code, including the Preamble, Principles, Rules, Recommendations, Examples and Appendices, are published in the five issues of the *Vavilovia* journal.

**Keywords:** cultivar, uniformity and stability of nomenclature, the principle of priority, nomenclatural standard, denomination class

**Acknowledgements:** the work was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, No. 0481-2022-0006 "Disclosing the scientific potential of the herbarium collection at VIR as an independent specific unit of worldwide agricultural biodiversity conservation for scientifically justified mobilization, effective studying and preservation of genetic diversity".

**For citation:** Chukhina I.G., Miftakhova S.R. Russian translation of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):183-187. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-183-187

Для достоверной документации, эффективного изучения и использования биоразнообразия, генетических ресурсов, биоресурсных коллекций большое значение имеет правильное наименование объектов исследования и объектов коллекций. Таким образом, номенклатура становится краеугольным камнем, стартовой точкой исследования. Специалистам, работающим с растительными объектами, можно сказать, повезло, так как правила наименования и систематизации растений развиваются уже почти три столетия. К настоящему моменту все эти наработки сведены в двух кодексах – Международном кодексе номенклатуры водорослей, грибов и растений, или Кодексе ботанической номенклатуры (Шэньчжэньский кодекс – Shenzhen Code, 2018) и Международном кодексе номенклатуры культурных растений, или Кодексе культурных растений (International Code of Nomenclature for Cultivated Plants, ICNCP, 2016).

В 1953 г. было опубликовано первое издание Международного кодекса номенклатуры культурных растений (далее по тексту – *Кодекс*) (International code..., 1953), авторы которого преследовали цель – разрешить накопившиеся проблемы и путаницу в наименовании сортов растений, используемых в декоративном садоводстве. Это руководство, очень быстро завоевавшее популярность в кругу садоводов, стало востребованным и полезным для всех специалистов, работающих с культурными растениями.

Поэтому в 1955 г. на XIV Международном садоводческом конгрессе (XIV International Horticultural Congress, Scheveningen) при Международном союзе биологических наук (International Union of Biological Sciences, IUBS) была создана Международная комиссия по номенклатуре культурных растений (International Commission for the Nomenclature of Cultivated Plants), которой была поручена подготовка последующих изданий *Кодекса*. В ее состав вошли 24 представителя, рекомендованные Международным садоводческим конгрессом, Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) и Международным союзом лесных исследовательских организаций (International Union of Forest Research Organizations, IUFRO). Председателем этой международной комиссии был утвержден Роже де Вильморен (Dr. Roger de Vilmorin) (Fletcher, 1957). В числе ученых, представлявших сельскохозяйственные науки в составе комиссии, была доктор биологических и сельскохозяйственных наук, профессор Евгения Николаевна Синская, возглавлявшая отдел систематики, экологии и географии культурных растений во Всесоюзном институте растениеводства (ВИР).

В течение последующих лет в *Кодекс* были внесены конструктивные изменения и важные дополнения, многие его положения были доработаны и конкретизированы. Международный кодекс номенклатуры культурных растений многократно переиздан (1953, 1958, 1961, 1969, 1980, 1995, 2004, 2009, 2016), и каждое новое издание способствовало разрешению проблем таксономии и номенклатуры, с которыми сталкиваются работающие с культурными растениями специалисты. *Кодекс* важен для законодательных актов, связанных с правильными названиями сортов растений (Trehane, 2004). В настоящее время актуально девятое издание Международного кодекса номенклатуры культурных растений (International Code..., 2016), который имеет первостепенное значение для правильного наименования культиваров (сортов) и обеспечения единообразия номенклатуры культурных растений.

По поручению Всесоюзного ботанического общества профессором Я. И. Прохановым был осуществлен первый перевод *Кодекса* на русский язык. В 1957 г. опубликован сокращенный текст первой русскоязычной версии «Международного кодекса номенклатуры для культурных растений» (International Code..., 1957). Еще три издания *Кодекса* были переведены и опубликованы при участии Б. К. Шишкина, О. М. Полетико, М. Э. Кирпичникова, И. А. Линчевского, Д. В. Лебедева (Chukhina et al., 2021).

Работа над русскоязычным переводом девятого издания Международного кодекса номенклатуры культурных растений была начата по инициативе Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Перевод подготовили И. Г. Чухина (канд. биол. наук, ВИР), С. Р. Мифтахова (канд. биол. наук, ВИР), В. И. Дорофеев (доктор биол. наук, профессор, БИН РАН).

Цель Международного кодекса номенклатуры культурных растений – содействовать единообразию, точности и стабильности в названиях сельскохозяйственных, лесных и декоративных растений. Номенклатуру таких категорий, как культивар (сорт), группа культиваров и грекс, регламентирует исключительно настоящий *Кодекс*. Он обеспечивает терминологию и стабильность правил наименования культурных растений, избегая или отвергая использование названий, могущих привести к ошибкам или неясностям. Латинское наименование таксона в составе названия культивара образуется согласно положениям Международного кодекса номенклатуры водорослей, грибов и растений.

Все положения *Кодекса* изложены в виде принципов, правил и рекомендаций, которые приводятся в статьях. Для пояснения и наглядной иллюстрации правила и рекомендации дополняются примерами.

Более подробно остановимся на некоторых важных положениях *Кодекса*. Одним из основополагающих положений *Кодекса*, которое конкретизирует порядок использования правильных названий культиваров и выбор единственного между двумя или несколькими конкурирующими названиями для одного и того же культивара, группы или грекса, является принцип приоритета. «Каждый культивар, группа и грекс с определенным описанием могут иметь только одно правильное название – то, которое было обнародовано первым и в соответствии с правилами, за исключением случаев, предусмотренных *Кодексом*» (Принцип 3, International Code..., 2016).

Одна из функций *Кодекса* заключается в определении специальной терминологии, используемой в таксономии культурных растений. Наиважнейшим понятием является культивар, который «представляет собой совокупность растений, которые были отобраны ради конкретного признака или комбинации признаков и сохраняют свою отличимость, однородность и стабильность по этим признакам после размножения соответствующим способом» (статья 2.3, International Code..., 2016). Поэтому обсуждению всех аспектов термина культивар посвящены 23 пункта второй статьи. Отмечено, что на национальных языках можно использовать его аналоги, например, по-русски – сорт, но в англоязычной литературе во избежание путаницы с терминами ботанической номенклатуры следует использовать только cultivar. При этом названия культиваров на печати должны выделяться одинарными кавычками. Недопустима замена одинарных кавычек обозначением cv., которое использовалось ранее.

Подробнейшим образом рассматриваются все особенности и последовательность действий по выбору,

правильному применению, обнародованию и утверждению названия для нового культивара, начиная от благозвучности, количества букв, цифр и других разрешенных знаков в сортовых эпитетах до принятия или консервации названия. Специально обсуждается понятие деноминационного класса, а именно особого объединения культурных растений, в пределах которого эпитеты культиваров, групп или грексов не могут дублироваться (статья 6). В приложении V перечислены особые деноминационные классы, выделенные Комиссией Международного научного садоводческого общества.

Отдельное внимание уделено правилам транслитерации и транскрипции названий культиваров на национальных языках. В последнее время это стало особенно актуальным в связи с широким распространением сортов восточноазиатской селекции (японских, китайских, корейских), названия которых записаны с помощью иероглифов.

Девятый принцип *Кодекса* рекомендует для стабильности, точного применения и во избежание дублирования номенклатуры культиваров и групп отбирать, сохранять и обнародовать номенклатурные стандарты. Первые для данных целей термин «стандарт» был введен в шестом издании кодекса в 1995 г. (Trehane et al., 1995). Номенклатурный стандарт, за которым закрепляется название культивара или группы, может быть представлен изображением или гербарным образцом, переданным на хранение в научный гербарий. В соответствии с *Кодексом* последнее более предпочтительно. Особенности и регламент выбора номенклатурных стандартов подробно изложены в пятой части *Кодекса*.

Для облегчения практического применения правил *Кодекса* в восьмом приложении помещен «Номенклатурный фильтр» – специально разработанный и построенный в виде дихотомического ключа алгоритм, используя который можно проверить, утверждены ли или приняты эпитет или название.

Несоблюдение правил и рекомендаций, изложенных в *Кодексе*, приводит к путанице в работе с исходным материалом, ошибкам в документировании растительного материала, в частности повторному использованию названий сортов и др. Последнее в итоге может привести к ущемлению прав авторов сортов.

В преамбуле отмечено, что приветствуются переводы *Кодекса* на все языки, но в спорных случаях приоритет имеет только оригинальная версия. Именно свободный доступ к тексту последней версии *Кодекса* позволит всем тем, кто несет ответственность за образование и использование названий культурных растений, компетентно применять его правила и рекомендации на практике. Русскоязычный перевод девятого издания Международного кодекса номенклатуры культурных растений, а именно преамбула, принципы, пять частей с правилами и рекомендациями, а также приложения опубликованы частями в пяти номерах журнала *Vavilovia* (International Code..., 2021a, b, c, d; 2022).

## References / Литература

Chukhina I.G., Miftakhova S.R., Dorofeyev V.I. International Code of Nomenclature for Cultivated Plants: on the history of the Russian translation. *Vavilovia*. 2021;4(1):48-54. [in Russian] [Чухина И.Г., Мифтахова С.Р., Дорофеев В.И. Международный кодекс номенклатуры культурных растений: к истории Русскоязычного перевода. *Vavilo-*

*via*. 2021;4(1):48-54]. DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-48-54

Fletcher H.R. The International Commission for the Nomenclature of Cultivated Plants of the International Union of Biological Sciences, Report of the Inaugural Meeting at Utrecht from 21st–23rd November. 1956. *Taxon*. 1957;6(1):13-17. Available from: <http://www.jstor.org/stable/1217864> [accessed Jun. 03, 2022].

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. London: Royal Horticultural Society; 1953.

International Code of Nomenclature of Cultivated Plants. 9th ed. In: *Scripta Horticulturae*. Vol. 18. Leuven: ISHS; 2016. p.1-190. Available from: [https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae\\_18.pdf](https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf) [accessed Jun. 24, 2021].

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (abridged text). Ya.I. Prokhanov (transl.). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1957. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры для культурных растений (сокращенный текст) / перевод с английского Я.И. Проханова. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1957).

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Preamble. Division I: Principles. I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021a;4(1):55-59. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Преамбула. Часть I: Принципы / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Дорофеев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021a;4(1):55-59). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-55-59

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division II: Chapters I, II / I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021b;4(2):44-57. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть II: Главы I, II / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Дорофеев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021b;4(2):44-57). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-2-44-57

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division II: Chapters III–V. I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021c;4(3):40-57. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть II: Главы III–V / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Дорофеев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021c;4(3):40-57). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-3-40-57

International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division II: Chapters VI–IX. I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021d;4(4):38-54. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть II: Главы VI–IX / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Доро-

- Феев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2021d;4(4):38-54. DOI: 10.30901/2658-3860-2021-4-38-54
- International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division III–VI, Appendix I–IX. I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70. [in Russia] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть III–VI, Приложение I–IX / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Дорофеев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70). DOI: 10.30901/2658-3860-2022-1-41-70
- Trehane P. 50 years of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants: future prospects for the Code. *Acta Horticulturae*. 2004;634:17-27. DOI: 10.17660/Acta-Hortic.2004.634.1
- Trehane P., Brickell C.D., Baum B.R., Hetterscheid W.L.A., Leslie A.C., McNeill J., Spongberg S.A., Vrugtman F. (eds). The International Code of Nomenclature for Cultivated Plants – 1995, (ICNCP or Cultivated Plant Code), adopted by the International Commission for the Nomenclature of Cultivated Plants. Wimborne: Quarterjack Publishing; 1995.

### Информация об авторах

**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>

**Снежана Ринатовна Мифтахова**, кандидат биологических наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, s.miftahova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9579-8646>

### Information about the authors

**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>

**Snezhana R. Miftakhova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, s.miftahova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9579-8646>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 12.07.2022; одобрена после рецензирования 11.08.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 12.07.2022; approved after reviewing on 11.08.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья  
УДК 633.16:632.938.1  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193



## Ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений к мучнистой росе

Р. А. Абдуллаев, И. Н. Анисимова, О. Н. Ковалева, Е. Е. Радченко

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

Автор, ответственный за переписку: Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, [abdullaev.1988@list.ru](mailto:abdullaev.1988@list.ru)

**Актуальность.** Существенное снижение урожая ячменя может быть обусловлено мучнистой росой (возбудитель – *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal). Подавляющее большинство сортов, допущенных к использованию на территории России, восприимчиво к патогену. Вовлечение в селекцию образцов, защищенных не использовавшимися ранее генами устойчивости, необходимо для обеспечения продовольственной безопасности страны. Довольно богатым источником пополнения банка эффективных генов устойчивости к патогену могут быть местные формы ячменя.

**Материал и методика.** Изучали 950 образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений: 449 образцов из Японии, 313 – Китая, 173 – Монголии, 15 – Непала. Эксперименты проводили в климатической камере при искусственном заражении ювенильных растений. Инокулюмом служила северо-западная (Санкт-Петербург, Пушкин) популяция *B. graminis*. Устойчивость оценивали с помощью балловой шкалы. Выделившиеся формы тестировали дважды.

**Результаты и выводы.** Выявлена значительная изменчивость образцов коллекции ячменя из стран Восточной Азии по устойчивости к мучнистой росе. Симптомы болезни не обнаружены на растениях 16 изученных форм; слабое или умеренное развитие мицелия *B. graminis* отмечено на растениях 21 образца. Гетерогенны по изученному признаку 27 образцов ячменя. Различный уровень устойчивости выявлен у 64 изученных образцов (6,73%), среди которых 44 – сорта и селекционные линии, 20 – местные ячмени. Восприимчивы к северо-западной популяции патогена 93,27% образцов коллекции.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare*, Восточная Азия, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, степень поражения

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Проект № 21-76-00018, <https://rscf.ru/project/21-76-00018/>).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н., Ковалева О.Н., Радченко Е.Е. Ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений по устойчивости к мучнистой росе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):188-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

## Juvenile resistance of barleys from the East Asian center of crop origin and domestication to powdery mildew

Renat A. Abdullaev, Irina N. Anisimova, Olga N. Kovaleva, Evgeny E. Radchenko

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Renat A. Abdullaev, [abdullaev.1988@list.ru](mailto:abdullaev.1988@list.ru)

**Background.** A significant reduction in the yield of barley may be provoked by powdery mildew (causative agent: *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal). A vast majority of cultivars approved for use in Russia are susceptible to the pathogen. Including genotypes protected by previously unused resistance genes into breeding practice is necessary to ensure the national food security. Barley landraces could become a fairly rich source of replenishment for the bank of effective pathogen resistance genes.

**Materials and methods.** The study covered 950 barley accessions from the East Asian center of crop origin and domestication: 449 accessions from Japan, 313 from China, 173 from Mongolia, and 15 from Nepal. The experiments were carried out on young plants in a climatic chamber under artificial infection conditions. The northwestern (Pushkin, St. Petersburg) population of *B. graminis* served as an inoculum. Plant resistance was assessed using a scoring scale. The resistance of the selected forms was assessed twice.

**Results and conclusions.** Significant variability of barley accessions from the countries of East Asia in their resistance to powdery mildew was observed. Symptoms of the disease were not found on plants of 16 studied forms. Weak or moderate development of the *B. graminis* mycelium was recorded for 21 accessions. Twenty-seven accessions were heterogeneous in the studied trait. Various levels of resistance were identified in 64 studied accessions (6.73%), among which 44 represented cultivars and breeding lines, and 20 were landraces. The percentage of accessions susceptible to the studied population of the pathogen was 93.27%.

**Keywords:** *Hordeum vulgare*, East Asia, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, damage score

**Acknowledgements:** the study was financially supported by the Russian Science Foundation (Project No. 21-76-00018, <https://rscf.ru/project/21-76-00018/>).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Abdullaev R.A., Anisimova I.N., Kovaleva O.N., Radchenko E.E. Juvenile resistance of barleys from the East Asian center of crop origin and domestication to powdery mildew. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3): 188-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

## Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – популярная сельскохозяйственная культура, имеющая важное экономическое значение, прежде всего для кормопроизводства и пивоварения. Использование в питании человека невелико, однако зерно ячменя обладает большим потенциалом как источник полисахаридов благодаря высокому содержанию  $\beta$ -глюканов, способствующих укреплению иммунитета, а также характеризуется многими другими ценными качествами (Loskutov, Polonskiy, 2017; Sagnelli et al., 2018). Экологическая пластичность культуры позволяет выращивать ячмень в Российской Федерации почти повсеместно. Вместе с тем средняя урожайность в России составляет 20–25 ц зерна с гектара (Dontsova et al., 2016), что значительно уступает сбору зерна во многих других европейских странах.

Существенное снижение урожая могут обуславливать вредные организмы. Ущерб, вызванный только мучнистой росой (возбудитель – облигатный гриб *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal), достигает 30–50% (Gong et al., 2013, Tratwal, Bocianowski, 2014). Известно множество генов, контролирующих устойчивость ячменя к мучнистой росе, большинство из которых представлены аллельными вариантами локусов *Mla* и *Mlo* (Jørgensen, 1994; Seeholzer, 2009; Reinstädler et al., 2010; Kusch, Panstruga, 2017). К сожалению, большинство идентифицированных генов неэффективны против популяций гриба, распространенных в России. Так, фитопатологическое тестирование показало, что к дагестанской и северо-западной популяциям *B. graminis* эффективными аллелями являются *mlo1*, *mlo3*, *mlo4*, *mlo5*, *mlo8*, *mlo9*, *mlo10*, *mlo11* и *Mla16*, *Mla18*, *Mla19*, *Mlai* (Abdullaev et al., 2021). Среди 168 сортов российской селекции, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России, лишь четыре образца оказались среднеустойчивыми к мучнистой росе, а 164 изученные формы высоко восприимчивы в ювенильной фазе развития (Abdullaev et al., 2020). Наши исследования свидетельствуют

о необходимости расширения генетического разнообразия возделываемых сортов ячменя по устойчивости к *B. graminis*.

Важным источником пополнения запаса эффективных генов устойчивости могут стать образцы местного ячменя. Одним из основных центров происхождения ячменя считается Восточноазиатский генцентр. В Восточной Азии встречаются присущие только этому региону эндемичные формы, здесь сосредоточено большое количество голозерных, фуркатных, безостых и короткоостых форм (Vavilov, 1987). Нам известны лишь фрагментарные исследования устойчивости ячменей из стран Восточной Азии к возбудителю мучнистой росы, последнее из которых выполнено в 2001–2002 гг. В полевых условиях на фоне естественной эпифитотии в стадии флаг-листа оценили пораженность мучнистой росой 243 образцов ячменя (190 – из Китая, 25 – Непала, 26 – КНДР, 2 – Южной Кореи) и выделили шесть умеренно устойчивых форм (Radchenko et al., 2004).

Цель настоящей работы – изучение ювенильной устойчивости образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений по устойчивости к мучнистой росе.

## Материалы и методы

Изучали 950 образцов ячменя из стран Восточной Азии (449 образцов из Японии, 313 – Китая, 173 – Монголии, 15 – Непала). Коллекция представлена 528 сортами и селекционными линиями, 422 местными формами. Изучаемые образцы относятся к двум подвидам: ячмень шестирядный (*H. vulgare* subsp. *vulgare*) и двурядный (*H. vulgare* subsp. *distichon* (L.) Koern.) – и представлены 74 разновидностями.

Оценку устойчивости к *B. graminis* проводили в климатической камере Barnstead 845-2 при 12-часовом фотопериоде и температуре 16°C. Изучаемые образцы высеивали в пластиковые кюветы на смоченную водой вату (рисунок), накрывали стеклом и проращивали при комнатной температуре. Через трое суток кюветы с растени-



**Рисунок.** Оценка устойчивости образцов ячменя к возбудителю мучнистой росы  
**Figure.** Assessment of barley accessions for their resistance to the powdery mildew pathogen

ями переносили в климатическую камеру. На седьмые сутки после посева проростки заражали путем стряхивания на них конидий с пораженных мучнистой росой растений. Популяция патогена была собрана на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, Пушкин) в 2019 г. При размножении гриба и в качестве контроля в процессе скрининга использовали восприимчивый сорт ячменя 'Белогорский'. Выделившиеся по устойчивости образцы пересеивали, заражали и оценивали дважды.

Устойчивость интактных растений оценивали с помощью шкалы E. V. Mains, S. M. Dietz (1930):

0 – иммунный или высокоустойчивый, нет видимого мицелия;

1 – высокоустойчивый, слабое развитие мицелия;

2 – умеренно устойчивый, умеренное развитие мицелия;

3 – умеренно восприимчивый, умеренное развитие мицелия и умеренная споруляция;

4 – высоковосприимчивый, обильное развитие мицелия и обильная споруляция (см. рисунок).

### Результаты и обсуждение

В результате исследований образцы ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений показали довольно широкое разнообразие по резистентности к мучнистой росе.

Наиболее устойчивыми к северо-западной популяции *B. graminis* оказались 16 образцов: 12 – из Японии, 3 –

Китая, 1 – Непала. Симптомы болезни на этих образцах не были обнаружены (таблица), поражение – 0 баллов. Менее выраженной устойчивостью (1 балл) характеризовались 9 изученных образцов (7 – из Японии, 1 – Китая, 1 – Непала), на которых отмечены единичные пустулы. Умеренное развитие мицелия (2 балла) наблюдали на 12 образцах (7 – из Китая, 3 – Японии, 1 – Монголии, 1 – Непала).

Ячмени из Восточноазиатского центра разнообразия отличаются большим количеством гетерогенных форм. Неоднородными по устойчивости к патогену на стадии проростков оказались 27 коллекционных образцов, среди которых 17 – сорта и селекционные линии, 10 – местные ячмени. Восприимчивы к патогену 886 исследованных генотипов, на растениях которых выявлены сильное развитие мицелия и обильная споруляция.

Ранее (Radchenko et al., 2004) было выделено пять устойчивых к *B. graminis* в стадии флаг-листа и гетерогенных по этому признаку образцов ячменя из Китая: к-3513, к-12224, к-12302, к-15582, к-15869. В наших экспериментах образец к-3513 был гетерогенен по устойчивости (поражение растений варьировало от 0 до 3 баллов), остальные формы оказались высоковосприимчивыми к патогену в фазе всходов. Вероятными объяснениями этого могут быть существенное изменение популяции патогена за последние 20 лет либо различие генетического контроля устойчивости растений во взрослой и ювенильной стадиях развития. Умеренной устойчивостью ранее характеризовался также образец к-29587 из КНДР (Radchenko et al., 2004), который нами еще не изучен.

**Таблица.** Образцы ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений, выделившиеся по устойчивости к мучнистой росе

**Table.** Barley accessions from the East Asian center of crop origin and domestication, identified for their resistance to powdery mildew

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Устойчивость, балл / Resistance, score
3433	Местный	Китай	<i>pallidum</i>	1
3447	«	Китай	«	2
3493	«	Китай	«	2
3904	«	Монголия	<i>coeleste</i>	2
8447	Тамо	Китай	<i>pallidum</i>	2
10931	Wase golden	Япония	<i>nutans</i>	1
10934	Hokudai N1(Niigata-ken)	Япония	<i>erectum, nutans</i>	1
11608	Местный	Япония	<i>nutans, nigricans</i>	0
12278	Shansi	Китай	<i>erectum</i>	0
12289	Местный	Китай	<i>pallidum</i>	2
15151	«	Китай	<i>persicum</i>	2
16225	«	Китай	<i>pallidum</i>	2
16290	«	Китай	«	2
17545	Јар. 456	Япония	<i>erectum</i>	0
20238	Kirinehoku N1	Япония	«	1
20272	Коа	Япония	«	0
20279	Kinai N 5	Япония	«	1

Таблица. Окончание

Table. The end

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Устойчивость, балл / Resistance, score
20354	Wasetaukdu gool	Япония	«	0
21325	Shikokuhadaka N 7	Япония	<i>subnudipyramidatum brevisetum</i>	0
21397	Heiwahadaka	Япония	<i>brevisetum</i>	1
21407	Hakudo N 6	Япония	<i>subnudipyramidatum</i>	2
21411	Shikokuhadaka N 14	Япония	<i>brevisetum</i>	0
21417	Kokakushibarie	Япония	<i>pallidum</i>	2
22094	Wasehadaka	Япония	<i>brevisetum</i>	2
23346	Kairyobozumugi	Япония	«	1
23866	Gamma 4	Япония	<i>erectum</i>	0
23867	Gamma 8	Япония	«	1
23932	NB 1301	Непал	<i>parallelum</i>	0
23933	NB 0301	Непал	<i>harlani</i>	1
24851	H15 Nepal 1	Непал	<i>revelatotrifurcatum</i>	2
24934	Местный	Китай	<i>medicum</i>	0
24935	TI 122	Китай	<i>pallidum</i>	0
26742	Beerhadaka	Япония	<i>nudum</i>	0
27867	Nirasaki Nija 10	Япония	<i>erectum</i>	0
27869	Azuma Golden	Япония	«	0
28779	Nirasaki Nijo 12	Япония	«	0
29531	Nirasaki wase	Япония	«	0
Белогорский (восприимчивый контроль)				4

### Выводы

В результате скрининга 950 образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений выявлено значительное разнообразие изученных форм по устойчивости к мучнистой росе. Различный уровень устойчивости выявлен у 64 образцов. Наибольшее количество резистентных форм отмечено среди ячменей из Японии – 32 сорта и селекционные линии, а также один местный генотип. Для использования в селекции могут быть рекомендованы 37 образцов, поражение которых не превышало двух баллов.

### References / Литература

- Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Alpatieva N.V., Chumakov M.A., Radchenko E.E., Kovaleva O.N. et al. Resistance of barley cultivars approved for use in Russia to harmful organisms and toxic aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):120-127. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Алпатьева Н.В., Чумakov М.А., Радченко Е.Е., Ковалева О.Н. и др. Устойчивость допущенных к использованию в России сортов ячменя к вредным организмам и токсичным ионам алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):120-127). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127
- Abdullaev R.A., Lebedeva T.V., Alpatieva N.V., Batasheva B.A., Anisimova I.N., Radchenko E.E. Powdery mildew resistance of barley accessions from Dagestan. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(5):528-533. DOI: 10.18699/VJ21.059
- Dontsova A.A., Filippov E.G., Dontsov D.P., Ternovaya E.A. Barley production in Russia and in the world. *Grain Economy of Russia*. 2016;(6):7-13. [in Russian] (Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновая Е.А. Производство ячменя в мире и России. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(6):7-13).
- Gong X., Li C., Zhang G., Yan G., Lance R., Sun D. Novel genes from wild barley *Hordeum spontaneum* for barley improvement. In: G. Zhang, C. Li, X. Liu (eds). *Advance in Barley Sciences*. Dordrecht: Springer; 2013. p.69-89. DOI: 10.1007/978-94-007-4682-4\_6
- Jørgensen J.H., Wolfe M. Genetics of powdery mildew resistance in barley. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1994;13(1):97-119. DOI: 10.1080/07352689409701910
- Kusch S., Panstruga R. *mlo*-based resistance: an apparently universal “weapon” to defeat powdery mildew disease.

- Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2017;30(3):179-189. DOI: 10.1094/MPMI-12-16-0255-CR
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of  $\beta$ -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.
- Radchenko E.E., Zveinek I.A., Tyryshkin L.G., Konovalova G.S., Semenova A.G., Khokhlova A.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 751. Barley. Pest and disease resistance of accessions from South-East Asia (Katalog mirovoy kolektsii VIR. Vypusk 751. Yachmen. Uстойчивость obraztsov iz Yugo-Vostochnoy Azii k vreditelyam i boleznyam). St. Petersburg: VIR; 2004. [in Russian] (Радченко Е.Е., Звейнек И.А., Тырышкин Л.Г., Коновалова Г.С., Семенова А.Г. Хохлова А.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 751. Ячмень. Устойчивость образцов из Юго-Восточной Азии к вредителям и болезням. Санкт-Петербург: ВИР; 2004).
- Reinstädler A., Müller J., Jerzy H., Czembor J.H., Piffanelli P., Panstruga R. Novel induced *mlo* mutant alleles in combination with site-directed mutagenesis reveal functionally important domains in the heptahelical barley *Mlo* protein. *BMC Plant Biology*. 2010;10(1):31. DOI: 10.1186/1471-2229-10-31
- Sagnelli D., Chessa S., Mandalari G., Di Martino M., Sorndech W., Mamone G. et al. Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*. 2018;40:408-416. DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.028
- Seeholzer S. Isolation and characterisation of new R-protein variants encoded at the barley *Mla* locus that specify resistance against the fungus powdery mildew [dissertation]. Zürich: University of Zurich; 2009. DOI: 10.5167/uzh-31283
- Tratwal A., Bocianowski J. *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* virulence frequency and the powdery mildew incidence on spring barley in the Wielkopolska province. *Journal of Plant Protection Research*. 2014;54(1):28-35. DOI: 10.2478/jppr-2014-0005
- Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants. V.F. Dorofeev (ed.). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений / под ред. В.Ф. Дорофеева. Ленинград: Наука; 1987).

### Информация об авторах

**Ренат Абдуллаевич Абдуллаев**, кандидат биологических 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, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

**Ирина Николаевна Анисимова**, 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, irina\_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

**Ольга Николаевна Ковалева**, 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, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

**Евгений Евгеньевич Радченко**, 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, eugene\_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

### Information about the authors

**Renat A. Abdullaev**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

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

**Olga N. Kovaleva**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

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

**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 17.02.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 06.09.2022  
The article was submitted on 17.02.2022; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022



## *Solanum nigrum* L. – резерватор вирида веретенovidности клубней картофеля

Н. В. Мироненко, А. В. Хютти, Е. И. Кырова, Н. М. Лашина, О. С. Афанасенко

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Васильевна Мироненко, nina2601mir@mail.ru

**Актуальность.** Среди сорных растений семейства пасленовых, потенциальных резерваторов инфекции вирида веретенovidности клубней картофеля (ВВКК), паслен черный (*Solanum nigrum* L.) повсеместно распространен на территории России.

**Материалы и методы.** Молекулярную диагностику вирида проводили методом ПЦР с обратной транскрипцией с использованием праймеров РЗ/Р4, специфичных для ВВКК, и 6Pospi F/R, специфичных для семейства виридов *Pospiviroidae*. Продукты амплификации клонировали и секвенировали, нуклеотидные последовательности депонировали в базе данных GenBank.

**Результаты.** Методом ОТ-ПЦР показано, что 80–100% растений, собранных в Нижнем Новгороде и Тульской области, были инфицированы ВВКК. кДНК-ампликоны двух растений из Нижнего Новгорода (Sn1 и Sn2) и одного растения из Тульской области (Sn3) клонировали, по три клон каждого, и секвенировали. Анализ нуклеотидной изменчивости клонов выявил существенные генетические различия между штаммами ВВКК, при этом связь с географическим происхождением штаммов не наблюдается. Мутации U120C и U192C относительно референсного штамма VP35 (LC523658) обнаружены у всех 9 клонов. Изолят Sn1 близок к «картофельному» изоляту VP35 и отличается от него тремя мутациями. Изолят Sn2 представлен тремя идентичными клонами и отличается от VP35 девятью мутациями, а Sn3 имеет 22 мутации в области 49–310 позиций нуклеотидов суммарно для трех клонов.

После искусственного заражения здоровых растений *S. nigrum* в условиях теплицы подтвержден факт наличия ВВКК в инфицированных растениях и доказано, что вириод передается семенами растениям следующей генерации.

**Заключение.** Впервые во внешне здоровых сорных растениях *S. nigrum* выявлен вириод веретенovidности клубней картофеля – ВВКК. Доказано, что вириод сохраняется в семенах *S. nigrum* и передается потомству. Обнаружена генетическая гетерогенность штаммов ВВКК, обитающих в растениях *S. nigrum*. Две мутации U120C и U192C были общими для всех тестируемых клонов изолятов ВВКК, обнаруженных в *S. nigrum*.

**Ключевые слова:** паслен черный, ВВКК, ОТ-ПЦР, секвенирование, мутации

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-46-07001 «Молекулярно-генетические механизмы взаимоотношений в патосистеме *Solanum* spp. – вириод веретенovidности клубней картофеля (PSTVd) и особенности эпидемиологии вириода».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Мироненко Н.В., Хютти А.В., Кырова Е.И., Лашина Н.М., Афанасенко О.С. *Solanum nigrum* L. – резерватор вирида веретенovidности клубней картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):194-203. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-194-203

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-194-203

## *Solanum nigrum* L. is a potato spindle tuber viroid reservoir

Nina V. Mironenko, Alexander V. Khiutti, Elena I. Kyrova, Nina M. Lashina, Olga S. Afanasenko

All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nina V. Mironenko, nina2601mir@mail.ru

**Background.** Among the weeds of the Solanaceae family, a potential viroid infection reservoir, black nightshade (*Solanum nigrum* L.), is ubiquitous in Russia.

**Materials and methods.** Molecular diagnostics of the viroid was performed using RT-PCR with the P3/P4 primers specific for PSTVd and 6Pospi F/R specific for the Pospiviroidae family of viroids. The amplification products were cloned and sequenced, and the nucleotide sequences were deposited in the GenBank database.

**Results.** RT-PCR showed that 80–100% of plants were infected with PSTVd. The cDNA amplicons of two plants from Nizhny Novgorod (Sn1 and Sn2) and one plant from Tula Province (Sn3) were cloned (3 clones each) and sequenced. An analysis of the nucleotide variability in the clones revealed significant genetic differences between the PSTVd strains, independent of the geographical origin. Mutations U120C and U192C, compared with the reference strain VP35 (LC523658), were found in all 9 clones. The Sn1 isolate was close to the “potato” VP35 isolate and differed from it only by three mutations. The Sn2 isolate was represented by three identical clones and differed from VP35 by nine mutations, while Sn3 had 22 mutations in the region of 49–310 nucleotide positions in total for three clones. After artificial infection of healthy *S. nigrum* plants in a greenhouse, the presence of PSTVd in infected plants was confirmed and it was proved that the viroid was transmitted by seeds to plants of the next generation.

**Conclusion.** For the first time in externally healthy plants of *S. nigrum*, widely distributed in the potato fields of Russia (Nizhny Novgorod and Tula Province), the potato spindle tuber viroid, PSTVd, was detected. It was proved that the viroid was preserved in the seeds of *S. nigrum* and transmitted to their progeny. Genetic heterogeneity of PSTVd strains from *S. nigrum* plants was found. Two mutations, U120C and U192C, were common for all tested clones of PSTVd strains.

**Keywords:** nightshade black, PSTVd, RT-PCR, sequencing, mutations

**Acknowledgements:** the research was supported by a grant from the Russian Science Foundation, No. 20-46-07001 “Molecular genetic mechanisms of relationships in the pathosystem of *Solanum* spp. – Potato spindle tuber viroid (PSTVd) and features of the viroid epidemiology”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Mironenko N.V., Khiutti A.V., Kyrova E.I., Lashina N.M., Afanasenko O.S. *Solanum nigrum* L. is a potato spindle tuber viroid reservoir. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):194-203. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-194-203

## Введение

Картофель является одной из важнейших основных сельскохозяйственных культур во всем мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, более 360 миллионов тонн картофеля производится на более чем 19 миллионах гектаров сельскохозяйственных угодий во всем мире (<https://potatosystem.ru/globalnaaya-statistika>). Растения картофеля, инфицированные ВВКК, отличаются отставанием в росте, изменением морфологии стеблей, листьев и деформацией клубней, что приводит к значительным потерям урожая, которые могут достигать 50–90% (Mackie et al., 2019). Патогены картофеля, такие как вирусы и вириды, распространяются по всему миру при экспорте и импорте клубней семенного картофеля. В бывшем СССР «готическая» болезнь картофеля, вызываемая виридом веретеновидности клубней картофеля, или ВВКК, впервые была зарегистрирована в начале 1930-х гг., а к концу 1980-х гг. ВВКК распространился в посадках картофеля в Центральном, Северо-Западном и Дальневосточном округах Российской Федерации (Kastalyeva et al., 1992; Owens et al., 2009). ВВКК был обнаружен более чем в 50% меристемной культуры *in vitro* (Kastalyeva et al., 1992), а также у некоторых сортов картофеля в Приморском крае на Дальнем Востоке (Romanova et al., 2007). R. A. Owens et al. (2009) исследовали более 30 изолятов ВВКК из коллекции Всероссийского НИИ фитопатологии, собранных в Центральном, Северо-Западном, Приволжском и Дальневосточном округах за 15-летний период, выявив 17 различных штаммов ВВКК в России.

ВВКК имеет широкий круг хозяев – по крайней мере, 138 видов из десяти семейств (Singh, 1973). Естественная инфекция ВВКК была обнаружена в полевых условиях в основном в пасленовых культурах, таких как перец, петуния, картофель и томат (Owens, Verhoeven, 2017). Известно, что ВВКК передается механически, в том числе от больных растений других видов пасленовых картофеля и томату (Verhoeven, Roenhorst, 2010) и, так же как и вирусы, тлями (Syller et al., 1997). Была показана вертикальная трансмиссия от пыльцы в семена картофеля и горизонтальная – пыльцой с зараженных растений (Singh et al., 1992; Matsushita et al., 2018).

Среди сорных растений семейства пасленовых, потенциальных резервуаров инфекции вириода, повсеместно распространенным на территории России является паслен черный (*Solanum nigrum* L.). На юге России распространены паслен колючий (*S. cornutum* Lam.) и паслен каролинский (*S. carolinense* L.), которые также спорадически могут быть обнаружены на Дальнем Востоке. Имеется лишь одно сообщение об обнаружении ВВКК

в растениях *S. nigrum* – в Австралии в 2010 г. (Mackie et al., 2016). В литературе отсутствуют дополнительные сведения о том, что виды паслена могут являться резервуарами инфекции ВВКК в полевых условиях.

Целью исследования являлось изучение возможной роли *Solanum nigrum* как резервуара вириодной инфекции.

## Материалы и методы

Листья растений *Solanum nigrum* были собраны на картофельных посадках в Пушкинском, Гатчинском, Кировском районах Ленинградской области, а также в Нижегородской и Тульской областях (табл. 1). Внешне здоровые растения *S. nigrum* (рис. 1, слева) были выкопаны и высажены в 5-литровые горшки в теплице и культивированы в теплице Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) до образования ягод (рис. 1, справа).

### Инокуляция ВВКК растений *S. nigrum*

Для изучения возможности трансмиссии вириода с семенами паслена в условиях теплицы ВИЗР растения *S. nigrum* в фазе цветения и начала плодообразования были инокулированы среднеагрессивным штаммом VP87 (LC523667), депонированным нами в международной информационной базе данных DDBJ (DNA Data Bank of Japan), Data set “Viruses” (<http://blast.ddbj.nig.ac.jp/blastn?lang=ja>), поддерживаемым на сорте томата ‘Rutgers’. Для инокуляции листья среднего яруса растений *S. nigrum* посыпали порошком карборунда и осторожно растирали его по поверхности листьев пластиковым пестиком. На поврежденную поверхность листа наносили 10 мкл инокулята и растирали стерильным пластиковым пестиком.

Для инокуляции использовали свежий сок инфицированных растений томата сорта ‘Rutgers’ через 60 дней после инокуляции ВВКК штаммом VP87. Для приготовления инокулята 0,1 г листьев томата измельчали в 1 мл натрий-фосфатного буфера (pH 7,0) и фильтровали через стерильную марлю.

### Диагностика ВВКК методом ОТ-ПЦР (ПЦР с обратной транскрипцией) и секвенирование

Тотальную РНК экстрагировали из 0,1 г листовой пластинки с использованием набора RNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Hilden, Германия) в соответствии с инструкциями производителя ([http://www.genome.duke.edu/cores/microarray/services/rna-qc/documents/RNeasy\\_Mini\\_Handbook.pdf](http://www.genome.duke.edu/cores/microarray/services/rna-qc/documents/RNeasy_Mini_Handbook.pdf)). Для выявления вириодов использовали наборы праймеров РЗ/Р4, специфичные для ВВКК (Ве-

**Таблица 1.** Происхождение растений *Solanum nigrum* L., собранных на посадках картофеля и использованных в работе

**Table 1.** Origin of *Solanum nigrum* L. plants collected from potato fields and used in the work

Географическое происхождение / Geographic origin	Поле с картофелем сорта / Field with the potato cultivar	Количество растений <i>S. nigrum</i> , взятых для выделения РНК / Number of <i>S. nigrum</i> plants taken for RNA extraction
Ленинградская обл. / Leningrad Prov.	Неизвестно / Unknown	30
Нижегородская обл. / Nizhny Novgorod Prov.	Гала / Gala	9
Тульская обл. / Tula Prov.	Аризона / Arizona	10



**Рис. 1.** *Solanum nigrum* L. на картофельном поле в Кировском районе Ленинградской области (Путилово) (слева) и созревшие семена в условиях теплицы (справа)

**Fig. 1.** *Solanum nigrum* L. in a potato field in Putilovo, Kirovsky District, Leningrad Province (on the left), and mature seeds in a greenhouse (on the right)

hjatnia et al., 1996), и праймеры 6Pospi F/R, специфичные для семейства виридов Pospiviroidae (Yanagisawa et al., 2017). Для ОТ-ПЦР использовали набор реагентов One-Step RT-PCR Kit (QIAGEN) в соответствии с инструкциями производителя. Для позитивного контроля амплификации ВВКК использовали растения томата сорта 'Rutgers', зараженные ВВКК.

ОТ-ПЦР проводили на термоциклере MyCycler (Bio-Rad, Калифорния, США) при 50°C в течение 30 мин, 94°C в течение 2 мин, с последующими 35 циклами 94°C в течение 30 с, 60°C в течение 30 с и 72°C в течение 30 с. Дополнительную стадию элонгации проводили при 72°C в течение 5 мин с последующим хранением при 12°C. Размер диагностических фрагментов виридов с праймерами P3/P4 – 360 пн, с праймерами 6Pospi F/R – 260 пн. Продукты амплификации элюировали из 1.5% агарозного

геля, очищали с помощью набора Cleanup Standard и передавали для последующего клонирования и секвенирования в фирму Veagle (Санкт-Петербург, Россия).

Секвенировали по три клона каждого образца в обоих направлениях. Выравнивание и ручное редактирование нуклеотидных последовательностей проводили с помощью программного обеспечения Vector NTI Advance 10 (Thermo Fisher Scientific). Нуклеотидные последовательности идентифицировали по степени сходства с последовательностями, депонированными в международной базе NCBI GenBank и в поисковой системе BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Идентифицированные нуклеотидные последовательности депонировали в базе данных GenBank; номера депонированных штаммов вирида приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Анализ нуклеотидных последовательностей штаммов ВВКК, обнаруженных в растениях *Solanum nigrum* L.

**Table 2.** Nucleotide sequence analysis of PSTVd strains found in *Solanum nigrum* L. plants

Регион сбора <i>S. nigrum</i> / <i>S. nigrum</i> collection area	Название изолята ВВКК / PSTVd strain name	Название клона / Clone name	Размер ампликона (пн) / Amplicon size	GenBank acc. No.	Наиболее близкая последовательность ВВКК в BLAST / The closest sequence of PSTVd in BLAST	
					Acc. No.	Растение-хозяин, страна / Host plant, country
Нижний Новгород / Nizhny Novgorod Prov.	Sn1	Sn1-1	260	ON478339	KR611362	<i>S. tuberosum</i> , Китай / China
		Sn1-2	260	ON478340		
		Sn1-3	260	ON478341		
	Sn2	Sn2-1	260	ON478342	LC654170	<i>S. tuberosum</i> , Россия / Russia
		Sn2-2	260	ON478343		
		Sn2-3	260	ON478344		
Тулская обл. / Tula Prov.	Sn3	Sn3-1	360	ON478345	M25199	<i>S. commersonii</i> , Нидерланды / Netherlands
		Sn3-2	360	ON478346		
		Sn3-3	360	ON478347		

Филогенетическое дерево было построено методом UPGMA. Построение дерева осуществляли в программе Mega X (Kumar et al., 2018). Нуклеотидную изменчивость клонов ампликонов с праймерами, специфичными для виридов сем. *Posviriviridae*, изучали методом выравнивания нуклеотидных последовательностей с помощью алгоритма M-Coffee (Notredame et al., 2000).

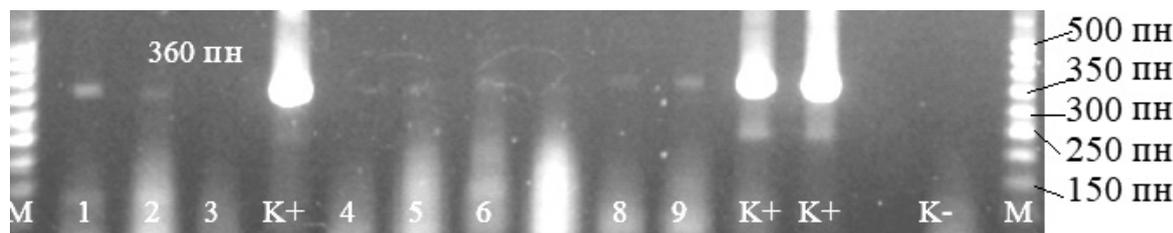
### Результаты

#### Диагностика ВВКК в растениях *S. nigrum*, произрастающих в посадках картофеля

Из листьев была выделена РНК и проведена ОТ-ПЦР-диагностика с ВВКК специфичными праймерами. Пример ОТ-ПЦР-диагностики с праймерами P3/P4 приведен на рисунке 2.

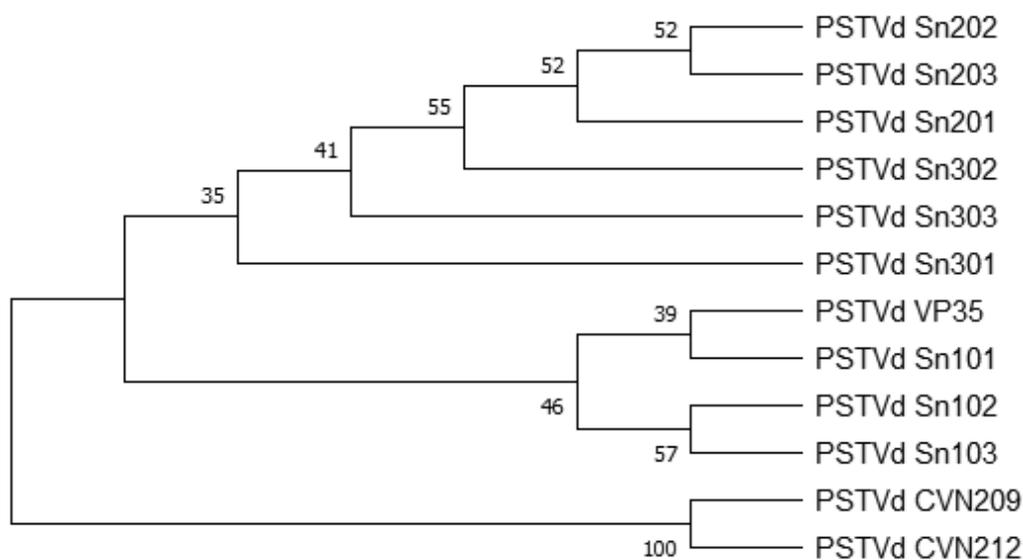
У растений *S. nigrum* были получены в основном слабые продукты амплификации с ВВКК-специфичными праймерами. Для доказательства присутствия ВВКК в растениях *S. nigrum* выбрали три наиболее ярких ампликона, которые были клонированы и секвенированы – по три клона каждого образца. Характеристика ампликонов представлена в таблице 2.

На дендрограмме (рис. 3), построенной по нуклеотидным последовательностям клонов трех изолятов ВВКК, обнаруженных в растениях *S. nigrum*, показаны генетические расстояния между клонами трех изолятов и тремя штаммами из базы GenBank: VP35 (LC523658), выделенным из картофеля, и штаммами CVN209 и CVN212 (KP454037 и KJ857498), выделенными из *S. nigrum* в Австралии (Mackie et al., 2016). Очевидно, что клоны Sn1 составили самостоятельный кластер, в который также во-



**Рис. 2.** Обнаружение ВВКК с помощью ОТ-ПЦР с праймерами P3/P4 в растениях *Solanum nigrum* L.: 1–9 – растения из Нижнего Новгорода; K+ – положительные контроли (томат сорта 'Rutgers', зараженный штаммом ВВКК VP87); K- – негативный контроль (вода); M – маркер молекулярных весов 50 пн (Primetech DNA Ladder)

**Fig. 2.** RT-PCR detection of PSTVd in *Solanum nigrum* L. plants using the P3/P4 primer set: 1–9 – plants from Nizhny Novgorod; K+ – positive control (tomato cv. Rutgers, infected with strain PSTVd VP87); K- – negative control (water); M – molecular weight marker 50 bp (PrimeTech DNA Ladder)



**Рис. 3.** Генетическое родство штаммов ВВКК, выделенных из *Solanum nigrum* L.:

VP35 – референсный штамм, выделен из картофеля в России; CVN209 и CVN212 – штаммы ВВКК, выделенные из *S. nigrum* в Австралии; Sn101–103 – клоны штамма Sn1; Sn201–203 – клоны штамма Sn2; Sn301–303 – клоны штамма Sn3

**Fig. 3.** Genetic relationship of PSTVd strains isolated from *Solanum nigrum* L.:

VP35 is a reference strain isolated from potatoes in Russia; CVN209 and CVN212 are PSTVd strains isolated from *S. nigrum* in Australia; Sn101–103 are clones of strain Sn1; Sn201–203 are clones of strain Sn2; Sn301–303 are clones of strain Sn3

шел референсный изолят ВВКК VP35. Причем австралийские изоляты объединились в один кластер с российскими штаммами Sn1 и VP35, хотя генетически от них отличаются, что подтверждено высоким значением бутстрэпа. Клоны двух других изолятов, Sn2 и Sn3, составили другой кластер геномов вириода. Очевидно, что два кластера не связаны с географическим происхождением изолятов ВВКК: из Нижегородской и Тульской областей РФ.

Нуклеотидные последовательности всех клонов изолятов ВВКК Sn1–Sn3 сравнили между собой и с референсным штаммом VP35 в части генома вириода в позиции от 49 до 310 нуклеотидов, что соответствует размеру ампликона 260 пн. В результате у всех 9 клонов обнаружены мутации U120C и U192C относительно референсного штамма VP35 (табл. 3). У обоих австралийских штаммов наблюдается одна общая с российскими штаммами, выделенными из *S. nigrum*, мутация U192C и другая мутация U120– (делеция). Вряд ли можно считать мутации U120C и U192C «хозяйин-специфичными», так как такие же мутации относительно референсного штамма VP35 встречаются и у других штаммов «картофельного» происхождения, например U120C и U192C у NicTr3 (LC654171) и U192C у штаммов VP87 (LC523667), VP69-2 (LC523666), VP72-1 (LC523663) и VP2 (LC523662), распространенных в РФ.

Изолят Sn1 отличался от «картофельного» изолята VP35 только тремя мутациями – U120C, U192C у трех клонов и мутацией C231A у Sn1-1. Изолят Sn2 был представлен тремя идентичными клонами и отличался от VP35

девятью мутациями, а Sn3, наоборот, отличался гетерогенностью клонов и имел в исследуемой области генома 22 мутации суммарно для трех клонов, причем мутации A309C и C310U отличали клоны Sn3 от клонов Sn1 и Sn2, а также от референсного штамма (см. табл. 3).

#### Изучение возможности сохранения и распространения ВВКК с семенами *S. nigrum*

Из свежих листьев здоровых растений *S. nigrum* и растений картофеля с признаками деформации (скручивание листьев, морщинистость, мелкие листья, задержка роста), растущих на одном поле в Ленинградской области, была выделена РНК и проведена ОТ-ПЦР-диагностика на наличие вириода. Диагностический ампликон, подтверждающий наличие ВВКК, не был обнаружен ни в одном из образцов *S. nigrum* и картофеля. В то же время в растениях картофеля и *S. nigrum* методом мультиплексной ОТ-ПЦР был выявлен вирус скручивания листьев картофеля – PRLV (potato leaf roll virus) (данные не приведены).

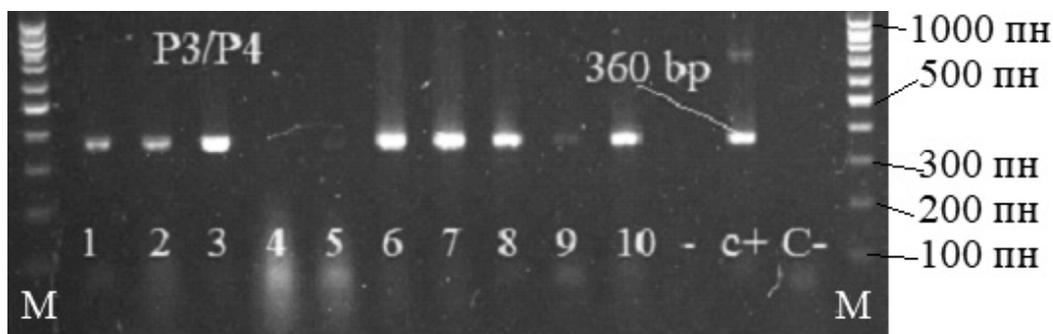
В условиях теплицы растения *S. nigrum* в фазе цветения и в начале плодоношения инокулировали штаммом ВВКК VP87 (LC523667.1). Через три месяца после инокуляции ВВКК был идентифицирован у трех из 19 протестированных растений *S. nigrum* (рис. 4, дорожки 9, 12 и 17).

С идентифицированных растений собирали семена, чтобы определить, может ли вириод передаваться с семенами. В 15-дневных проростках проводили молекулярную диагностику ВВКК (рис. 5).



**Рис. 4.** Обнаружение ВВКК с помощью ОТ-ПЦР в растениях *Solanum nigrum* L. (1–19) через три месяца после инокуляции штаммом VP87: дорожки 9, 12 и 17 – диагностические продукты амплификации; 19 – вода; k1 и k2 – положительные контроли; M – маркер молекулярного веса 100 пн (Gene Ruler, Fermentas)

**Fig. 4.** RT-PCR detection of PSTVd in *S. nigrum* (1–19) plants 3 months after inoculation with strain VP87: lines 9, 12 and 17 – diagnostic amplification products; 19 – water; k1 and k2 – positive controls; M – molecular weight marker 100 bp (Gene Ruler, Fermentas)



**Рис. 5.** Обнаружение ВВКК в растениях *Solanum nigrum* L. с использованием набора праймеров P3/P4 с помощью ОТ-ПЦР:

1–10 – проростки семян от зараженных растений *S. nigrum*; C+ – томат; инфицированный VP87; C– – вода; M – маркеры молекулярных весов 100 пн (Gene Ruler, Fermentas)

**Fig. 5.** RT-PCR detection of PSTVd in *Solanum nigrum* L. plants using the P3/P4 primer set: 1–10 – seedlings from seeds of infected *S. nigrum* plants; C+ – tomato infected with VP87; C– – water; M – molecular weight markers 100 bp (Gene Ruler, Fermentas)

Таблица 3. Мутации в клонах штаммов ВВКК, выделенных из *Solanum nigrum* L.  
Table 3. Mutations in clones of PSTVd strains isolated from *Solanum nigrum* L.

Клон / Clone	Замены/инсерции/делеции нуклеотидов в разных позициях генома ВВКК (относительно LC523658) / Nucleotide substitutions/insertions/deletions at different positions of the PSTVd genome (relative to LC523658)																				
	P						C						V				TR				
	49	53	63	64	67	309	310	115	117	119	120	255	140	231	213	145	192	200	205	211	212
VP35	G	A	A	G	G	A	C	G	C	A	U	C	G	G	C	G	U	G	U	C	G
Sn1-1	G	A	A	G	G	A	C	G	C	A	C	C	A	C	G	C	G	U	U	C	G
Sn1-2	G	A	A	G	G	A	C	G	C	A	C	C	G	C	G	C	G	U	U	C	G
Sn1-3	G	A	A	G	G	A	C	G	C	A	C	C	G	C	G	C	G	U	U	C	G
Sn2-1	+A	A	A	G	G	A	C	G	+A	A	C	C	+C	G	C	+C	U	U	-	-	A
Sn2-2	+A	A	A	G	G	A	C	G	+A	A	C	C	+C	G	C	+C	U	U	U	-	A
Sn2-3	+A	A	A	G	G	A	C	G	+A	A	C	C	+C	G	C	+C	U	U	U	-	A
Sn3-1	+A	+A	A	G	C	C	U	G	+A	A	C	U	+C	G	U	+C	U	U	U	-	A
Sn3-2	G	+A	C	G	G	C	U	G	C	+A	C	C	+C	G	C	+C	U	U	U	-	A
Sn3-3	+A	A	A	U	G	C	U	+C	+A	A	G+C	U	+C	G	C	+C	U	U	U	A	-

Примечание: P – домен патогенности; C – центральный консервативный регион; V – вариабельный регион; TR – терминальный правый домен (по: Keese, Symons, 1985); «->» – делеция нуклеотида

Note: P – pathogenicity domain, C – central conserved region; V – variable region; TR – terminal right domain (from Keese, Symons, 1985); “+” – insertion, “-” – deletion of nucleotide

У 8 из 10 проростков семян от зараженных растений *S. nigrum* методом ОТ-ПЦР получены диагностические фрагменты с праймерами P3/P4, свидетельствующие о наличии в этих растениях ВВКК, что подтверждает факт переноса вириода семенами.

### Обсуждение результатов

*Solanum nigrum* распространен в Евразии, Америке, Австралии и Южной Африке. Этот вид считается хозяином для многих вирусов, поражающих пасленовые культуры (Ma et al., 2020).

Ранее было показано, что *S. nigrum*, произрастающий на посадках картофеля, является резервуаром вириода CSVd (*Chrysanthemum stunt viroid*), тоже относящегося к сем. *Pospiviridae*, и может способствовать распространению этого вириода среди растений картофеля (Matsushita, Penmetcha, 2009; Matsushita, 2013). Этот вириод чаще всего поражает хризантемы и родственные им декоративные растения. CSVd был обнаружен в 30% исследованных растений *S. nigrum*, собранных на Дальнем Востоке (Matsushita et al., 2021).

ВВКК впервые был выявлен в растениях *S. nigrum* в условиях субтропического климата в Австралии в 2010 г. (Mackie et al., 2016). Мы обнаружили ВВКК в растениях *S. nigrum* в двух регионах РФ – Нижнем Новгороде и Тульской обл. Факт обнаружения вириода в растениях паслена методом ОТ-ПЦР со специфическими праймерами был подтвержден секвенированием продуктов амплификации и идентификацией их в системе BLAST. Изучена нуклеотидная последовательность клонов выделенных изолятов ВВКК – Sn1 и Sn2 из Нижнего Новгорода и Sn3 из Тульской области – и проведено сравнение с референсным «картофельным» штаммом ВВКК (VP35) и двумя депонированными штаммами ВВКК, выделенными из *S. nigrum* в Австралии – KJ857498 и KP454037 (Mackie et al., 2016).

На участке 260 пн (49–310 позиции в геноме референсного штамма) наблюдали существенную нуклеотидную изменчивость в сравнении со штаммом VP35 (см. табл. 3). Мутации у штаммов ВВКК из *S. nigrum* были зафиксированы в 21-й нуклеотидной позиции относительно референсного штамма.

В 1985 г. была предложена модель структуры ВВКК из пяти вириодных доменов: левый терминальный (TL), включающий нуклеотиды с 1 по 46 и 316–359, домен патогенности (P) – 46–74 позиции нуклеотидов и 288 и 316, центральный консервативный регион (C) – 74–120 и 241–288 позиции, варибельный регион (V) – 120–140 и 212–241 и терминальный правый домен (TR) – 140–212 (Keese, Symons, 1985). Считается, что домен P, который также называют VMR (virulence-modulating region), ответственен за вирулентность штамма ВВКК (Schmitz, Riesner, 1998), и несколько изменений нуклеотидов в домене P могут резко повлиять на симптомы у томата (Sano et al., 1992; Qi, Ding, 2003). Распределение мутаций по доменам вириодного генома у штаммов Sn1–Sn3 было практически одинаковым в доменах P, C и TR – по 7, 5 и 6 мутаций соответственно. Какой-либо особенности мутаций в домене P выявлено не было.

Внутриштаммовая изменчивость отмечена только для штамма Sn3, что согласуется с концепцией «квазивида» для ВВКК (Adkar-Purushothama et al., 2020).

Полученные данные свидетельствуют о существовании естественного резервуара инфекции ВВКК в сорных растениях картофельного поля *S. nigrum* и возможности сохранения и распространения инфекции с семенами

паслена. Для доказательства трансмиссии вириода от *S. nigrum* к картофелю необходимы дополнительные исследования.

### Заключение

Впервые в сорных растениях *Solanum nigrum*, распространенных на картофельных полях в условиях РФ (Нижний Новгород и Тульская область), выявлен вириод веретеновидности клубней картофеля – ВВКК. Молекулярную диагностику вириода провели методом ОТ-ПЦР и секвенированием отдельных клонов продуктов амплификации. Обнаружена генетическая гетерогенность трех штаммов ВВКК, обитающих в растениях *S. nigrum*, охарактеризована внутри- и межштаммовая нуклеотидная изменчивость и выявлены две мутации, общие для всех тестируемых клонов штаммов ВВКК, обнаруженных в растениях *S. nigrum*. Доказано, что вириод сохраняется в семенах *S. nigrum* и передается потомству.

### References / Литература

- Adkar-Purushothama C.R., Bolduc F., Bru P., Perreault J.P. Insights into potato spindle tuber viroid quasi-species from infection to disease. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:1235. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01235
- Behjatnia A., Dry I., Krake L., Condé B.D., Connelly M.I., Randles J. et al. New potato spindle tuber viroid and tomato leaf curl geminivirus strains from a wild *Solanum* sp. *Phytopathology*. 1996;86:880-886. DOI: 10.1094/Phyto-86-880
- Kastalyeva T.B., Mozhaeva K.A., Pisetskaya N.F., Romanova S.A., Trofimets L.N. The potato spindle tuber viroid and bringing potato into a healthy state (Viroid veretenovidnosti klubney i ozdorovleniye kartofelya). *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1992;(3):22-24. [in Russian] (Кастальева Т.Б., Можаяева К.А., Писецкая Н.Ф., Романова С.А., Трофимец Л.Н. Вириод веретеновидности клубней и оздоровление картофеля. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1992;(3):22-24).
- Keese P., Symons R.H. Domains in viroids: evidence of intermolecular RNA rearrangements and their contribution to viroid evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1985;82(14):4582-4586. DOI: 10.1073/pnas.82.14.4582
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*. 2018;35(6):1547-1549. DOI: 10.1093/molbev/msy096
- Ma Y., Marais A., Lefebvre M., Faure C., Candresse T. Metagenomic analysis of virome cross-talk between cultivated *Solanum lycopersicum* and wild *Solanum nigrum*. *Virology*. 2020;540:38-44. DOI: 10.1016/j.virol.2019.11.009
- Mackie A.E.; Barbetti M.J.; Rodoni B., McKirdy S., Jones R.A.C. Effects of a potato spindle tuber viroid tomato strain on the symptoms, biomass, and yields of classical indicator and currently grown potato and tomato cultivars. *Plant Disease*. 2019;103(12):3009-3017. DOI: 10.1094/PDIS-02-19-0312-RE
- Mackie A.E., Rodoni B.C., Barbetti M.J., McKirdy S.J., Jones R.A.C. Potato spindle tuber viroid: alternative host reservoirs and strain found in a remote subtropical irrigation area. *European Journal of Plant Pathology*. 2016;145:433-446. DOI: 10.1007/s10658-016-0857-2
- Matsushita Y. *Chrysanthemum stunt viroid*. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 2013;47(3):237-247. DOI: 10.6090/jarq.47.237

- Matsushita Y., Penmetcha K.K.R. *In vitro* transcribed *Chrysanthemum* stunt viroid (CSVd) RNA is infectious to chrysanthemum and other plants. *Phytopathology*. 2009;99(1):58-66. DOI: 10.1094/PHYTO-99-1-0058
- Matsushita Y., Yanagisawa H., Khiutti A., Mironenko N., Ohto Y., Afanasenko O. Genetic diversity and pathogenicity of potato spindle tuber viroid and chrysanthemum stunt viroid isolates in Russia. *European Journal of Plant Pathology*. 2021;161(3):529-542. DOI: 10.1007/s10658-021-02339-z
- Matsushita Y., Yanagisawa H., Sano T. Vertical and horizontal transmission of pospiviroids. *Viruses*. 2018;10(12):706. DOI: 10.3390/v10120706
- Notredame C.; Higgins D.G.; Heringa J. (2000). T-Coffee: A novel method for fast and accurate multiple sequence alignment. *Journal of Molecular Biology*. 2020;302(1):205-217. DOI: 10.1006/jmbi.2000.4042.
- Owens R.A., Girsova N.V., Kromina K.A., Lee I.M., Mozhaeva K.A., Kastalyeva T. Russian isolates of potato spindle tuber viroid exhibit low sequence diversity. *Plant Disease*. 2009;93(7):752-759. DOI: 10.1094/PDIS-93-7-0752
- Owens R.A., Steger G., Hu Y., Fels A., Hammond R.W., Riesner D. RNA structural features responsible for potato spindle tuber viroid pathogenicity. *Virology*. 1996;222(1):144-158. DOI: 10.1006/viro.1996.0405
- Owens R.A., Verhoeven J.Th.J. Potato spindle tuber viroid. In: A. Hadidi, R. Flores, J. Randles, P. Palukaitis (eds). *Viroids and Satellites*. London; Academic Press; 2017. p.149-158. DOI: 10.1016/B978-0-12-801498-1.00014-0
- Romanova S.A., Volkov Y., Kakareka N., Pleshakova T.I., Koslovskaya Z.N. Potato disease caused by combined infection with potato spindle tuber viroid and potato virus Y necrotic strain. *Russian Agricultural Sciences*. 2007;33(3):162-165. DOI: 10.3103/S1068367407030081
- Qi Y., Ding B. Inhibition of cell growth and shoot development by a specific nucleotide sequence in a noncoding viroid RNA. *The Plant Cell*. 2003;15(6):1360-1374. DOI: 10.1105/tpc.011585
- Sano T., Candresse T., Hammond R.W., Diener T.O., Owens R.A. Identification of multiple structural domains regulating viroid pathogenicity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1992;89(21):10104-10108. DOI: 10.1073/pnas.89.21.10104
- Schmitz A., Riesner D. Correlation between bending of the VM region and the pathogenicity of different potato spindle tuber viroid strains. *RNA*. 1998;4(10):1295-1303. DOI: 10.1017/s1355838298980815
- Singh R.P. Experimental host range of the potato spindle tuber 'virus'. *American Potato Journal*. 1973;50(4):111-123. DOI: 10.1007/BF02857207
- Singh R.P., Boucher A., Somerville T.H. Detection of potato spindle tuber viroid in the pollen and various parts of potato plant pollinated with viroid-infected pollen. *Plant Disease*. 1992;76:951-953. DOI: 10.1094/PD-76-0951
- Syller J., Marczewski W., Pawłowicz J. Transmission by aphids of potato spindle tuber viroid encapsidated by potato leafroll luteovirus particles. *European Journal of Plant Pathology*. 1997;103:285-289. DOI: 10.1023/A:1008648822190
- Verhoeven J.T.J., Roenhorst J.W. High stability of original predominant pospiviroid genotypes upon mechanical inoculation from ornamentals to potato and tomato. *Archives of Virology*. 2010;155(2):269-274. DOI: 10.1007/s00705-009-0572-9
- Yanagisawa H., Shiki Y., Matsushita Y., Ooishi M., Takaue N., Tsuda S. Development of a comprehensive detection and identification molecular based system for eight pospiviroids. *European Journal of Plant Pathology*. 2017;149(1):11-23. DOI: 10.1007/s10658-017-1157-1

### Информация об авторах

**Нина Васильевна Мироненко**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

**Александр Валерьевич Хютти**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, alexanderkhyutti@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1479-7746>

**Елена Игоревна Кырова**, аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, blairkot@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1016-2148>

**Нина Михайловна Лашина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, nlashina@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1419-7134>

**Ольга Сильвестровна Афанасенко**, доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, olga.s.afan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7368-0797>

### Information about the authors

**Nina V. Mironenko**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

**Alexander V. Khiutti**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, alexanderkhyutti@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1479-7746>

**Elena I. Kyrova**, Postgraduate Student, Associate Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, blairkot@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1016-2148>

**Nina M. Lashina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nlashina@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1419-7134>

**Olga S. Afanasenko**, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, olga.s.afan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7368-0797>

**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 14.05.2022; одобрена после рецензирования 17.06.2022; принята к публикации 06.09.2022.  
The article was submitted on 14.05.2022; approved after reviewing on 17.06.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Научная статья  
УДК 58.002, 004.9  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212



## Оценка размеров и формы ягод с использованием программы ImageJ на примере жимолости

Д. Ю. Нохрин, Л. В. Уфимцева, Н. В. Глаз

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства, Челябинск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Денис Юрьевич Нохрин, nokhrin8@mail.ru

**Актуальность.** Несмотря на все более широкое использование в сельском хозяйстве цифровых технологий, в садоводстве и промышленном производстве плодово-ягодных культур до сих пор распространены качественные и балльные оценки морфологических показателей плодов, а измерения проводятся вручную. Цель исследования: разработка алгоритма применения программы ImageJ для быстрой и точной оценки размеров и формы ягод.

**Материалы и методы.** Материал – 190 образцов ягод трех сортов жимолости синей *Lonicera caerulea* L. селекции ЮНИИСК: 'Амазонка', 'Лазурит' и 'Ленина'. Ягоды фотографировались на белом фоне с подсветкой снизу. Анализ изображений проводился в открытом пакете ImageJ и включал автоматический поиск объектов и их измерение по семи показателям размеров и формы. Статистический анализ включал: расчет описательных статистик, коэффициента вариации, сравнение сортов по Краскелу – Уоллису, поиск типичных объектов по результатам многомерного анализа.

**Результаты.** Показано, как показатели в ImageJ соотносятся с классическими промерами в помологии, включая длину, диаметр и индекс ягоды. По всем показателям различия между сортами были высоко статистически значимыми ( $p < 0,001$ ). Обсуждаются перспективы использования показателя неровности поверхности для количественной характеристики степени отклонения плодов от естественной формы вследствие механических и иных деформаций, снижающих категорию сортности продукции.

**Заключение.** Результаты автоматического анализа изображений в программе ImageJ могут найти применение в садоводстве, селекции и производстве плодово-ягодной продукции.

**Ключевые слова:** помология, фотография, автоматический анализ, различия между сортами, прикладные аспекты

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России и Программы ФНИ государственных академий наук по направлению X 10.4, по теме № 0773-2019-0022 «Разработка и совершенствование методов селекционной работы, создание исходного материала и адаптивных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных, декоративных культур и картофеля».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Нохрин Д.Ю., Уфимцева Л.В., Глаз Н.В. Оценка размеров и формы ягод с использованием программы ImageJ на примере жимолости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):204-212. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## BRIEF REPORTS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## Assessment of the size and shape of berries using the ImageJ program on the example of honeysuckle

Denis Yu. Nokhrin, Larisa V. Ufimtseva, Nikolai V. Glaz

*Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, Chelyabinsk, Russia***Corresponding author:** Denis Yu. Nokhrin, [nokhrin8@mail.ru](mailto:nokhrin8@mail.ru)

**Background.** Digital technologies are increasingly used in agriculture to solve a variety of problems. However, in horticulture and industrial production of fruit and berry crops, qualitative evaluation and scoring of the most important morphological indicators of fruits are still common, and measurements are carried out manually. The aim of this study was to develop an algorithm for using the ImageJ package for quick and accurate measurements of the size and shape of berries.

**Materials and methods.** The material included 190 berries of 3 blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivars: 'Amazonka', 'Lazurit', and 'Lenita'. The berries were laid out on a white sheet of paper with a ruler on top of the glass and photographed with additional lighting from below. The analysis of the obtained images was carried out using the public domain package ImageJ (v. 1.51k) and included automatic search for objects and their measurement by 7 indicators: area, perimeter, maximum and minimum Feret diameters, aspect ratio, circularity, and surface roundness (1-Solidity). Statistical analysis included the calculation of the minimum, maximum and mean values with a nonparametric 95% CI (bootstrap, percentile method), comparison of cultivars using the Kruskal–Wallis test, and search for the most typical objects based on the results of a between-group PCA.

**Results.** It was shown how the size and shape indicators from the ImageJ package related to classical measurements in pomology, including length, diameter, and berry shape index. For all indicators, the differences between cultivars were highly statistically significant ( $p < 0.001$ ). The prospects of using the surface roughness index for quantitative characterization of the degree of deviation of fruits from their natural shape due to mechanical and other deformations are discussed.

**Conclusion.** The results of the automatic image analysis in the ImageJ package can be used in horticulture, breeding, and production of fruits and berries.

**Keywords:** pomology, photography, automatic analysis, differences between cultivars, applied aspects

**Acknowledgements:** the work was carried out at the South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, as part of State Task X 10.4, theme No 0773-2019-0022 entitled: "Development and improvement of breeding work methods, development of source material and adaptive cultivars of cereals, grain legumes, fodder, fruit and berry crops, ornamental plants, and potatoes". The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Nokhrin D.Yu., Ufimtseva L.V., Glaz N.V. Estimation of the size and shape of berries using the ImageJ program on the example of honeysuckle. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):204-212. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## Введение

Успешные попытки использования цифровой фотографии для характеристик размеров и формы плодов известны с 1995 г. (White, Bailey, 1995), что совпало по времени с появлением первых и очень дорогих потребительских моделей цифровых фотокамер современного форм-фактора. Дальнейшее снижение стоимости аппаратного и программного обеспечения для обработки цифровых изображений и рост производительности компьютеров способствовали более широкому применению цифрового анализа изображений в сельском хозяйстве. В настоящее время такой анализ применяется для решения самого широкого спектра задач: визуализации и управления ростом растений, установления дефицита питательных веществ и степени повреждения вредителями, обнаружения сорняков, сортировки плодов и пр., а также входит в системы точного земледелия (Vibhute, Bodhe, 2012; Saxena, Armstrong, 2014).

В Российской Федерации переход к передовым цифровым технологиям обработки больших объемов данных является одной из приоритетных задач научно-технологического развития. Тем не менее в садоводстве и промышленном производстве плодово-ягодных культур до сих пор достаточно широко используется качественная (в том числе бальная) оценка целого ряда важнейших морфологических показателей плодов (Sedov, Ogotsova, 1999; GOST R 54778-2011..., 2020; GOST 33823-2016..., 2016; GOST R 58012-2017..., 2017; etc.). Такая оценка во многом зависит от индивидуального восприятия исследователя или контролера и является, во-первых, субъективной, а во-вторых, трудоемкой. Напротив, количественные показатели, получаемые в результате компьютерного анализа изображений, являются точными и требуют для получения намного меньше времени (Vibhute, Bodhe, 2012).

Для анализа размеров и формы объектов в биологии, медицине и сельском хозяйстве в настоящее время все шире используются специальные методы в рамках направления «геометрической морфометрии» (Vasilyev et al., 2018). Для них имеется открытое программное обеспечение, ориентированное на анализ либо размещаемых на объекте координат точек-ориентиров (ландмарк), либо непосредственно контуров объектов (аутлайнов) на основе эллиптического анализа Фурье (Iwata, Ukai, 2002; Schlager, 2017; Chuanromanee et al., 2019). Однако возможности традиционных морфометрических техник в помологии далеко не исчерпаны. Более того, для ряда традиционных задач необходимы именно стандартные промеры (длины, диаметры, индексы), но которые могут быть быстро получены, проанализированы и обобщены. Одной из самых популярных программ, позволяющих проводить такие измерения, является пакет ImageJ (ImageJ..., 2020).

ImageJ – это компьютерная программа с открытым исходным кодом для анализа и обработки изображений, написанная на языке Java командой сотрудников National Institutes of Health (США) во главе с Уэйном Расбандом. Она позволяет решать широкий круг задач: обнаруживать границы объектов, манипулировать с контрастностью и резкостью, проводить логические и арифметические операции между изображениями, анализ Фурье, медианное сглаживание, вычислять расстояния, площади, углы и многое другое. Функциональные возможности программы постоянно увеличиваются благодаря встраиваемым модулям (плагинам), написанным специалистами

ми со всего мира и находящимся в открытом доступе (ImageJ..., 2020). В настоящее время пакет широко применяется в качестве альтернативы проприетарному программному обеспечению в биомедицинских исследованиях, астрономии, географии и других дисциплинах, связанных с анализом изображений, а также все более активно используется в мировом садоводстве. Так, описан опыт применения ImageJ для анализа фенотипических вариаций листа декоративного кодиеума (Mollick, Yamasaki, 2012), оценки репродуктивных характеристик сортов винограда (Ibáñez et al., 2019), морфологии колоний патогенных штаммов бактериальной язвы киви (Jing et al., 2018) и др.

Цель данного исследования заключалась в разработке алгоритма применения программы ImageJ для быстрой и точной оценки размеров и формы ягод на примере различных сортов жимолости.

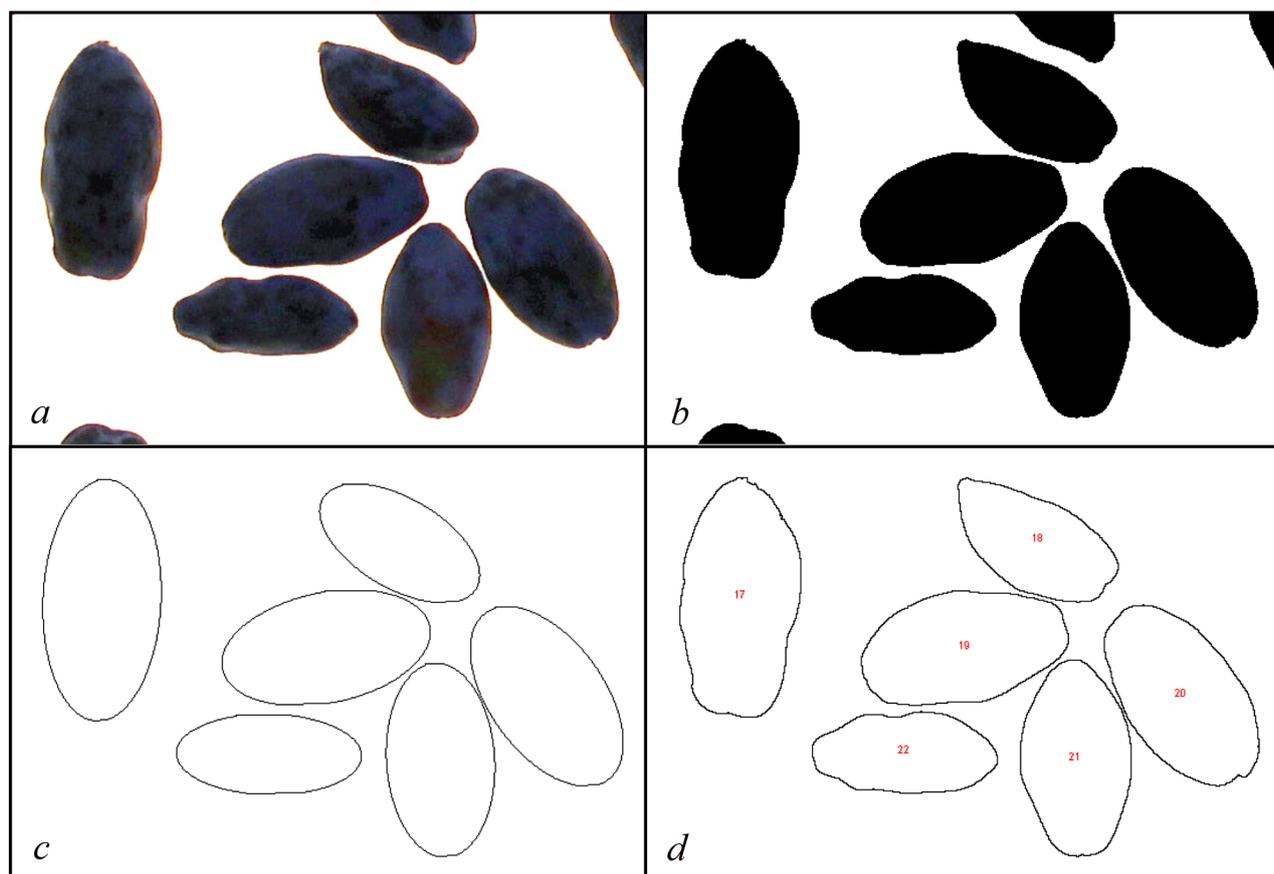
## Материалы и методы исследования

Исследования проведены в лаборатории инструментальных методов исследований Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства (ЮУНИИСК) – филиала Уральского федерального научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН). Материалом послужили 190 образцов ягод трех популярных сортов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) селекции ЮУНИИСК: 'Амазонка', 'Лазурит' и 'Ленита'.

Ягоды выкладывались на положенный поверх стекла белый лист бумаги с линейкой и распределялись так, чтобы они не соприкасались между собой. Фотоснимки делались на цифровую фотокамеру Canon EOS 1100D с расстояния 80 см сверху при равномерной подсветке снизу, обеспечивающей исключение формирования тени от ягод. Анализ полученных изображений проводился в пакете ImageJ (version 1.51k) и включал следующие этапы (рис. 1):

- 1) установка соотношения между размером объекта в пикселях и в мм (Analyze – Set Scale);
- 2) перевод цветного изображения в 8-битное в градациях серого цвета (Image – Type – 8-bit);
- 3) перевод 8-битного изображения в бинарное черно-белое (Image – Adjust – Threshold); для стандартизации обработки разных снимков использовался автоматический алгоритм нахождения порога на гистограммах распределения цвета;
- 4) задание набора показателей для измерения (Analyze – Set Measurements);
- 5) автоматическое нахождение и измерение объектов в модуле анализа частиц (Analyze – Analyze Particles);
- 6) сохранение обработанных изображений и цифровых результатов, с портированием последних в формат MS Excel и далее – в пакет PAST для статистической обработки.

В ходе статистического анализа полученных данных использовали методы описательной статистики, выборочных сравнений, корреляционный и многомерный анализ (Nokhrin, 2018). Для всех показателей размеров и формы ягоды рассчитывали: минимальное, максимальное и среднее значение с 95-процентным доверительным интервалом (95% CI), вычисленным процедурой непараметрического бутстрэпа (метод процентилей,  $n = 99999$ ), а также коэффициент вариации (CV). Сравнения сортов по всем показателям проводили с помощью *H*-критерия Краскела – Уоллиса. Для поиска наиболее ти-



**Рис. 1. Обработка изображения в пакете ImageJ:**

**a** – исходная фотография ягод; **b** – бинарное 8-битное изображение; **c** – приближение формы объектов эллипсами; **d** – контуры объектов для измерения

**Fig. 1. Image processing in the ImageJ package:**

**a** – the original photo of berries; **b** – the binary 8-bit image; **c** – the best fit ellipses of the objects; **d** – contours of objects for measurement

пичных образцов ягод каждого сорта по результатам анализа главных компонент для групповых различий (between-group PCA) находили по три объекта, факторные метки которых были наиболее близки к групповым центроидам в редуцированном до трех главных компонент пространстве. Расчеты выполнены в пакете PAST (version 4.01, (Hammer et al., 2001)). Статистически значимыми признавали различия при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

#### Характеристика показателей

Для характеристики размера и формы ягоды жимолости были использованы следующие показатели (Ferreira, 2012).

- 1) Area – площадь проекции (сечения).
- 2) Perimeter – периметр проекции (сечения).
- 3) Feret – диаметр Ферé максимальный. Соответствует наименьшему диаметру окружности, описанной около объекта, то есть наибольшей длине объекта (рис. 2a). Инструментально такая длина получается при измерении длины штангенциркулем и в pomологии называется *наибольшим линейным диаметром, продольным диаметром или длиной* ягоды.

- 4) MinFeret – диаметр Ферé минимальный. Соответствует меньшей стороне прямоугольника, описанного около объекта. Может быть получен при измерении штангенциркулем *поперечного диаметра* ягоды, который

в случае совпадения продольной осевой линии с максимальным диаметром Ферé будет *наибольшим поперечным диаметром* согласно ГОСТ Р 57976-2017 «Фрукты и овощи свежие. Термины и определения» (GOST R 57976-2017..., 2017). Такое совпадение возможно для круглых или овальных плодов, для которых диаметры Ферé являются одновременно осями эллипса (рис. 2b). В случае более сложной формы плодов, наблюдающихся в частности у некоторых сортов жимолости, диаметры Ферé могут не быть строго перпендикулярными (см. рис. 2a), что указывает на необходимость совершенствования терминологического и понятийного аппарата pomологии в современных условиях цифровизации научных исследований. В данном случае это означает, что обычная практика определения осевой линии плода и точность позиционирования штангенциркуля при ручном измерении не позволяют дифференцировать диаметры Ферé от осей эллипса, а отмеченное противоречие обнаруживается только при строгом компьютерном анализе изображений.

- 5) AR (Aspect Ratio) – отношение большой оси (Major Axis) к малой оси (Minor Axis) эллипса, максимально подогнанного к контуру объекта (см. рис. 2b). Для круглых или овальных плодов такое *отношение длины к диаметру* часто называют *индексом*. Для идеальной сферической формы плода значение индекса составляет 1, тогда как для изученных 190 экземпляров ягод жимолости оно варьировало от 1,4 до 2,4 (таблица). Отмеченное выше различие между диаметрами Ферé и осями эллипса

са переносится и на способ вычисления индекса ягоды. Так, его можно вычислить как отношение максимального диаметра Фере к минимальному (Ferret Ratio, FR), что будет технически точным, однако не всегда будет отношением длины к перпендикулярному ей диаметру. Также в качестве индекса ягоды можно использовать значение AR напрямую, что ближе к восприятию этого показателя растениеводами, однако в случае ягоды жимолости включает элемент моделирования – приближения реальной формы эллипсоидом. По нашим данным, результаты обоих способов вычисления индекса были очень близки: коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0,977$ ;  $p < 0,001$ ;  $AR > FR$  только на 2,7%. Поэтому в качестве индекса ягоды нами был выбран автоматически вычисляемый AR.

6) Circularity – округлость формы. Рассчитывается по формуле:

$$4\pi \times \frac{\text{Площадь}}{\text{Периметр}^2}$$

и изменяется от 0 (бесконечно вытянутый полигон) до 1 (круг). Полученные значения показателя округлости для ягод жимолости варьировали в узком диапазоне (чаще всего 0,7–0,8) и нуждались в округлении с точностью до тысячных долей единицы. Поэтому для удобства восприятия и анализа мы умножали этот показатель на 100. В таком виде он представляет собой величину округлости в процентах от идеального 100-процентного круга (см. таблицу).

7) Solidity – цельность, наполненность формы. Данный индекс представляет собой отношение площади объекта к площади выпуклого многоугольника (Convex hull), описанного около объекта (рис. 2с). Он будет тем ближе к 1, чем ровнее контур объекта, а минимальным будет для серповидных, звездчатых и прочих форм с сильно изрезанным контуром. Как и в случае с предыдущим показателем, его удобнее переводить в проценты

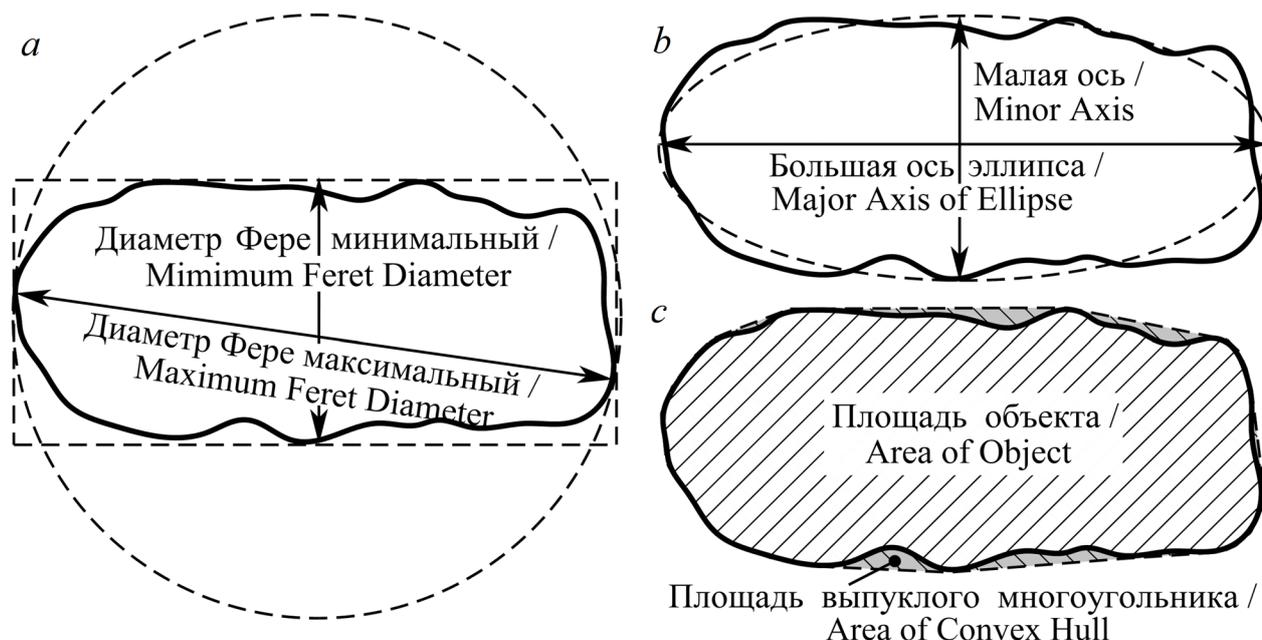
умножением на 100. Полагаем, что еще более полезным для практического использования будет противоположная величина –  $(1 - \text{Solidity}) \times 100\%$ , которая представляет собой *неровность поверхности* (в %) и на рисунке 2с закрашена серым цветом. Этот показатель будет изменяться от 0 (идеально ровный контур поверхности) в большую сторону и характеризовать генетически обусловленные или механически привнесенные деформации поверхности. Последнее представляется особенно перспективным для совершенствования технических регламентов путем дополнения или замены не всегда однозначных качественных характеристик внешнего вида строгими количественными показателями. Так, например, ГОСТ Р 58012-2017 «Жимолость свежая съедобная. Технические условия» (GOST R 5812-2017..., 2017) допускает поверхностные дефекты как для первого, так и для второго товарных сортов, а «незначительная утечка сока», являющаяся критерием для отнесения ко второму сорту, фактически наблюдалась нами даже у свежесобранных ягод, что было отчетливо видно по следам сока на белой бумаге в процессе фотографирования.

#### Различия сортов жимолости по размерам и форме ягод

Описательная статистика показателей размера и формы ягод для трех сортов жимолости по результатам автоматического анализа фотографий в программе ImageJ представлена в таблице.

По всем показателям различия были высоко статистически значимыми. По значениям *H*-критерия видно, что наиболее сильно сортовые различия проявились по индексу и округлости ягод, а менее сильно – по площади проекции. Наибольшая вариабельность (*CV*) наблюдалась по показателю неровности поверхности, а наименьшая – по округлости.

Сортовые особенности, обобщенные в таблице, хорошо видны на рисунке 3, где изображены контуры трех эк-



**Рис. 2.** Измерение размеров и формы объектов программой ImageJ: *a* – диаметры Фере; *b* – оси эллипса; *c* – площади. Пояснения – в тексте

**Fig. 2.** Measurement of the size and shape of objects using the ImageJ package: *a* – Feret diameters; *b* – axis of ellipse; *c* – area. Explanations are in the text

**Таблица. Показатели размера и формы ягод жимолости в исследовании**  
**Table. Indicators of the size and shape of honeysuckle berries in the study**

Показатели / Statistics	Амазонка / Amazonka (n = 68)	Лазурит / Lazurit (n = 54)	Ленита / Lenita (n = 68)
<b>Площадь проекции, мм<sup>2</sup> / Area of projection, mm<sup>2</sup> [<math>H_{(2)} = 18,6; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	72-210	102-201	66-194
$\bar{x}$	138	151	132
95% CI	131; 144	146; 157	126; 138
CV, %	18,6	13,3	20,1
<b>Периметр проекции, мм / Perimeter of projection, mm [<math>H_{(2)} = 26,7; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	33-62	43-59	32-56
$\bar{x}$	49,1	50,4	46,0
95% CI	47,8; 50,3	49,5; 51,4	44,8; 47,1
CV, %	10,8	7,0	10,6
<b>Диаметр продольный (длина), мм / Longitudinal diameter (length), mm [<math>H_{(2)} = 60,5; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	12-24	16-23	11-21
$\bar{x}$	18,9	19,6	16,7
95% CI	18,4; 19,4	19,2; 20,0	16,3; 17,1
CV, %	11,9	7,4	11,1
<b>Диаметр поперечный, мм / Cross diameter, mm [<math>H_{(2)} = 25,5; P &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	8-11	8-12	7-12
$\bar{x}$	9,5	10,3	10,0
95% CI	9,3; 9,7	10,1; 10,5	9,8; 10,3
CV, %	8,7	8,5	10,3
<b>Индекс ягоды, у.е. / Berry shape index [<math>H_{(2)} = 95,3; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	1,4-2,4	1,6-2,3	1,4-2,1
$\bar{x}$	2,08	1,93	1,71
95% CI	2,03; 2,12	1,89; 1,97	1,68; 1,75
CV, %	9,7	8,1	7,7

Таблица. Окончание  
Table. The end

Показатели / Statistics	Амазонка / Amazonka (n = 68)	Лазурит / Lazurit (n = 54)	Ленита / Lenita (n = 68)
<b>Округлость, % / Circularity, % [<math>H_{(2)} = 83,0; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	63–85	69–82	72–85
$\bar{x}$	71,4	74,6	77,8
95% CI	70,5; 72,3	73,8; 75,4	77,1; 78,5
CV, %	5,3	4,0	3,6
<b>Неровность поверхности, % / Surface roughness, % [<math>H_{(2)} = 33,7; P &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	1,8–6,0	1,7–6,2	1,6–5,8
$\bar{x}$	3,21	2,39	2,80
95% CI	2,99; 3,45	2,22; 2,61	2,62; 3,00
CV, %	29,8	31,2	28,7

Примечание: в квадратных скобках – значение  $H$ -критерия Краскела – Уоллиса и его значимость для различий между сортами  
Note: in square brackets is the value of the Kruskal–Wallis  $H$ -test and its significance for differences between cultivars

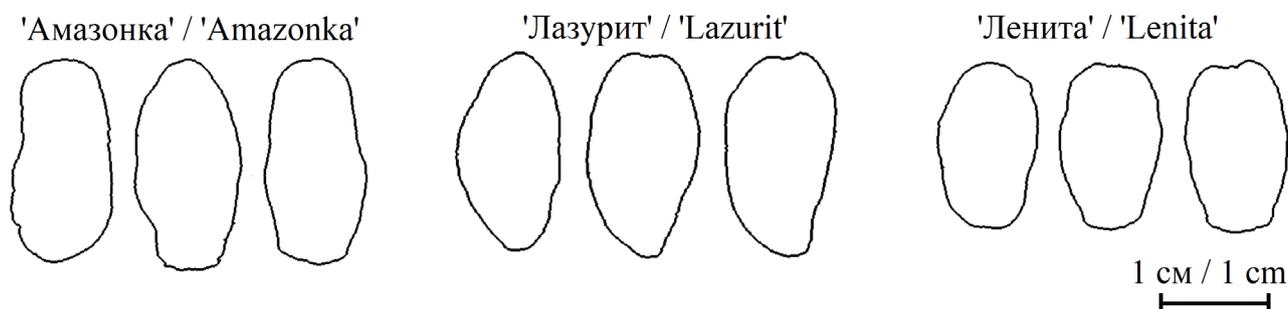


Рис. 3. Наиболее типичные экземпляры ягод жимолости по результатам многомерного анализа измерений размеров и формы в программе ImageJ

Fig. 3. The most typical specimens of honeysuckle berries according to the multivariate analysis of the size and shape measurements in ImageJ

землячков наиболее типичных ягод каждого сорта, найденные с использованием метода главных компонент для групповых различий. Он показывает, что выполненные в пакете ImageJ автоматические измерения легко поддаются статистической обработке и хорошо визуализируются с отражением сортовых особенностей размеров и формы. Так, например, видно, что наименьшими размерами по площади проекции и длине ягоды выделялся сорт 'Ленита', а наибольшими – 'Лазурит'. При этом сорт 'Амазонка' имел наибольшую неровность поверхности (3,21%), которая в данном случае является сортовым признаком и не может рассматриваться в качестве изменения формы в результате механического повреждения. Напротив, ровно такая же величина неровности поверх-

ности для сорта 'Ленита' с естественным значением 2,80% (95% ДИ от 2,62 до 3,00) указала бы на сильную степень деформированности ягод и снижение товарного сорта продукции. Таким образом, создаются предпосылки для разработки количественных оценок сохранности естественной формы плодов в свежем виде при оценке пригодности для переработки, в первую очередь для быстрой заморозки.

#### Перспективы использования методологии автоматического анализа изображений

Перечислим кратко те направления, в которые использование описанной технологии измерения размеров и формы плодово-ягодных культур может быть, по нашему мнению, интегрировано.

**Садоводство.** Использование количественных показателей размеров и формы для установления сортовой принадлежности культуры. Садоводы-любители сталкиваются с проблемой идентификации сортов культур, уже произрастающих на приобретенных участках. На основании изучения большого количества сортов могут быть составлены общедоступные цифровые коллекции с описаниями формы плодов и разработаны дискриминантные ключи или деревья классификации для отнесения плодов к конкретному сорту или к группе близких в селекционном отношении сортов с высокой вероятностью.

**Селекция.** Размер и форма плодов являются важнейшими сортовыми признаками и определяются генотипом сорта. Результаты автоматического количественного анализа размеров и формы облегчат контроль этих показателей селекционерами для отбора наиболее перспективных кандидатов. Также эти показатели способны обогатить и конкретизировать помологические описания сортов. Еще более широкие перспективы открываются для научного сопровождения селекционного процесса с учетом взаимодействий «генотип × среда» и отбором наиболее урожайных и экологически пластичных сортов (Vasiliev, Gasymov, 2019). Поскольку условия окружающей среды оказывают большое влияние на биологические признаки, год от года происходит их значительное варьирование. Так, например, в отношении жимолости нами было установлено влияние температуры в период формирования плодов на вкусовые характеристики и биохимический состав ягод (Ufimtseva, Glaz, 2018). Несомненно, что в результате взаимодействия «генотип × среда» морфологические признаки ягод также будут изменяться, а их контроль позволит выявлять сорта с хорошо прогнозируемым качеством продукции по внешним признакам.

**Переработка.** Выше уже была отмечена возможность количественного контроля степени деформированности плодов. Такие деформации могут указывать на механические повреждения при сборе, транспортировке и упаковке продукции, а также могут быть вызваны вредителями или являться следствием болезни растения – все эти отклонения от естественной формы плода укажут на снижение товарного сорта продукции. В переработанной путем заморозки продукции возможен контроль как деформированности, так и неравномерности ягод по величине, а также их смерзания в комки. В последнем случае результаты измерений будут содержать аномально крупные объекты, которые могут быть легко выявлены уже при визуальном контроле гистограмм распределения размерных показателей продукции. С использованием статистических техник обнаружения выбросов и разделения смеси распределений доля таких аномальных объектов может быть вычислена в процентах и напрямую использоваться в классификации качества продукции согласно ГОСТ 33823-2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия» (ГОСТ 33823-2016..., 2016). Следует отметить, что в ImageJ легко реализовать и цветовой контроль продукции для выявления доли обесцвеченных и частично обесцвеченных плодов, незрелых зеленых плодов. А в части классических промеров скорость и точность автоматических измерений являются поистине революционными, поскольку анализ десятков и сотен объектов по длине, диаметру и индексу ягоды от момента получения снимка до пригодного для статистической обработки цифрового массива данных занимает несколько минут.

## Заключение

Находящаяся в открытом доступе программа ImageJ позволяет за короткое время получить данные о размерах и форме всех находящихся в кадре объектов, включая такие стандартные в помологии показатели, как длина, диаметр и индекс ягоды. Велики перспективы использования показателя неровности поверхности, поскольку он может быть использован для количественной характеристики степени отклонения плодов от естественной формы вследствие механических и иных деформаций, снижающих категорию сортности продукции. Результаты анализа изображений в программе ImageJ могут найти применение в садоводстве, селекции и переработке плодово-ягодной продукции.

## References / Литература

- Chuanromanee T.S., Cohen J.I., Gillian L. Ryan G.L. Morphological analysis of size and shape (MASS): An integrative software program for morphometric analyses of leaves. *Applications in Plant Sciences*. 2019;7(9):e11288. DOI: 10.1002/aps3.11288
- Ferreira T., Rasband W. ImageJ user guide: IJ 1.46r Revised edition. 2012. Available from: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf> [accessed July 13, 2020].
- ГОСТ 33823-2016. Frozen fruits. General specifications (Frukty bystrozamorzhenyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya). Moscow: Standartinform; 2016. [in Russian] (ГОСТ 33823-2016. Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2016). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293752/4293752544.pdf> [дата обращения: 17.03.2022].
- ГОСТ R 54778-2011. Machines for harvesting fruits and berries. Test methods (Mashiny dlya uborki plodov i yagod. Metody ispytaniy). Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ Р 54778-2011. Машины для уборки плодов и ягод. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2020). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/514/51463.pdf> [дата обращения: 17.03.2022].
- ГОСТ R 57976-2017. Fruits and vegetables. Terms and definitions (Frukty i ovoshchi svezhiye. Terminy i opredeleniya). Moscow: Standartinform, 2016. [in Russian] (ГОСТ Р 57976-2017. Фрукты и овощи свежие. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2017). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740749.pdf> [дата обращения: 18.03.2022].
- ГОСТ R 58012-2017. Fresh edible honeysuckle. Specifications (Zhimolost svezhaya syedobnaya. Tekhnicheskiye usloviya). Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ Р 58012-2017. Жимолость свежая съедобная. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2017). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740841.pdf> [дата обращения: 18.03.2022].
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):4.
- Ibáñez S., Grimplet J., Baroja E., Hernaiz S., Ibáñez J. Characterization of the reproductive performance of a collection of grapevine cultivars. *Acta Horticulturae*. 2019;1248:345-352. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.50
- ImageJ. Image processing and analysis in Java: [site]. Available from: <https://imagej.nih.gov/ij> [accessed July 13, 2020].
- Iwata H., Ukai Y. SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier description. *Journal of Heredity*. 2002;93(5):384-385. DOI: 10.1093/jhered/93.5.384

- Jing Z.B., Yao C.C., Liu Z.D. Isolation and identification of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in Shaanxi Province, China. *Acta Horticulturae*. 2018;1218:279-286. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1218.38
- Mollick A.S., Yamasaki H. Phenotypic variations in croton *Codiaeum variegatum* (L.) Blume characterized by digital image-based procedure. *Acta Horticulturae*. 2012;937:393-400. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.937.48
- Nokhrin D.Yu. Laboratory workshop on biostatistics (Laboratory praktikum po biostatistike). Chelyabinsk: Chelyabinsk State University; 2018. [in Russian] (Нохрин Д.Ю. Лабораторный практикум по биостатистике. Челябинск: Челябинский государственный университет; 2018).
- Saxena L., Armstrong L. A survey of image processing techniques for agriculture. 2014. Available from: <https://ro.ecu.edu.au/ecuworkspost2013/854> [accessed July 13, 2020].
- Schlager S. Morpho and Rvcg – Shape analysis in R: R-packagess for geometric morphometrics, Shape analysis and surface manipulations. In: G. Zheng, Sh. Li, G. Székely (eds). *Statistical Shape and Deformation Analysis: Methods, Implementation and Applications*. Cambridge, MA: Academic Press; 2017. p.217-256. DOI: 10.1016/B978-0-12-810493-4.00011-0
- Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPК; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Ufimtseva L.V., Glaz N.V. The influence of meteorological conditions on the biochemical composition and taste of the fruit. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2018;55:151-159. [in Russian] (Уфимцева Л.В., Глаз Н.В. Влияние метеорологических условий на биохимический состав и вкус плодов жимолости. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2018;55:151-159). DOI: 10.31676/2073-4948-2018-55-151-159
- Vasiliev A.A., Gasymov F.M. Environmental plasticity of various plum cultivars under the conditions of Chelyabinsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):25-29. [in Russian] (Васильев А.А., Гасымов Ф.М. Экологическая пластичность сортов сливы в условиях Челябинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):25-29). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-25-29
- Vasilyev A.G., Vasileva I.A., Shkurikhin A.O. Geometric morphometrics: from theory to practice. Moscow: КМК; 2018. [in Russian] (Васильев А.Г., Васильева И.А., Шкурихин А.О. Геометрическая морфометрия: от теории к практике. Москва: КМК; 2018).
- Vibhute A., Bodhe S.K. Applications of image processing in agriculture: A survey. *International Journal of Computer Applications*. 2012;52(2):34-40.
- White A.G., Bailey D.G. Digital imaging; A useful technique for analysing fruit shape in pears. *Fruit Varieties Journal*. 1995.49(4):224-226.

#### Информация об авторах

**Денис Юрьевич Нохрин**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, nokhrin8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-2338>

**Лариса Викторовна Уфимцева**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, uyniisk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

**Николай Владимирович Глаз**, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, nikolai-glaz1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

#### Information about the authors

**Denis Yu. Nokhrin**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, nokhrin8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-2338>

**Larisa V. Ufimtseva**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, uyniisk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

**Nikolai V. Glaz**, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, nikolai-glaz1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 24.07.2020; одобрена после рецензирования 04.07.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 24.07.2020; approved after reviewing on 04.07.2022; accepted for publication on 06.09.2022.

## Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зернобобовым культурам за 1963–2022 гг. и кормовым культурам за 1961–2019 гг.

### Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on grain legumes for 1963–2022 and fodder crops for 1961–2019

Издательская деятельность Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, на базе которого в 2022 году образован Национальный центр генетических ресурсов растений, началась в 1908 году и продолжается по сей день.

Начиная с 1961 года прошлого века ВИР издает серию «Каталог мировой коллекции ВИР», имеющую первоначальное название «Каталог - справочник мировой коллекции ВИР». Название серии на английском языке *Catalogue of the VIR Global Collection*, с 2018 года выходные данные каждого выпуска и аннотация представлены параллельно на русском и английском языке.

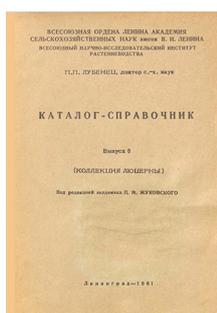
Данная серия в течение более 60 лет имеет свою специализированную аудиторию, все выпуски представляют единый систематизированный и документированный массив информации по изучению, сохранению и пополнению уникальной коллекции мировых генетических ресурсов ВИР. Выпуски данной серии по отдельным культурам нашли широкое применение в работе с генетическими ресурсами растений в области семеноводства и селекции, физиологии, биохимии, генетики, защиты растений, молекулярной биологии, биотехнологии.

В большинстве случаев, авторами (составителями) выпусков являются кураторы таксономических и тематических коллекций ВИР, ответственные за формирование, учет, документирование, содержание, сохранение и популяризацию коллекций генетических ресурсов растений.

Каждый отдельный выпуск данной серии подлежит обязательному рецензированию. Научную экспертизу авторских материалов с целью определения возможности их публикации обеспечивают ведущие ученые и специалисты, имеющие близкую к теме научную специализацию. С 2022 года для издания каталога обязательным требованием является наличие не менее двух авторитетных рецензентов. Сведения о рецензентах указываются в выходных данных издания.

Серия «Каталог мировой коллекции ВИР» / *Catalogue of the VIR Global Collection* предназначена для селекционеров, специалистов растениеводов для решения практических задач в селекции и семеноводстве, научных работников, осуществляющих фундаментальные и прикладные научные исследования, а также для учебных целей. Издания серии способствуют раскрытию потенциала мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР, гербарной коллекции ВИР (WIR), как важной части российских биоресурсных коллекций (БРК).

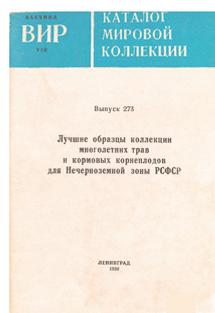
Редакция журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» с целью отражения многолетней издательской деятельности ВИР, привлечения дополнительного внимания к серии «Каталог мировой коллекции ВИР» / *Catalogue of the VIR Global Collection* и уточнения для авторов научных статей номеров и названий выпусков серии, приняла решение опубликовать «Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зернобобовым культурам за 1963–2022 гг.» и «Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по кормовым культурам за 1961–2019 гг.». Для удобства пользования материал расположен в хронологическом порядке, по номерам выпусков. Мы надеемся, что список окажется полезным нашим читателям и авторам научных статей.



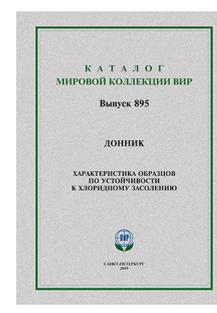
Выпуск 6



Выпуск 125



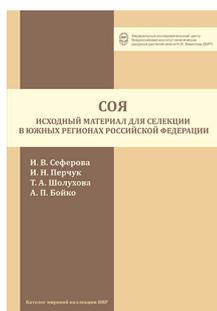
Выпуск 273



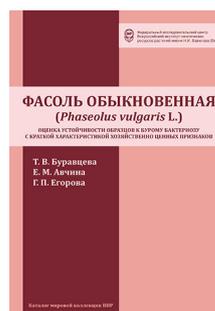
Выпуск 895



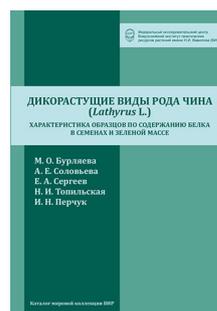
Выпуск 910



Выпуск 911



Выпуск 912



Выпуск 916

**Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зернобобовым культурам за 1963–2022 гг.**  
**Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on grain legumes crop for 1963–2022**

1. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 10. Горох (зернового использования) / Р.Х. Макашева; под редакцией Н.Р. Иванова; Министерство сельского хозяйства СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1963. 102 с.
2. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 12. Люпин / С.И. Степанова; под редакцией Н.Р. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1963. 46 с.
3. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 16. Фасоль / И.И. Мирошниченко; под редакцией Н.Р. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1964. 136 с.
4. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 20. Чечевица / З.А. Лузина; под редакцией Н.Р. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1964. 106, [1] с.
5. Каталог - справочник [мировой коллекции ВИР]. О новых образцах коллекции ВИР / редакторы: З.Д. Артюгина, Р.Х. Макашева, М.М. Якубцинер; ответственный за выпуск З.Д. Артюгина; под редакцией Д.Д. Брежнева; [составители: по ягодным культурам: А.В. Мосолова, В.А. Чикова; по декоративным культурам: Т.Г. Тамберг]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1966. 122 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР; вып. 1). Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 29-49).
6. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 32. Каталог образцов мировой коллекции ВИР, перспективных в условиях орошения / редакторы: Р.Х. Макашева, И.К. Иорданова, Р.А. Удачин, Ю.Н. Щербаков; ответственный за выпуск Р.Х. Макашева; под общей редакцией Д.Д. Брежнева; [составители: по зернобобовым культурам: О.П. Адамова, В.И. Буданова, Н.И. Глушенкова, Н.И. Корсаков, А.М. Павлова; русская транскрипция названий иностранных сортов дана Б.Я. Розеном]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1967. 134 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 57-69).
7. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 43. О новых образцах коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции ВИР: (К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков), заведующие Павловского и Майкопского интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Ю.М. Данилевич); ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 53, [1] с. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 25-39).
8. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 45. Гербарий Всесоюзного научно-исследовательского института им. Н.И. Вавилова / составители: В.А. Борковская, С.С. Восканьян; под редакцией В.В. Никитина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 91, [1] с.: фот. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 26-30).
9. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 59. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, Ю.Н. Щербаков); ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 98 с. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 37-45).
10. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 63. Посевная вика / подготовлен Л.В. Леокене; под редакцией Н.Р. Иванова / ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 129, [1] с.: табл.
11. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 65. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицына, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), заведующие интродукционно-карантинных питомников: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун, Ю.М. Данилевич, О.В. Еременко); под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 109 с. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 50-63).
12. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 66. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, собранных зарубежными экспедициями ВИР в 1968–1969 гг. / составители: С.Н. Бахарева, Ф.В. Гуревич, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 172, [1] с.
13. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 74. Нут / составитель А.М. Павлова; под редакцией Н.Р. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1971. 53, [1] с.
14. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 80. Вигна / составитель А.М. Павлова; под общей редакцией Н.Р. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1972. 29, [1] с.
15. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 84. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицына, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), сотрудники интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун); под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1971. 79, [1] с. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 31-40).
16. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 96. Соя / составитель Н.И. Корсаков; под редакцией Н.Р. Иванова; [составителем использованы материалы: В.Б. Енкена, М.А. Матюкевича, А.Г. Септо, П.П. Булах, И.Н. Федоренко, С.И. Годуновой, А.И. Ермакова, М.И. Смирновой-Иконниковой, В.Г. Конарева, И.П. Гаврилюк, С.Т. Сатбалдиной, М.Л. Аристарховой, Л.Н. Матвиенко]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1972. 116 с.: табл.
17. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 107. Бобы / каталог подготовили: Р.Б. Демина, И.И. Мирошниченко; [в изучении коллекции бобов принимали участие: Л.Н. Матвиенко (Московское отделение ВИР), В.С. Архипов (Екатерининская опытная станция ВИР)]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1973. 113, [1] с.
18. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1970 году. Вып. 110 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1973. 243, [1] с.: табл.
19. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 115. Каталог генетической коллекции сои / составитель Н.И. Корсаков; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1973. 69 [1] с.: табл.
20. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 116. Соя: (исходный материал для селекции на химический состав семян и устойчивость против болезней) / составители: Н.И. Корсаков, В.Э. Альберт; [использованы материалы отдела биохимии ВИР (зав. отделом А.И. Ермаков), сотрудников ВИР: П.П. Булах, С.И. Жуковской, Л.В. Васильевой]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1973. 65 [1] с.: табл.

21. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 120. Зерновые бобовые культуры : (исходный материал для селекции на повышенное содержание белка в семенах) / подготовил Н.И. Корсаков ; [отдельные разделы написаны: Н.И. Корсаков (вступительная часть), Р.Б. Демина (бобы), Л.В. Леокене (вика), Р.Х. Макашева (горох), О.П. Адамова (горох), С.И. Степанова (люпин), И.И. Мирошниченко (нут), Н.И. Корсаков (соя), В.Э. Альберт (соя), В.И. Буданова (фасоль), Т.А. Волузнева (чечевица)] ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1973. 71 [1] с.

22. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 122. Таксоны зерновых бобовых культур и их диких сородичей / составитель Н.И. Корсаков ; редактор О.Н. Бондаренко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1973. 241, [1] с.

23. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 125. Зерновые бобовые культуры : (исходный материал для селекции на устойчивость против болезней) / составитель Н.И. Корсаков ; [отдельные разделы написаны: Л.В. Леокене (вика), Р.Х. Макашева (горох), О.П. Адамова (горох), С.И. Степанова (люпин), И.И. Мирошниченко (нут, чина), Т.А. Волузнева (чечевица), В.И. Буданова (фасоль), А.А. Голубев (введение), Н.И. Корсаков (введение)] ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 67, [3] с.

24. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1971 г. Вып. 126 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 245, [1] с. : табл.

25. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1972 г. Вып. 136 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 307, [1] с. : табл.

26. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 141. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1973 году / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1975. 214, [1] с. : табл.

27. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 155. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1974 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1975. 219, [1] с. : табл.

28. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 165. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1975 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1976. 156 с. : табл.

29. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 188. Генетические исходники для решения актуальных проблем селекции сельскохозяйственных культур / [составители: Р.Х. Макашева (горох), Н.И. Корсаков (соя), К.А. Белехова (соя)] ; ответственный редактор А.Я. Трофимовская ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 157, [1] с. : табл. Из содерж.: (Горох. С. 131-138; Соя. С. 139-141).

30. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 189. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1976 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 203, [1] с. : табл.

31. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 196. Зерновые бобовые культуры : (исходный материал для селекции в Нечерноземной зоне) / составители: Р.Х. Макашева, Р.Б. Демина, Л.В. Леокене, О.П. Адамова, С.И. Степанова, Т.А. Волузнева ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 69, [1] с.

32. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 205. Экспресс-информация о новых образцах / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова), заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 82, [2] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 28-46).

33. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 214. Результаты предварительной оценки сортов сельскохозяйственных культур Западной Африки / составитель С.Н. Бахарева ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 112 с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры: соя, фасоль, вигна. С. 5-16).

34. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 226. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1977 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 133, [1] с. : табл.

35. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 230. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, Ю.Н. Щербаков, В.А. Чикова, Н.К. Петрова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, Г.Н. Павлов, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 95, [1] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 27-46).

36. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 242. Устойчивость проростков люпина к пониженным температурам / составители: Э.А. Барашкова, С.И. Степанова, В.С. Смирнова ; под редакцией Г.В. Удовенко, Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 36, [2] с. : табл.

37. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 243. Зерновые бобовые культуры / составители: Н.И. Корсаков, Р.Х. Макашева, Л.В. Леокене, В.И. Буданова, С.И. Степанова, Р.Б. Демина, Т.А. Волузнева, Т.Б. Томилина ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 60 с.

38. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 252. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1978 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 245, [3] с. : табл.

39. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 266. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под

редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 109, [3] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 31-45).

40. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 268. Устойчивые к инфекционным болезням сорта и образцы сельскохозяйственных растений / подготовлен научными сотрудниками отдела иммунитета ВИР ; ответственный составитель В.И. Кривченко ; под редакцией Д.Д. Брежнева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 164, [2] с. : табл. Из содерж.: (Голубев А.А. Источники устойчивости зерновых бобовых культур к болезням. С. 71-79; Никитина К.В. Образцы бобовых культур, устойчивые к бактериальным болезням. С. 80-82).

41. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 274. Перечень таксонов, поступивших в Гербарий ВИР из-за рубежа с 1968 по 1977 г. / составитель Н.И. Белозор ; под редакцией О.Н. Коровиной ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 59, [1] с.

42. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 277. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1979 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 197, [1] с. : табл.

43. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 284. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.В. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 126 с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 88-107).

44. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 285. Фасоль : (оценка засухоустойчивости образцов) / составители: В.И. Буданова, Н.Н. Кожушко ; под редакцией: Г.В. Удовенко, Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 31, [1] с. : табл.

45. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 292. Соя / составители: Н.И. Корсаков, Т.Б. Томилина ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 101, [1] с. : табл.

46. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 305. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1980 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 110, [2] с. : табл.

47. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 312. Новые образцы зерновых бобовых культур / составители: В.И. Буданова (фасоль), Т.А. Волузнева (чечевица), Р.Б. Демина (бобы, нут), Н.И. Корсаков (soя), Л.Г. Щелко (soя), Т.Б. Томилина (soя), Р.Х. Макашева (горох), К.А. Белехова (горох), О.И. Романова (горох), С.И. Репьев (вика), Б.И. Макаров (вика), С.И. Степанова (люпин), М.Л. Байда (люпин) ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 62, [1] с.

48. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 321. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.В. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 108 с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 34-50).

49. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 322. Растительные ресурсы Советского Союза (экспедиции ВИР в 1971–1980 годах) / составители: Э.Т. Мещерова, К.А. Кобылянская ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 125, [3] с. : табл.

50. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 323. Чечевица французская : (оценка засухо- и жароустойчивости образцов) / составители: Т.А. Волузнева, Н.Н. Кожушко, А.М. Волкова, С.В. Чернышева, Н.Н. Андреева ; под редакцией Н.И. Корсакова, Г.В. Удовенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 33, [1] с. : табл.

51. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 326. Фасоль : (оценка образцов на содержание белка) / составители: В.И. Буданова, В.В. Колотилова, А.С. Колотилова ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 22, [2] с. : табл.

52. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 327, ч. 1. Каталог типов таксонов растений, хранящихся в гербарии ВИР / составители: О.Н. Коровина, Н.И. Белозор, Ю.А. Доронина, Е.А. Костерина ; под редакцией О.Н. Коровиной ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 18, [2] с.

53. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 339. Образцы сои с характеристикой содержания белка и метионина в семенах / составители: З.В. Чмелева, Л.Н. Ермолаева, Н.И. Корсаков, Л.Г. Щелко ; под редакцией В.Г. Конарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 93, [1] с. : табл.

54. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 342. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1981 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 97, [1] с. : табл.

55. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 351. Дикие сородичи культурных растений Среднеазиатского генцентра / составитель О.Н. Коровина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 98, [2] с. : карт.

56. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 355. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 104 с. Из содерж.: (Зернобобовые культуры. С. 63-75).

57. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 356. Информация о зарубежных экспедициях и командировках ВИР в 1971–1980 гг. / составители: Э.Т. Мещерова, К.А. Кобылянская ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 39, [1] с. : табл.

58. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 365. Соя : (исходный материал для селекции сои в Приамурье) / составители: Н.И. Корсаков, Л.К. Малыш, Т.П. Рязанцева, Е.Н. Мельникова, Л.Г. Щелко ; под редакцией Н.И. Корсакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1983. 278, [2] с. : ил.

59. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 371. Соя : (оценка засухоустойчивости образцов на ранних этапах развития) / составители: Н.Н. Кожушко, Л.Г. Щелко, Л.А. Буланова; под редакцией Г.В. Удовенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 39, [1] с. : табл.

60. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 379. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1982 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 83, [1] с. : табл.

61. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 380. Соя : (исходный материал для селекции сои при орошении в Поволжье) / составители: С.М. Соколов, Н.И. Корсаков, Л.Г. Щелко; под редакцией Л.Г. Щелко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 46, [2] с.

62. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 381. Новые образцы зерновых бобовых культур / составители: В.И. Буданова, Т.В. Буравцева, Л.В. Лагутина, Т.А. Волузнева, Р.Б. Демина, Р.Х. Макашева, К.А. Белехова, О.И. Романова, С.И. Репьев, Б.И. Макаров, В.А. Рыбникова, С.И. Степанова, Н.С. Назарова, М.Л. Байда, Л.Г. Щелко, Ф.Т. Тарба, Т.Б. Томилина; под редакцией С.И. Репьева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 64, [2] с.

63. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 389. Доноры и источники важнейших хозяйственно-ценных признаков культурных растений для решения актуальных проблем селекции / составители: В.Ф. Дорофеев, В.А. Вершинина, К.С. Горская [и др.]; [составители: зерновые бобовые культуры: К.А. Белихова, В.И. Буданова, П.П. Булах, Т.А. Волузнева, Р.Б. Демина, Б.И. Макаров, Р.Х. Макашева, С.И. Репьев, О.И. Романова, С.И. Степанова, Л.Г. Щелко]; под редакцией: В.Ф. Дорофеева, В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 267, [1] с.

64. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 391. Вика посевная : (содержание белка в зеленой массе) / составители: С.И. Репьев, Н.И. Лукина, В.А. Рыбникова, Л.В. Леокене, Б.И. Макаров; под редакцией В.И. Будановой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 53, [1] с. : табл.

65. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 394. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1983 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 100 с. : табл.

66. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 395. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Е.П. Гогун, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, О.З. Сытник; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 122, [2] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 75-89).

67. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 407. Вика посевная : (содержание белка и метионина в семенах) / составители: З.В. Чмелева, Л.Н. Ермолаева, А.Е. Малофеева, С.И. Репьев, Л.В. Леокене, В.А. Рыбникова, Б.И. Макаров; под редакцией В.Г. Конарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 77, [1] с. : табл.

68. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 416. Люпин : (оценка образцов на содержание белка в семенах) / составители: М.Л. Бернацкая, С.И. Степанова; под редакцией С.И. Репьева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 19, [1] с. : табл.

69. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 418. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, Е.И. Федоренко; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 133, [3] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 78-97).

70. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 423. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 131, [5] с. : табл.

71. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 433. Вика озимая / составители: В.А. Рыбникова, О.И. Балацкая, Е.П. Максимова; под редакцией С.И. Репьева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 96, [4] с. : табл.

72. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 441. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Ф.Т. Цангас, Н.С. Несмеянова, В.А. Полякова, Л.Г. Тарасовская, Е.И. Федоренко; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1986. 145, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 82-100).

73. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 444. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1985 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 66, [2] с.

74. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 447. Люпин : (оценка образцов на устойчивость к фузариозу) / составители: И.И. Киселев, Б.С. Курлович, С.И. Степанова; под редакцией Н.М. Чекалина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 89, [1] с. : табл.

75. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 448. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1986 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, И.Г. Шмараев, Н.М. Зотева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, Т.А. Комарова, В.А. Полякова; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 141, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 63-100).

76. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 451. Вика посевная : (скороспелые образцы) / составители: С.И. Репьев, Л.В. Леокене, В.А. Рыбникова, Б.И. Макаров, Е.Г. Высоцкая; под редакцией Н.М. Чекалина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 37, [1] с. : табл.

77. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 461. Чечевица : (устойчивость образцов к фузариозу и ботритиозу) / составители: А.А. Голубев, Т.А. Волузнева, В.С. Архипов, Н.Н. Андреева; под редакцией В.И. Кривченко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 25, [1] с. : табл.

78. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 462. Горох : (устойчивость образцов к болезням и вредителям) / составители: А.А. Макашева, А.А. Голубев, И.И. Яньков; под редакцией В.И. Кривченко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 25, [1] с. : табл.

79. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 466. Нут : характеристика засухоустойчивости и солестойкости образцов на проростках / составители: С.В. Чернышева, Н.Н. Кожушко, Г.В. Давыдова, С.В. Булынец, Р.Б. Демина, У.Я. Геллер, В.П. Демченко, З.Ю. Тетер; под

редакцией Э.А.Барашковой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1988. 28, [2] с.: табл.

80. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 473. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1988. 135, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 43-72).

81. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 487. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, И.Г. Шмараев, Т.Н. Кожанова, М.Х. Галаев; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 36, [1] с.: табл.

82. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 494. Фасоль: (характеристика содержания белка и других хозяйственно ценных признаков сортов Молдавской ССР) / составители: И.И. Бенкен, Р.Г. Горбачева, В.И. Буданова, Л.В. Лагутина; под редакцией Н.П. Ярош; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 16, [2] с.: табл.

83. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 495. Фасоль: (оценка образцов на содержание белка и другие хозяйственно ценные признаки) / составители: В.В. Колотилов, В.В. Подвезько, Т.В. Буравцева, А.С. Колотилова; под редакцией Н.П. Ярош; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 24, [2] с.: табл.

84. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 496. Люпин белый – *Lupinus albus* L.: (биохимическая характеристика образцов) / составители: З.В. Чмелева, И.И. Бенкен, В.И. Лавринова, А.Е. Малофеев, А.В. Варич, Л.Т. Картузова, Б.С. Курлович, Н.С. Назарова, С.И. Пилипенко; под редакцией В.Г. Конарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 50, [2] с.: табл.

85. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 497. Сорта сельскохозяйственных культур селекции Дальневосточной опытной станции / составители: А.Н. Тимофеев, В.П. Царенко, А.К. Новоселов, В.Т. Богинич, Н.М. Бочкарникова, Р.И. Живчикова, П.П. Булах, Л.П. Толкачева, Л.А. Новоселова, О.Т. Слободчикова, А.Ш. Сабитов; под редакцией В.П. Царенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 71, [1] с.: ил. Из содерж.: Районированные сорта: (Соя. С. 4-6).

86. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 501. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксюзян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 159, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 49-89).

87. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 511. Люпин желтый: (характеристика образцов по аминокислотному составу суммарного белка семян) / составители: М.Л. Бернацкая, Б.С. Курлович, З.В. Шошина; под редакцией З.В. Чмелевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всесоюзный научно-исследовательский институт люпина. Ленинград: ВИР, 1990. 24, [2] с.: табл.

88. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 516. Чечевица: (характеристика качества семян и хозяйственных признаков) / составители: Т.А. Волузнева, З.В. Чмелева, Р.К. Прорешнева, Н.Н. Андреева, В.С. Архипов; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 17, [3] с.: табл.

89. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 519. Сельскохозяйственные растения и их сородичи Северной Америки / составитель Ю.Н. Щербаков; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 333, [3] с.: ил., [1] л. карт. Из содерж.: (Люпин. С. 12-42; Фасоль. С. 88-90).

90. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 520. Люпин узколистный: (характеристика образцов по элементам семенной продуктивности) / составители: В.А. Рыбникова, А.А. Рудникова; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 15, [1] с.: табл.

91. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 529. Вика посевная / составители: С.И. Репьев, В.А. Рыбникова, Л.В. Леокене, Б.И. Макаров, С.В. Золотов, Ю.Ю. Романова, Е.Г. Высоцкая; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 92, [2] с.: табл.

92. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 533. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1989 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 44, [2] с.: табл.

93. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 534. Чечевица: (содержание белка в семенах и другие хозяйственные признаки) / составители: Т.А. Волузнева, И.И. Бенкен, Р.Г. Горбачева, Н.Н. Андреева, В.С. Архипов; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 35, [1] с.: табл.

94. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 536. Фасоль обыкновенная / составители: В.И. Буданова, Л.В. Лагутина, М.В. Петрова, Т.В. Буравцева; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 204, [2] с.

95. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 537. Люпин: (оценка образцов на устойчивость к фузариозу на инфекционных фонах) / составители: Б.С. Курлович, Л.Т. Картузова, Н.С. Корнейчук, И.И. Киселев, Н.С. Назарова, С.И. Пилипенко; под редакцией Б.С. Курловича; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 50, [2] с.: табл.

96. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 540. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксюзян, Ф.Т. Цангас, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 102, [2] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 31-47).

97. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 555. Соя: (исходный материал для селекции сои на юге Украины) / составители: Б.И. Сичкар, А.П. Луговой, О.И. Ганжело, Л.Г. Щелко; под редакцией С.И. Репьева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 51, [1] с.: табл.

98. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 562. Информация о внутрисоюзных и зарубежных экспедициях ВИР в 1981–1985 г. / составитель К.А. Кобылянская; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1990. 67, [1] с.: табл.

99. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 568. Виды люпина: (биохимическая характеристика образцов) = [Люпин: (биохимическая характеристика образцов)] / составители: З.В. Чмелева, И.И. Бенкин, Б.С. Курлович, А.Е. Малофеева, Н.О. Голубева,

В.И. Лавринова, Е.А. Баранова, Н.В. Варич, Л.Т. Картузова, М.А. Никишкина, В.Н. Котельников, Н.Н. Фролова ; под редакцией В.Г. Конарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 43, [1] с. : табл.

100. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 571. Горох : (устойчивость образцов к болезням и вредителям) / составители: Р.Х. Макашева, А.А. Голубев, И.И. Яньков ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 47, [1] с. : табл.

101. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 577. Люпин желтый : (характеристика образцов по фракционному составу белка, аминокислотному составу фракций и содержанию ингибитора трипсина в семенах) / составители: М.Л. Бернацкая, Б.С. Курлович, З.В. Шошина, Т.В. Иванченкова ; под редакцией И.И. Бенкен ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всесоюзный научно-исследовательский институт люпина. Ленинград : ВИР, 1991. 22, [2] с. : табл.

102. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 586. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1990 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Н. Делюкина, М.А. Гриценко ; под редакцией С.Н. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 63, [1] с. : табл.

103. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 602. Горох : (устойчивость образцов к болезням и вредителям) / составители: Р.Х. Макашева, А.А. Голубев, И.И. Яньков ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 55, [1] с. : табл.

104. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 606. Фасоль : (оценка образцов на развариваемость и другие хозяйственно ценные признаки) / составители: В.В. Колотилов, Т.В. Буравцева, А.С. Колотилова, Е.С. Киктенко, Н.Т. Панасенко ; под редакцией Б.С. Курловича ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 19, [1] с. : табл.

105. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 637. Люпин узколистный – *Lupinus angustifolius* L. : (биохимическая характеристика образцов) / составители: И.И. Бенкен, Б.С. Курлович, Л.Т. Картузова, М.А. Никишкина, В.А. Власов, Е.А. Кутузова, Н.С. Назарова, С.И. Пилипенко, В.А. Рыбникова ; под редакцией А.В. Конарева ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 45, [1] с. : табл.

106. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 638. Люпин : (оценка образцов на устойчивость к фузариозу на инфекционных фонах) / составители: И.И. Кисилев, Б.С. Курлович, Л.Т. Картузова, Н.С. Корнейчук ; под редакцией Б.С. Курловича ; ВАСХНИЛ, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всероссийский научно-исследовательский институт угодий и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 18, [2] с. : табл.

107. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 645. Вика посевная / составители: С.И. Репьев, В.А. Рыбникова, С.В. Золотов, Т.Г. Александрова ; под редакцией С.И. Репьева ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 41, [1] с. : табл.

108. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 646. Новые образцы гороха зерноукосного и укосного использования / составители: В.А. Рыбникова, А.А. Рудикова, Р.Х. Макашева, В.П. Сердюк, И.И. Яньков ; под редакцией Б.С. Курловича ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 32, [2] с. : табл.

109. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 655. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.А. Бурмистров, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, С.В. Кузнецов, А.И. Танцюра, Ф.Т. Цангас, Н.А. Шестакова, Г.Т. Мезенцева, Т.А. Комарова, Н.Г. Галкина, В.Н. Омельченко, Н.Д. Василенко, В.А. Полякова, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова, Н.В. Черкасова ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеевой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1994. 92, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 26-38).

110. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 672. Однолетние дикорастущие виды вики / составители: С.И. Репьев, В.А. Рыбникова, Н.И. Лукина, И.И. Бенкен, Г.А. Шелепина, С.В. Золотов, Т.Г. Александрова, А.Я. Омельченко ; под редакцией С.И. Репьева ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 39, [1] с. : табл., ил.

111. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 681. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1992–1994 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, А.Н. Афонин, И.О. Никифорова, Л.В. Ковалева, Е.А. Колюшева, Г.Т. Мезенцева ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1996. 61, [1] с. : табл. Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 25-39).

112. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 682. Информация об экспедициях ВИР, проведенных на территории России, стран Ближнего и Дальнего зарубежья в 1986–1994 г. / составители: Н.М. Зотеева, Т.А. Комарова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 65, [3] с. : табл.

113. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 697. Нут : (устойчивость к аскохитозу) / составители: С.В. Булынец, З.Ю. Тетер ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 26 с. : табл.

114. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 702. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1997 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 51, [1] с. : табл. Из содерж.: (Зерновые бобовые. С. 20-26).

115. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 706. Соя : (исходный материал для селекции сои в богарных и орошаемых условиях Нижнего Поволжья) / составители: И.П. Кружилин, В.В. Толоконников, М.А. Вишнякова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 56, [4] с.

116. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 710. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [1] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые. С. 11-26).

117. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 712. Фасоль : оценка образцов на устойчивость к бурому бактериозу / составители: Т.В. Буравцева, Е.М. Авчина, Г.П. Егорова ; под редакцией В.И. Кривченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 26, [2] с. : табл.

118. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 716. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1999 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 54, [2] с. Из содерж.: (Зерновые бобовые. С. 19-29).

119. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 717. Соя. Кормовые образцы : (исходный материал для селекции на урожайность, химический состав зеленой массы и семян в условиях Северного Кавказа) / составители: М.О. Бурляева, О.И. Силаева, Н.И. Кияшко,

3.Ю. Тетер, Т.И. Кива, М.А. Никишкина ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 58, [2] с. : табл., ил.

120. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 725. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 24-30).

121. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 727. Горох : (характеристика образцов по содержанию белка, антипитательным веществам и другим ценным признакам) / составители: В.П. Сердюк, Е.И. Бенкен, Ю.М. Заморская, З.В. Чмелева, М.А. Никишкина ; под редакцией: М.А. Вишняковой, А.В. Конарева ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 36, [4] с. : табл.

122. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 728. Горох : (симбиотическая эффективность) = Pea : (symbiotic effectiveness) / составители: А.Ю. Борисов, В.Е. Цыганов, О.Ю. Штарк, Л.М. Якоби, Т.С. Наумкина, В.П. Сердюк, М.А. Вишнякова ; под редакцией: И.А. Тихоновича, М.А. Вишняковой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт зернобобовых и крупяных культур, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2002. 28, [4] с. : табл.

123. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 729. Горох : (устойчивость к кадмию и аккумуляция растениями гороха тяжелых металлов из почвы) = Garden pea : (Tolerance to cadmium and uptake of heavy metals from soil by pea plants) / составители: А.А. Белимов, В.И. Сафронова, В.Е. Цыганов, А.Ю. Борисов, В.В. Степанок, Т.С. Наумкина, В.П. Сердюк ; под редакцией: И.А. Тихоновича, М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии. Санкт-Петербург : ВИР, 2003. 21, [3] с. : табл.

124. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 732. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2000 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 46, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 20-30).

125. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 745. Фасоль : (характеристика образцов по активности ингибиторов трипсина, содержанию белка в семенах и другим хозяйственно ценным признакам) / составители: Т.В. Буравцева, М.А. Никишкина ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 20, [4] с. : табл.

126. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 746. Соя : (исходный материал для селекции скороспелых сортов сои) / составители: О.Г. Давыденко, В.Е. Розенцвейг, Д.В. Голоенко, О.В. Шаблинская, М.А. Вишнякова, И.В. Сеферова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Национальная академия наук республики Беларусь, Институт генетики и цитологии НАН РБ, ООО «Соя-Север Ко.». Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 27, [1] с. : табл.

127. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 753. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, Т.И. Вальяникова, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 29, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 14-24).

128. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 754. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые. С. 12-18).

129. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 755. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые. С. 7-12).

130. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 758. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, Т.И. Вальяникова, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 37, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые бобовые культуры. С. 12-17).

131. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 766. Дикие родичи культурных растений России / составители: Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 53, [1] с. : табл.

132. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 769. Чечевица : (устойчивость образцов к ботритиозу и другие хозяйственно ценные признаки) / составители: И.И. Яньков, Н.Н. Панкратов, М.А. Никишкина, Н.Н. Андреева ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 13, [3] с. : табл.

133. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 772. Фасоль овощная : (кустовые сорта, их морфологические и хозяйственно ценные признаки) / составители: Т.В. Буравцева, Л.В. Лагутина, Ю.А. Филимонова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2006. 53, [3] с. : табл.

134. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 782. Соя : (исходный материал для селекции сои в Краснодарском крае) / составители: И.В. Сеферова, А.Ю. Некрасов, О.И. Силаева, Н.И. Княшко, З.Ю. Тетер, Т.И. Кива, М.А. Никишкина ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2008. 54, [2] с. : табл.

135. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 788. Фасоль овощная : (характеристика кустовых образцов, перспективных для выращивания в орошаемых условиях Астраханской области) / составители: Т.В. Буравцева, М.В. Гуркина ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2008. 38, [2] с. : табл.

136. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 792. Нут : (исходный материал для селекции нута в Астраханской области) / составители: С.В. Булынец, М.В. Гуркина, А.А. Печеров ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2009. 63, [1] с. : табл.

137. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 800. Информация об экспедициях, проведенных в 1991–2009 г. / составители: Т.М. Озерская, О.А. Лисовская ; Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 49, [1] с. : табл.

138. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 806. Вигна : зерновые и овощные образцы, перспективные для возделывания в южных регионах европейской части Российской Федерации / составители: М.О. Бурляева, М.В. Гуркина, А.Ю. Некрасов, Н.И. Тихонова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2012. 25, [1] с. : табл.

139. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 812. Фасоль : (характеристика образцов по фотопериодической реакции) / составители: В.А. Кошкин, И.И. Матвиенко, Г.П. Егорова ; под редакцией И.А. Косаревой, М.А. Вишняковой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2013. 14, [2] с. : табл.

140. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 817. Соя : исходный материал для селекции в южных регионах Российской Федерации / составители: А.П. Бойко, И.В. Сеферова, Т.В. Шеленга, Т.А. Шолухова, Т.М. Андреева ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2014. 36, [2] с. : табл.

141. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 818. Маш, урд : исходный материал для селекции при орошении в условиях Прикаспийской низменности / составители: М.О. Бурляева, М.В. Гуркина, Н.И. Тихонова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; рецензент И.Г. Лоскутов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2014. 48, [2] с. : табл.

142. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 832. Дикие родичи культурных растений России : Северо-Западный федеральный округ Российской Федерации : (Мурманская область, Республика Карелия, Ленинградская область, Псковская область, Новгородская область, Архангельская область, Республика Коми) / Л.Ю. Шипилина, М.А. Жук ; под редакцией Т.Н. Смекаловой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 101, [1] с. : карт.

143. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 855. Соя : исходный материал для селекции в южных регионах Российской Федерации / И.В. Сеферова, А.П. Бойко, Т.В. Шеленга, И.Н. Перчук, Т.А. Шолухова, В.Я. Виленчук ; под редакцией М.А. Вишняковой ; рецензент Э. Б. Хатефов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 37, [1] с. : табл.

144. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 856. Чина посевная (*Lathyrus sativus* L.) : исходный материал для селекции на продуктивность и качественный состав семян и зеленой массы / М.О. Бурляева, А.Е. Соловьева, М.А. Никишкина, Е.А. Сергеев, Н.И. Тихонова ; под редакцией М.А. Вишняковой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 43 с., [1] с. : табл.

145. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 860. Горох : характеристика образцов по устойчивости к алюминотоксичности кислых почв = Pea : characterization of accessions according to their resistance to aluminum toxicity of acidic soils / И.А. Косарева, Е.В. Семенова, Л.Л. Малышев ; под редакцией М.А. Вишняковой ; Федеральное агентство научных организаций, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 23 с., [1] с. : табл.

146. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 869. Вика : характеристика образцов по признакам устойчивости к хлоридному засолению и засухе = Vetch : description of accessions according to the traits of their resistance to chloride salinization and drought / И.А. Косарева, Т.Г. Александрова, Л.Л. Малышев, Н.Д. Кравчук ; под редакцией М.А. Вишняковой ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 34 с. : табл.

147. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 882. Фасоль (*Phaseolus vulgaris* L.) : характеристика образцов, перспективных для выращивания в условиях Северо-Запада Российской Федерации = Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) : description of accessions promising for cultivation in the Northwest of the Russian Federation / Т.В. Буравцева, Г.П. Егорова ; под научной редакцией М.А. Вишняковой ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 31, [1] с. : табл.

148. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 883. Горох : исходный материал для селекции на севере Центрально-Черноземного региона = Pea : source material for breeding in the Central Black Soil Region / Е.В. Семенова, Г.И. Проскуракова ; под научной редакцией М.А. Вишняковой ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 47, [1] с. : табл.

149. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 885. Чина посевная (*Lathyrus sativus* L.) : характеристика образцов по содержанию питательных и биологически активных веществ в зеленой массе = Crass pea (*Lathyrus sativus* L.) : description of accessions according to the content of nutrients and bioactive compounds in green matter / А.Е. Соловьева, Т.В. Шеленга, М.О. Бурляева ; под научной редакцией А.В. Конарева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 42 с. : табл.

150. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 901. Дикие родичи культурных растений России. Северо-Кавказский федеральный округ. Карачаево-Черкесская Республика = Spor wild relatives of Russia. North Caucasian Federal District. Karachay-Cherkess Republic / Л.С. Багмет ; под научной редакцией Д.С. Шильникова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 59, [1] с. : табл., цв. ил.

151. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 904. Вика : коэффициенты генетической оригинальности образцов *Vicia sativa* L. в связи с их географическим происхождением = Vetch: genetic singularity coefficients of *Vicia sativa* L. accessions in connection with their geographic origin / Е.К. Потокина, Т.Г. Александрова ; под редакцией Е.К. Потокиной ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 39, [1] с. : табл.

152. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 905. Соя : оценка образцов коллекции ВИР в условиях Приморского края Российской Федерации = Soybean : evaluation of accessions from the VIR collection in the environments of Primorsky territory, Russian Federation / И.В. Сеферова, П.П. Булах ; под научной редакцией М.А. Вишняковой ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 58, [1] с. : табл. Рус., англ.

153. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 909. Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) : характеристика образцов по элементам семенной продуктивности, химическому составу семян, устойчивости к антракнозу = Narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.) : description of accessions according to their seed productivity elements, chemical composition of seeds, and resistance to anthracnose /

Г.П. Егорова, В.А. Рыбникова, Л.Т. Пономарева, М.А. Никишкина, А.С. Якушева; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2020. 23, [1] с.: табл.

154. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 910. Горох: агробиологическая характеристика сортов разных направлений использования в условиях Краснодарского края = Pea: agrobiological description of cultivars for diverse uses in the environments of Krasnodar Territory / Е.В. Семенова, Т.А. Шолухова, А.П. Бойко; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2020. 31, [1] с.: табл.

155. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 911. Соя: исходный материал для селекции в южных регионах Российской Федерации = Soybean: source material for breeding in the southern regions of the Russian Federation / И.В. Сеферова, И.Н. Перчук, Т.А. Шолухова, А.П. Бойко; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2020. 32 с.: табл.

156. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 912. Фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.): Оценка устойчивости образцов к бурому бактериозу с краткой характеристикой хозяйственно ценных признаков / Т.В. Буравцева, Е.М. Авчина, Г.П. Егорова; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2020. 20 с.: табл.

157. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 916. Дикорастущие виды рода Чина (*Lathyrus* L.): характеристика образцов по содержанию белка в семенах и зеленой массе = Wild reavine species (*Lathyrus* L.): characterization of accessions in terms of protein content in their seeds and green biomass / М.О. Бурляева, А.Е. Соловьева, Е.А. Сергеев, Н.И. Топильская, И.Н. Перчук; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2020. 27, [1] с.: табл.

158. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 930. Фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.): оценка содержания белка в семенах с краткой характеристикой хозяйственно ценных признаков = Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): assessment of protein content in seeds with brief description of useful agronomic traits / Т.В. Буравцева, И.Н. Перчук, А.Е. Соловьева, М.В. Гуркина, Г.П. Егорова; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2021. 27, [1] с.: табл., ил.

159. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 931. Вика горькая, или французская чечевица (*Vicia ervilia* (L.) Willd.): оценка образцов в условиях Тамбовской области Российской Федерации = Bitter vetch, or ervil (*Vicia ervilia* (L.) Willd.): evaluation of accessions in the environments of Tambov Province, Russian Federation / Е.А. Сергеев, Н.Н. Андреева, Н.В. Вавкина, Т.Г. Александрова; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2021. 31, [1] с.: табл., ил.

160. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 936. Фасоль лимская (*Phaseolus lunatus* L.): агробиологическая характеристика образцов в условиях Астраханской области = (*Phaseolus lunatus* L.): Agrobiological description of accessions under the conditions of Astrakhan Province / Т.В. Буравцева, М.В. Гуркина, И.Н. Перчук; под научной редакцией М.А. Вишняковой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР, 2022. 20, [2] с.: табл., ил.

#### Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по кормовым культурам за 1961–2019 гг.

##### Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on fodder crop for 1961–2019

1. Каталог - справочник. Вып. 6. (Коллекция люцерны) / П.П. Лубенец; под редакцией П.М. Жуковского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1961. 46 с.: табл.

2. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 15. Красный клевер / составители: Н.Г. Хорошайлов, Н.А. Мухина, И.П. Ролева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1964. 82, [2] с.: табл. + [2] отд. л. табл.

3. Каталог – справочник [мировой коллекции ВИР]. О новых образцах коллекции ВИР / редакторы: З.Д. Артюгина, Р.Х. Макашева, М.М. Якубинер; ответственный за выпуск З.Д. Артюгина; под редакцией Д.Д. Брежнева; [составители: по ягодным культурам: А.В. Мосолова, В.А. Чикова; по декоративным культурам: Т.Г. Тамберг]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград: ВИР, 1966. 122 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР; вып. 1). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 87-92).

4. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 32. Каталог образцов мировой коллекции ВИР, перспективных в условиях орошения / редакторы: Р.Х. Макашева, И.К. Иорданова, Р.А. Удачин, Ю.Н. Щербаков; ответственный за выпуск Р.Х. Макашева; под общей редакцией Д.Д. Брежнева; [составитель: по кормовым культурам: П.А. Лубенец; русская транскрипция названий иностранных сортов дана Б.Я. Розеном]; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1967. 134 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 82-88).

5. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 37. Лядвенец рогатый / составитель Н.А. Мухина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1968. 23, [1] с.: табл. + [1] отд. л. табл.

6. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 43. О новых образцах коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции ВИР: (К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков), заведующие Павловского и Майкопского интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Ю.М. Данилевич); ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 53, [1] с. Из содерж.: (Турнепс. С. 52).

7. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 45. Гербарий Всесоюзного научно-исследовательского института им. Н.И. Вавилова / составители: В.А. Борковская, С.С. Восканьян; под редакцией В.В. Никитина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 91, [1] с.: фот. Из содерж.: (Кормовые и сидерационные культуры. С. 30-37).

8. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 51. Клевер белый / составитель Т.А. Коломиец; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 34 с.: табл. + [1] отд. л. табл.

9. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 53. Райграс пастбищный и многоукошный / составитель З.П. Шутова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1969. 78 с.: табл.

10. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 57. Эспарцет / составители: П.А. Лубенец, А.В. Наговицына; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 46 с.: табл.

11. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 65. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицына, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), заведующие интродукционно-карантинных питомников: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун, Ю.М. Данилевич, О.В. Еременко); под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 109 с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 107-108).
12. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 66. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, собранных зарубежными экспедициями ВИР в 1968–1969 гг. / составители: С.Н. Бахарева, Ф.В. Гуревич, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1970. 172, [1] с.
13. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 78. Однолетние виды клевера: (Клевер александрийский – *T. alexandrinum* L., клевер мясокрасный – *T. incarnatum* L., клевер персидский – *T. resupinatum* L.; клевер подземный – *T. subterraneum* L.) / составители: Н.А. Мухина, Т.Г. Янчевская, Н.И. Корженевская; под редакцией П.А. Лубенца; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1971. 45, [1] с.
14. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 83. Клевер розовый / составитель Т.А. Коломиец; под редакцией П.А. Лубенца; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1971. 19, [1] с.: табл.
15. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 84. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицына, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), сотрудники интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун); под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1971. 79, [1] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 75-78).
16. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1970 году. Вып. 110 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1973. 243, [1] с.: табл.
17. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1971 г. Вып. 126 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1974. 245, [1] с.: табл.
18. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1972 г. Вып. 136 / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1974. 307, [1] с.: табл.
19. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 140. Кохия простертая / составитель Ю.Д. Сосков; под редакцией П.А. Лубенца; Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1974. 24, [2] с.: табл.
20. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 141. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1973 году / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1975. 214, [1] с.: табл.
21. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 155. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1974 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич; под редакцией К.З. Будина; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1975. 219, [1] с.: табл.
22. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 165. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1975 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ф.В. Гуревич; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1976. 156 с.: табл.
23. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 169. Пайза или ежевник хлебный / составитель Т.Б. Томилина; под редакцией Г.Е. Шмарова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1976. 24 с.: табл.
24. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 188. Генетические источники для решения актуальных проблем селекции сельскохозяйственных культур / [составители: П.П. Лубенца (люцерна), Н.А. Мухина (клевер красный), З.П. Шутова (мятлик луговой)]; ответственный редактор А.Я. Трофимовская; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 157, [1] с.: табл. Из содерж.: (Люцерна. С. 142-147; Клевер красный. С. 148-151; Мятлик луговой. С. 152-155).
25. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 189. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1976 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 203, [1] с.: табл.
26. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 195. Мятлик луговой / составитель: З.П. Шутова; под редакцией П.А. Лубенца; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 80 с.: табл.
27. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 205. Экспресс-информация о новых образцах / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова), заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 82, [2] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 67-75).
28. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 219. Полевая устойчивость к заболеваниям клевера красного, розового и белого / составители: Т.М. Хохрякова, Н.А. Мухина, Т.А. Коломиец, О.Л. Егорова, М.Р. Рабинович, А.В. Наговицына, И.Н. Федоренко, Г.К. Хромова; под редакцией В.И. Кривченко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 70, [2] с.: табл.
29. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 226. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1977 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 133, [1] с.: табл.
30. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 230. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, Ю.Н. Щербаков, В.А. Чикова, Н.К. Петрова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, Г.Н. Павлов, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 95, [1] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 76-84).

31. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 238. Клевер красный / составитель Н.А. Мухина; под редакцией П.А. Лубенца; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 106 с.: табл.
32. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 252. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1978 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 245, [3] с.: табл.
33. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 254. Полевая устойчивость тимopheевки и ежи к заболеваниям / составители: Т.М. Хохлакова, И.А. Тихомирова, Н.Н. Васенина, С.В. Ионкова, Е.В. Саламатова, А.Г. Антоненков, В. Сондоевский; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 51, [1] с.: табл.
34. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 266. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 109, [3] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 89-98).
35. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 268. Устойчивые к инфекционным болезням сорта и образцы сельскохозяйственных растений / подготовлен научными сотрудниками отдела иммунитета ВИР; ответственный составитель В.И. Кривченко; под редакцией Д.Д. Брежнева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1979. 164, [2] с.: табл. Из содерж.: (Хохлакова Т.М. Устойчивость кормовых культур к возбудителям болезней. С. 83-85).
36. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 273. Лучшие образцы коллекции многолетних трав и кормовых корнеплодов для Нечерноземной зоны РСФСР / составители: Н.А. Мухина (клевер красный, люцерна), Т.А. Коломиец (клевер розовый, клевер белый), П.А. Лубенец (люцерна), И.А. Тихомирова (тимopheевка луговая; канареечник тростниковидный), Н.Н. Васенина (тимopheевка луговая; канареечник тростниковидный), Ю.И. Кириллов (овсяница луговая, овсяница тростниковидная), С.В. Ионкова (ежа сборная), В.В. Иноземцев (костер безостый), З.П. Шутова (райграс пастбищный, полевица белая, мятлик луговой), Н.С. Пивоварова (турнепс, брюква); под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 63, [1] с.
37. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 274. Перечень таксонов, поступивших в Гербарий ВИР из-за рубежа с 1968 по 1977 г. / составитель Н.И. Белозор; под редакцией О.Н. Коровиной; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 59, [1] с.
38. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 276. Кормовые корнеплоды (свекла, брюква, турнепс) / составители: В.И. Буренин, Н.С. Пивоварова, С.И. Пилипенко; под редакцией Д.Д. Брежнева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 103, [1] с.: табл.
39. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 277. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1979 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 197, [1] с.: табл.
40. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 284. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.В. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 126 с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 66-73).
41. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 297. Полевица гигантская / составители: З.П. Шутова, М.Т. Богатова, Э.С. Янышева; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1980. 54 с.: табл.
42. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 299. Житняк / составитель А.В. Бухтеева; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 54 с.
43. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 302. Пустынные кормовые растения (солеустойчивость и продуктивность) / составители: Ю.Д. Сосков, Л.А. Семушина; под редакцией Г.В. Удовенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 16 с.: табл.
44. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 305. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1980 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 110, [2] с.: табл.
45. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 308. Сорта сельскохозяйственных культур для возделывания в аграрной зоне БАМ на севере Амурской области / составители: Э.Н. Ломакин, О.А. Евдокимова, В.А. Мищенко, Н.Г. Пантелеева, Л.А. Слободчикова, В.Е. Фомина, А.Н. Свистунов; под редакцией Д.Д. Брежнева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 59, [1] с.: табл. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 32-58).
46. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 315. Кострец безостый и его полевая устойчивость к болезням и вредителям / составители: В.В. Иноземцев, Т.М. Хохлакова, З.Я. Зотова, Е.В. Саламатова, В. Сондоевский; под редакцией З.Я. Зотовой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 97, [1] с.: табл.
47. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 321. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.Г. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 108 с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 81-86).
48. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 322. Растительные ресурсы Советского Союза (экспедиции ВИР в 1971-1980 годах) / составители: Э.Т. Мещеров, К.А. Кобылянская; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 125, [3] с.: табл.
49. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 327, ч. 1. Каталог типов таксонов растений, хранящихся в гербарии ВИР / составители: О.Н. Коровина, Н.И. Белозор, Ю.А. Доронина, Е.А. Костерина; под редакцией О.Н. Коровиной; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1981. 18, [2] с.
50. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 331. Сорта клевера красного, перспективные для юго-западной зоны Европейской части СССР / составители: Н.А. Мухина, С.И. Пилипенко, Н.С. Назарова, А.Г. Першина; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 31, [1] с.

51. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 342. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1981 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 97, [1] с.: табл.
52. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 344. Полевая устойчивость репы, турнепса, брюквы к заболеваниям при вегетации и хранении / составители: Н.С. Пивоварова, Т.М. Хохрякова; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 50, [2] с.: табл.
53. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 345. Исходный материал для селекции сортов кормовых культур интенсивного типа / составители: А.И. Иванов, А.В. Бухтеева, Н.А. Мухина, З.П. Шутова, И.А. Тихомирова, А.А. Сняжков, Л.Г. Возыка, Л.С. Колокольцева, М.М. Киринос, О.В. Ганнибал, В.П. Бибилов, С.В. Ионкова, Н.М. Кальченко, Н.Е. Павлов, У.М. Сагалбеков; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 76 с.
54. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 347. Житняк, ломкоколосник: (устойчивость проростков к засолению почв) / составитель Л.А. Семушина; под редакцией Г.В. Удовенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 16 с.: табл.
55. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 355. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас); под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 104 с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 75-82).
56. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 356: Информация о зарубежных экспедициях и командировках ВИР в 1971–1980 гг. / составители: Э.Т. Мещеров, К.А. Кобылянская; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 39, [1] с.: табл.
57. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 376. Донник – *Melilotus* Mill. / составители: А.И. Иванов, У.М. Сагалбеков, Л.М. Четверных, О.В. Ганнибал; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 346 с.
58. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 379. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1982 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1983. 83, [1] с.: табл.
59. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 389. Доноры и источники важнейших хозяйственно-ценных признаков культурных растений для решения актуальных проблем селекции / составители: В.Ф. Дорофеев, В.А. Вершинина, К.С. Горская [и др.]; [составитель: люцерна: А.И. Иванов]; под редакцией: В.Ф. Дорофеева, В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 267, [1] с.
60. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 390. Образцы эспарцета с характеристикой устойчивости проростков к низким температурам / составители: А.И. Иванов, О.В. Ганнибал, Э.А. Барашкова; под редакцией: А.И. Иванова, Г.В. Удовенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 38 с.: табл.
61. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 394. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1983 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 100 с.: табл.
62. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 395. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Е.П. Гогун, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, О.З. Сытник; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1983. 122, [2] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 90-97).
63. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 418. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, Е.И. Федоренко; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 133, [3] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 98-106).
64. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 419 [л]. Люцерна: исходный материал для селекции на орошаемых и богарных землях Краснодарского края и Поволжья / составители: А.И. Иванов, А.В. Бухтеева, Л.Г. Возыка, М.М. Киринос; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 85, [1] с.
65. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 423. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 131, [5] с.: табл.
66. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 441. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Ф.Т. Цангас, Н.С. Несмеянова, В.А. Полякова, Л.Г. Тарасовская, Е.И. Федоренко; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1986. 145, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 101-109).
67. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 444. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1985 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1985. 66, [2] с.
68. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 448. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1986 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, И.Г. Шмараев, Н.М. Зотева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, Т.А. Комарова, В.А. Полякова; под редакцией С.Н. Бахаревой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1988. 141, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 122-130).
69. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 471: Житняк / составители: А.В. Бухтеева, М.Г. Богатова, О.И. Марьина, М.К. Такаева; под редакцией А.В. Бухтеевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1989. 58, [2] с.
70. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 473. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова; под редакцией С.Н. Бахаревой;

- ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 135, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 104-123).
71. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 476. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, К.А. Кобылянская, М.Х. Галаев, Т.А. Комарова, Л.А. Бавтунова; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 31, [1] с. : табл.
72. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 487. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, И.Г. Шмараев, Т.Н. Кожанова, М.Х. Галаев; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 36, [1] с. : табл.
73. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 493. Овсяница луговая / составители: Ю.И. Кириллов, Н.И. Серова; под редакцией А.А. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 125, [3] с.
74. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 497. Сорты сельскохозяйственных культур селекции Дальневосточной опытной станции / составители: А.Н. Тимофеев, В.П. Царенко, А.К. Новоселов, В.Т. Богинич, Н.М. Бочкарникова, Р.И. Живчикова, П.П. Булах, Л.П. Толкачева, Л.А. Новоселова, О.Т. Слободчикова, А.Ш. Сабитов; под редакцией В.П. Царенко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 71, [1] с. : ил. Из содерж.: Районированные сорта: (Многолетние кормовые травы. С. 6-9); Сорты, находящиеся в государственном сортоиспытании: (Многолетние кормовые травы. С. 30-36).
75. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 501. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксюзян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 159, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 127-147).
76. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 519. Сельскохозяйственные растения и их сородичи Северной Америки / составитель Ю.Н. Щербаков; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 333, [3] с. : ил., [1] л. карт. Из содерж.: (Кормовые травы. С. 238-329).
77. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 533. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1989 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 44, [2] с. : табл.
78. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 540. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксюзян, Ф.Т. Цангас, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 102, [2] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 78-89).
79. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 562. Информация о внутрисоюзных и зарубежных экспедициях ВИР в 1981-1985 г. / составитель К.А. Кобылянская; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 67, [1] с. : табл.
80. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 586. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1990 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Н. Делюкина, М.А. Гриценко; под редакцией С.Н. Бахарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 63, [1] с. : табл.
81. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 615. Кострец / составители: А.В. Бухтеева, А.И. Колпакова, М.В. Хмельницкая, А.А. Синяков; под редакцией А.В. Бухтеевой; ВАСХНИЛ, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 36, [2] с. : табл.
82. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 646. Новые образцы гороха зерноукосного и укосного использования / составители: В.А. Рыбникова, А.А. Рудикова, Р.Х. Макашева, В.П. Сердюк, И.И. Яньков; под редакцией Б.С. Курловича; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 32, [2] с. : табл.
83. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 655. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.А. Бурмистров, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, С.В. Кузнецов, А.И. Танцюра, Ф.Т. Цангас, Н.А. Шестакова, Г.Т. Мезенцева, Т.А. Комарова, Н.Г. Галкина, В.Н. Омельченко, Н.Д. Василенко, В.А. Полякова, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова, Н.В. Черкасова; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеевой; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1994. 92, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 63-70).
84. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 675. Виды полезных растений России и других стран СНГ / составители: С.Н. Бахарева, Н.М. Зотеева, К.А. Кобылянская; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, С.Н. Бахарева; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 262, [2] с. : табл.
85. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 676. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1993 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, А.Н. Афонин, Н.Д. Василенко, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Г.Т. Мезенцева, М.А. Гриценко, Н.Н. Петровская, Н.Н. Борисова, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова; под редакцией Л.Е. Горбатенко; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 105, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 88-91).
86. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 681. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1992-1994 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, А.Н. Афонин, И.О. Никифорова, Л.В. Ковалева, Е.А. Колюшева, Г.Т. Мезенцева; под редакцией Л.Е. Горбатенко; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1996. 61, [1] с. : табл. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 40-41).
87. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 682. Информация об экспедициях ВИР, проведенных на территории России, стран Ближнего и Дальнего зарубежья в 1986-1994 г. / составители: Н.М. Зотеева, Т.А. Комарова; под редакцией Л.Е. Горбатенко; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 65, [3] с. : табл.
88. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 702. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1997 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова; под редакцией Л.Е. Горбатенко; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 51, [1] с. : табл. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 26-31).
89. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 710. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова; под редакцией Л.Е. Горбатенко; РАСХН, Государственный научный центр Российской Фе-

дерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [1] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 27-28).

90. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 716. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1999 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 54, [2] с. Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 29-35).

91. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 717: Соя. Кормовые образцы : (исходный материал для селекции на урожайность, химический состав зеленой массы и семян в условиях Северного Кавказа) / составители: М.О. Бурляева, О.И. Силаева, Н.И. Кияшко, З.Ю. Тетер, Т.И. Кива, М.А. Никишкина ; под редакцией М.А. Вишняковой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 58, [2] с. : табл., ил.

92. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 725. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 31-35).

93. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 732. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2000 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 46, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 32-38).

94. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 753. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, Т.И. Вальяникова, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 29, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 25-29).

95. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 754. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 11-12).

96. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 755. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 12-14).

97. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 758. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, Т.И. Вальяникова, И.И. Конохова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 37, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Кормовые культуры. С. 23-25).

98. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 766. Дикие родичи культурных растений России / составители: Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 53, [1] с. : табл.

99. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 794. Донник : (лабораторная оценка образцов на устойчивость к алюмотоксичности) / составители: И.А. Косарева, О.В. Дук, Л.Л. Малышев, Г.В. Давыдова, М.Ю. Яковлева ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2009. 43, [3] с. : табл.

100. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 800. Информация об экспедициях, проведенных в 1991–2009 г. / составители: Т.М. Озерская, О.А. Лисовская ; Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 49, [1] с. : табл.

101. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 832. Дикие родичи культурных растений России : Северо-Западный федеральный округ Российской Федерации : (Мурманская область, Республика Карелия, Ленинградская область, Псковская область, Новгородская область, Архангельская область, Республика Коми) / Л.Ю. Шипилина, М.А. Жук ; под редакцией Т.Н. Смекаловой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 101, [1] с. : карт.

102. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 895. Донник : характеристика образцов по устойчивости к хлоридному засолению = Sweet clover : description of accessions according to their resistance to chloride salinization / И.А. Косарева, О.В. Дук, Л.Л. Малышев ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 19, [1] с. : табл.

103. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 896. Овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.) : агробиологическая характеристика образцов в условиях Северо-Запада РФ = Meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) : agrobiological characteristics of accessions in the environments of the Russian Northwest / Н.И. Серова ; под научной редакцией Н.И. Дзюбенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 35, [1] с.

**Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции /  
Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**

**Научный рецензируемый журнал /  
Scientific Peer Reviewed Journal**

ISSN 2227-8834 (Print); ISSN 2619-0982 (Online)  
4 выпуска в год (ежеквартально) / Publication frequency: quarterly  
<https://elpub.vir.nw.ru>; e-mail: [trudyVIR@vir.nw.ru](mailto:trudyVIR@vir.nw.ru)

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

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts

<https://elpub.vir.nw.ru>  
<http://www.vir.nw.ru/trudy>  
<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=27909>

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru> / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <https://elpub.vir.nw.ru>

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru>. Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website <https://elpub.vir.nw.ru>. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

---

Научный редактор: *Е.А. Соколова*  
Корректурa: *А.Г. Крылов*  
Компьютерная верстка: *А.В. Иванов*

**Адрес редакции:**

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42  
Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: [trudyVIR@vir.nw.ru](mailto:trudyVIR@vir.nw.ru); [i.kotielkina@vir.nw.ru](mailto:i.kotielkina@vir.nw.ru)

**Почтовый адрес редакции**

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

Подписано в печать 22.09.2022. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 28,5. Тираж 300 экз. Заказ № 377/1.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),  
редакционно-издательский сектор ВИР

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

Индивидуальный предприниматель Юшкевич Галина Викторовна  
192286, г. Санкт-Петербург, Альпийский пер., дом 45

