

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

---

**ТРУДЫ  
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,  
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 182  
выпуск 2**

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

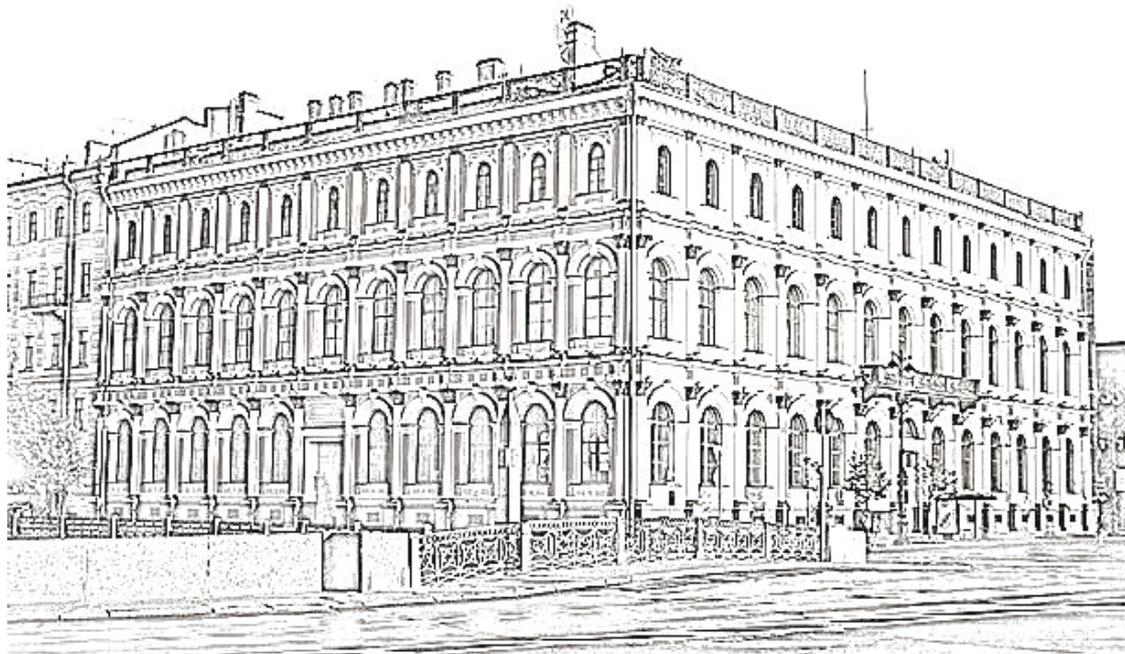
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021**

---

**PROCEEDINGS  
ON APPLIED BOTANY, GENETICS  
AND BREEDING, vol. 182  
issue 2**

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

**ST. PETERSBURG  
2021**



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)

---

**PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY,  
GENETICS AND BREEDING**

**volume 182**  
*issue 2*



**EDITOR-IN-CHIEF**  
*E. K. Khlestkina*

**EDITORIAL BOARD**

*M. A. Vishnyakova (Deputy Editor-in-Chief), I. G. Loskutov (Deputy Editor-in-Chief), O. P. Mitrofanova (Deputy Editor-in-Chief), L. Yu. Schipilina (Executive Secretary), I. N. Anisimova, N. B. Brutch, I. G. Chukhina, O. B. Dobrovolskaya, V. I. Dorofeev, G. I. Filipenko, T. A. Gavrilenko, K. S. Golokhvast, V. M. Gorina, E. B. Hatefov, V. N. Korzun, T. V. Matveeva, S. S. Medvedev, N. V. Mironenko, I. V. Mitrofanova, E. E. Radchenko, I. D. Rashal, A. V. Rodionov, M. M. Silantyeva, O. V. Soloduhina, E. K. Turuspekov, Yu. V. Ukhatova, N. M. Zoteeva*

**EDITORIAL COUNCIL**

*O. S. Afanasenko, G. A. Batalova, A. Berville, L. A. Bespalova, A. Börner, A. Diederichsen, M. V. Duka, G. V. Eremin, N. Friesen, N. P. Goncharov, K. Hammer, V. Holubec, A. V. Kilchevsky, M. M. Levitin, A. I. Morgunov, H. A. Muminjanov, I. A. Tikhonovich*

Editor in charge of this issue: *E. K. Khlestkina, E. A. Sokolova*  
translator: *A. G. Krylov*

**ST. PETERSBURG**

**2021**

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

---

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,  
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ**

**том 182  
выпуск 2**



**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**  
*Е. К. Хлесткина*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

*М. А. Вишнякова (зам. главного редактора), И. Г. Лоскутов (зам. главного редактора),  
О. П. Митрофанова (зам. главного редактора), Л. Ю. Шипилина (ответственный секретарь),  
И. Н. Анисимова, Н. Б. Брач, Т. А. Гавриленко, К. С. Голохваст, В. М. Горина, О. Б. Добровольская,  
В. И. Дорофеев, Н. М. Зотеева, В. Н. Корзун, Т. В. Матвеева, С. С. Медведев, Н. В. Мироненко,  
И. В. Митрофанова, Е. Е. Радченко, И. Д. Рашаль, А. В. Родионов, М. М. Силантьева,  
О. В. Солодухина, Е. К. Туруспекоев, Ю. В. Ухатова, Г. И. Филипенко, Э. Б. Хатефов, И. Г. Чухина*

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

*О. С. Афанасенко, Г. А. Баталова, А. Бервилле, А. Бёрнер, Л. А. Беспалова, В. Голубец,  
Н. П. Гончаров, А. Дидериксен, М. В. Дука, Г. В. Еремин, А. В. Кильчевский, М. М. Левитин,  
А. И. Моргунов, Х. А. Муминджанов, И. А. Тихонович, Н. В. Фризен, К. Хаммер*

Ответственные редакторы выпуска: *Е. К. Хлесткина, Е. А. Соколова*  
переводчик: *А. Г. Крылов*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ.** Т. 182, вып. 2. СПб., 2021. 174 с.

По итогам инвентаризации продемонстрированы перспективы сохранения диких родичей культурных растений Карачаево-Черкесии. Определено влияние температурного режима на лабораторную всхожесть и энергию прорастания астрагалов и влияние реакции на яровизацию, чувствительности к фотопериоду и собственно скороспелости на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана от всходов до колошения. Дана оценка хозяйственных признаков образцов чуфы (*Cyperus esculentus* L.) и подготовки клубеньков к длительному хранению. Изучены хозяйственно ценные признаки образцов огурца коллекции ВИР в зоне Нижнего Поволжья. Проведен сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках диплоидного и тетраплоидного сортов сахарной кукурузы. Рассмотрен геном *Vitis rotundifolia* Michx. с использованием методов секвенирования третьего поколения (Oxford Nanopore Technologies). Выявлено генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов. Обсуждается влияние локуса *BLp1*, контролирующего синтез меланина в колосе ячменя, на размер и вес зерна. Проанализировано наследование высокой скорости развития линий Римакс и Рико яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Дана характеристика новых сортов отечественной селекции: груши для Среднего Урала, картофеля для Республики Коми, овса ярового универсального использования для регионов Сибири и Дальнего Востока. С помощью штрих-кода ДНК идентифицированы образцы *Tinomisium petiolare* Hook.f. & Thomson из Вьетнама. Исследованы морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи. В гибридных комбинациях отобраны генотипы яровой твердой пшеницы, обладающие устойчивостью к омской популяции возбудителя стеблевой ржавчины. Сорные растения и сорная флора обсуждаются как основа фитосанитарного районирования. Представлены история деятельности ВИР им. Н. И. Вавилова в годы войны, а также жизненный путь и научная деятельность П. А. Диброва – основателя научного плодоводства Урала.

Табл. 50, рис. 49, библиогр. 427 назв.

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

**PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING.** Vol. 182, iss. 2. SPb., 2021. 174 p.

Prospects for the preservation of crop wild relatives in Karachay-Cherkessia are discussed, considering the results of their inventorying. The effect of temperature patterns on laboratory germination rates and energy of *Astragalus* L. has been assessed, and the impact of responses to vernalization, photoperiodism, and earliness *per se* of barley accessions from Dagestan on the duration of the period from shooting to heading is analyzed. Agronomic traits of chufa (*Cyperus esculentus* L.) are evaluated, and methods are proposed to prepare its nodules for long-term storage. Economically useful features of cucumber accessions from the VIR collection have been studied in the Lower Volga environments. The chemical composition and size of starch granules in grain have been compared and analyzed in diploid and tetraploid sweetcorn cultivars. Genome assembly of *Vitis rotundifolia* Michx. using third-generation sequencing (Oxford Nanopore Technologies) is discussed. Genetic diversity has been described in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles. Effects of the *BLp1* locus, which controls melanin accumulation in the barley ear, on the size and weight of seeds are discussed. Comparative analysis has been made to study the inheritance of a high development rate in the Rimax and Rico lines of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.). New cultivars of domestic breeding are characterized, including pear for the Middle Urals, potato for the Komi Republic, and spring oat for universal uses in Siberia and the Russian Far East. The DNA barcode has been used to identify *Tinomisium petiolare* Hook.f. & Thomson from Vietnam. Morphological features of rye grain with low pentosan content have been studied. Spring durum wheat genotypes have been identified in hybrid combinations for their resistance to the Omsk population of the stem rust pathogen. Weeds and weed flora are reviewed as the basis for phytosanitary zoning. Historical essays are presented on wartime activities of the Vavilov Institute and in memory of Porfiry Dibrova, a founder of scientific pomiculture in the Urals.

Tabl. 50, fig. 49, ref. 427.

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

## CONTENTS

### MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

**Bagmet L.V.**

Crop wild relatives of Karachay-Cherkessia: inventorying, and conservation prospects ..... 9

### STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

---

**Kornievskaya T.V.**

The effect of temperature regimes on laboratory germination rates and germination energy of *Astragalus* L..... 18

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

---

**Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E.**

The effect of responses to vernalization, photoperiodism, and earliness *per se* of barley accessions from Dagestan on the duration of the period from shooting to heading .....24

**Kon'kova N.G., Safina G.F.**

Valuable agronomic traits of chufa (*Cyperus esculentus* L.) accessions from the VIR collection: methods of preparing nodules for long-term storage..... 34

**Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M.**

Study of cucumber accessions from the VIR collection for their agronomic traits in the Lower Volga Region.....45

**Khatefov E.B., Khoreva V.I., Kerv Yu.A., Shelenga T.V., Sidorova V.V., Demurin Y.N., Goldstein V.G.**

Comparative analysis of the chemical composition and size of starch granules in grain between diploid and tetraploid sweetcorn cultivars.....53

### GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

**Agakhanov M.M., Grigoreva E.A., Potokina E.K., Ulianich P.S., Ukhatova Y.V.**

Genome assembly of *Vitis rotundifolia* Michx. using third-generation sequencing (Oxford Nanopore Technologies) ..... 63

**Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V.**

Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles.....72

**Rigin B.V., Zuev E.V., Andreeva A.S., Matvienko I.I., Pyzhenkova Z.S.**

Comparative analysis of the inheritance of a high development rate in the Rimax and Rico lines of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) ..... 81

**Shoeva O.Y., Glagoleva A.Y., Kukoeva T.V.**

Effects of the *BLp1* locus, which controls melanin accumulation in the barley ear, on the size and weight of seeds ..... 89

### DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

---

**Tarasova G.N., Kotov L.A., Telezhinskiy D.D.**

'Tais': a new pear cultivar for the Middle Urals..... 96

**Tulinov A.G., Lobanov A.Yu.**

'Vyhegodsky': a new potato cultivar for the Republic of Komi..... 100

**Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Pay O.A., Bragin N.A.**

'Tobolyak': an oat cultivar for universal use .....107

### IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

---

**Thinh B.B., Doudkin R.V., Chac L.D., Chinh H.V., Hoi Q.V., Lien N.T.**

Identification of *Tinomiscium petiolare* from Vietnam using the DNA barcode ..... 114

---

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

---

**Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V., Nikonorova I.M.**

Morphological features of rye grain with low pentosan content.....123

---

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

**Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Glushakov D.A.**

Development of spring durum wheat cultivars resistant to stem rust in Western Siberia..... 131

---

## SURVEYS

---

**Luneva N.N.**

Weeds and weed flora as the basis for phytosanitary zoning (a review).....139

---

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

---

**Loskutov I.G.**

Wartime activities of the Vavilov Institute..... 151

**Slepneva T.N., Shlyavas A.V.**

Porfiry Afanasyevich Dibrova: at the origins of scientific pomiculture in the Urals.....163

## СОДЕРЖАНИЕ

### МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

<b>Багмет Л.В.</b> Дикие родичи культурных растений Карачаево-Черкесии: инвентаризация и перспективы сохранения.....	9
---	---

### ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

---

<b>Корниевская Т.В.</b> Влияние температурного режима на лабораторную всхожесть и энергию прорастания астрагалов.....	18
--	----

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

---

<b>Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е.</b> Влияние реакции на яровизацию, чувствительности к фотопериоду и собственно скороспелости на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана от всходов до колошения .....	24
--	----

<b>Конькова Н.Г., Сафина Г.Ф.</b> Хозяйственно ценные признаки образцов чужы ( <i>Cyperus esculentus</i> L.) из коллекции ВИР: методика подготовки клубеньков к длительному хранению.....	34
--	----

<b>Суханбердина Э.Х., Грушин А.А., Пискунова Т.М.</b> Изучение образцов огурца коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам в зоне Нижнего Поволжья .....	45
--	----

<b>Хатефов Э.Б., Хорева В.И., Керв Ю.А., Шеленга Т.В., Сидорова В.В., Демури Я.Н., Гольдштейн В.Г.</b> Сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках между диплоидными и тетраплоидными сортами сахарной кукурузы .....	53
--	----

### ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

<b>Агаханов М.М., Григорьева Е.А., Потокина Е.К., Ульянич П.С., Ухатова Ю.В.</b> Сборка генома <i>Vitis rotundifolia</i> Michx. с использованием методов секвенирования третьего поколения (Oxford Nanopore Technologies).....	63
---	----

<b>Лыжин А.С., Лукъянчук И.В.</b> Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену <i>FanAAMT</i> ароматического комплекса плодов .....	72
---	----

<b>Ригин Б.В., Зуев Е. В., Андреева А.С., Матвиенко И.И., Пыженкова З.С.</b> Сравнительный анализ наследования высокой скорости развития линий Римакс и Рико яровой мягкой пшеницы <i>Triticum aestivum</i> L.....	81
---	----

<b>Шоева О.Ю., Глаголева А.Ю., Кукоева Т.В.</b> Влияние локуса <i>BLp1</i> , контролирующего синтез меланина в колосе ячменя, на размер и вес зерна .....	89
--	----

### ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

---

<b>Тарасова Г.Н., Котов Л.А., Тележинский Д.Д.</b> ‘Таис’ – новый сорт груши для Среднего Урала .....	96
--	----

<b>Тулинов А.Г., Лобанов А.Ю.</b> ‘Вычегодский’ – новый сорт картофеля для Республики Коми.....	100
--	-----

<b>Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Пай О.А., Брагин Н.А.</b> ‘Тоболяк’ – сорт овса ярового универсального использования .....	107
---	-----

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ**

---

<b>Тхинь Б.Б., Дудкин Р.В., Чак Л.Д., Чинь Х.В., Хой К.В., Лиен Н.Т.</b> Идентификация <i>Tinomisium petiolare</i> из Вьетнама с помощью штрих-кода ДНК.....	114
---	-----

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

---

<b>Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Никонорова И.М.</b> Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи.....	123
--	-----

### **ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ**

---

<b>Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Глушаков Д.А.</b> Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири .....	131
--	-----

### **ОБЗОРЫ**

---

<b>Лунева Н.Н.</b> Сорные растения и сорная флора как основа фитосанитарного районирования (обзор).....	139
--	-----

### **ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА**

---

<b>Лоскутов И.Г.</b> Деятельность ВИР им. Н.И. Вавилова в годы войны .....	151
<b>Слепнева Т.Н., Шлявас А.В.</b> Порфирий Афанасьевич Диброва – у истоков научного плодоводства Урала .....	163

# Дикие родичи культурных растений Карачаево-Черкесии: инвентаризация и перспективы сохранения

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-9-17

УДК: 581.9:502.75 (470.631)

Поступление/Received: 08.07.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



## Crop wild relatives of Karachay-Cherkessia: inventorying, and conservation prospects

Л. В. БАГМЕТ

L. V. BAGMET

Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
✉ l.bagmet@vir.nw.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
✉ l.bagmet@vir.nw.ru

Изучение диких родичей культурных растений каждого конкретного региона является важнейшей составной частью оценки состояния генетических ресурсов растений страны. Особенно это актуально для характеризующихся огромным видовым растительным разнообразием регионов российского Кавказа. В работе изложены результаты изучения диких родичей культурных растений (ДРКР) в природных растительных сообществах Карачаево-Черкесской Республики. Автором проведены инвентаризация и анализ видового состава ДРКР республики. Список ДРКР насчитывает 516 видов, относящихся к 134 родам 36 семейств, из которых 449 видов из 107 родов 33 семейств являются аборигенными. По видовому разнообразию ДРКР лидирует Джегутинский флористический район (391 вид), в Архызском и Учкуланском районах встречаются соответственно 350 и 346 видов, в Черкесском – 301 вид.

Виды были ранжированы по хозяйственной ценности и экономической значимости. К 1 рангу отнесено 149 видов, к 2 рангу – 17 видов, к 3 рангу – 32 вида, к 4 рангу – 97 видов, к 5 рангу – 222 вида. По типу хозяйственного использования преобладают виды кормового (158) и пищевого (136) назначения, в качестве лекарственных применяются 60, медоносных – 54, декоративных – 53, технических – 51, рекультивационных – 5 видов.

На основе анализа распространения видов ДРКР на изучаемой территории и их оценки по хозяйственным и биологически ценным признакам, по критериям редкости и уязвимости составлен список подлежащих приоритетному сохранению видов ДРКР Карачаево-Черкесии. Приведена карта местонахождений этих видов на территории республики, даны рекомендации по их эффективному сохранению.

**Ключевые слова:** сохранение *in situ* и *ex situ*, генетические растительные ресурсы, Карачаево-Черкесская Республика, особо охраняемые природные территории.

Studying wild relatives of cultivated plants in each specific region is an essential component in assessing the state of national plant genetic resources. This is especially true for the regions of the Russian Caucasus, with its tremendous diversity of plant species. This paper presents the results of exploring crop wild relatives (CWR) in natural plant communities of the Karachay-Cherkess Republic. The author conducted an inventory of CWR and analysis of their species composition in Karachay-Cherkessia. The CWR list includes 516 species belonging to 134 genera of 36 families; in this list, 449 species from 107 genera of 33 families are native to this region. The Dzheguta floristic district is the richest in CWR species diversity (391 species). There are 350 and 346 species in the Arkhyz and Uchkulan districts, respectively, and 301 species in the Cherkessk district.

Species were ranked according to their agricultural value and economic importance: the 1st rank was assigned to 149 plant species, 2nd rank to 17, 3rd rank to 32, 4th rank to 97, and 5th rank to 222 species. In the context of their economic use, the species for feed (158) and food (136) purposes dominated over those for medicinal (60), melliferous (54), ornamental (53), industrial (51), and revegetation (5) applications.

The list of priority conservation species was compiled for CWR of Karachay-Cherkessia according to the criteria of rarity and vulnerability, based on the analysis of the CWR species distribution over the studied area and their assessment for useful economic and biological traits. A map showing localities of these species within the Republic is presented, and recommendations are given for their effective conservation.

**Key words:** *in situ* and *ex situ* conservation, plant genetic resources, Karachay-Cherkess Republic, specially protected natural areas.

### Введение

Карачаево-Черкесская Республика (КЧР) расположена на северо-западе Кавказа. По Главному Кавказскому хребту она граничит с Грузией и Абхазией, на западе – с Краснодарским краем, на севере – со Ставропольским краем, на востоке – с Кабардино-Балкарией. Общая площадь территории составляет 14,3 тыс. кв. км.

Рельеф республики очень разнообразен, она простирается от Предкавказских равнин до Главного Кавказского хребта. Минимальная высота составляет около 400 м (Прикубанская равнина), к югу наблюдается постепенное повышение высоты к вершинам Бокового и Главного Кавказского хребта до 4000–5000 м. По форме рельефа всю территорию можно разделить на северную равнинно-холмистую часть и горную, к которой относится си-

стема хребтов, простирающихся параллельно Главному Кавказскому хребту: Лесистый, Пастбищный, Скалистый, Передовой, Боковой и Главный. Горная зона имеет сильную расчлененность рельефа с высокими горными хребтами и глубокими ущельями рек (Zernov et al., 2015). Около 80% площади республики лежит на высоте выше 1200 м над уровнем моря (н. у. м.).

Характер рельефа определяет вертикальную климатическую поясность и природную зональность территории Карачаево-Черкесии. Принято выделять четыре климатических пояса: умеренно континентальный, умеренно теплый, умеренно влажный и умеренно холодный (Shilnikov, 2010). С увеличением высоты происходит снижение среднегодовой температуры воздуха от +8,5°C до 0°C и увеличение годового количества осадков от 520 мм на равнине до 2500 мм в высокогорных районах. Северная часть республики располагается в степной зоне, южная – в лесостепной (в пределах Пастбищного и Скалистого хребтов), лесной и альпийской зонах. Вегетационный период на севере республики – 182 дня, на юге (в горных районах) – от 50 до 75 дней.

На территории республики проходит водораздел между реками Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов. К Черноморскому бассейну относятся Кубань и ее притоки: Теберда, Малый Зеленчук, Большой Зеленчук, Кяфар, Аксаут, Маруха, Уруп, Большая Лаба. Большинство из них свое начало берет с ледников Главного Кавказского хребта. К рекам Каспийского бассейна относятся Кума и Подкумок, берущие свое начало на склонах Скалистого хребта. В верховьях рек на Боковом и Главном Кавказском хребтах имеется большое количество озер ледникового происхождения. Всего в КЧР 419 больших и малых рек протяженностью свыше 4 тыс. км.

Почвы Карачаево-Черкесской Республики относятся в основном к Кавказской горно-лугово-лесной и горно-степной провинции Кавказско-Крымской горной области. Формирование и распределение почв в горных районах подчинено закону вертикальной зональности. По мере подъема в горы предкавказские черноземы сменяются предгорными и горными черноземами, далее следуют горно-лесные бурые, горнолесные подзолистые, горно-долинные аллювиальные дерновые кислые, горно-луговые, горно-долинные аллювиальные луговые кислые и горно-долинные аллювиальные лугово-болотные почвы. Распаханность земель в республике составляет около 30% (около 50% в равнинной части, около 20% в горной). В равнинной зоне, где значительный процент распаханных земель, образуется область повышенной активности ветра. В период с марта до апреля, когда еще почва не покрыта устойчивой растительностью, поверхностный слой пашни выдувается сильными и продолжительными ветрами.

В формировании растительности Карачаево-Черкесской Республики, наряду с географическим положением, большую роль сыграли литология, характер рельефа, почв, зональность климатических условий, их изменение во времени. Северные части республики занимают степи и обширные сельскохозяйственные угодья на месте распаханных степей. Широколиственные леса образуют нижний горный пояс на высотах около 800–1600 м. В настоящее время значительные массивы этих лесов вырублены или нарушены интенсивным выпасом скота. Хвойные леса образуют верхний лесной пояс на высотах от 1500 до 2300 м. Верхняя граница леса в разных районах проходит в интервале высот от 1900 до 2400 м. Выше лесного располагается субаль-

пийский пояс (1900–2500 м) с высокотравными лугами. Высоты от 2400 до 3000 м занимают альпийские луга. Самый высокий – субнивальный пояс с несомкнутыми группировками скал и осыпей. Средняя лесистость территории – около 30% (Zernov, Onipchenko, 2011).

Благодаря огромному разнообразию природных ландшафтов благоприятные условия для своего существования на изучаемой территории находят не только разные экологические группы растений, но и виды самого различного географического происхождения. По сведениям разных авторов, флора региона насчитывает от 1900 до 2200 видов сосудистых растений (Shilnikov, 2010, 2011; Zernov, Onipchenko, 2011; Zernov et al., 2015).

Во Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) ведутся планомерные исследования разнообразия диких родичей культурных растений (ДРКР) с целью разработки единой национальной программы сохранения генофонда *in situ*, которая учитывает природные и экономические особенности России (Chukhina et al., 2020). В рамках этой работы были проведены инвентаризация и анализ видов ДРКР на территории Карачаево-Черкесии и выделены виды для приоритетного сохранения.

### Условные обозначения и термины

ДРКР (дикие родичи культурных растений) – виды природной флоры, эволюционно-генетически близкие к культурным растениям, входящие с ними в один род, напрямую введенные в культуру или участвующие в создании сортов культурных растений путем использования в скрещиваниях (намеренно или спонтанно), а также потенциально пригодные для введения в культуру или использования в процессе получения новых сортов (Smekalova, Chukhina, 2005, 2011);

КГПБЗ – Кавказский государственный природный заповедник им. Х.Г. Шапошникова;

КК КЧР – Красная книга Карачаево-Черкесской Республики;

КК РФ – Красная книга Российской Федерации;

КЧР – Карачаево-Черкесская Республика;

ООПТ – особо охраняемые природные территории;

Сохранение *ex situ* – сохранение видов в коллекциях;

Сохранение *in situ* – сохранение видов в местах их естественного произрастания;

ТГПБЗ – Тебердинский государственный природный биосферный заповедник.

### Материал и методы

Материалами для исследования послужили гербарные фонды Всероссийского института генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова (ВИР), Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (LE), результаты экспедиций ВИР, в том числе с участием автора (2009, 2014, 2016 и 2019 г.), а также литературные источники (Galushko, 1978, 1980a, 1980b; Takhtajan, 2006; Ivanov, Chotchayeva, 2008; Red Data Book..., 2008; Takhtajan, 2008; Shilnikov, 2010, 2011; Onipchenko et al., 2011; Zernov, Onipchenko 2011; Dzhatdoeva, 2012; Takhtajan, 2012; Red Data Book..., 2013; Zernov, 2013, 2014, 2015; Chotchayeva, 2016; The IUCN Red List..., 2020).

Флористические исследования проводились общепринятым при изучении флоры маршрутным методом в Зеленчукском, Карачаевском, Ногайском, Прикубанском, Урупском, Усть-Джегутинском, Хабезском адми-

нистративных районах Карачаево-Черкесской Республики.

Для выбора приоритетных объектов и путей сохранения использовали методику сохранения *in situ* генетических растительных ресурсов, адаптированную для территории России (Smekalova et al., 2011). Для определения степени хозяйственной ценности и экономической значимости использовалось ранжирование видов, разработанное в отделе агроботаники и *in situ* сохранения ВИР (Smekalova, Chukhina, 2005). При составлении карты была использована программа MapInfo 10.

### Обсуждение и результаты

По результатам собственных исследований и литературным данным была проведена инвентаризация видов ДРКР флоры Карачаево-Черкесии. Составлен аннотированный список видов ДРКР, содержащий информацию о 516 видах, относящихся к 134 родам 36 семейств, из которых 449 видов из 107 родов 33 семейств являются аборигенными (Bagmet, 2019). Мы сочли нужным включить в исследование адвентивные натурализовавшиеся и проявляющие тенденцию к натурализации виды. По нашему мнению, распространение этих видов требует дальнейшего наблюдения.

Таксономический анализ видов ДРКР показал, что по количеству видов ДРКР преобладают семейства Poaceae Barnhart (140 видов, или 27% от общего числа видов ДРКР), Fabaceae Lindl. (84 вида, или 16%), Rosaceae Juss. (70 видов, или 14%). По количеству видов аборигенных ДРКР – то же соотношение (120, 83 и 63 вида соответственно). В родовом спектре самым многочисленным является род *Rosa* L. (27 видов); за ним следуют роды *Trifolium* L. (25 видов) и *Festuca* L. (24 вида).

В географическом анализе мы использовали ландшафтно-флористическое районирование А. С. Зернова и В. Г. Онипченко (Zernov, Onipchenko, 2011), согласно которому территория КЧР разделена на четыре флористических района:

Черкесский (Чрк.) – район равнинных степей южно-русского типа (разнотравно-ковыльные, предгорные ковыльно-типчаково-разнотравные, разнотравно-ковыльные);

Джегутинский (Джг.) – район нагорных степей и миксерофитных (остепненных) лесов Скалистого и Меловых хребтов;

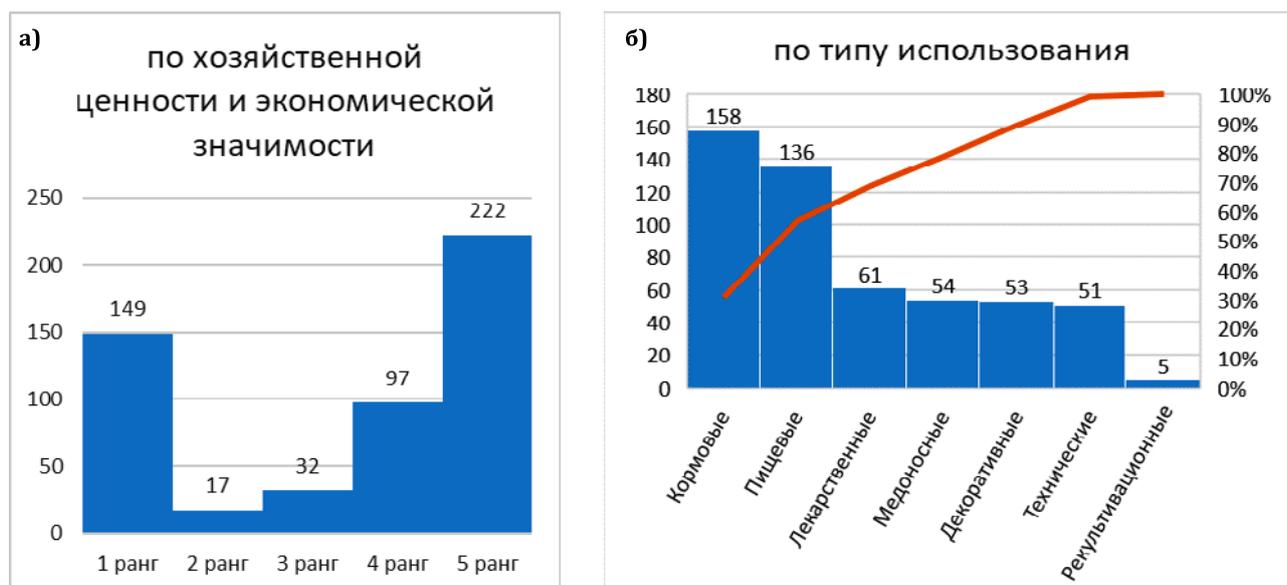
Архызский (Арх.) – район мезофитных широколиственных лесов и влажных высокогорий западнокавказского типа;

Учулунский (Уч.) – район ксеромезофитных широколиственных лесов и сухих высокогорий центрально-кавказского типа в верхнем течении р. Кубань.

Наиболее насыщенным по видовому разнообразию ДРКР оказался Джегутинский флористический район (391 вид). Это вполне закономерно, так как именно здесь наибольшее количество типов местообитаний и переходных зон между ними. В Архызском и Учкулунском районах встречаются соответственно 350 и 346 видов. В самом северном степном Черкесском флористическом районе произрастает 301 вид ДРКР.

Виды были распределены по хозяйственной ценности и экономической значимости и по типу хозяйственного использования (рис. 1).

Приоритетными к сохранению являются виды первых двух рангов, а также эндемики и виды, включенные в Красную книгу России, Международной красной список редких и исчезающих видов (МСОП), Красную книгу Карачаево-Черкесии (таблица). Согласно этим критериям приоритетными к сохранению на территории КЧР могут быть рекомендованы 225 видов ДРКР, однако многие виды первого и второго ранга широко распространены на изучаемой территории и не нуждаются в охране. Был проведен индивидуальный анализ каждого из этих видов по встречаемости и распространению на изучаемой территории, в результате которого составлен предварительный список видов ДРКР, приоритетных к сохранению на территории Карачаево-Черкесии. На основе доступной информации (WIR, LE, Chukhina, 2008; Dzyubent



**Рис. 1.** Распределение видов ДРКР по хозяйственной ценности и экономической значимости (а) и по типу хозяйственного использования (б)

**Fig. 1.** Distribution of CWR species according to their agricultural value and economic importance (а), and their economic uses (б)

**Таблица. Виды ДРКР Карачаево-Черкесской Республики, включенные в Красные книги различного ранга**  
**Table. CWR species of the Karachay-Cherkess Republic included in the Red Data Books of various ranks**

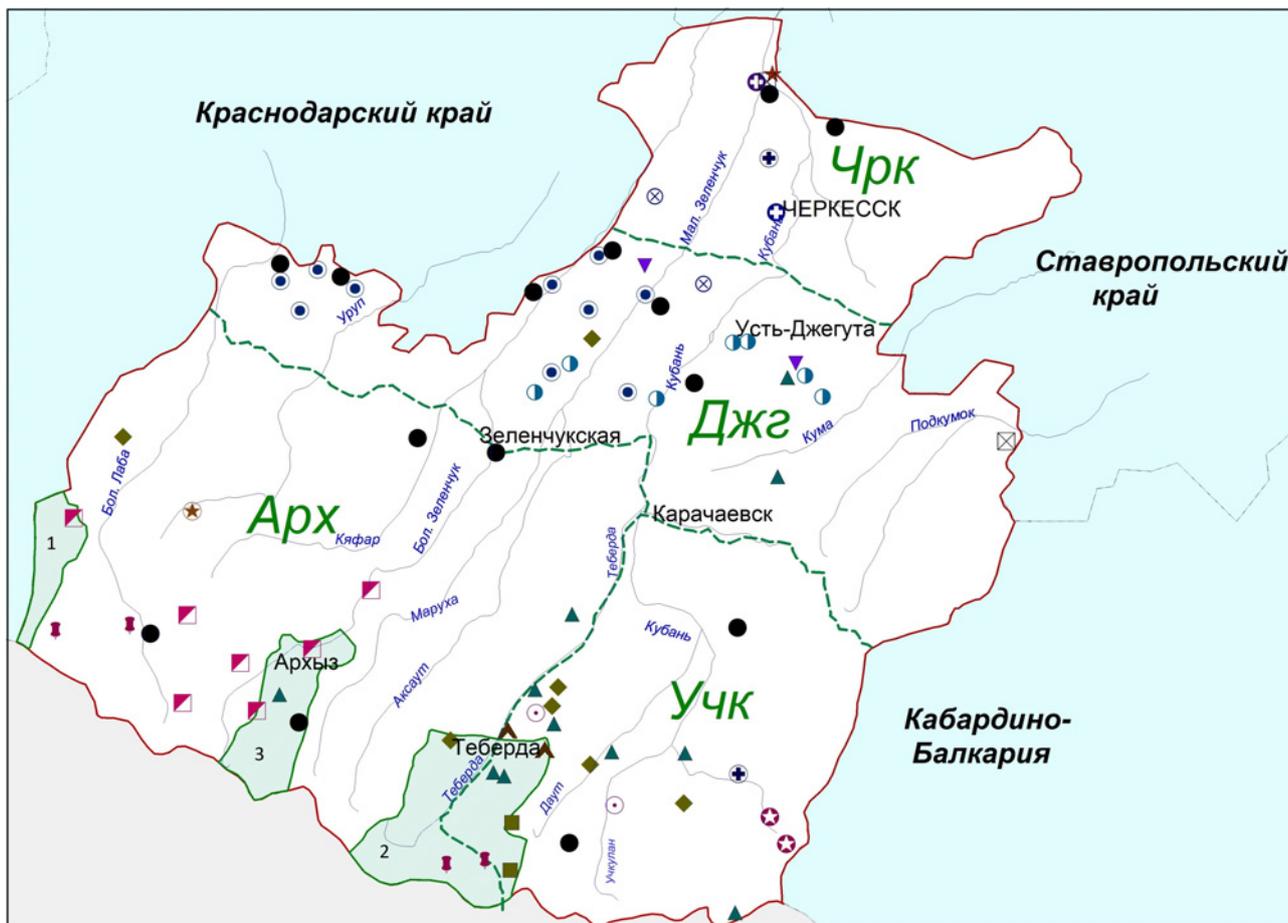
Виды / Species	Ранг хозяйственной ценности / Economic value, rank	Регионы произрастания в пределах России / Regions of distribution in Russia	ККРФ (2008); категория и статус / Status and category in the Red Data Book of Russia (2008)	ККР КЧР (2013), статус / Status in the Red Data Book of KCR (2008)	МСОП (2020): статус / Status in IUCN (2020)
<i>Allium ursinum</i> L.	1	ЕР, КР		3(R)	LC
<i>Amygdalus nana</i> L.	2	ЕР, КР, ЗС		2(V)	DD
<i>Corylus colurna</i> L.	4	КР	2(V)	2(V)	LC
<i>Beckmannia eruciformis</i> (L.) Host.	1	ЕР, КР, ЗС, ВС			LC
<i>Crambe steveniana</i> Rupr.	4	КР	3(R)		DD
<i>Elytrigia stipifolia</i> (Czern. ex Nevski) Nevski	2	ЕР, КР	2(V)	3(R)	
<i>Festuca sommieri</i> Litard.	5	КР	3(R)	3(R)	
<i>Laurocerasus officinalis</i> M. Roem.	4	КР		3(R)	LC
<i>Linum flavum</i> L.	3	ЕР, КР		3(R)	
<i>Mespilus germanica</i> L.	1	КР			LC
<i>Rhus coriaria</i> L.	4	ЕР, КР		3(R)	VU
<i>Secale kuprijanovii</i> Grossh.	3	КР	2(V)	1(E)	
<i>Sorbus graeca</i> (Spach) Lodd. ex Schaukr.	5	ЕР, КР		1(E)	LC
<i>Thymus pulchellus</i> C. A. Mey.	5	КР	2(V)	2(V)	
<i>Vavilovia formosa</i> (Stev.) Fed.	3	КР	2(V)	1(E)	
<i>Vitis sylvestris</i> C. C. Gmel.	2	ЕР, КР		1(E)	

Примечание: КР – Кавказ Российский; ЕР – Европейская Россия; ЗС – Западная Сибирь; ВС – Восточная Сибирь; 1(E) – находящийся под угрозой исчезновения; 2(V) – уязвимый, сокращающийся в численности; 3(R) – редкий; LC – наименьшие опасения; DD – дефицит данных; VU – уязвимый

Note: КР – Russian Caucasus; ЕР – European Russia; ЗС – Western Siberia; ВС – Eastern Siberia; 1(E) – Endangered; 2(V) – Vulnerable, declining in number; 3(R) – Rare; LC – Least Concern; DD – Data Deficit; VU – Vulnerable

ko N.I., Dzyubenko E.A., 2008a, 2008b; Smekalova, 2008; Red Data Book..., 2013; Shilnikov, 2011; Moscow Digital Herbarium..., 2020) построена электронная карта распространения этих видов на территории Карачаево-Черкесской

Республики (рис. 2). Карта включает точки сбора тех видов, по которым удалось найти информацию. Кроме местонахождений видов на карту нанесены границы заповедников и флористических районов.



**Рис. 2.** Карта местонахождений приоритетных к сохранению видов ДРКР в Карачаево-Черкесии  
Примечание: зеленой штриховкой обозначены территории заповедников: 1 – Кавказский (КГПБЗ); 2 – Тебердинский участок Тебердинского (ТГПБЗ); 3 – Архызский участок Тебердинского (ТГПБЗ); расшифровку полных названий заповедников см. в разделе «Условные обозначения и термины», с. 10

**Fig. 2.** The map of Karachay-Cherkessia with localities of priority conservation CWR species  
Note: green hatching indicates the territories of nature reserves: 1 – Caucasus Nature Reserve; 2 – Teberda part of the Teberda Nature Reserve; 3 – Arkhyz part of the Teberda Nature Reserve

Помимо краснокнижных видов в список включены виды 1 и 2 ранга, отличающиеся наибольшей редкостью на территории республики, а также овсяница Цвелева как узколокальный эндемик Карачаево-Черкесии. В результате список видов ДРКР Карачаево-Черкесии, предлагаемых к приоритетному сохранению, насчитывает 22 вида:

1. *Allium ursinum* L. – Лук медвежий, черемша. Ранг 1. Редкий вид с сокращающимся ареалом. Третичный реликт. Пищевое. Обитает в тенистых широколиственных и хвойных лесах. Распространение: в пойменных лесах Кубани в равнинной части республики и на северных склонах Скалистого хребта до 1100 м н. у. м. (Чрк., Джг., Арх., Учк.). Обозначен на карте ●.

*Рекомендации по сохранению:* охрана известной популяции в ТГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов *ex situ* в коллекции ВИР.

2. *Amygdalus nana* L. – Миндаль низкий. Ранг 2. Редкий, сокращающийся в численности вид на южной границе ареала. Декоративное, техническое, рекультивационное, медоносное. Обитает в сухих степях, на каменистых склонах. Предпочитает карбонатные субстраты. Распространение: одно достоверное местонахождение на севере республики (Чрк.). Обозначен на карте ★.

*Рекомендации по сохранению:* поиск новых местонахождений на территории КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов *ex situ* в коллекции ВИР.

3. *Beckmannia eruciformis* (L.) Host. – Бекмания обыкновенная. Ранг 1. Очень редкий вид. Кормовое. Обитает в сырых местах по берегам рек и водоемов. Распространение: указывается для Черкесского флористического района республики.

*Рекомендации по сохранению:* уточнение местонахождений на изучаемой территории.

4. *Corylus colurna* L. – Лещина древовидная. Ранг 4. Редкий, сокращающийся в численности вид. Третичный реликт. Пищевое. Обитает в сосняках, широколиственных и смешанных лесах. Распространение: в окрестностях аула Верхняя Теберда, в верховьях реки Кубани (Арх., Учк.). Обозначен на карте ◆.

*Рекомендации по сохранению:* охрана известных популяций в ТГПБЗ, уточнение местонахождений в окрестностях аула Хабез и по р. Большая Лаба, сохранение образцов из местных популяций *ex situ* в коллекции ВИР.

5. *Crambe steveniana* Rupr. – Катран Стевена. Ранг 4. Редкий вид с сокращающимся ареалом. Эндемик Предкавказья и Крыма. Пищевое. Обитает в степях, на сухих

степных склонах. Распространение: в окрестностях г. Черкесск и по р. Большой Зеленчук (Чрк., Джг.). Обозначен на карте ⊗.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений на территории КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов ex situ в коллекции ВИР.*

6. *Elytrigia stipifolia* (Czern. ex Nevski) Nevski – Пырей ковылелистный. Ранг 2. Редкий вид с сокращающимся ареалом. Эндем Восточного Причерноморья, Нижней Волги и Предкавказья. Кормовое. Обитает в степях, на сухих степных склонах, обнажениях мела и известняка. Распространение: в бассейне р. Джамагат, Теберда, Кизгич, Эльтаркач (Джг., Арх., Учк.). Обозначен на карте ▲.

*Рекомендации по сохранению: охрана известных популяций в ТГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

7. *Festuca sommieri* Litard. – Овсяница Сомье. Ранг 5. Редкий вид. Эндемик Западного и Центрального Кавказа. Обитает на скалистых и щебнистых местах от верхнего предела леса до субниваального пояса. Распространение: указывается для высокогорий Бокового и Главного Кавказского хребтов. Известно два достоверных местонахождений в верховьях реки Теберда (Учк.). Обозначен на карте ■.

*Рекомендации по сохранению: охрана известных популяций в ТГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

8. *Festuca tzvelevii* E. V. Alexeev – Овсяница Цвелева. Ранг 5. Редкий вид. Узколокальный эндемик Карачаево-Черкесии. Подлежит региональной охране. (Taktajtan, 2006; Shilnikov, 2010, 2011). Обитает на луговых и скалистых склонах в субальпийском поясе. Распространение: только в верхней части бассейна р. Уруп (Арх.). Обозначен на карте ★.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

9. *Isatis tinctoria* L. – Вайда красильная. Ранг 1. Редкий вид (Galushko, 1980a; Shilnikov, 2010). Кормовое, техническое. Обитает на остепненных склонах, у дорог. Распространение: указывается для Черкесского флористического района республики (Shilnikov, 2010).

*Рекомендации по сохранению: уточнение местонахождений на изучаемой территории.*

10. *Laurocerasus officinalis* M. Roem. – Лавровишня лекарственная. Ранг 4. Редкий вид. Третичный ксеротермический реликт. Пищевое, лекарственное, техническое. Обитает в широколиственных и смешанных лесах, высокогорных зарослях кустарников и криволесьях. Распространение: в верхнем течении рек Теберда и Большая Лаба (Арх., Учк.). Обозначен на карте ♣.

*Рекомендации по сохранению: охрана известных популяций в ТГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

11. *Linum flavum* L. – Лен желтый. Ранг 3. Находящийся под угрозой исчезновения вид на западной границе ареала (Lysenko I.O., Lysenko A.V., 2017, p. 951). Декоративное, техническое. Обитает в степях, на сухих каменистых склонах и осыпях, предпочитает карбонатные субстраты. Распространение: приурочен к системе Пастбищного хребта (Джг.). Обозначен на карте ▼.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений на территории КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

12. *Mespilus germanica* L. – Мушмула германская. Ранг 1. Редкий вид. Пищевое, декоративное, техническое, медоносное. Обитает в лиственных лесах. Распространение: указывается для Архызского и Джегутинского флористических районов республики.

*Рекомендации по сохранению: уточнение местонахождений на изучаемой территории.*

13. *Pisum elatius* Bieb. – Горошек высокий. Ранг 2. Редкий вид (Galushko, 1980a; Shilnikov, 2010). Пищевое, кормовое. Обитает в зарослях кустарников, на лесных полянах и опушках. Распространение: встречается в верховьях р. Кубань и в окрестностях Черкесска (Чрк., Учк.). Обозначен на карте ⊕.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений на территории КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

14. *Rhus coriaria* L. – Сумах дубильный. Ранг 4. Редкий вид. Ксеротермический реликт. Пищевое, лекарственное, техническое. Обитает в сосняках, зарослях кустарников, на каменистых склонах. Распространение: в окрестностях г. Теберда и в долине р. Джамагат (Учк.). Обозначен на карте ▲.

*Рекомендации по сохранению: охрана известных популяций в ТГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

15. *Secale kuprijanovii* Grossh. – Рожь Куприянова. Ранг 3. Находящийся под угрозой исчезновения вид. Эндемик Большого Кавказа. Пищевое, кормовое. Обитает на субальпийских лугах по верхней границе леса, лесных полянах, склонах и осыпях. Распространение: в верховьях рек Большая Лаба, Уруп, Большой Зеленчук (Арх.). Обозначен на карте ♣.

*Рекомендации по сохранению: охрана известных популяций в ТГПБЗ и КГПБЗ, поиск новых местонахождений в КЧР, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

16. *Sorbus graeca* (Sprach) Lodd. ex Schaukr. – Рябина греческая. Ранг 4. Находящийся под угрозой исчезновения вид. Пищевое, декоративное, медоносное. Обитает на известняковых скалах. Распространение: приурочен к системе Пастбищного хребта (Джг.). Обозначен на карте ⊕.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

17. *Thymus pulchellus* C. A. Meу. – Тимьян красивенький. Ранг 5. Редкий, сокращающийся в численности вид. Эндемик Предкавказья. Обитает в разреженных растительных группировках на сухих степных каменистых и скалистых склонах. Приурочен к выходам гипса. Распространение: на Скалистом Хребте и его северных отрогах (Джг.). Обозначен на карте ⊕.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

18. *Trifolium apertum* Vobrov – Клевер открытый. Ранг 1. Редкий вид на восточной границе ареала (Galushko, 1980a; Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., 2008b). Кормовое, медоносное. Обитает в степях, на сухих скло-

нах, солонцеватых местах, галечниках. Распространение: указывается для Черкесского и Дзегутинского флористических районов (Galushko, 1980a).

*Рекомендации по сохранению: уточнение местонахождений на изучаемой территории.*

19. ***Trifolium fontanum*** Bobrov – Клевер ключевой. Ранг 2. Редкий вид. Эндемик Кавказа (Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., 2008a; Shilnikov, 2010). Кормовое, медоносное. Обитает на сырых лугах, по берегам, у дорог. Приурочен к верхнему и среднему поясам гор. Распространение: по рекам Теберда и Учкулан (Учк.). Обозначен на карте ☉.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известных популяций, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

20. ***Vavilovia formosa*** (Stev.) Fed. – Вавиловия красивая. Ранг 3. Находящийся под угрозой исчезновения вид на западной границе ареала. Возможно, исчезнувший. Эндем Большого Кавказа и Передней Азии. Кормовое. Обитает на мелкощебнистых осыпях и моренах в альпийском и субнивальном поясах. Распространение: известен с западных отрогов Эльбруса. Последние сборы датируются 1960 годом (WIR) (Учк.). Обозначен на карте ★.

*Рекомендации по сохранению: поиск и заповедование современных местонахождений вида, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

21. ***Vicia villosa*** Roth – Горошек мохнатый. Ранг 1. Кормовое. Еще сорок лет назад считался редким (Galushko, 1980a). В современных конспектах флоры приводится без указания категории редкости (Zernov, Onipchenko, 2011) или отсутствует (Shilnikov, 2010). Обитает на травяных склонах, в зарослях кустарников. Распространение: в степных районах на севере республики (Джг.). Обозначен на карте ☒.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известной популяции, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

22. ***Vitis sylvestris*** C. C. Gmel. – Виноград лесной. Ранг 2. Находящийся под угрозой исчезновения вид. Пищевое, декоративное. Обитает в пойменных лесах и на опушках. Распространение: по нижнему течению реки Малый Зеленчук (Чрк.). Обозначен на карте ☉.

*Рекомендации по сохранению: поиск новых местонахождений в КЧР, мониторинг состояния известной популяции, сохранение образцов из местных популяций ex situ в коллекции ВИР.*

Вышеперечисленные виды ДРКР подлежат первоочередной охране на территории Карачаево-Черкесии.

Сохранение генетических ресурсов растений должно осуществляться в совокупности двумя путями (*ex situ* и *in situ*). В составе природных растительных сообществ наиболее целесообразным является сохранение видов в пределах уже созданных особо охраняемых природных территорий (Smekalova et al., 2011). В КЧР существует сеть ООПТ, среди которых первое место занимают заповедники.

Площадь Кавказского заповедника на территории КЧР – около 12,5 тыс. га, что составляет 4,5% площади всего заповедника. Это высокогорья на крайнем юго-западе республики, на границе с Краснодарским краем (см. рис. 2).

Основные мероприятия по изучению и сохранению флоры Карачаево-Черкесии проводятся в Тебердинском заповеднике, расположенном на северном макросклоне

Главного Кавказского хребта и его отрогов. Заповедник занимает площадь 83,2 тыс. га и состоит из двух участков (см. рис. 2): Тебердинского (в верховьях реки Теберда и ее притоков) и Архызского (в долине реки Кизгич). Среди типов растительности здесь господствуют леса (36% площади), обширные площади занимают луга (28%), далее следуют скалы, россыпи и осыпи (26%), около 10% территории занято ледниками (Onipchenko et al., 2011). Флора Тебердинского заповедника насчитывает 1210 видов сосудистых растений, из которых 228 видов относятся к диким родичам культурных растений. На рисунке 2 наглядно представлено, что лишь небольшая часть видов ДРКР, приоритетных к сохранению, встречается на территории заповедников. В Тебердинском заповеднике сохраняются семь видов (*Allium ursinum*, *Corylus colurna*, *Elytrigia stipifolia*, *Festuca sommieri*, *Laurocerasus officinalis*, *Rhus coriaria*, *Secale kuprijanovii*), один вид (*Secale kuprijanovii*) сохраняется в Кавказском заповеднике. Виды, произрастающие в северной степной части республики, не охвачены сетью ООПТ и требуют регулярного мониторинга и дополнительных мер охраны.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что на территории Карачаево-Черкесской Республики произрастает 516 видов ДРКР из 134 родов 36 семейств, среди которых 449 видов из 107 родов 33 семейств являются аборигенными. Наиболее богат по видовому составу ДРКР Дзегутинский флористический район: здесь произрастает 391 вид. По типу хозяйственного использования преобладают виды кормового (158) и пищевого (136) назначения. На территории заповедников сохраняются 228 видов ДРКР, что составляет около 44% от их общего количества.

По сумме критериев выделены виды ДРКР, заслуживающие приоритетного сохранения на территории республики. Особого внимания заслуживают 15 видов, которые не встречаются на заповедных территориях. Еще семь видов сохраняются в заповедниках.

Для эффективного сохранения рекомендуемых видов необходимы контроль за состоянием известных популяций, поиск новых местонахождений и рациональное сочетание методов сохранения *in situ* и *ex situ*.

---

*Работа выполнена по тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0005 «Раскрытие потенциала и разработка стратегии рационального использования генетического разнообразия ресурсов кормовых культурных растений и их диких родичей, сохраняемого в семенных и гербарных коллекциях ВИР» с использованием фондов Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) и Гербария высших растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (LE).*

---

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0005 “Disclosing the potential and developing a sustainable utilization strategy for the genetic diversity of forage crops and their wild relatives preserved in the seed and herbarium collections at VIR”, using VIR’s Herbarium of the World’s Cultivated Plants, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR), and the Herbarium of Higher Plants held by the Komarov Botanical Institute of the RAS (LE).*

---

## References / Литература

- Bagmet L.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 901. Crop wild relatives of Russia. North Caucasian Federal District. Karachay-Cherkess Republic. St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Багмет Л.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 901. Дикие родичи культурных растений России. Северо-Кавказский федеральный округ. Карачаево-Черкесская Республика. Санкт-Петербург: ВИР; 2019).
- Chotchayeva R.R. Prospects of use of a gene pool of flora of a river basin of Teberda. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2016;4(192):90-96. [in Russian] (Чотчаева Р.Р. Перспективы использования генофонда флоры бассейна реки Теберда. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2016;4(192):90-96).
- Chukhina I., Shipilina L., Bagmet L., Talovina G., Smekalova T. Results of studying wild relatives of the cultivated plants of Russia. *Biological Communications*. 2020;65(1):41-52. DOI: 10.21638/spbu03.2020.104
- Chukhina I.G. Crop wild relatives. Area of distribution of dwarf Russian almond – *Amygdalus nana* L. (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy. Areal Mindalya nizkogo – *Amygdalus nana* L.). In: Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*. 2008. [in Russian] (Чухина И.Г. Дикие родичи культурных растений. Ареал Миндаля низкого – *Amygdalus nana* L. В кн.: *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения* / под ред. А.Н. Афолина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. 2008). URL: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Amygdalus\\_nana/map](http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Amygdalus_nana/map) [дата обращения: 11.12.2020].
- Dzhatdоеva D.T. The distribution of herbs of Karachay-Cherkessia flora by floristic areas and altitude belts. *Nauchnyi dialog = Scientific Dialogue*. 2012;(2):68-78. [in Russian] (Джатдоева Д.Т. Распределение видов лекарственных растений флоры Карачаево-Черкессии по флористическим районам и высотным поясам. *Научный диалог*. 2012;(2):68-78).
- Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A. Crop wild relatives. Area of distribution of fountain clover (*Trifolium fontanum* Bobr.) (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy. Areal klevera klyuchevogo [*Trifolium fontanum* Bobr.]). In: A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds). *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*. 2008a. [in Russian] (Дзюбенко Н.И., Дзюбенко Е.А. Дикие родичи культурных растений. Ареал клевера ключевого (*Trifolium fontanum* Bobr.). В кн.: *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения* / под ред. А.Н. Афолина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. 2008a). URL: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Trifolium\\_fontanum/map](http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Trifolium_fontanum/map) [дата обращения: 10.12.2020].
- Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A. Crop wild relatives. Area of distribution of open clover (*Trifolium apertum*) (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy. Areal klevera otкрыtozevnogo [*Trifolium apertum*]). In: A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds). *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*. 2008b. [in Russian]. (Дзюбенко Н.И., Дзюбенко Е.А. Дикие родичи культурных растений. Ареал клевера открытозевного (*Trifolium apertum*). В кн.: *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения* / под ред. А.Н. Афолина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. 2008b). URL: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Trifolium\\_apertum/map](http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Trifolium_apertum/map) [дата обращения: 10.12.2020].
- Galushko A.I. Flora of the North Caucasus. Key. Vol. 1 (Flora Severnogo Kavkaza. Opredelitel. T. 1). Rostov: Rostov University; 1978. [in Russian] (Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Т. 1. Ростов: Ростовский университет; 1978).
- Galushko A.I. Flora of the North Caucasus. Key. Vol. 2 (Flora Severnogo Kavkaza. Opredelitel. T. 2). Rostov: Rostov University; 1980a. [in Russian] (Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Т. 2. Ростов: Ростовский университет; 1980a).
- Galushko A.I. Flora of the North Caucasus. Key. Vol. 3 (Flora Severnogo Kavkaza. Opredelitel. T. 3). Rostov: Rostov University; 1980b. [in Russian] (Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Т. 3. Ростов: Ростовский университет; 1980b).
- Ivanov A.L., Chotchayeva R.R. On the question of the uniqueness of the flora in the Teberda river basin (Western Caucasus) (K voprosu ob originalnosti flory basseyna reki Teberdy [Zapadny Kavkaz]). *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*. 2008;(1):16-21. [in Russian] (Иванов А.Л., Чотчаева Р.Р. К вопросу об оригинальности флоры бассейна реки Теберды (Западный Кавказ). *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2008;(1):16-21).
- Lysenko I.O., Lysenko A.V. Zoological analysis of angiosperm (flowering plants) from Red Data Book of Karachay-Cherkess Republic. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2017;22(5-1):949-954. [in Russian] (Лысенко И.О., Лысенко А.В. Зоологический анализ покрытосеменных (цветковых) растений, занесенных в Красную книгу Карачаево-Черкесской Республики. *Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки*. 2017;22(5-1):949-954). DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-949-954
- Moscow Digital Herbarium. National Depository Bank of Live Systems “Noah’s Ark”. Moscow: Moscow State University; 2020. [in Russian] (Цифровой гербарий МГУ. Национальный банк-депозитарий живых систем «Ноев Ковчег». Москва: МГУ; 2020). URL: <https://plant.depo.msu.ru/> [дата обращения: 17.06.2020].
- Onipchenko V.G. (ed.). The Red Data Book of the Karachay-Cherkess Republic (Krasnaya kniga Karachayevo-Cherkesskoy Respubliki). Cherkessk: Nartizdat; 2013. [in Russian] (Красная книга Карачаево-Черкесской Республики / под ред. В.Г. Онопченко. Черкесск: Нартиздат; 2013). URL: <http://oopt.aari.ru/ref/905> [дата обращения: 11.11.2020].
- Onipchenko V.G., Zernov A.S., Vorobyeva F.M. Vascular plants of the Teberda reserve (annotated list of species) (Sosudistyе rasteniya Teberdinskogo zapovednika [annotirovanny spisok vidov]). 2nd ed. Moscow; 2011. [in Russian] (Онопченко В.Г., Зернов А.С. Воробьева Ф.М. Сосудистые растения Тебердинского заповедника (аннотированный список видов). 2-е изд. Москва; 2011).
- Red Data Book of the Russian Federation (plants and mushrooms) (Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii [rasteniya

- i griby]). Moscow; 2008. [in Russian] (Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). Москва; 2008). URL: <http://oort.aari.ru/ref/38> [дата обращения: 30.11.2020].
- Shilnikov D.S. Rare and endangered plants of Karachay-Cherkessia (Redkiye i ischezayushchiye rasteniya Karachayevo-Cherkessii). Nalchik; 2011. [in Russian] (Шильников Д.С. Редкие и исчезающие растения Карачаево-Черкесии. Нальчик; 2011).
- Shilnikov D.S. Synopsis of the flora of Karachay-Cherkessia (Konspekt flory Karachayevo-Cherkessii). Stavropol: AGRUS; 2010. [in Russian] (Шильников Д.С. Конспект флоры Карачаево-Черкесии. Ставрополь: АГРУС; 2010).
- Smekalova T.N. Crop wild relatives. Area of distribution of *Pisum elatius* Bieb. (wild pea) (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy). Areal *Pisum elatius* Bieb. [Gorokh vysokiy]). In: A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds). *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*. 2008a. [in Russian] (Смекалова Т.Н. Ареал *Pisum elatius* Bieb. (Горох высокий). В кн.: *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения* / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грина, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. 2008. URL: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Pisum\\_elatius/map](http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Pisum_elatius/map) [дата обращения: 10.12.2020].
- Smekalova T.N., Chukhina I.G. (comp.) Catalogue of the VIR global collection. Issue 766. Crop wild relatives of Russia (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy Rossii). St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 766. Дикие родичи культурных растений России / сост. Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина. Санкт-Петербург: ВИР; 2005).
- Smekalova T.N., Chukhina I.G. Crop wild relatives of European Russia for the problem of their *in situ* conservation. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*. 2011;15-1(104):38-43. [in Russian] (Смекалова Т.Н., Чухина И.Г. Дикие родичи культурных растений Европейской России в связи с проблемой их сохранения *in situ*. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2011;15-1(104):38-43).
- Takhtajan A.L. (ed.). *Caucasian flora conspectus*. In 3 volumes. Vol. 2. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2006. [in Russian] (Конспект флоры Кавказа. В 3-х томах. Т. 2 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет; 2006).
- Takhtajan A.L. (ed.). *Caucasian flora conspectus*. In 3 volumes. Vol. 3. Part 1. St. Petersburg; Moscow: KMK; 2008. [in Russian] (Конспект флоры Кавказа. В 3-х томах. Т. 3. Часть 1 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2008).
- Takhtajan A.L. (ed.). *Caucasian flora conspectus*. In 3 volumes. Vol. 3. Part 2. St. Petersburg; Moscow: KMK; 2012. [in Russian] (Конспект флоры Кавказа. В 3-х томах. Т. 3. Часть 2 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2012).
- The IUCN Red List of Threatened Species [Version 2020-1]. IUCN; 2020. Available from: <https://www.iucnredlist.org> [accessed June 04, 2020].
- Zernov A.S., Alekseev Yu.E., Onipchenko V.G. Keys to vascular plants of the Karachay-Cherkess Republic (Opredelitel sosudistykh rasteniy Karachayevo-Cherkesskoy Respubliki). Moscow: KMK; 2015. [in Russian] (Зернов А.С., Алексеев Ю.Е., Онипченко В.Г. Определитель сосудистых растений Карачаево-Черкесской Республики. Москва: КМК; 2015).
- Zernov A.S., Onipchenko V.G. Vascular plants of the Karachay-Cherkess Republic (Sosudistyye rasteniya Karachayevo-Cherkesskoy Respubliki). Moscow: MAK Press; 2011. [in Russian] (Зернов А.С., Онипченко В.Г. Сосудистые растения Карачаево-Черкесской Республики. Москва: МАКС Пресс; 2011).
- Zernov A.S., Onipchenko V.G., Polyudchenkov I.P. Additions to the flora of Karachay-Cherkess Republic. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2013;118(6):68-69. [in Russian] (Зернов А.С., Онипченко В.Г., Полюдченков И.П. Дополнения к флоре Карачаево-Черкесской Республики. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2013;118(6):68-69).
- Zernov A.S., Onipchenko V.G., Polyudchenkov I.P. Additions to the flora of Karachay-Cherkess Republic. Part 2. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2014;119(6):70-71. [in Russian] (Зернов А.С., Онипченко В.Г., Полюдченков И.П. Дополнения к флоре Карачаево-Черкесской Республики. Сообщение 2. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2014;119(6):70-71).

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Багмет Л.В. Дикие родичи культурных растений Карачаево-Черкесии: инвентаризация и перспективы сохранения. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-9-17

Bagmet L.V. Crop wild relatives of Karachay-Cherkessia: inventing and conservation prospects. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-9-17

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-9-17>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Bagmet L.V. <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>

# Влияние температурного режима на лабораторную всхожесть и энергию прорастания астрагалов

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-18-23

УДК 582.736

Поступление/Received: 16.09.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



## The effect of temperature regimes on laboratory germination rates and germination energy of *Astragalus L.*

Т. В. КОРНИЕВСКАЯ

T. V. KORNIJEVSKAYA

Алтайский государственный университет,  
656049 Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61  
✉ [galtsovaw@yandex.ru](mailto:galtsovaw@yandex.ru)

Altai State University,  
61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia  
✉ [galtsovaw@yandex.ru](mailto:galtsovaw@yandex.ru)

**Актуальность.** Температурный режим оказывает существенное воздействие на ферментативную активность семян. Оптимальные температуры запускают физико-химические реакции семени и инициируют его прорастание. Оптимальная температура зависит от эколого-географических условий происхождения таксона и устанавливается опытным путем.

**Материалы и методы.** Объектами исследования послужили семена трех видов рода *Astragalus L.* (*A. cicer L.*, *A. onobrychis L.*, *A. sulcatus L.*), собранные с молодых генеративных растений, интродуцируемых в сухостепной зоне Кулунды. С использованием двухфакторного дисперсионного анализа изучено влияние температурных режимов (+4...+8°C, +10...+20°C, +20...+32°C) и видовой принадлежности астрагалов на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян. Оценка лабораторной всхожести семян проведена по методическим рекомендациям М. М. Ишмуратовой и К. Г. Ткаченко.

**Результаты.** Дисперсионный анализ показал существенное влияние температурного режима (51–54%) и видоспецифичности (23–24%) на всхожесть и энергию прорастания семян астрагалов. Семена *A. onobrychis* прорастают в широком спектре положительных температур (от +4...+8°C до +20...+32°C). При использовании температурного режима +10...+20°C лабораторная всхожесть семян *A. onobrychis* и *A. sulcatus* составила 100%. Оптимальные температуры, определяющие максимальную лабораторную всхожесть семян *A. cicer*, находятся в диапазоне +20...+32°C. Низкие положительные температуры (+4...+8°C) не эффективны для прорастания семян *A. cicer*.

**Заключение.** Подобраны оптимальные температурные режимы для проращивания семян астрагалов: +10...+20°C для *A. onobrychis*, *A. sulcatus* и +20...+32°C для *A. cicer*.

**Ключевые слова:** *Astragalus*, температурные диапазоны, посевные качества семян.

**Background.** The temperature regime has a significant effect on the enzymatic activity of seeds. Optimum temperatures trigger physical and chemical reactions in the seed and initiate its germination. The optimum temperature depends on the environmental and geographical conditions in the area of a taxon's origin and is determined experimentally.

**Materials and methods.** The target material of the study were seeds of three *Astragalus L.* species (*A. cicer L.*, *A. onobrychis L.*, and *A. sulcatus L.*) collected from young generative plants introduced in the dry-steppe zone of Kulunda. The effect of temperature conditions (+4...+8°C, +10...+20°C, +20...+32°C) and species-specific attribution of *Astragalus* plants on laboratory seed germination percentage and energy was studied using the two-factor analysis of variance. The assessment of laboratory seed germination was carried out according to the guidelines by M. M. Ishmuratova and K. G. Tkachenko.

**Results.** The analysis of variance showed a significant effect of the temperature regime (51–54%) and species specificity (23–24%) on the germination percentage rate and germination energy of *Astragalus* seeds. The seeds of *A. onobrychis* germinated under a wide range of positive temperatures (from +4...+8°C to +20...+32°C). The temperature range of +10...+20°C was optimal for *A. onobrychis* and *A. sulcatus*, with 100% germination. The optimum temperature that determined the maximum laboratory germination of *A. cicer* seeds was in the range of +20...+32°C. Low positive temperatures (+4...+8°C) were not effective for germination of *A. cicer* seeds.

**Conclusion.** The optimum temperature conditions for germination of *Astragalus* seeds were identified: +10...+20°C for *A. onobrychis* and *A. sulcatus*, and +20...+32°C for *A. cicer*.

**Key words:** *Astragalus*, temperature ranges, sowing qualities of seeds.

### Введение

Одним из наиболее важных условий для прорастания семян является температура проращивания, усиливающая ферментативную активность семени и инициирующая процесс прорастания семян (Ovcharov, 1976; Simlat et al., 2016). Прорастание семян различных видов происходит при разных температурных режимах. Существует три разновидности температур, оказывающих влияние на процесс прорастания семян: минимальная (базовая),

максимальная и оптимальная. Минимальная и максимальная температуры являются предельными для растений: при их понижении и повышении прорастание семян становится невозможным. Предельные температуры связаны с различным оптимумом активности ферментов и физико-химическими особенностями белков в семенах разных видов и сортов растений (Watt, Blumberg, 2012). Уровень активности ферментов семени связан с экологическими условиями обитания вида (Ovcharov, 1976). Оптимальная температура – это температур-

ный диапазон, при котором скорость прорастания семян является самой высокой. Оптимальные температуры проращивания семян устанавливаются опытным путем с учетом эколого-географического распространения видов (Baskin C.C., Baskin J.M., 1998). Температурный оптимум прорастания семян видов Fabaceae лежит в пределах от +5 до +20°C (Müller et al., 2019). Семена дикорастущих бобовых тропических и субтропических областей обладают высокой всхожестью при температурах от +16 до +36°C (McDonald, 2002). На прорастание семян и рост зародыша некоторых видов положительно влияют не постоянные, а переменные температуры (Кауе, 1999; Valeyev, Bukharov, 2013).

Виды семейства Fabaceae Lindl. более чувствительны к высоким температурам в отличие от Poaceae Barnh. и Brassicaceae Burnett. Часто высокие летние температуры и засуха не позволяют бобовым прорасти в полевых условиях (Tribouillois et al., 2016). Для подбора оптимальных сроков сева астрагалов необходимы глубокие знания о механизмах прорастания семян изучаемых видов при разных температурных режимах. В настоящее время существуют лишь обрывочные сведения о влиянии температурных режимов на всхожесть семян некоторых астрагалов. Так, например, температура +5°C резко снижает всхожесть семян *Astragalus australis* (L.) Lam., а +15...+25°C значительно улучшает их всхожесть (Кауе, 1999). Оптимальной для проращивания семян *A. membranaceus* (Fisch.) Bunge является температура +10°C (Zhou et al., 2012). У однолетнего вида *A. arpilobus* Kar. & Kir. семена успешно прорастают в широком диапазоне температур от +2...+5°C до +25...+30°C, в то время как у другого вида, *A. tennesensis* A. Gray ex Chapt., максимальная всхожесть семян может быть получена при +25°C (Baskin C.C., Quarterman, 1969; Long et al., 2012). Целью настоящего исследования стало изучение влияния разных температурных режимов на лабораторную всхожесть трех видов астрагалов, интродуцируемых в условиях сухой степи (Михайловский район, Алтайский край).

#### Материалы и методы

Семена трех видов рода *Astragalus* L. – *A. cicer* L. (астрагал нутовый), *A. onobrychis* L. (астрагал эспарцетный) и *A. sulcatus* L. (астрагал бороздчатый) – собраны с интродукционного участка в окрестностях с. Полуямки Михайловского района Алтайского края в 2014 г. с растений молодого генеративного возрастного состояния (рис. 1).

У *A. cicer* семена среднего размера, 2–2,5 мм длиной. Положение в пространстве относительно оси изогнутое. Семя почковидной формы, желтого цвета, имеет фуникулюс (семяножку), который у большинства семян быстро опадает. На месте семяножки остается вдавленный семенной рубчик округлой формы. Поверхность семени голая, ровная, гладкая, блестящая, лишенная придатков и выростов.

Семена *A. sulcatus* среднего размера, имеют длину 1,5 мм, ширину – 1 мм. Фуникулюс опадает при созревании семян и растрескивании бобов. Семенной рубчик вдавленный, округлой формы. Семя округлой почковидной формы, иногда уплощенное с боков, лишено придатков. Положение семени в пространстве относительно главной оси изогнутое. Окраска семени от коричневой до буро-коричневой, неравномерно пятнистая. Поверхность семени голая, гладкая, блестящая. Семена распространяются вокруг материнского растения автохорно, высыпаясь из созревших двустворчатых бобов.

У *A. onobrychis* семена среднего размера, длиной 2–3,5 мм, шириной 1–1,5 мм. Фуникулюс не сохраняется при семенах. Семенной рубчик вдавленный, округлой формы. Семена имеют различную форму: правильную округлую, почковидную либо неправильную многоугольную. Семена, зачастую уплощенные с боков, лишены придатков, относительно главной оси в пространстве имеют изогнутое положение. Окраска семени варьирует от светло-коричневой, пятнистой до темно-коричневой, почти черной. Поверхность семени голая, гладкая, блестящая. Семена распространяются при помощи сухих диаспор, поскольку бобы *A. onobrychis* не способны самостоятельно вскрываться.

Семена астрагалов проращивались с использованием климатических камер, которые поддерживали переменные температурные диапазоны: +4...+8°C, +10...+20°C, +20...+32°C. Семена, предварительно скарифицированные концентрированной серной кислотой, проращивались на свету. Оценка энергии прорастания астрагалов проводилась на четвертые сутки. Лабораторная всхожесть оценивалась на седьмые сутки со дня начала прорастания семян. Условия проращивания, сроки определения энергии прорастания и лабораторной всхожести семян астрагалов соблюдались на основе методических рекомендаций (Ishmuratova, Tkachenko, 2009). Для выявления наименьшей существенной разницы ( $HSP_{0,05}$ ) средних арифметических значений фактора (температуры) проведен дисперсионный анализ.

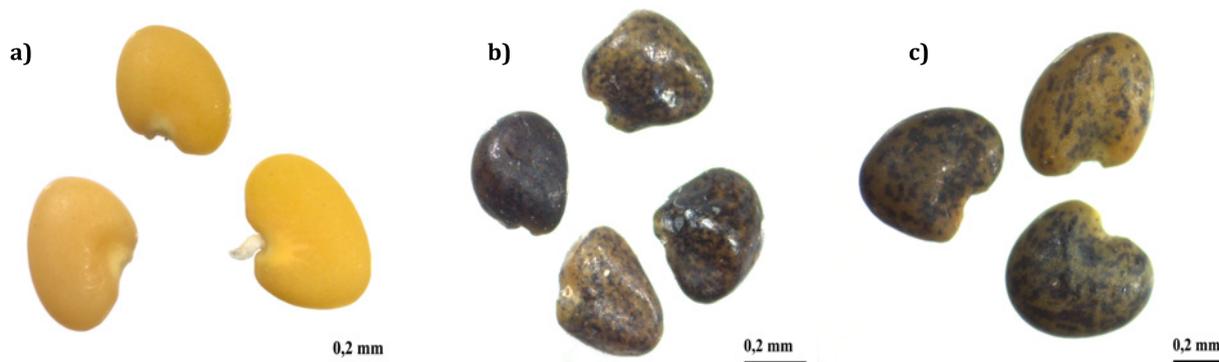


Рис. 1. Фото семян: (а) – *A. cicer* L., (б) – *A. onobrychis* L., (с) – *A. sulcatus* L. (фото автора)

Fig. 1. Seed images of (a) – *A. cicer* L., (b) – *A. onobrychis* L., (c) – *A. sulcatus* L. (photo by the author)

### Обсуждение результатов

Изучено влияние трех температурных фонов (+4...+8°C; +10...+20°C; +20...+32°C) на всхожесть и энергию прорастания семян астрагалов.

Дисперсионный анализ показал существенное отличие лабораторной всхожести и энергии прорастания семян *A. onobrychis* от таковой у *A. cicer* и *A. sulcatus* при температуре от +4 до 8°C, в то время как достоверного отличия между *A. cicer* и *A. sulcatus* не выявлено. При температуре от +4 до +8°C лабораторная всхожесть *A. onobrychis* составила 88%, а энергия прорастания – 73% (табл. 1).

Диапазон температур от +4 до 8°C не эффективен для прорастания семян *A. cicer* и *A. sulcatus*: лабораторная всхожесть *A. cicer* составила 2%, а у *A. sulcatus* – 10%. Низкие положительные температуры задерживают прорастание семян *A. cicer* и *A. sulcatus*, семена остаются ненабухшими на протяжении 15 суток.

При температуре от +10 до +20°C лабораторная всхожесть и энергия прорастания *A. onobrychis* и *A. sulcatus* достоверно отличаются на уровне  $p = 0,05$  от *A. cicer*. Существенной разницы между *A. onobrychis* и *A. sulcatus* не выявлено.

Энергия прорастания *A. cicer* существенно отличается от двух других видов, между которыми достоверных отличий по этому показателю не обнаружено.

При повышении температуры до +10...+20°C лабораторная всхожесть улучшается у трех видов астрагалов. Семена прорастают на 3–5 сутки. Температурный интервал от +10 до +20°C является оптимальным для *A. onobrychis* и *A. sulcatus*, всхожесть при котором составила 100%, а у *A. cicer* – 66% (табл. 2).

Достоверных отличий в лабораторной всхожести между видами при температуре +20...+32°C не обнаружено.

Энергия прорастания семян *A. cicer* существенно отличалась от других видов астрагалов, между которыми существенной разницы в энергии прорастания не выявлено.

Диапазон температур от +20 до +32°C эффективен для прорастания семян *A. cicer*, лабораторная всхожесть которого составила 83%. При +20...+32°C 66% семян *A. cicer* проросло на третьи сутки. У *A. onobrychis* и *A. sulcatus* с повышением температуры до +20...+32°C лабораторная всхожесть семян незначительно снижалась: до 91% у *A. onobrychis* и до 93% у *A. sulcatus* (табл. 3).

**Таблица 1.** Влияние температуры +4...+8°C на всхожесть и энергию прорастания астрагалов (*Astragalus L.*)

**Table 1.** The effect of the temperatures +4...+8°C on seed germination percentage and energy of *Astragalus* spp.

Виды	Всхожесть, %					Энергия прорастания, %				
	повторности					повторности				
	I	II	III	IV	ср. знач.	I	II	III	IV	ср. знач.
<i>Astragalus cicer</i> L.	0	7	0	0	2	0	3	0	0	1
<i>A. onobrychis</i> L.	80	77	93	100	88	77	60	57	97	73
<i>A. sulcatus</i> L.	7	7	17	10	10	0	3	7	3	3

**Таблица 2.** Влияние температуры +10...+20°C на всхожесть и энергию прорастания астрагалов (*Astragalus L.*)

**Table 2.** The effect of the temperatures +10...+20°C on seed germination percentage and energy of *Astragalus* spp.

Виды	Всхожесть, %					Энергия прорастания, %				
	повторности					повторности				
	I	II	III	IV	ср. знач.	I	II	III	IV	ср. знач.
<i>Astragalus cicer</i> L.	80	80	60	43	66	70	67	50	40	57
<i>A. onobrychis</i> L.	100	100	100	100	100	83	97	97	97	94
<i>A. sulcatus</i> L.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Таблица 3.** Влияние температуры +20...+32°C на всхожесть и энергию прорастания астрагалов (*Astragalus L.*)

**Table 3.** The effect of the temperatures +20...+32°C on seed germination percentage and energy of *Astragalus* spp.

Виды	Всхожесть, %					Энергия прорастания, %				
	повторности					повторности				
	I	II	III	IV	ср. знач.	I	II	III	IV	ср. знач.
<i>Astragalus cicer</i> L.	83	80	87	83	83	67	60	73	63	66
<i>A. onobrychis</i> L.	100	77	100	87	91	97	77	87	83	86
<i>A. sulcatus</i> L.	100	97	73	100	93	97	97	70	77	85

С использованием двухфакторного дисперсионного анализа изучено влияние двух независимых переменных (факторов): А – температурного режима, В – вида астрагала на лабораторную всхожесть семян.

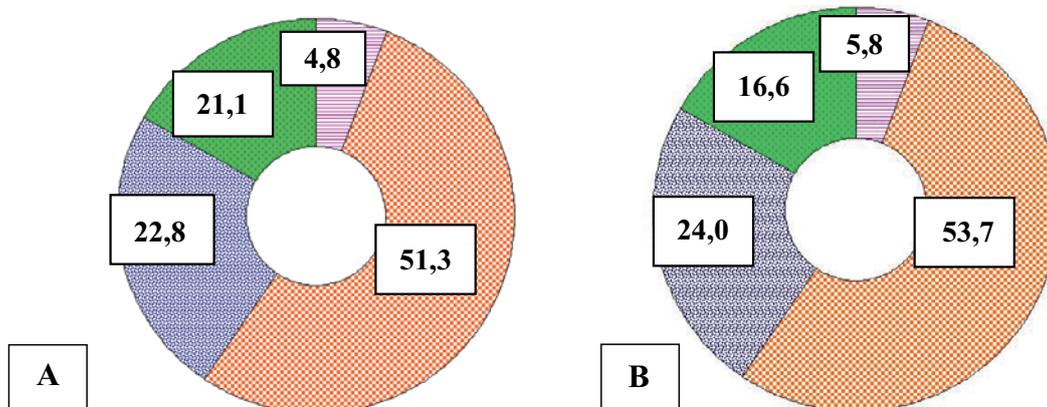
Результаты дисперсионного анализа взаимодействия факторов позволяют судить о том, что большее влияние на всхожесть семян астрагалов оказывал фактор температуры. Температурный режим +4...+8°C оказал существенное влияние на всхожесть и энергию прорастания относительно двух других режимов (+10...+20°C и +20...+32°C), которые статистически незначительно отличались друг от друга.

На рисунке 2 показана различная степень влияния на лабораторную всхожесть и энергию прорастания температурных режимов (фактор А), видовой принадлежности астрагалов (фактор В), а также взаимодействия этих факторов между собой (А\*В).

Таким образом, температурный режим на 51,3% определяет всхожесть семян и на 53,7% их энергию прорастания. Видовая специфичность астрагалов оказывает существенное влияние на лабораторную всхожесть и энергию прорастания (22,8–24,0%). Другие, не учитываемые нами факторы оказывают малую долю влияния на рассматриваемые нами параметры (4,8–5,8%).

Дисперсионный анализ показал существенное взаимодействие (16,6–21,1%) изучаемых факторов, что свидетельствует о видоспецифичном характере отзывчивости лабораторной всхожести и энергии прорастания семян рода *Astragalus* к трем уровням температурного режима.

У *A. onobrychis* семена проросли в широком спектре положительных температур от +4°C до +32°C (рис. 3). Температурный диапазон от +10 до +20°C оптимален для прорастания семян *A. onobrychis*. При таком температур-

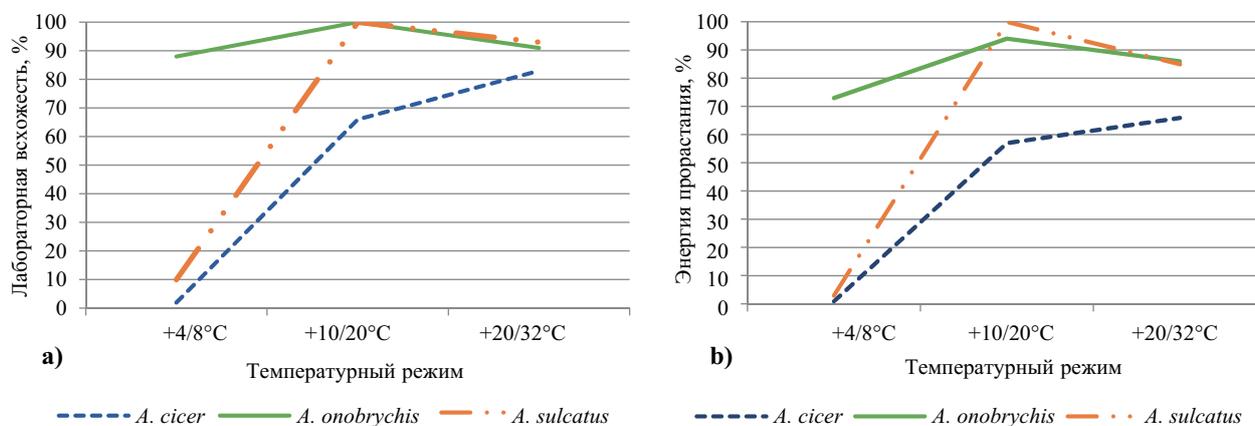


**Рис. 2.** Факторы, влияющие на лабораторную всхожесть (А) и энергию прорастания (В) астрагалов (*Astragalus* L.): температурный режим, вид астрагала и их взаимодействие (%).

Условные обозначения: – температурный режим (А); – виды астрагалов (В); – взаимодействие факторов А и В; – прочие факторы

**Fig. 2.** Factors affecting laboratory germination percentage (A) and germination energy (B) of *Astragalus* spp.: temperature regime, species specificity, and their interaction (%).

Legend: – temperature regime (A); – *Astragalus* species (B); – interaction between factors A and B; – other factors



**Рис. 3.** Взаимодействие факторов А и В при их влиянии на лабораторную всхожесть (а) и энергию прорастания (б) астрагалов (*Astragalus* L.)

**Fig. 3.** Interaction between factors A and B in their effect on laboratory germination percentage (a) and germination energy (b) of *Astragalus* spp.

ном режиме лабораторная всхожесть *A. onobrychis* достигала 100%. Дальнейшее повышение температуры до +20...+32°C незначительно снижало лабораторную всхожесть *A. onobrychis* до 91%, а энергию прорастания до 86%.

Диапазон температур +4...+8°C не эффективен для прорастания семян *A. sulcatus*. При этом температурном режиме у астрагала бороздчатого проросло лишь 10% семян. Повышение температуры до +10...+20°C сопровождалось увеличением лабораторной всхожести *A. sulcatus*, которая достигала максимальных значений (100%). Дальнейшее повышение температуры до +20...+32°C снижало лабораторную всхожесть так же, как и у *A. onobrychis*.

У *A. cicer* семена не прорастали при низких положительных температурах. Оптимальным путем установлен оптимальный для прорастания семян *A. cicer* температурный режим (+20...+32°C), при котором лабораторная всхожесть составила 83%, а энергия прорастания – 66%.

### Заключение

Изучено влияние трех температурных режимов (+4...+8°C, +10...+20°C, +20...+32°C) на всхожесть и энергию прорастания интродуцируемых в условиях сухостепной зоны Кулунды астрагалов: *Astragalus cicer*, *A. onobrychis* и *A. sulcatus*.

Определены оптимальные температурные диапазоны для проращивания семян астрагалов. Семена *A. onobrychis* прорастают в широком спектре положительных температур (от +4...+8°C до +20...+32°C). Оптимальным температурным режимом для прорастания семян *A. onobrychis* является диапазон +10...+20°C.

Семена *A. sulcatus* эффективно прорастают при температурном диапазоне +10...+20°C, который является оптимальным для этого вида. Более высокие температуры (+20...+32°C) снижают лабораторную всхожесть и энергию прорастания *A. onobrychis* и *A. sulcatus*.

Для прорастания семян *A. cicer* оптимален диапазон температур +20...+32°C, при котором лабораторная всхожесть и энергия прорастания максимальны. Низкие положительные температуры (+4...+8°C) не эффективны для прорастания семян *A. cicer*.

### References / Литература

Baleyev D.N., Bukharov A.F. Seed longevity of vegetable umbelliferous crops and their germination physiology. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;11(109):22-25. [in Russian] [Балеев Д.Н., Бухаров А.Ф. Долговечность семян овощных зонтичных культур и физиология их прорастания. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;11(109):22-25].

Baskin C.C., Baskin J.M. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press; 1998. DOI: 10.1016/B978-0-12-080260-9.X5000-3

Baskin C.C., Quarterman E. Germination requirements of seeds of *Astragalus tennesseensis*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1969;96(3):315-321. DOI: 10.2307/2483736

Ishmuratova M.M., Tkachenko K.G. Seeds of herbaceous plants. Features of the latent period, use in introduction and reproduction *in vitro* (Semena travyanistykh rasteniy. Osobennosti latentnogo perioda, ispolzovaniye v introduktsii i razmnozhenii *in vitro*). Ufa: Gilem; 2009. [in Russian] [Ишмуратова М.М., Ткаченко К.Г. Семена травянистых растений. Особенности латентного периода, использование в интродукции и размножении *in vitro*. Уфа: Гилем; 2009].

Kaye T.N. From flowering to dispersal: reproductive ecology of an endemic plant, *Astragalus australis* var. *olympicus* (Fabaceae). *American Journal of Botany*. 1999;86(9):1248-1256. DOI: 10.2307/2656772

Long Y., Tan D.Y., Baskin C.C., Baskin J.M. Seed dormancy and germination characteristics of *Astragalus arpilobus* (Fabaceae, subfamily Papilionoideae), a central Asian desert annual ephemeral. *South African Journal of Botany*. 2012;83:68-77. DOI: 10.1016/j.sajb.2012.06.010

McDonald C.K. Germination response to temperature in tropical and subtropical pasture legumes. 1. Constant temperature. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2002;42(4):407-419. DOI: 10.1071/EA00188

Müller F.L., Raitt L.M., Cyster L.F., Cupido C.F., Samuels M.I., Chimphango S.B.M. et al. The effects of temperature, water availability and seed burial depth on seed germination and seedling establishment of *Calobota sericea* (Fabaceae). *South African Journal of Botany*. 2019;121:224-229. DOI: 10.1016/j.sajb.2018.11.012

Ovcharov K.E. Physiology of seed formation and germination (Fiziologiya formirovaniya i prorstaniya semyan). Moscow: Kolos; 1976. [in Russian] [Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. Москва: Колос; 1976].

Simlat M., Ślęzak P., Moś M., Warchoń M., Skrzypek E., Ptak A. The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Scientia Horticulturae*. 2016;211:295-304. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.09.009

Tribouillois H., Dürr C., Demilly D., Wagner M.H., Justes E. Determination of germination response to temperature and water potential for a wide range of cover crop species and related functional groups. *PLoS One*. 2016;11(8):e0161185. DOI: 10.1371/journal.pone.0161185

Watt M.S., Bloomberg M. Key features of the seed germination response to high temperatures. *The New Phytologist*. 2012;196(2):332-336. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04280.x

Zhou J., Kulkarni M.G., Huang L.Q., Guo L.P., Van Staden J. Effects of temperature, light, nutrients and smoke-water on seed germination and seedling growth of *Astragalus membranaceus*, *Panax notoginseng* and *Magnolia officinalis* – highly traded Chinese medicinal plants. *South African Journal of Botany*. 2012;79:62-70. DOI: 10.1016/j.sajb.2011.11.004

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Корниевская Т.В. Влияние температурного режима на лабораторную всхожесть и энергию прорастания астрагалов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):18-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-18-23

Kornievskaya T.V. The effect of temperature regimes on laboratory germination rates and germination energy of *Astragalus* L. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):18-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-18-23

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-18-23>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

**ORCID**

Kornievskaya T.V. <https://orcid.org/0000-0001-9123-9786>

# Влияние реакции на яровизацию, чувствительности к фотопериоду и собственно скороспелости на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана от всходов до колошения

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-24-33

УДК 633.16:631.524

Поступление/Received: 25.11.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



The effect of responses to vernalization, photoperiodism, and earliness *per se* of barley accessions from Dagestan on the duration of the period from shooting to heading

И. А. ЗВЕЙНЕК<sup>1\*</sup>, Р. А. АБДУЛЛАЕВ<sup>1</sup>,  
Б. А. БАТАШЕВА<sup>2</sup>, Е. Е. РАДЧЕНКО<sup>1</sup>

I. A. ZVEINEK<sup>1\*</sup>, R. A. ABDULLAEV<sup>1</sup>,  
B. A. BATASHEVA<sup>2</sup>, E. E. RADCHENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
\* ✉ izv-spb1@mail.ru

<sup>1</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
\* ✉ izv-spb1@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная  
станция – филиал ВИР,  
368612 Россия, Республика Дагестан,  
Дербентский район, с. Вавилово

<sup>2</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
Dagestan Experimental Station of VIR,  
Vavilovo Village,  
Derbentsky District,  
Republic of Dagestan 368612, Russia

**Актуальность.** В течение пяти лет в Северо-Западном регионе России (Санкт-Петербург, Пушкин) и на Северном Кавказе (Дагестан, г. Дербент) изучали паратипическую изменчивость скорости развития образцов ячменя из Дагестана. В контрастных климатических условиях оценивали влияние реакции на яровизацию, продолжительности фотопериода и собственно скороспелости на развитие дагестанских ячменей. Подобного рода исследования позволяют выявить адаптивно ценные формы для использования в селекции.

**Материалы и методы.** При озимом и яровом сроках сева в Дагестане изучили продолжительность периода «всходы – колошение» 12 выборок образцов ячменя, в яровом посеве сравнили 20 выборок в двух регионах. Использовали эмпирический показатель скорости развития растений – критерий «превышение периода “всходы – колошение” данного образца над его минимальным значением по выборке» (ППВК).

**Результаты и выводы.** Выявлены скороспелые образцы ячменя с низкой нормой реакции: к-3772, к-15013, к-15034, к-15036, к-15186, к-15192, к-21803 и к-23785, сочетающие слабую чувствительность к короткому фотопериоду и яровизирующим температурам, которые представляют интерес для селекции в регионах, где продолжительность вегетационного периода является лимитирующим фактором. Влияние реакции на яровизацию и короткого фотопериода на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана от всходов до колошения в среднем составляет 8 (5,1–10,6) дней, собственно скороспелости – 6 (4,8–8,2) дней. Паратипическая изменчивость отражает размах варьирования данных показателей. Скороспелость местных ячменей в Дагестане определяют, прежде всего, яровизирующие температуры и нечувствительность к короткому дню.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare* L., условия среды, норма реакции, скороспелость.

**Background.** Paratypic variability of the development rates of barley accessions from the Republic of Dagestan was analyzed for five years in the Northwest of Russia (Pushkin, St. Petersburg) and in the North Caucasus (Derbent, Dagestan). Responses to vernalization, photoperiodism and earliness *per se* were tested in contrasting environments to assess their effect on barley development. Such studies make it possible to identify valuable adaptable plant forms in the barley germplasm collection for further use in breeding practice.

**Materials and methods.** In Dagestan, the duration of the period from shooting to heading was measured for 12 samples of barley accessions in winter and spring sowing trials. Twenty samples sown in spring in both regions were compared. An empirical indicator of plant development rate was used for barley: the criterion “the number of days by which the period from shooting to heading of an accession exceeds the minimum across a sample” (DPSH).

**Results and conclusions.** Early barley accessions with a low norm of responsiveness were identified: k-3772, k-15013, k-15034, k-15036, k-15186, k-15192, k-21803 and k-23785 – they combined weak sensitivity to a short photoperiod and vernalizing temperatures, so they are promising for breeding in regions where the length of the growing season is a limiting factor. The effect of the responses of barley accessions from Dagestan to vernalization and a short photoperiod on the duration of the period from shooting to heading was on average 8 (5.1–10.6) days and on their earliness *per se* 6 (4.8–8.2) days. Paratypic variability reflects the range of variation for these indicators. In Dagestan, vernalization temperatures and insensitivity to a short day are the main factors determining the earliness of local barleys in their native environment.

**Key words:** *Hordeum vulgare* L., environmental conditions, norm of responsiveness, earliness.

## Введение

Успехи в создании коммерческих сортов ячменя культурного (*Hordeum vulgare* L.) обусловлены высокой экологической пластичностью культуры. Различия сортов по продолжительности вегетационного периода связаны с адаптивностью к различным климатическим факторам (Lukyanova et al., 1990).

Продолжительность развития растений ячменя от всходов до колошения определяется генами, контролирующими тип развития, слабую чувствительность к фотопериоду и собственно скороспелость. Тип развития контролируют локализованные в хромосомах 4 (4H), 7 (5H) и 5 (1H) гены *Sh*, *Sh2* и *Sh3* (Takahashi, Yasuda, 1956, 1971), которые впоследствии были обозначены *VRN-H1*, *VRN-H2*, *VRN-H3*. У ячменя идентифицировано 5 главных генов и 9 локусов количественных признаков (quantitative trait loci – QTL), контролирующих период развития до колошения. Среди них локализованные в хромосомах 2 (2H) и 5 (1H) гены *Ppd-H1* и *Ppd-H2* (photoperiod response) и детерминирующие реакцию на яровизацию гены *VRN*, локализация которых совпала с положением идентифицированных ранее генов *Sh*. В возделываемых сортах чаще всего идентифицируют аллели *VRN-H1* и *VRN-H2*, а *VRN-H3* встречается редко. Доминантный аллель *Ppd-H1* контролирует быструю реакцию на удлинение фотопериода и раннее колошение в условиях длинного дня; при коротком фотопериоде раннее колошение контролирует доминантный аллель *Ppd-H2*. На фоне генов, детерминирующих фотопериодическую реакцию и тип развития, значимое влияние на продолжительность развития растений оказывают контролирующие собственно скороспелость (*earliness per se*) гены *eps* (Laurie et al., 1994, 1995). Скороспелость (*early maturity*) и слабую чувствительность к фотопериоду детерминируют гены *Eam5*, *Eam6*, *eam7*, *eam8*, *eam9* и *eam10*, которые локализованы в хромосомах 5H, 2H, 6H, 1H, 4H и 3H соответственно (Franckowiak, Lundqvist, 2012).

Дагестан, где на весьма ограниченной территории отмечается множество контрастных почвенно-климатических условий, является одним из наиболее интересных регионов формирования культурных растений (Vavilov, 1957). Изучение примерно половины коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) показало, что среди местных ячменей Дагестана преобладают среднеспелые формы (Batasheva et al., 2014). С использованием молекулярных маркеров структурировано внутривидовое разнообразие дагестанских ячменей, выявлены значительный полиморфизм и гетерогенность большинства форм по устойчивости к вредным организмам (Abdullaev et al., 2014). У растений местного образца из Дагестана к-14891 была выявлена новая мутация в смысловой последовательности гена *eam8* (Abdullaev et al., 2015). Фенотипический скрининг позволил выделить 40 предполагаемых носителей гена *eam8*, являющихся источниками слабой фотопериодической чувствительности (Zveinek, Kovaleva, 2018).

Продолжительность развития от всходов до колошения 265 образцов ячменя из Дагестана изучали при яровом сроке сева в Северо-Западном регионе России (Санкт-Петербург, Пушкин) и озимом – на Северном Кавказе (Дагестан, г. Дербент). Исследованные формы имели высокую норму реакции и были более скороспелыми в Дагестане (Zveinek et al., 2016).

При изучении 172 образцов в яровом посеве дагестанские ячмени на северо-западе страны оказались более скороспелыми по сравнению с югом Дагестана, то есть скороспелость местного ячменя в условиях ареала его обитания определяли главным образом яровизирующие температуры (Zveinek et al., 2020).

*Цель настоящих исследований* – изучить паратипическую изменчивость и норму реакции признака продолжительность периода «всходы – колошение», а также выявить влияние реакции на яровизацию, чувствительности к фотопериоду и собственно скороспелости на скорость развития ячменей Дагестана в условиях Северо-Запада России и Южного Дагестана.

## Материалы и методы

Материалом для исследования служили 170 образцов ярового ячменя из Дагестана. Исследования проводили в течение пяти лет в двух эколого-географических зонах: на Северном Кавказе (Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, ДОС ВИР, Южный Дагестан, г. Дербент) и на Северо-Западе России (научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, г. Пушкин).

Для климатических условий расположенной у Каспийского моря ДОС ВИР характерны непродолжительная мягкая зима, ранняя весна, умеренно жаркое сухое лето и влажная теплая осень. Климат в ППЛ характеризуется умеренно холодной зимой и влажным умеренно теплым летом. В таблице 1 приведены погодные условия в период проведения опытов. Очевидны среднесезонные различия по гидротермическому режиму в двух пунктах изучения. Температурный режим на ДОС ВИР в период «всходы – колошение» (апрель, май, июнь) по годам изучения мало различался и был выше среднесезонных данных. Хорошей влагообеспеченностью выделялся 2013 г. Засушливыми месяцами оказались апрель и июнь в 2012 г., а также май в 2014–2017 гг. Температура воздуха во время проведения опытов в ППЛ ВИР (май, июнь, июль) была выше среднесезонных данных в 2012–2016 гг., а полевой сезон 2017 г. оказался прохладным. Низкая влагообеспеченность на северо-западе наблюдалась в 2012 г., в начале полевых сезонов 2016 и 2017 г., а также и июле 2014 г.; существенное переувлажнение отмечено в июле 2016 и 2017 г. Среднемесячная температура воздуха в начале вегетации («всходы», «кущение») в ППЛ ВИР (май) оказалась выше, чем в апреле на ДОС ВИР, а в период «колошение» – наоборот. Обеспеченность влагой в ППЛ ВИР была всегда выше. Таким образом, условия проведения экспериментов существенно различались: ППЛ ВИР – яровизирующих температур нет (яровой посев), длинный день, низкие положительные температуры и высокое количество осадков в период вегетации; ДОС ВИР – яровизирующие температуры есть (озимый посев) либо отсутствуют (яровой посев), короткий день, для гидротермического режима характерны высокие положительные температуры и низкое количество осадков.

Сравнивали 12 выборок образцов ячменя при озимом и яровом сроках посева, а также 20 выборок, изученных при яровом посеве на ДОС ВИР и в ППЛ ВИР. Объемы выборок представлены в таблицах 2 и 3. При озимом посеве на ДОС ВИР образцы высевали вручную в начале декабря (2012 г.) и в третьей декаде октября (2013–2014 гг.) на делянках площадью 1 кв. м. Яровой посев на ДОС ВИР

**Таблица 1. Погодные условия в период «всходы – колошение» ячменя**  
**Table 1. Weather conditions during the shooting-to-heading period of barley**

Годы изучения	Параметры	Метеорологические условия вегетации					
		Апрель	Май		Июнь		Июль
		ДОС ВИР	ППЛ ВИР	ДОС ВИР	ППЛ ВИР	ДОС ВИР	ППЛ ВИР
2012	Температура, °С	13,5	13,5	19,6	16,3	24,8	20,9
	Сумма осадков, мм	2,3	16,7	21	27,7	6,4	17,4
2013	Температура, °С	11,7	16,3	18	21,6	23,7	20,7
	Сумма осадков, мм	52	80,3	19	55,8	21	90,8
2014	Температура, °С	11	15,8	19,9	17	23,9	22,4
	Сумма осадков, мм	20	67,9	14	86,9	48	21,4
2016	Температура, °С	13	17,5	18,2	18	23,5	19,6
	Сумма осадков, мм	14,7	17,8	15,3	63,8	54,8	174,2
2017	Температура, °С	10,5	9,4	17,1	13,6	22,5	16,5
	Сумма осадков, мм	16,1	13,4	15,9	68,5	34,5	122,5
Средние многолетние	Температура, °С	9,1	11,3	15,9	15,7	21,3	18,8
	Сумма осадков, мм	19	46	25	71	18	79

**Таблица 2. Статистические показатели критерия ППВК образцов ячменя, реагирующих на яровизацию**  
**Table 2. Statistical parameters of the DPSH criterion for barley accessions responding to vernalization**

Год и срок сева	«Превышение периода “всходы – колошение” над его минимальным значением» (ППВК), дни				Реакция на яровизацию, дни
	Объем выборки	Размах варьирования	Среднее, ошибка средней	Стандартное отклонение	
2012, озимый посев	77	2 – 16	6,5 ± 0,3	2,86	10,6*
2016, яровой посев		5 – 34	17,1 ± 0,7	5,74	
2012, озимый посев	103	0 – 16	5,8 ± 0,3	2,56	6,9*
2017, яровой посев		8 – 18	12,7 ± 0,2	2,23	
2013, озимый посев	74	0 – 15	7,7 ± 0,3	2,45	10,3*
2016, яровой посев		8 – 34	19,1 ± 0,5	4,67	
2013, озимый посев	94	1 – 13	8,1 ± 0,2	2,20	5,3*
2017, яровой посев		8 – 18	13,4 ± 0,2	2,00	
2014, озимый посев	70	0 – 17	9,9 ± 0,3	2,78	9,3*
2016, яровой посев		3 – 34	19,2 ± 0,6	4,71	
2014, озимый посев	62	0 – 13	8,4 ± 0,3	2,74	5,1*
2017, яровой посев		6 – 18	13,5 ± 0,3	2,28	

\* – различия по скороспелости между образцами, выращенными при разных сроках сева, существенны при  $P = 0,001$

\* – differences in earliness between the accessions grown under different sowing schedules are statistically significant at  $P = 0.001$

**Таблица 3.** Статистические показатели критерия ППВК образцов ячменя, реагирующих на фотопериод  
**Table 3.** Statistical parameters of the DPSH criterion for barley accessions responding to photoperiod

Место, год изучения	«Превышение периода “всходы – колошение” над его минимальным значением» (ППВК), дни				Реакция на фотопериод, дни
	Объем выборки	Размах варьирования	Среднее, ошибка средней	Стандартное отклонение	
ППЛ ВИР 2012	53	0–17	9 ± 0,6	4,10	9,1*
ДОС ВИР 2016		0–34	18,1 ± 0,8	5,74	
ППЛ ВИР 2012	53	0–16	7,3 ± 0,4	3,00	5,5*
ДОС ВИР 2017		9–16	12,8 ± 0,3	1,95	
ППЛ ВИР 2013	53	0–12	6,4 ± 0,4	3,10	9,5*
ДОС ВИР 2016		4–31	15,9 ± 0,7	5,34	
ППЛ ВИР 2013	37	0–8	2,4 ± 0,4	2,31	4,7*
ДОС ВИР 2017		4–11	7,1 ± 0,3	1,87	
ППЛ ВИР 2014	62	0–18	6 ± 0,5	3,96	10,7*
ДОС ВИР 2016		3–34	16,7 ± 0,9	6,73	
ППЛ ВИР 2014	78	0–15	5,6 ± 0,4	3,14	6,6*
ДОС ВИР 2017		6–16	12,2 ± 0,2	2,49	
ППЛ ВИР 2016	65	3–17	10,1 ± 0,3	2,71	8,8*
ДОС ВИР 2016		7–34	18,9 ± 0,6	4,89	
ППЛ ВИР 2016	59	3–13	8,6 ± 0,3	2,28	4,6*
ДОС ВИР 2017		10–16	13,2 ± 0,3	1,89	
ППЛ ВИР 2017	78	2–15	7,8 ± 0,3	2,84	10,2*
ДОС ВИР 2016		7–34	18 ± 0,6	5,28	
ППЛ ВИР 2017	112	1–12	6,8 ± 0,2	2,13	5,8*
ДОС ВИР 2017		6–17	12,6 ± 0,2	2,33	

\* – различия по скороспелости между образцами, выращенными при разных сроках сева, существенны при  $P = 0,001$

\* – differences in earliness between the accessions grown under different sowing schedules are statistically significant at  $P = 0.001$

осуществляли в конце апреля, в ППЛ ВИР – в первой половине мая. Фазу полных всходов отмечали датой, когда на поверхности почвы показались развернувшиеся в верхней части листочки более 75% растений на делянке. Колошение отмечали при выдвигении колоса из влагалища последнего листа наполовину. Колошение считали полным при выколашивании 75% растений (Loskutov et al., 2012).

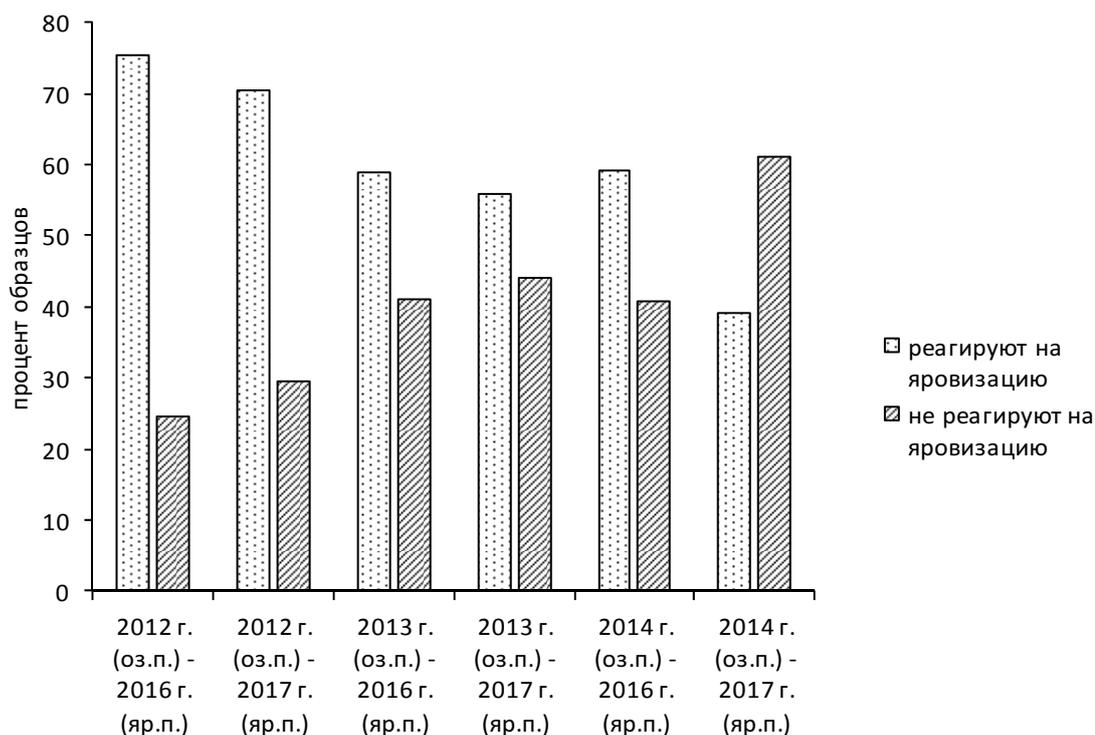
Для корректного сравнения скорости развития экспериментальных выборок образцов ячменя в различных эколого-географических зонах рассчитывали критерий «превышение периода “всходы – колошение” данного образца над его минимальным значением по выборке» (ППВК), то есть из значения скорости развития образца до колошения вычитали минимальное, которое наблюдали по всем изученным в данном пункте образцам (Zveinek et al., 2016).

Для расчета статистических показателей использовали программу Excel, достоверность различий определяли с помощью  $t$ -критерия Стьюдента (Dospikhov, 1985).

## Результаты и обсуждение

Для оценки влияния яровизирующих температур на скороспелость ячменя сравнивали 6 выборок одних и тех же яровых образцов, высевавшихся на ДОС ВИР при озимом и яровом сроках сева. Эти выборки представляют собой совокупность форм, различающихся по реакции на яровизацию. Для вычленения таких форм нашли разность между ППВК каждого образца при озимом и яровом посеве и полученный ряд распределили в две группы (рис. 1): 1 – реагируют на яровизацию (ППВК образцов при озимом севе на 3 и более дней меньше, чем при яровом); 2 – не реагируют на яровизацию (ППВК образцов при озимом севе на 3 и более дней больше, чем при яровом, включая «нулевую точку»  $0 \pm 2$  дня).

Сравнили 6 выборок реагирующих на яровизацию образцов и рассчитали числовое значение их реакции. Для этого находили разность между средними значениями ППВК выборок при яровом и озимом сроках сева. Реакция на яровизацию колебалась от 5,1 до 10,6 дней



**Рис. 1.** Паратипическая изменчивость реакции на яровизацию образцов ячменя из Дагестана

**Fig. 1.** Paratyptic variability of the vernalization response in barleys from Dagestan

(см. табл. 2). Средние значения ППВК выборок при яровом и озимом посеве достоверно различались. Все сравниваемые выборки образцов, выращенных при яровизирующих температурах, оказались значительно более скороспелыми.

Для определения влияния чувствительности к короткому фотопериоду на скорость развития ячменя сравнивали 10 выборок одних и тех же яровых образцов, изученных на ДОС ВИР и в ППЛ ВИР при яровом сроке сева (рис. 2). Использовали такой же методический подход, что и при изучении реакции на яровизацию. Нашли разность между ППВК для каждого образца, изученного на ДОС ВИР (короткий день) и в ППЛ ВИР (длинный день), а затем полученный ряд распределили в 2 группы (см. рис. 2): 1 – чувствительные к короткому фотопериоду (ППВК образцов на ДОС ВИР на 3 и более дней больше, чем на ППЛ ВИР); 2 – слабочувствительные к короткому фотопериоду (ППВК образцов на ДОС ВИР на 3 и более дней меньше, чем на ППЛ ВИР, включая «нулевую точку»  $0 \pm 2$  дня).

Сравнили 10 выборок, составленных из реагирующих на короткий день образцов ячменя, и рассчитали числовое значение реакции. Для этого находили разность между средними значениями ППВК выборок образцов ячменя, вегетировавших при коротком (ДОС ВИР) и длинном (ППЛ ВИР) дне.

Влияние короткого дня на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана весьма очевидно: все выборки чувствительные к короткому фотопериоду форм характеризуются высокой скороспелостью в условиях длинного дня (см. табл. 3). Скорость развития ячменя на ДОС ВИР (короткий день) во всех случаях была медленнее, чем в ППЛ ВИР (длинный день). Реакция на фотопериод варьирует от 4,7 до 10,7 дней.

Для определения влияния генов собственно скороспелости на продолжительность развития от всходов до колошения изучили 12 выборок, составленных из реагирующих на яровизацию и короткий фотопериод форм

(табл. 4). Как указывалось выше, скорость развития ячменя до колошения (СР) определяется генами, контролирующими реакцию на яровизацию (ЯР), слабую чувствительность к фотопериоду (ФП) и собственно скороспелость (СС), следовательно  $СС = СР - (ЯР + ФП)$ .

Показатели реакции на яровизацию и фотопериод рассчитывали на основе средних значений ППВК двух выборок (см. табл. 2, 3), поэтому формула расчета собственно скороспелости принимает следующий вид:

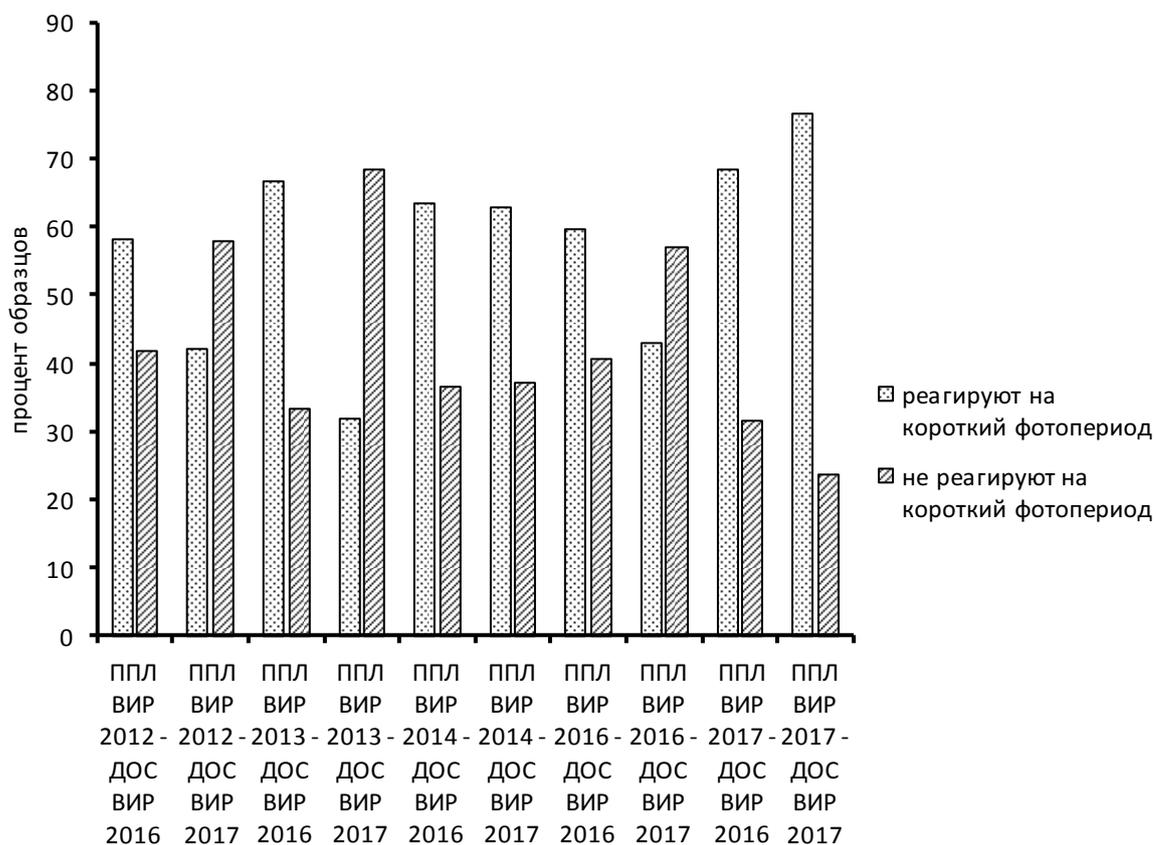
$$СС = СР/2 - (ЯР + ФП).$$

Например, собственно скороспелость образцов ячменя, рассчитанная на основе информации по выборкам ДОС ВИР 2012 (озимый посев), ДОС ВИР 2016 (яровой посев) и ППЛ ВИР 2012 (яровой посев), такова:

$$СС = (6,5 + 17,1 + 9 + 18,1)/2 - (10,6 + 9,1) = 5,7 \text{ (см. табл. 4).}$$

Размах варьирования по всем 12 изученным выборкам для реакции на яровизацию составил 5,1–10,6 дня, в среднем  $7,9 \pm 1,1$  дня, стандартное отклонение равнялось 2,47; реакция на фотопериод варьировала от 4,7 до 10,7 дней, в среднем  $7,7 \pm 1,1$  дня почти при таком же стандартном отклонении (2,41); размах варьирования собственно скороспелости по 12 выборкам составил 4,8–8,2 дня, в среднем  $6,2 \pm 0,5$  дня при стандартном отклонении 0,54. Таким образом, на скорость развития изученных в Пушкине и Дербенте выборок образцов ячменя влияли следующие признаки: реакция на яровизацию и короткий фотопериод ( $\approx 8$  дней), а также собственно скороспелость ( $\approx 6$  дней).

Для дагестанских ячменей характерна значительная паратипическая изменчивость, то есть высокая норма реакции; при этом преобладают формы, реагирующие на яровизацию и короткий фотопериод, что и определяет скорость развития ячменя из Дагестана (см. табл. 2, 3). Вместе с тем выделена и группа образцов, слабо реагирующих в течение пяти лет изучения на яровизацию и короткий фотопериод (табл. 5, 6).



**Рис. 2.** Паратипическая изменчивость реакции на фотопериод образцов ячменя из Дагестана

**Fig. 2.** Paratyptic variability of the photoperiod response in barleys from Dagestan

**Таблица 4.** Собственно скороспелость образцов ячменя

**Table 4.** Earliness *per se* of barley accessions

Место, годы изучения	Суммируемое ППВК по выборкам, дни	Реакция на яровизацию и фотопериод, дни	Собственно скороспелость, дни
ДОС ВИР 2012 (оз.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	6,5 + 17,1	10,6	5,7
ППЛ ВИР 2012 (яр.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	9 + 18,1	9,1	
ДОС ВИР 2012 (оз.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	5,8 + 12,7	6,9	6,9
ППЛ ВИР 2012 (яр.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	7,3 + 12,8	5,5	
ДОС ВИР 2013 (оз.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	7,7 + 19,1	10,3	4,8
ППЛ ВИР 2013 (яр.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	6,4 + 15,9	9,5	
ДОС ВИР 2013 (оз.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	8,1 + 13,4	5,3	5,5
ППЛ ВИР 2013 (яр.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	2,4 + 7,1	4,7	
ДОС ВИР 2014 (оз.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	9,9 + 19,2	9,3	5,9
ППЛ ВИР 2014 (яр.п.) - ДОС ВИР 2016 (яр.п.)	6 + 16,7	10,7	
ДОС ВИР 2014 (оз.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	8,4 + 13,5	5,1	8,2
ППЛ ВИР 2014 (яр.п.) - ДОС ВИР 2017 (яр.п.)	5,6 + 12,2	6,6	

**Таблица 5. Образцы ячменя, не реагирующие на яровизацию, с низкой нормой реакции**  
**Table 5. Barley accessions with a low norm of responsiveness that did not respond to vernalization**

№ по каталогу ВИР	Показатель реакции на яровизацию, дни						Аллельное состояние генов*		
	2012, озимый посев – 2016, яровой посев	2012, озимый посев – 2017, яровой посев	2013, озимый посев – 2016, яровой посев	2013, озимый посев – 2017, яровой посев	2014, озимый посев – 2016, яровой посев	2014, озимый посев – 2017, яровой посев	Vrn-H1	Vrn-H2	Vrn-H3
3772	-	-	6	1	5	0	R	D	R
11458	2	1	8	7	7	6	R	D	D
11462	-1	-2	4	2	4	2	R	D	D
11475	6	2	8	4	9	5	R	D	R
14154	-	-1	-	3	-	7	R	D	R
15013	0	0	0	0	6	6	R	D	D
15021	-2	-2	-2	-2	4	4	R	D	R
15034	-	-	4	-2	8	2	R	D	R
15036	6	2	3	-1	7	3	R	D	R
15177	-2	0	5	7	5	7	D	D	D
15183	-2	1	1	6	4	9	D	D	D
15186	4	0	3	-1	5	1	D	D	D
15192	8	6	6	4	5	3	R	D	R
15979	-	-2	1	5	-	1	-	D	R
17430	0	-2	5	2	7	4	-	R, D	R
17438	0	-2	7	5	7	5	R	D	R
17908	-	5	-	3	-	4	R	D	R
18171	-	-	5	0	6	1	R	D	R
21745	-	-	3	2	4	3	D	R	D
21803	3	1	0	-2	3	1	R	D	R
21805	0	-	-	-2	6	-1	R	D	R
21809	-	-	4	1	1	-2	-	D	R
21821	-	-2	-	-2	-	-1	R	D	R
21822	-	1	-	2	-	2	-	R, D	D
23785	-	-	3	-1	5	-1	R	D	R
30082	2	-1	0	-2	3	0	D	R	D
30091	-	-	-	5	-	6	R	D	D

Примечание: «-» – образец не был в опыте;

\* – информация по аллельному состоянию генов (R – рецессивный, D – доминантный) приводится по Каталогу мировой коллекции ВИР (Abdullaev et al., 2017)

Note: “-” means that the accession was not included in the experiment;

\* – information on the allelic status of the genes (R – recessive, D – dominant) is presented according to the Catalogue of the VIR Global Collection (Abdullaev et al., 2017)

**Таблица 6. Образцы ячменя с низкой нормой реакции, слабочувствительные к фотопериоду**  
**Table 6. Barley accessions with a low norm of responsiveness, weakly sensitive to photoperiod**

№ по каталогу ВИР	Показатель реакции на фотопериод, дни										Аллельное состояние генов*		
	ППЛ ВИР 2012, ДОС ВИР 2016	ППЛ ВИР 2012, ДОС ВИР 2017	ППЛ ВИР 2013, ДОС ВИР 2016	ППЛ ВИР 2013, ДОС ВИР 2017	ППЛ ВИР 2014, ДОС ВИР 2016	ППЛ ВИР 2014, ДОС ВИР 2017	ППЛ ВИР 2016, ДОС ВИР 2016	ППЛ ВИР 2016, ДОС ВИР 2017	ППЛ ВИР 2017, ДОС ВИР 2016	ППЛ ВИР 2017, ДОС ВИР 2017	<i>Eam8</i>	<i>PPD-H1</i>	<i>PPD-H2</i>
3772	7	2	-	-	-	-	7	-	4	-1	R	R	D
14891	9	-	-	-	-	-	4	-	0	-	R	R	D
14894	-	-1	-	-	-	-	-	0	-	-2	R	R	D
15008	-	-	-	-	11	12	0	1	-	-	R	R	D
15013	6	6	-	-	1	1	0	0	0	0	D	D	R
15022	-	-	3	-1	-	-	-	-	1	-	R	R	D
15034	-	0	3	-2	-	-	5	-1	4	-2	R, D	R, D	D
15036	5	1	4	1	-	-	7	3	4	0	R	R	D
15184	-	-2	-	-	0	3	-2	1	-	-2	R	R	D
15186	0	-2	3	0	1	-2	5	1	1	-2	D	R	-
15192	2	0	3	2	18	16	4	2	3	1	D	R	-
17431	1	0	-	-	6	5	1	0	2	1	R	R	D
17910	-	1	-	1	-	-2	-	-1	-	-	R	D	R
18026	-	0	-	12	-	-	-	1	-	-	R	R, D	D
18178	-2	-	-	-	-	-	3	-	-	-	R	R	D
18179	8	-	-	-	-	-	2	-	3	-	R	R	D
18185	-	6	-	5	5	16	-	2	-	2	D	R	D
18186	-	4	-	2	0	9	-	-1	-	2	R, D	R	-
21756	-	2	0	4	7	10	-	-	-	-	R	R	D
21761	-	-	-	0	-	-	-	0	-	3	R	R	D
21766	6	-2	5	-2	7	-1	7	-1	1	-2	R	R	D
21767	-1	-2	5	4	6	4	1	-1	-2	-2	D	R	D
21803	0	-2	2	1	-	-	0	-2	-1	-2	D	R	D
21809	7	4	8	1	9	6	6	3	-2	-2	D	R	D
23785	6	2	-	-	-	-	7	1	-	-	R, D	R	D
30082	5	2	-	-	7	4	3	0	7	4	D	R	R

Примечание: «-» – образец не был в опыте; \* – информация по аллельному состоянию генов (R – рецессивный, D – доминантный) приводится по Каталогу мировой коллекции ВИР (Abdullaev et al., 2017)

Note: “-” means that the accession was not included in the experiment; \* – information on the allelic status of the genes (R – recessive, D – dominant) is presented according to the Catalogue of the VIR Global Collection (Abdullaev et al., 2017)

Показавшие низкую норму реакции образцы слабо чувствительны к короткому фотопериоду (ППВК образцов на ДОС ВИР на 3 и более дней меньше, чем в ППЛ ВИР, включая «нулевую точку»  $0 \pm 2$  дня) и (или) не реагируют на яровизацию (ППВК образцов при озимом севе

на 3 и более дней больше, чем при яровом, включая «нулевую точку»  $0 \pm 2$  дня).

Выявлено 27 не реагирующих на яровизацию и 26 слабочувствительных к фотопериоду образцов ячменя с низкой нормой реакции (см. табл. 5, 6), которые пред-

ставляют интерес для селекции на скороспелость в тех регионах, где длина вегетационного периода является лимитирующим фактором. Особый интерес представляют образцы к-3772, к-15013, к-15034, к-15036, к-15186, к-15192, к-21803, к-23785 и к-30082, сочетающие оба признака. Доминантный аллель гена *Vrn-H2* является определяющим в контроле типа развития ячменя (см. табл. 5). Данный локус содержит серию множественных аллелей (Takahashi, Yasuda, 1956), которые могут контролировать разнообразную реакцию на яровизацию. В наших опытах выделенные образцы ячменя не реагируют на яровизирующие температуры. Слабая чувствительность к короткому фотопериоду дагестанских образцов ячменя подтверждают и результаты генетического изучения (см. табл. 6). Рецессивный аллель гена *Eam8* и доминантный аллель *PPD-H2* детерминируют слабую чувствительность к короткому фотопериоду, а доминантный аллель *PPD-H1* ускоряет развитие ячменя на длинном дне. Разные генетические системы дополняют друг друга. В течение пяти лет в обоих пунктах изучения образец к-15013 был самым скороспелым среди всей коллекции дагестанских ячменей.

### Заключение

Ячмени Дагестана сильно подвержены паратипической изменчивости. Среди них выявлено 27 не реагирующих на яровизацию форм, а 26 слабочувствительны к короткому фотопериоду. Девять образцов (к-3772, к-15013, к-15034, к-15036, к-15186, к-15192, к-21803, к-23785 и к-30082) сочетают оба признака и характеризуются низкой нормой реакции. Выделенные формы являются источниками скороспелости и представляют интерес для селекции в регионах, где длина вегетационного периода является лимитирующим фактором.

Показано, что на продолжительность развития от всходов до колошения образцов ячменя из Дагестана, изученных в Северо-Западном регионе России (Санкт-Петербург, Пушкин) и Северном Кавказе (Дагестан, г. Дербент), оказывают влияние реакция на яровизацию и короткий фотопериод (в среднем – 8 дней), а также собственно скороспелость (6 дней). Варьирование данных признаков составляло 5,1–10,6 дня, 4,7–10,7 дня и 4,8–8,2 дня соответственно. Паратипическая изменчивость отражает размах варьирования этих показателей. Установлено, что яровизирующие температуры и слабая чувствительность к короткому дню обуславливают скороспелость местных форм ячменя в Дагестане.

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».*

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".*

### References / Литература

- Abdullaev R.A., Alpatieva N.V., Zveinek I.A., Koshkin V.A., Anisimova I.N., Radchenko E.E. Identification of barley accessions from Dagestan carrying the *eam8* gene. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;54:75-79. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Алпатьева Н.В., Звейнек И.А., Кошкин В.А., Анисимова И.Н., Радченко Е.Е. Идентификация носителей гена *eam8* среди дагестанских ячменей. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;54:75-79).
- Abdullaev R.A., Batasheva V.A., Alpatieva N.A., Kononova G.S., Kovaleva O.N., Novikova L.Yu. et al. Genetic diversity of Dagestanian barley landraces. *Russian Agricultural Sciences*. 2014;40(6):399-403. DOI: 10.3103/S1068367414060020
- Abdullaev R.A., Batasheva V.A., Radchenko E.E., Zveinek I.A., Alpatieva N.V., Kovaleva O.N. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 846. Barley. Agrobiological description of barley accessions from Dagestan. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Баташева В.А., Радченко Е.Е., Звейнек И.А., Алпатьева Н.В., Ковалева О.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 846. Ячмень. Агробиологическая характеристика образцов ячменя из Дагестана. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Batasheva V.A., Radchenko E.E., Abdullaev R.A. Early ripeness of barley in Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of Regional Agroindustrial Complex Development*. 2014;4(20):8-10. [in Russian] (Баташева В.А., Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А. Скороспелость местных ячменей Дагестана. *Проблемы развития АПК региона*. 2014;4(20):8-10).
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Franckowiak J.D., Lundqvist U. Descriptions of Barley Genetic Stocks for 2012. *Barley Genetics Newsletter*. 2012;42:36-793.
- Laurie D.A., Pratchett N., Bezant J.H., Snape J.W. Genetic analysis of a photoperiod response gene on the short arm of chromosome 2(2H) of *Hordeum vulgare* (barley). *Heredity*. 1994;72(6):619-627. DOI: 10.1038/hdy.1994.85
- Laurie D.A., Pratchett N., Bezant J.H., Snape J.W. RFLP mapping of five major genes and eight quantitative trait loci controlling flowering time in a winter × spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cross. *Genome*. 1995;38(3):575-585. DOI: 10.1139/g95-074
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. 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).
- Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terenteva I.A., Jarosh N.P. Cultivated Flora of the USSR. Vol. 2, Pt 2. Barley (Yachmen). V.D. Kobylansky, M.V. Lukyanova (eds). 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 / под ред. В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой. Ленинград: Агропромиздат; 1990).

- Takahashi R., Yasuda S. Genetic studies of spring and winter habit of growth in barley. *Berichte des Ohara Instituts für Landwirtschaftliche Biologie, Okayama Universität*. 1956;10:245-308.
- Takahashi R., Yasuda S. Genetics of earliness and growth habit in barley. In: R.A. Nilan (ed.). *Barley Genetics II: Proceedings of the 2nd International Barley Genetics Symposium*. Pullman, WA: Washington State University; 1971. p.388-408.
- Vavilov N.I. World resources of cereals, grain leguminous crops and flax and their utilization in plant breeding. Agroecological survey of the principal field crops. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1957. [in Russian] (Вавилов Н.И. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Опыт агроэкологического обзора важнейших полевых культур. Москва; Ленинград: АН СССР; 1957).
- Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E. Paratypic variability of the period between shooting and earing stages of Dagestanian barleys. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):73-81 [in Russian] (Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е. Паратипическая изменчивость периода всходы–колошение ячменей Дагестана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):73-81).
- Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E. Variability of the period between germination and heading in spring barley accessions from Dagestan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):24-29. [in Russian] (Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е. Изменчивость периода «всходы – колошение» яровых образцов ячменя из Дагестана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):24-29). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-24-29
- Zveinek I.A., Kovaleva O.N. Screening of local barley accessions for sensitivity to photoperiod. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):179-187. [in Russian] (Звейнек И.А., Ковалева О.Н. Скрининг образцов местных ячменей на чувствительность к фотопериоду. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):179-187). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-179-187

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е. Влияние реакции на яровизацию, чувствительности к фотопериоду и собственно скороспелости на продолжительность развития образцов ячменя из Дагестана от всходов до колошения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):24-33. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-24-33

Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E. The effect of responses to vernalization, photoperiodism, and earliness *per se* of barley accessions from Dagestan on the duration of the period from shooting to heading. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):24-33. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-24-33

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-24-33>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Zveinek I.A. <https://orcid.org/0000-0003-1236-6408>

Abdullaev R.A. <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

Batasheva B.A. <https://orcid.org/0000-0002-2266-281X>

Radchenko E.E. <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

# Valuable agronomic traits of chufa (*Cyperus esculentus* L.) accessions from the VIR collection: methods of preparing nodules for long-term storage

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-34-44

УДК 635.266:581.192:631.527

Поступление/Received: 01.09.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



N. G. KONKOVA\*, G. F. SAFINA

*N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia*

\*✉ n.konkova@vir.nw.ru

**Хозяйственно ценные признаки  
образцов чуфы (*Cyperus esculentus* L.)  
из коллекции ВИР: методика подготовки  
клубеньков к длительному хранению**

Н. Г. КОНЬКОВА\*, Г. Ф. САФИНА

*Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44*

\*✉ n.konkova@vir.nw.ru

**Background.** Chufa is one of the most promising rare oil-seed crops. The issues of preserving and obtaining high-quality seed material are very important. The development of long-term genebank storage techniques for chufa nodules is a pressing task.

**Materials and methods.** We studied 18 chufa germplasm accessions of various origin. The field study was conducted in 2010–2012 under the environmental conditions of Krasnodar Territory, Russia. Protein and oil content was analyzed according to the guidelines on the methods of quality control and safety of bioactive food additives (R 4.1.1672-03..., 2004); vitamin E according to the guidelines on the methods of analyzing the quality and safety of food products (Skurikhin, Tutelyan, 1987); fatty acid composition in line with IUPAC (1979) and GOST R 512677-2006, using an IIRGCS chromatograph.

**Results and conclusions.** The study of valuable agronomic characters in chufa accessions showed that the height of plants varied from 49 to 69 cm; the number of nodules per plant from 80 to 110 pcs; the weight of nodules per plant from 18 to 49 g; the weight of nodules per plot (1 m<sup>2</sup>) from 101 to 393 g. Their oil content varied from 13.1 to 21.06 g/100 g, and protein content from 6 to 10%. Chufa accessions contained large amount of vitamin E: 19.23 to 35.23 mg/100 g. The content of saturated fatty acids in chufa oil was 17.75 to 20.99%, monounsaturated fatty acids from 68.21 to 71.55%, and polyunsaturated fatty acids from 9.94 to 12.17%. A technique of preparing chufa nodules for long-term storage was developed. The optimal time to assess germination energy is four days, with 11 days for germination percentage. Storage of chufa nodules for three years at a temperature of +20°C causes a decrease in their germination by 15–16%. When stored under low positive (+4°C) or negative temperatures (–18°C and –196°C), their germination percentage remained unchanged.

**Key words:** yield, oil content, protein, tocopherol, fatty acids, germination percentage, germination energy.

**Актуальность.** Чуфа является перспективной малораспространенной масличной культурой. Поэтому вопросы получения высококачественного посевного материала приобретают большое значение. Актуальной является разработка методики длительного хранения клубеньков чуфы в генбанках растительных ресурсов.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили 18 образцов чуфы различного происхождения. Полевое изучение проводилось в 2010–2012 годах в условиях Краснодарского края Российской Федерации. Содержание белка и масла проанализировано в соответствии с руководством по контролю и безопасности биологически активных пищевых добавок Р 4.1.1672-03 2004, витамина Е – методами анализа качества и безопасности пищевых продуктов. Анализ жирно-кислотного состава – IUPAC (1979), ГОСТ Р 512677-2006, с помощью хроматографа IIRGCS 5300. Всхожесть и влажность клубеньков – по методикам, рекомендуемым для семян сельскохозяйственных культур (ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 12041-82).

**Результаты и заключение.** Изучение хозяйственно ценных признаков чуфы показало, что высота растений изменялась в пределах от 49 до 69 см, количество клубеньков одного растения – от 80 до 110 штук, вес клубеньков – от 18 до 49 г, вес клубеньков с делянки (1 м<sup>2</sup>) – от 101 до 393 г. Содержание масла варьировалось от 13,1 до 21,06 г/100 г, белка – от 6 до 10%, витамина Е – от 19,23 до 35,23 мг/100 г. Показатель насыщенных жирных кислот в масле клубеньков чуфы – от 17,75 до 20,99%, мононенасыщенных жирных кислот – от 68,21 до 71,55%, полиненасыщенных жирных кислот – от 9,94 до 12,17%. Оптимальное время для определения энергии прорастания – четыре дня, всхожесть – одиннадцать. Хранение клубеньков чуфы в течение трех лет при температуре +20°C вызывает снижение их всхожести на 15–16%. При хранении в условиях низких положительных (+4°C) и отрицательных температур (–18°C и –196°C) всхожесть остается неизменной.

**Ключевые слова:** урожайность, масличность, белок, токоферол, жирные кислоты, всхожесть, энергия прорастания.

## Introduction

*Cyperus esculentus* L. is a perennial herbaceous plant of the Cyperaceae family, which naturally grows in the Mediterranean countries and in Africa, along the banks of the Nile. The nodules of this plant are considered one of the earliest food sources known to mankind. It is recognized that they were cultivated by the ancient Egyptians, starting from 5000 BC (Allouh et al., 2015). The *C. esculentus* nodules are commonly known by several names, such as chufa, ground almonds, and tiger nut. Chufa is cultivated in some European countries: the Netherlands, Switzerland, Germany, Poland, Hungary, as well as in some African countries: Mali, Benin and Ivory Coast, as an oilseed and nut-bearing plant. It is grown on an industrial scale in Spain.

In agriculture, it is cultivated as an annual plant. *C. esculentus* is the only cultivated species of the genus *Cyperus*. Its valuable nutritional qualities are determined by the content of proteins, oil, carbohydrates and micronutrients in the nodules (Nizova, Kon'kova, 2008; Codina-Torrella et al., 2014). Micronutrients include potassium, phosphorus, magnesium, calcium, sodium, iron, zinc, copper, and vitamin C (Suleiman et al., 2018). Chufa oil is used for food purposes. Oleic acid dominates in the oil composition of chufa: its content is comparable to that in olive oil (Arafat et al., 2009). Chufa oil also contains considerable amounts of essential fatty acids, phytosterols, phospholipids, fat-soluble vitamins, and tocopherols (Ezeh et al., 2014; Shakhova et al., 2014). According to the data produced by M. A. Allouh et al. (2015), chufa consumption increases the level of testosterone in human blood. The experiments by C. Imo et al. (2019) showed that even ethanol extracts from chufa did not produce an expressed negative effect on animal liver function. Using chufa as a natural preservative in confectionery, bakery, meat and other food industries is considered quite promising (Kuznetsova et al., 2019; Glotova et al., 2010). Studying the possibility of isolating such natural bioactive compounds with their subsequent use as preservatives to prolong the shelf life of natural products is a promising trend for the development of food industry. Whole-ground chufa nodules were reported to have an extensive shelf life, despite their significant oil content. The research performed by I. V. Bobreneva and A. A. Baioumy (2019) ascertained the possibility of using chufa as a dietary supplement for preventing and normalizing cardiovascular diseases and confirmed its potential for the food industry in increasing the shelf life and nutritional value of various types of meat products. The optimal amount of chufa in the composition of meat products is 5% (Bobreneva, Baioumy, 2019).

The carbohydrate composition in chufa favors its use in the diet of patients suffering from metabolic syndrome, including diabetes mellitus (Sabiu et al., 2017). Due to its unique properties, chufa is an excellent object for inclusion in the list of Biological and Technical Life Support Systems as the main link that regenerates food, water and air in closed space systems (Motorin et al., 2009; Shklavtsova et al., 2014).

Chufa is also widely used for producing the traditional Spanish drink *Horchata de chufa* (Butova et al., 2019). It is a white-colored refreshing drink with a pleasant taste. The production of *horchata* has great economic importance for the food industry in Spain, especially for Valencia, the main region of chufa cultivation. About 90% of the chufa harvest is used for making *horchata*, with an annual consumption of up to 50 million liters. *Horchata* production has an estimated retail value of 60 million euros per year (Roselló-Soto et al., 2018a; Roselló-Soto et al., 2018b).

Analyzing physical and chemical properties of chufa oil, such as density, viscosity, or acid, iodine and cetane values, shows that chufa oil can be used for biodiesel production (Sidohoude et al., 2018). Chufa flowers rarely, forming small seeds, so it is propagated vegetatively, with nodules developed on underground shoots from special swellings, in the end of the tillering stage. Considering great practical interest in this crop, the problem of its preservation in plant genebanks is very important. Plant genetic resources are preserved in genebanks usually as seeds, but in the case of chufa it is quite difficult to obtain seeds, especially under northern latitudes, so it seemed relevant to explore the possibility of chufa germplasm conservation in the form of nodules, as the propagules of chufa plants. With this in view, the purpose of this work was to study valuable agronomic characteristics of chufa nodules and develop methods for determining nodule germination and preparation for long-term storage under the conditions of a genebank, including the analysis of the impact of different storage temperatures on germination.

## Materials and methods

Eighteen chufa accessions of various origin from the VIR collection served as the target material for the study. The field study was conducted in 2010–2012 in the environments of Krasnodar Territory, Russian Federation (Kuban Experiment Station of VIR). Protein and oil content was measured according to the guidelines on the methods of quality control and safety of bioactive food additives (R 4.1.1672-03..., 2004). The fatty acid composition analysis was performed in accordance with standard methods (IUPAC..., 1979; GOST R 512677-2006..., 2007). The composition of fatty acid methyl esters (FAME) was studied using the CARLO ERBA STRUMENTAZIONE IIRGCS 5300 chromatograph (Agilent Technologies, USA). Vitamin E content was measured in accordance with the guidelines on the methods of analyzing the quality and safety of food products (Skurikhin, Tutelyan, 1987).

To assess germination, the nodules were sprouted up in wet paper rolls in a thermostat at a temperature of +25°C. Methods for determining germination percentage basically conformed to those prescribed for large seeds in the Interstate Standards (GOST 12038-84..., 2016). Moisture content in the nodules was measured according to the Interstate Standards (GOST 12041-82..., 2004). Prior to their placement for storage, the nodules were dried according to the technique recommended for the FAO genebanks (Genebank Standards..., 2014) in the drying room at a temperature of +18...+20°C and a relative humidity (RH) of 10–12%. Then, the nodules were hermetically packed in vacuum-laminated foil bags, 25 nodules per bag. Since there is currently no method for storing chufa nodules, sample packages (several packages for each variant) were stored under different temperatures (+20°C, +4°C, -18°C, and -196°C).

## Results and discussion

The study of valuable agronomic traits in chufa accessions showed that the height of plants varied within the range from 49 to 69 cm, the number of nodules per plant from 80 to 110 pieces, the weight of nodules per plant from 18 to 49 g, and the weight of nodules per plot (1 m<sup>2</sup>) from 101 to 393 g. In terms of yield, nine accessions exceeded the average: k-1 (Russia) with 116%; k-2 (Russia) with 114%; k-7 (Poland) with 101%; k-10 (Bulgaria) with 114%; k-12 (Benin) with 113%; k-21 (Belarus) with 107%;

k-14, k-16 and k-17 (Ivory Coast) with 103%, 111% and 190%, respectively. The weight of 1000 nodules was higher than the reference in the following 9 accessions: k-1 (144%), k-2 (153%), k-7 (106%), k-9 (108%), k-10 (144%), k-15 (125%), k-17 (163%), k-21 (144%), and k-23 (102%). The best earliness was observed in k-12 from Benin: it matured earlier than the average schedule (118 days). The accession with the latest maturation was k-20 from Ukraine, with the growing season of 127 days (Table 1).

sweet potato, being comparable with that in cereals, such as rice and sorghum (Suleiman et al., 2018). The following accessions were identified as the best in terms of protein content in nodules: k-18 (Ivory Coast) with 6.75%, k-11 (Mali) with 6.76%, and k-9 (Bulgaria) with 6.79%. Chufa oil contains large amount of vitamin E: according to our data, the range of its variability was 19.23 to 35.23 mg/100 g of oil. Nutritional and physical properties of oil largely depend on the amount and composition of tocopherols (vitamin E) –

**Table 1. Valuable agronomic traits of chufa accessions from the VIR collection (2010–2012)**

**Таблица 1. Хозяйственно ценные признаки образцов чуфы из коллекции ВИР (2010–2012)**

VIR catalogue No. / № по каталогу ВИР	Origin / Происхождение	Growing season / Вегетационный период		Yield / Урожайность		Weight of 1000 nodules / Масса 1000 клубеньков	
		Days / дни	± to the average / ± к ср.	g/m <sup>2</sup> / г/м <sup>2</sup>	% of the average / % к ср.	g / г	% of the reference / % к ст.
1	Russia / Россия	121	0	240	116	340	144
2	Russia / Россия	120	-1	237	114	360	153
7	Poland / Польша	121	0	210	101	250	106
8	Bulgaria / Болгария	122	+1	186	90	150	64
9	Bulgaria / Болгария	122	+1	203	98	255	108
10	Bulgaria / Болгария	123	+2	236	114	340	144
11	Mali / Мали	119	-2	195	94	235	100
12	Benin / Бенин	118	-3	234	113	150	64
13	Germany / Германия	122	+1	155	75	130	55
14	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	122	+1	214	103	170	72
15	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	122	+1	204	99	295	125
16	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	124	+3	230	111	160	68
17	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	123	+2	393	190	385	163
19	Russia / Россия	122	+1	203	98	190	81
20	Ukraine / Украина	127	+6	101	49	170	72
21	Belarus / Беларусь	121	0	221	107	270	144
23	France / Франция	125	+4	146	71	240	102
25	Ukraine / Украина	125	+4	111	54	165	70

The analysis showed that oil content in chufa accessions varied from 13.1 to 21.06 g/100 g, and protein content from 6 to 10% (Table 2). The following accessions were identified for the highest oil content: k-13 (Germany) with 20.5 g/100g of the product, k-21 (Belarus) with 21.01 g/100 g, and k-11 (Mali) with 21.06 g/100 g. Protein content in chufa nodules is higher than in starchy root crops, such as cassava or

bioactive compounds that increase the oil's nutritional value. Moreover, tocopherols are natural inhibitors of highly non-limiting fatty acids and other easily oxidizable substances (Ezeh et al., 2014). The following accessions were identified for their high total vitamin E content: k-7 (Poland) with 35.23 mg/100 g, k-11 (Mali) with 26.54 mg/100 g, and k-19 (Ivory Coast) with 26.35 mg/100 g.

**Table 2. Oil, protein and vitamin E content in the nodules of chufa accessions from the VIR collection**  
**Таблица 2. Содержание масла, белка и витамина E в образцах клубеньков чуфы из коллекции ВИР**

VIR catalogue No. / № по каталогу ВИР	Origin / Происхождение	Oil, g/100 g of the product / Масло, г/100 г продукта	Vitamin E, mg/100 g of oil / Витамин E, мг/100 г масла	Protein, % / Белок, %
1	Russia / Россия	18.73	25.84	5.85
2	Russia / Россия	17.21	25.06	6.52
7	Poland / Польша	18.42	35.23	6.40
8	Bulgaria / Болгария	18.35	24.37	6.49
9	Bulgaria / Болгария	18.22	22.34	6.79
10	Bulgaria / Болгария	17.24	25.00	6.69
11	Mali / Мали	21.06	26.54	6.76
12	Benin / Бенин	20.26	25.40	4.17
13	Germany / Германия	20.50	23.07	5.66
14	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	14.51	23.95	4.54
15	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	15.25	24.15	5.60
16	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	13.21	24.90	5.84
17	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	14.11	24.00	5.59
18	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	14.56	23.85	6.75
19	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.77	26.35	5.62
20	Ukraine / Украина	17.41	19.23	5.33
21	Belarus / Беларусь	21.01	24.32	4.56
23	France / Франция	20.15	24.90	6.30

The fatty acid composition of chufa oil is characterized by high content of oleic acid. In the course of our research, k-20 (Ukraine) was identified for the highest content of oleic acid in oil (71.29%). Palmitic acid content in the studied accessions varied from 12.86% to 14.53%, stearic acid from 2.83% to 5.78%, linoleic acid from 9.72% to 11.93%, linolenic acid from 0.15% to 0.29%, and arachidic acid from 0.39% to 0.80% (Table 3).

The content of saturated fatty acids (SFA) varied from 17.75 to 20.99%. The lowest SFA content was observed in the accessions: k-7 (Poland) with 17.75%, and k-20 (Ukraine) with 17.89%. Chufa oil is a valuable source of monounsaturated

fatty acids (MUFA) (Mohdaly, 2019). The MUFA content ranged from 68.21 to 71.55%. The highest content was identified in the accessions: k-20 (Ukraine) with 71.55%, and k-13 (Germany) with 70.76%. The content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) varied from 9.94 to 12.17%; the highest percentage was observed in the accessions: k-10 (Bulgaria) with 12.17%, and k-14 (Ivory Coast) with 12.07% (Table 4).

Individual accessions were selected according to a set of valuable agronomic traits: k-7 (Poland) for its yield, 1000 nodule weight, oleic and linoleic acid contents, high content of vitamin E, and low SFA content; k-9 (Bulgaria) for its 1000 nodule weight, and high protein content; k-11 (Mali) for

**Table 3. Fatty acid composition in the nodules of chufa accessions from the VIR collection, % of the total (C)**  
**Таблица 3. Жирнокислотный состав масла образцов клубеньков чуфы из коллекции ВИР, % от суммы (С)**

VIR catalogue No. / № по каталогу ВИР	Origin / Происхождение	C 14:0	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	C 20:0
1	Russia / Россия	0.15	14.28	0.28	3.87	69.40	11.09	0.29	0.64
2	Russia / Россия	0.14	14.29	0.30	5.35	68.15	10.98	0.24	0.55
7	Poland / Польша	0.15	14.14	0.27	2.83	70.14	11.62	0.22	0.63
8	Bulgaria / Болгария	0.13	13.79	0.28	4.60	69.23	11.10	0.22	0.66
9	Bulgaria / Болгария	0.14	13.92	0.28	5.13	67.93	11.70	0.26	0.64
10	Bulgaria / Болгария	0.13	13.87	0.33	4.88	68.11	11.93	0.24	0.51
11	Mali / Мали	0.12	13.16	0.25	4.76	69.89	10.90	0.24	0.67
12	Benin / Бенин	0.14	12.86	0.21	5.37	70.23	10.17	0.21	0.80
13	Germany / Германия	0.15	13.61	0.30	4.87	70.46	9.72	0.22	0.67
14	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.03	14.26	0.41	4.68	67.97	11.85	0.22	0.57
15	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.15	14.49	0.38	4.39	68.29	11.53	0.22	0.54
16	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.17	14.37	0.22	4.48	69.73	10.46	0.18	0.39
17	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.19	14.12	0.32	4.85	69.60	10.00	0.15	0.77
18	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.14	13.95	0.32	4.56	68.78	11.43	0.24	0.58
19	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	0.13	14.36	0.37	4.08	69.23	11.02	0.21	0.59
20	Ukraine / Украина	0.12	14.04	0.26	3.18	71.29	10.36	0.20	0.55
21	Belarus / Беларусь	0.14	14.53	0.31	5.78	67.98	10.52	0.21	0.54
23	France / Франция	0.13	14.44	0.28	5.69	68.57	10.10	0.25	0.53

high oil, protein, vitamin E and oleic acid contents; k-12 (Benin) for earliness, yield, and oleic acid content; and k-13 (Germany) for oleic acid and MUFA content. Our research showed that the oil, protein and total vitamin E contents were different in accessions of African and European origin (Codina-Torrella et al. 2014), which was confirmed by the studies where the metabolomic method had been applied to reveal differences in the geographical origin of chufa (Rubert et al.,

2018). In European accessions, the oil content ranged from 17.21 to 21.05 g/100 g of the product, protein from 6.53% to 11.21%, and vitamin E from 22.34 to 35.23 mg/100 g of oil. African accessions contained 13.21 to 20.06 g/100 g of oil, and 5.32% to 7.04% of protein, while their vitamin E level varied from 23.85 to 26.54 mg/100 g of oil. No significant differences in the composition of fatty acids were found between the two groups of accessions.

**Table 4. The content of saturated and unsaturated fatty acids in the oil extracted from the nodules of chufa accessions from the VIR collection****Таблица 4. Содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в масле образцов клубеньков чуфы из коллекции ВИР**

VIR catalogue No. / № по каталогу ВИР	Origin / Происхождение	$\Sigma$ SFA / $\Sigma$ НЖК	$\Sigma$ MUFA / $\Sigma$ МНЖК	$\Sigma$ PUFA / $\Sigma$ ПНЖК
1	Russia / Россия	18.94	69.68	11.38
2	Russia / Россия	20.33	68.45	11.22
7	Poland / Польша	17.75	70.41	11.84
8	Bulgaria / Болгария	19.18	69.51	11.32
9	Bulgaria / Болгария	19.83	68.21	11.96
10	Bulgaria / Болгария	19.39	68.44	12.17
11	Mali / Мали	18.71	70.14	11.14
12	Benin / Бенин	19.17	70.44	10.38
13	Germany / Германия	19.3	70.76	9.94
14	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.54	68.38	12.07
15	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.57	68.67	11.75
16	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.41	69.95	10.64
17	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.93	69.92	10.15
18	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.23	69.10	11.67
19	Ivory Coast / Кот-д'Ивуар	19.16	69.6	11.23
20	Ukraine / Украина	17.89	71.55	10.56
21	Belarus / Беларусь	20.99	68.29	11.23
23	France / Франция	20.79	68.85	10.35

The nodule sprouting technique was tested on one of the studied accessions: k-14 in the VIR catalogue (Ivory Coast). During the process of germination, the emergence of shoots and roots was observed. Germination energy was assessed on the shoots and roots that reached the nodule size. Assessment of germination percentage took into account robust shoots (from one to three), twice or more times longer than the nodule, with well-developed adventitious roots (Figure 1, 2).

Germination percentage was assessed on the 7th and 11th days. The results showed that seven days were not enough to assess germination, because new full-fledged seedlings continued to appear after that. The optimal time for determining the germination energy was found to be 4 days, and germination percentage 11 days. The initial values of germination energy and percentage were  $20.0 \pm 2.5\%$  and  $80.0 \pm 2.5\%$ , respectively. After measuring the germination percentage, the seedlings were planted into pots with soil for greenhouses (turf: 91.7%, limestone flour: 7.1%, NPK fertilizer: 1.2%) and left for further growth to make sure that they would grow into full-fledged plants (Figure 3).

Then the plantlets were transplanted into the open ground. The analysis of yield was made in the end of the growing season (Figure 4).

Nodule preservation experiments were carried out using the example of k-14, an accession from Ivory Coast. One of the requirements for successful long-term storage of plant germplasm is low moisture content. Before the start of the experi-

ments, nodules had moisture content of 5.4%. For storage, the nodules were dried in a drying room at a temperature of  $+18...+20^\circ\text{C}$  and a relative humidity (RH) of 10–12%. In the process of drying they were periodically weighed and their moisture content was measured. After drying in a drying room for three months, the weight of the nodules became constant at 4.2–4.4% moisture content. Germination percentage before and after drying remained unchanged ( $80 \pm 2.5\%$ ). The nodules prepared in this way were hermetically packed in vacuum-laminated foil bags and stored for a long time at different temperatures:  $+20^\circ\text{C}$ ,  $+4^\circ\text{C}$ ,  $-18^\circ\text{C}$ , and  $-196^\circ\text{C}$  (in liquid nitrogen) for further research. After three-year storage under different temperature conditions, their germination energy and germination percentage were tested. The experiments were performed in four replications. It was shown that the germination energy, regardless of the storage option, averaged  $4.5 \pm 2.9\%$ . Germination percentage of nodules stored at  $+20^\circ\text{C}$  decreased by approximately 15–16%. Under low positive ( $+4^\circ\text{C}$ ) and negative temperatures ( $-18^\circ\text{C}$  and  $-196^\circ\text{C}$ ), germination percentage remained unchanged (Figure 5). A decrease in germination energy in all storage options may be explained by the drying of nodules before placement for storage and, accordingly, by the slowdown of the initial stage in their germination process.

Thus, even short-term storage of chufa nodules at room temperature adversely affects their germination. Further experiments should demonstrate what time schedules and tem-



**Fig. 1. Four-day-old sprouts from chufa nodules (assessment of germination energy)**  
**Рис. 1. Четырехдневные проростки клубеньков чуфы (оценка энергии прорастания)**



**Fig. 2. Eleven-day-old sprouts from chufa nodules (germination percentage assessment)**  
**Рис. 2. Одиннадцатидневные проростки клубеньков чуфы (оценка всхожести)**

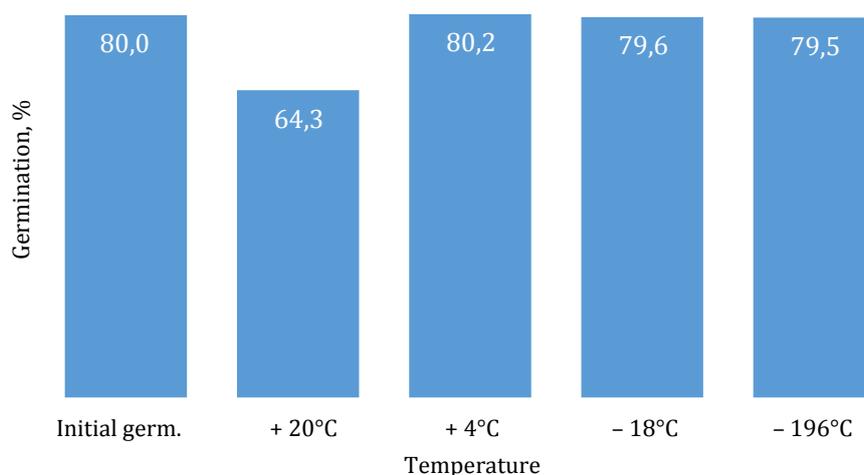


**Fig. 3. Chufa in the greenhouse (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR)**  
**Рис. 3. Чуфа в теплице (Научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР)**



**Fig. 4.** Chufa in the experimental field (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR)

**Рис. 4.** Чуфа на опытном поле (Научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»)



**Fig. 5.** Chufa nodule germination percentage after 3 years of storage under different temperatures

**Рис. 5.** Всхожесть клубеньков чуфы после 3-х лет хранения в различных температурных условиях

peratures are most suitable for the long-term storage of chufa nodules.

Currently, one of the urgent problems for both Europe and Russia is to improve nutrition patterns of the population and increase the share of natural and environmentally friendly products in the daily diet (Konarev et al., 2019; Sabo et al., 2018). The main problem of such products is their short shelf life, while the use of chemical preservatives not only negates the benefits of a natural product, but also harms the human organism. This is especially typical for perishable products. To solve this problem and increase the shelf life of natural products, it is promising to use plants with natural antioxidant potential, such as chufa. The main components in the antioxidant system of chufa nodules are tocopherols, mainly  $\gamma$ -tocopherol and  $\alpha$ -tocopherol (Yeboah et al., 2012). The use

of chufa accessions with a high content of vitamin E (k-7, k-11 and k-19) is promising for the development of this trend in the food industry.

The key factors for successful long-term storage of chufa nodules are humidity and temperature patterns. High moisture and high drying temperatures reduce the content of protein, oil and fiber in chufa nodules (Omale et al., 2020).

A comprehensive study of *C. esculentus* requires performing molecular genetic studies aimed at obtaining maximum sizes of chufa nodules in order to optimize the processing technology. It is also necessary to develop a biotechnological method for producing a natural preservative from chufa and conduct medical research into the effect of chufa products on carbohydrate and lipid metabolism among patients with diabetes, metabolic syndrome, and obesity.

## Conclusion

The results of our research show that the chufa collection accessions manifest significant genetic diversity in their biochemical composition. Chufa accessions have been selected for a set of valuable agronomic features. The selected accessions can be used as source material in breeding programs.

A technique was developed for measuring germination percentage, and preparation for long-term storage was carried out. The optimal age of the shoots from chufa nodules to assess their germination energy was found to be four days, with eleven days for germination percentage assessment. It was shown that three-year storage of chufa nodules at +20°C caused a decrease in their germination by 15–16%. When stored at low positive (+4°C) or negative temperatures (–18°C and –196°C), their germination percentage remained unchanged.

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0001 "The collection of oil and fiber crops at VIR: maintenance, study, and genetic diversity expansion".*

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0001 «Коллекция масличных и прядильных культур ВИР: поддержание, изучение, расширение генетического разнообразия».*

## References / Литература

- Allouh M.Z., Daradka H.M., Abu Ghaida J.H. Influence of *Cyperus esculentus* tubers (tiger nut) on male rat copulatory behavior. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2015;15(1):331. DOI: 10.1186/s12906-015-0851-9
- Arafat S.M., Gaafar A., Basuny A.M., Nassef S.L. Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): as a new source of food. *World Applied Sciences Journal*. 2009;7(2):151-156.
- Bobreneva I.V.; Baioumy A.A. Tiger nut in meat products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(2):185-192. [in Russian] [Бобренева И.В., Баюми А.А. Возможность использования тигровых орехов в мясных продуктах. *Техника и технология пищевых производств*. 2019;49(2):185-192]. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-2-185-19
- Butova S.V., Vorontsov V.V., Shakhova M.N. Development of technology for producing a soft drink based on an aqueous extract from chufa (Razrabotka tekhnologii polucheniya bezalkogolnogo napitka na osnove vodnogo ekstrakta iz orekhov chufy). *Tekhnologii i tovarovedeniye selskokhozyaystvennoy produktsii = Technologies and Commodity Science of Agricultural Products*. 2019;1(12):51-54. [in Russian] [Бутова С.В., Воронцов В.В., Шахова М.Н. Разработка технологии получения безалкогольного напитка на основе водного экстракта из орехов чуфы *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2019;1(12):51-54].
- Codina-Torrella I., Guamis B., Trujillo A.J. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin: Physico-chemical characteristics and protein fractionation. *Industrial Crops and Products*. 2015;65:406-414. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.11.007
- Ezeh O., Gordon M.H., Niranjan K. Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): A review of its composition and physicochemical properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2014;116(7):783-794. DOI: 10.1002/ejlt.201300446
- Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Revised edition. Rome: FAO; 2014. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> [accessed 10.10.2018].
- Glotova I.A., Grebenshchikov A.V., Selezneva N.V., Turbina M.N. Use of ground almonds in the production of functional products from poultry (Ispolzovaniye zemlyanogo mindalya pri proizvodstve funktsionalnykh produktov iz myasa ptitsy). *Meat Industry*. 2010;6:23-25. [in Russian] [Глотова И.А., Гребенщиков А.В., Селезнева Н.В., Турбина М.Н. Использование земляного миндаля при производстве функциональных продуктов из мяса птицы. *Мясная индустрия*. 2010;6:23-25].
- GOST 12038-84. Interstate standard. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow; 2016. [in Russian] [ГОСТ 12038-84. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва; 2016]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84> [дата обращения: 17.08.2020].
- GOST 12041-82. Interstate standard. Seed of farm crops. Method for determination of moisture content. Moscow; 2004. [in Russian] [ГОСТ 12041-82. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности. Москва; 2004]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12041-82> [дата обращения: 17.08.2020].
- GOST R 512677-2006. National standard of the Russian Federation. Vegetable oils, animal fats and products of their processing. Methods for determination of the content of trans fatty acid isomers. Moscow; 2007. [in Russian] [ГОСТ Р 512677-2006. Национальный стандарт Российской Федерации. Масла растительные, жиры животные и продукты их переработки. Методы определения массовой доли трансизомеров жирных кислот. Москва; 2007]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050008> [дата обращения: 02.09.2020].
- Imo C., Arowora K.A., Boyi R.N., Nwaogwugwu C.J., Shaibu O.C., Apaji A.D. Liver function and haematological effects of ethanolic extracts of date fruit, coconut and tiger nut in albino rats. *Trends in Science and Technology Journal*. 2019;4(3):864-869.
- IUPAC: Standard methods for the analysis of oils, fats and derivative. 6th ed. Oxford: Pergamon Press; 1979.
- Konarev A.V., Loskutov I.G., Shelenga T.V., Horeva V.I., Konarev A.V. Plant genetic resources as an inexhaustible source of healthy food products. *Agrarian Russia*. 2019;2:38-48. [in Russian] [Конарев А.В., Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Конарев А.В. Генетические ресурсы растений – неисчерпаемый источник продуктов здорового питания. *Аграрная Россия*. 2019;2:38-48]. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-2-38-48
- Kuznetsova E.A., Mordvinkin S.A., Zenina E.A. Optimization of the recipe ingredients wheat bread with recycled plant material. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(3):64-69. [in Russian] [Кузнецова Е.А., Мордвинкин С.А., Зенина Е.А. Оптимизация рецептурного состава пшеничного хлеба с применением переработанного растительного сырья. *Вестник Воронежского государственного*

- университета инженерных технологий. 2019;81(3):64-69). DOI:10.20914/2310-1202-2019-3-64-69
- Mohdaly A.A.R.A.A. Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil. In: M.F. Ramadan (ed.). *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Cham: Springer; 2019. p.243-269. DOI: 10.1007/978-3-030-12473-1\_11
- Motorin N.V., Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Gavrilova V.A., Konkova N.G. Estimation of chufa (*Cyperus esculentus* L.) varieties as applied to the biological life support system BIOS-3. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2009;1(140):150-152. [in Russian] (Моторин Н.В., Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Гаврилова В.А., Конькова Н.Г. Испытание сортов чуфы (*Cyperus esculentus* L.) применительно к биорегенеративной системе жизнеобеспечения БИОС-3. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2009;1(140):150-152).
- Nizova G.K., Kon'kova N.G. Catalogue of the VIR global collection. Issue 783. Rare oil crops St. Petersburg: VIR; 2008. [in Russian] (Низова Г.К., Конькова Н.Г. Каталог мировой коллекции ВИР Выпуск 783. Малораспространенные масличные культуры. Санкт-Петербург: ВИР; 2008).
- Omale P.A., Iyidiobu B.N., Ibu E.J. Effect of drying temperature on the nutritional quality of tiger nut (*Cyperus esculentus*). *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. 2020;4(9):399-403. DOI: 10.33564/IJEAST.2020.v04i09.051
- R 4.1.1672-03. Guidelines on the methods of quality control and safety of bioactive food additives (Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheski aktivnykh dobavok k pishche). Moscow; 2004. [in Russian] (Р 4.1.1672-03. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Москва: 2004). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034795> [дата обращения: 02.09.2020].
- Roselló-Soto E., Barba F.J., Putnik P., Bursać Kovačević D., Lorenzo J.M., Cantavella-Ferrero Y. Enhancing bioactive antioxidants' extraction from "Horchata de Chufa" by-products. *Foods*. 2018a;7(10):161. DOI: 10.3390/foods7100161
- Roselló-Soto E., Poojary M.M., Barba F.J., Lorenzo J.M., Mañes J., Moltó J.C. Tiger nut and its by-products valorization: From extraction of oil and valuable compounds to development of new healthy products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018b;45:306-312. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.11.016
- Rubert J., Hurkova K., Stranska M., Hajslova J. Untargeted metabolomics reveals links between Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) and its geographical origin by metabolome changes associated with membrane lipids. *Food Additives and Contaminants: Part A*. 2018;35(10):1861-1869. DOI: 10.1080/19440049.2017.1400694
- Sabiu S., Ajani E.O., Sunmonu T.O., Ashafa A.O.T. Kinetics of modulatory role of *Cyperus esculentus* L. on the specific activity of key carbohydrate metabolizing enzymes. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 2017;14(4):46-53. DOI: 10.21010/ajtcam.v14i4.6
- Sabo S.Y., Otimenyin S.O., Uguru M.O., Bukar B.B. Ethnobotanical survey of medicinal plants used as aphrodisiacs in Bauchi local government area. *Journal of Complementary and Alternative Medical Research*. 2018;4(4):1-13. DOI: 10.9734/jocamr/2017/39229
- Shakhova M.N., Butova S.V., Fedotova N.G. Chufa: an alternative source of oil (Chufa – alternativny istochnik masla). *Tekhnologii i tovarovedeniye selskokhozyaystvennoy produktsii = Technologies and Commodity Science of Agricultural Products Technologies and commodity science of agricultural products*. 2014;3:24-26. [in Russian] (Шахова М.Н., Бутова С.В., Федотова Н.Г. Чуфа – альтернативный источник масла. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2014;3:24-26).
- Shklavtsova E.S., Ushakova S.A., Shikhov V.N., Anishchenko O.V. Effects of mineral nutrition conditions on heat tolerance of chufa (*Cyperus esculentus* L.) plant communities to super optimal air temperatures in the BTLSS. *Advances in Space Research*. 2014;54(6):1135-1145. DOI: 10.1016/j.asr.2014.05.031
- Sidohounde A., Dossa C.P.A., Nonviho G., Montcho S.P., Sohounhloie D.C.K.. Biodiesel potentials of two phenotypes of *Cyperus esculentus* unconventional oils. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*. 2018;9(1):1-6. DOI: 10.5897/JPTAF2018.0136
- Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. (eds). Guidelines on the methods of analyzing the quality and safety of food products (Rukovodstvo po metodam analiza kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov). Moscow: Brandes, Medicine; 1987, p.128-149. [in Russian] (Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. Москва: Брандес, Медицина; 1987).
- Suleiman M.S., Olajide J.E., Omale J.A., Abbah O.C., Ejembi D.O. Proximate composition, mineral and some vitamin contents of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Clinical Investigation*. 2018;8(4):161-165. DOI: 10.4172/Clinical-Investigation.1000143
- Yeboah S.O., Mitei Y.C., Ngila J.C., Wessjohann L., Schmidt J. Compositional and structural studies of the oils from two edible seeds: Tiger nut, *Cyperus esculentus*, and asiato, *Pachira insignis*, from Ghana. *Food Research International*. 2012;47(2):259-266. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.06.036

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Конькова Н.Г., Сафина Г.Ф. Хозяйственно ценные признаки образцов чуфы (*Cyperus esculentus* L.) из коллекции ВИР: методика подготовки клубеньков к длительному хранению. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):34-44. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-34-44

Kon'kova N.G., Safina G.F. Valuable agronomic traits of chufa (*Cyperus esculentus* L.) accessions from the VIR collection: methods of preparing nodules for long-term storage. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):34-44. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-34-44

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-34-44>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

**ORCID**

Kon'kova N.G. <https://orcid.org/0000-0002-4920-3904>

Safina G.F. <https://orcid.org/0000-0002-8566-0192>

# Изучение образцов огурца коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам в зоне Нижнего Поволжья

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-45-52

УДК 635.63:631.52

Поступление/Received: 20.08.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



## Study of cucumber accessions from the VIR collection for their agronomic traits in the Lower Volga Region

Э. Х. СУХАНБЕРДИНА<sup>1</sup>,  
А. А. ГРУШИН<sup>1</sup>, Т. М. ПИСКУНОВА<sup>2\*</sup>

E. H. SUKHANBERDINA<sup>1</sup>,  
A. A. GRUSHIN<sup>1</sup>, T. M. PISKUNOVA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная  
станция – филиал ВИР,  
404160 Россия, Волгоградская обл., г. Краснослободск,  
квартал Опытная станция ВИР, 30  
✉ gnuvosvniir@yandex.ru

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
Volograd Experiment Station of VIR,  
30 VIR Exp. Station Block,  
Krasnoslobodsk 404160, Russia  
✉ gnuvosvniir@yandex.ru

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
\* ✉ tmpiskunova@yandex.ru

<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian  
Institute of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
\* ✉ tmpiskunova@yandex.ru

**Актуальность.** Одной из глобальных проблем человечества в настоящее время является ожирение и избыточный вес. Для лечения и профилактики этой болезни врачи рекомендуют потреблять больше овощей, в частности огурцов. Несмотря на то что Россия входит в число крупных производителей, средняя урожайность огурца более чем в два раза ниже по сравнению со странами ЕС. Для удовлетворения потребностей населения приходится дополнительно импортировать недостающую продукцию. В связи с этим очевидна актуальность увеличения производства и прежде всего за счет повышения урожайности.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на опытных участках Волгоградской опытной станции ВИР. Материалом для изучения послужили образцы коллекции огурца ВИР. В исследованиях использовались разработанные и принятые в ВИР методики.

**Результаты и выводы.** Были изучены такие хозяйственно ценные признаки, как урожайность, масса и длина плода, окраска шипов, содержание сухого вещества и сахаров. Выявлена заметная прямая корреляционная связь между парой «длина – масса плода» и умеренная прямая между признаками «урожайность – длина плода», «урожайность – масса плода», «сухое вещество – сахара». Проанализированы показатели пригодности образцов к засолке и консервированию. Рекомендованы образцы, которые можно использовать в селекционной работе. Сделан вывод о перспективности селекции на хозяйственно ценные признаки на основе длинноплодных форм огурца из стран Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** *Cucumis sativus* L., урожайность, морфологические признаки плода, содержание сахаров и сухого вещества.

**Background.** One of the global problems presently faced by humanity is obesity and overweight. For treatment and prevention of this disease, doctors recommend consuming more vegetables, cucumbers in particular. Despite the fact that Russia is one of the major cucumber producers, its average yield is more than twice lower than in the EU countries. To meet the demand of the population, it is necessary to additionally import the missing products. In this regard, the urgent need for an increase of cucumber production is obvious, and first of all, by raising the yield.

**Materials and methods.** The research was conducted at the experimental sites of Volgograd Experiment Station of VIR. Accessions from VIR's cucumber collection served as the material for the study. Methods developed and accepted by VIR were used in the research.

**Results and conclusions.** Such agronomic characteristics as yield, fruit weight and length, thorn color, dry matter and sugar content were studied. A noticeable direct correlation was found between fruit length and fruit weight, and moderate direct correlations were observed between yield and fruit length, yield and fruit weight, dry matter and sugars. The indicators showing suitability of accessions for salting and canning were analyzed. Accessions that can be used in breeding practice are recommended. A conclusion is made about the prospects of breeding for valuable agronomic traits using long-fruited forms of cucumber from the countries of South-East Asia and the Russian Far East.

**Key words:** *Cucumis sativus* L., yield, fruit length, fruit weight, sugar content, dry matter.

## Введение

Огурец (*Cucumis sativus* L.) – одна из самых популярных овощных культур в мире. Согласно статистическим данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), огурцы культивируются в 138 странах мира. Беспорным лидером в выращивании огурцов является Китай, который произвел в 2019 г. 70 338 971 тонну этой овощной продукции, что составляет 80% от мирового производства. Следующие два места занимают Турция и Россия с производством в 36–42 раза меньшим по сравнению с Китаем (FAOSTAT, 2020).

Широкая популярность огурца объясняется его хорошими вкусовыми качествами, высокой урожайностью, скороспелостью, рентабельностью, возможностью получать продукцию в течение круглого года. Огурец используется как диетическое, профилактическое, лечебное и косметическое средство. Пищевая ценность огурца незначительна, так как 95–98% массы плода составляет вода. Благодаря низкой калорийности (в 100 г содержится всего 14 калорий) его можно отнести к разряду диетических продуктов. Кроме того, тартроновая кислота, содержащаяся в огурцах, задерживает превращение углеводов в жиры.

Таким образом, огурец является доступным диетическим продуктом для профилактики и лечения такого прогрессирующего заболевания населения, как ожирение. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 1,9 миллиардов (39%) взрослого населения планеты старше 18 лет имеют избыточный вес, из них свыше 650 миллионов (13%) страдают ожирением (World Health Organization, 2020).

Несмотря на то что Россия входит в число крупных производителей, она вынуждена дополнительно импортировать огурцы для удовлетворения нужд населения. Так, в 2013 г. импорт составил 223 тыс. тонн (Shekmarev, Mamedov, 2015). По нашим расчетам, если разделить объем продукции огурца, произведенной в течение года в России, на численность ее населения, то в среднем придется всего около 37 грамм в день на человека, что явно недостаточно для здорового питания и требует увеличения производства в несколько раз.

Если учитывать, что в России основное производство огурца сосредоточено в южных регионах, в число которых входит и Нижнее Поволжье, селекционерам необходимо выводить сорта и гибриды, отличающиеся высокой урожайностью и приспособленностью к таким отрицательно сказывающимся на продуктивности факторам, как высокие температуры, низкая относительная влажность воздуха, частые засухи и суховеи.

Необходимо особо отметить, что «...в настоящее время в России основной объем производства огурцов сосредоточен в личных подсобных хозяйствах, которые дают до 80% этой продукции, т. е. Россия в области производства огурцов, да и в целом овощей, вернулась из стадии промышленного производства к натуральному хозяйству, что требует соответствующих корректив селекционных программ. Первостепенное значение при этом приобретают урожайность, вкусовые и товарные качества продукции – основные составляющие конкурентоспособности сортов и гибридов, используемых в частном секторе» (Burenin et al., 2014, p. 11).

*Цель наших исследований* – провести скрининг мировой коллекции огурца ВИР в условиях Нижнего Поволжья, выявить общие закономерности в проявлении некоторых хозяйственно ценных признаков огурца, устано-

вить корреляционные связи между ними и выделить лучшие образцы, которые можно рекомендовать в качестве исходного материала для селекции.

## Материалы и методы

В данной работе обобщены результаты многолетних исследований, проводившихся на Волгоградской опытной станции в период с 1961 по 2018 г. Станция находится в Северной зоне Волго-Ахтубинской поймы. Климат зоны засушливый континентальный. Сумма активных температур за вегетационный период в среднем составляет 3200–3400°C, что полностью обеспечивает потребности огурца в тепле. Недостаток осадков в летний период, всего 120–150 мм, вынуждает выращивать огурцы только на поливе.

Почвы участка, на котором производилось изучение коллекции, пойменные, светло-каштановые, по механическому составу глинистые и тяжелосуглинистые. Учетная площадь делянки составляла 5 м<sup>2</sup>, растения размещали по схеме 25 × 70 см. Агротехнический уход включал полив с использованием капельного орошения, прополки, рыхление, борьбу с болезнями и вредителями, трехкратное внесение минеральных удобрений.

Материалом для изучения послужили отечественные и зарубежные образцы огурца мировой коллекции ВИР. Была изучена урожайность 399 образцов, масса плода у 457, длина плода у 273 и определено содержание сухого вещества и сахара у 819 образцов.

Изучение осуществлялось в соответствии с методическими указаниями ВИР (Pyzhenkov, Yuldasheva, 1977). Каждый образец изучался в течение трех лет. Регулярные сборы зеленца проводили через 1–2 дня и по урожаю, собранному за весь период плодоношения, в расчете на 1 м<sup>2</sup> определяли урожайность образца.

Для оценки хозяйственно ценных признаков огурца использовали шкалы, рекомендованные в Международном классификаторе СЭВ вида *Cucumis sativus* L. (Murtazov et al., 1980), по которым плод длиной меньше 5 см считается очень коротким, 5–10 см – коротким, 11–20 см – средним, 21–30 – длинным, больше 30 – очень длинным. Огурцы массой плода меньше 50 г оцениваются как очень мелкие, 50–100 г – мелкие, 101–200 г – средние, 201–400 г – крупные, больше 400 г – очень крупные. Содержание сухого вещества в плоде менее 3% классифицируется как низкое, 3–4% – среднее и более 4% – как высокое.

Биохимический анализ проводили в стационарной лаборатории биохимии по принятым в ВИР методикам (Ермаков, 1987). Содержание сухого вещества определяли высушиванием до постоянного остатка, сахаров – по методу Бертрана.

Статистическую обработку данных осуществляли по Г. Н. Зайцеву (Zaitsev, 1973) и с использованием программной настройки «Пакет анализа» табличного процессора Microsoft Excel.

## Результаты и обсуждение

Н. И. Вавилов обращал внимание селекционеров на то, что селекция ближайшего будущего должна включать синтезированные знания, вскрывающие сортовую амплитуду видов, систему видов, крайние варианты, амплитуду физиологических, химических и иных свойств (Vavilov, 1965). Многолетние исследования, проведенные на коллекции огурца на Волгоградской опытной станции

ВИР, позволили создать обширную базу данных для выявления общих закономерностей изменчивости ряда признаков и связей между ними. Изучены такие признаки, как урожайность, масса и длина плода, окраска шипов, а также содержание сахаров и сухого вещества, определяющие вкусовые качества огурцов и пригодность их к засолке.

Как известно, чем большей степенью изменчивости обладает признак, по которому ведется селекция, тем больше возможностей у селекционера добиться хорошего результата. Поэтому для определения степени вариативности признаков были вычислены коэффициенты вариации. По Г. Н. Зайцеву, при коэффициенте вариации меньше 10% степень изменчивости считается незначительной, от 10 до 20% – средней, больше 20% и меньше или равно 33% – значительной. Если значение коэффициента вариации не превышает 33%, то совокупность считается однородной, если больше 33%, то неоднородной (Zaitsev, 1973).

В наших исследованиях для урожайности коэффициент вариации составил 54,3%, для массы плода – 41,7%, длины плода – 30,5%, сухого вещества – 10,3% и для сахара – 15,3%.

Таким образом, наиболее перспективно вести селекцию на повышение урожайности, массы и длины плода огурца.

Также были изучены корреляционные парные связи между указанными выше признаками. Результаты приведены в таблице 1.

(Russian Statistical Yearbook, 2018), в то время как передовые колхозы СССР в тридцатые годы прошлого столетия получали урожаи огурца до 6,5 кг/м<sup>2</sup> в открытом грунте (Yakimovich, Sheremetevsky, 1938).

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), средняя урожайность огурца в 2017 г. в странах ЕС равнялась 5,45 кг/м<sup>2</sup> (FAOSTAT, 2020).

Таким образом, для того чтобы догнать страны ЕС, России необходимо повысить урожайность огурца по крайней мере в 2-3 раза.

В результате многолетнего изучения коллекции огурца на Волгоградской опытной станции ВИР выделены образцы, превысившие по урожайности стандартный сорт 'Обильный' в три и более раза (табл. 2). Несомненно, эти образцы являются ценным исходным материалом для селекции.

По результатам наших исследований образцы распределились по группам следующим образом:

- по длине плода: очень короткие – отсутствуют, короткие – 82 образца (30,1%), средние – 175 (64,4%), длинные – 13 (4,8%) и очень длинные – 2 образца (0,7%);
- по массе плода: очень мелкие – 8 образцов (1%), мелкие – 251 (33,8%), средние – 430 (57,9%), крупные – 52 (7%) и очень крупные – 2 образца (0,3).

Таким образом, в изученном коллекционном наборе преобладали образцы средние по длине и массе плода. Образцы, выделенные по массе и длине плода, приведены в таблицах 3 и 4.

**Таблица 1. Коэффициенты парных корреляций хозяйственно ценных признаков образцов огурца**  
(Волгоградская ОС – филиал ВИР, 2001–2018 гг.)

**Table 1. Pair correlation ratios of agronomic characters in cucumber**  
(Volgograd Experiment Station of VIR, 2001–2018)

Показатель / Indicator	Урожайность, кг/м <sup>2</sup> / Yield, kg/m <sup>2</sup>	Масса плода, г / Fruit weight, g	Длина плода, см / Fruit length, cm	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Сахара, % / Sugars, %
Урожайность	1,00				
Масса плода	0,42 ± 0,046*	1,00			
Длина плода	0,43 ± 0,056*	0,58 ± 0,043*	1,00		
Сухое вещество	-0,03	-0,15 ± 0,034*	0,14 ± 0,067**	1,00	
Сахара	0,15 ± 0,065**	-0,002	-0,07	0,47 ± 0,027*	1,00

\* – коэффициенты корреляции, достоверны на 1-процентном уровне значимости

\*\* – коэффициенты корреляции, достоверны на 5-процентном уровне значимости

\* – correlation ratios are statistically significant at the 1% level of significance

\*\* – correlation ratios are statistically significant at the 5% level of significance

Качественная оценка тесноты связи была дана на основе шкалы Чеддока (Makarova, Trofimets, 2002). Заметная прямая связь наблюдалась между парой «длина – масса плода»; умеренная прямая: «урожайность – длина плода», «урожайность – масса плода», «сухое вещество – сахара»; слабая обратная: «сухое вещество – масса плода» и «сухое вещество – длина плода»; слабая прямая: «урожайность – содержание сахара». В остальных случаях корреляционная связь практически отсутствовала.

По данным Росстата, средняя урожайность огурцов открытого грунта в России в 2017 г. составляла 2,0 кг/м<sup>2</sup>

Анализируя данные, приведенные в таблицах 2–4, можно сделать вывод, что абсолютное большинство образцов, выделенных по массе и длине плода, происходят из Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока.

Известно, что значительная часть урожая огурцов в России заготавливается впрок – засаливается, маринуется и консервируется. К плодам, предназначенным для засолки, предъявляются особые требования. (Yakimovich, Sheremetevsky, 1938; Samsonova et al., 1983). Прежде всего, они должны содержать от 1,8% и более сахаров для того, чтобы обеспечить нормальный ход процесса

**Таблица 2. Образцы огурца, выделенные по урожайности**  
(Волгоградская ОС – филиал ВИР, 2001–2018 гг.)

**Table 2. Cucumber accessions identified for their yield**  
(Volograd Experiment Station of VIR, 2001–2018)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Урожайность, кг/м <sup>2</sup> / Yield, kg/m <sup>2</sup>	
			средняя / mean	min-max
к-4484	205 Cucumber	Тайвань	17,7	7,0–20,0
к-4526	Berliner Aal	Германия	17,0	10,0–24,0
вр.к-3885	Tasty Bright F <sub>1</sub>	Нидерланды	17,1	11,0–24,0
к-4270	Tasty Green F <sub>1</sub>	США	16,6	14,0–19,0
к-4490	Tianin mini cucumber	Китай	20,7	19,0–23,0
к-4545	Yeo leam sam chuk oi	Южная Корея	17,5	16,0–21,0
к-4355	Zhong nong № 15	Китай	15,6	7,0–23,0
вр.к-3701	Zungsunyerum-oi	Южная Корея	27,5	26,9–31,0
вр.к-3999	Местный	Азербайджан	20,2	9,0–40,0
вр.к-4004	Местный	Азербайджан	26,2	11,0–39,0
вр.к-3998	Местный	Азербайджан	17,1	4,3–27,6
к-4901	Местный	Азербайджан	17,0	7,0–24,0
вр.к-3841	Тянь-узинь ян № 6	Китай	19,1	14,0–26,0
к-4498	Тянь-узинь ян № 7	Китай	17,7	16,0–20,0
вр.к-3840	Тянь-узинь яо № 5	Китай	19,5	14,0–28,0
к-3568	Обильный (стандарт)	Россия	5,1	2,1–7,2

**Таблица 3. Образцы огурца, выделенные по массе плода**  
(Волгоградская ОС – филиал ВИР, 1961–2018 гг.)

**Table 3. Cucumber accessions identified for their fruit weight**  
(Volograd Experiment Station of VIR, 2001–2018)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Масса плода, г / Fruit weight, g	
			средняя / mean	min-max
вр.к-3597	Duke	Япония	276,5	218–335
вр.к-3667	Yamato Sanjyaku	Япония	283,0	250–315
к-4552	№ 3	Вьетнам	345,0	270–430
к-3997	Ochiai Fushinari	Япония	303,8	278–340
вр.к-3664	Santou	Япония	359,5	344–375
вр.к-3554	Shaantung Suhyo Cross F1	Япония	332,7	255–378
к-4941	Slicing Early Set F1	Нидерланды	290,0	240–315
к-4943	Tasty Green F1	Нидерланды	348,3	277–420
к-4490	Tianin mini cucumber	Китай	425,0	380–445

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Масса плода, г / Fruit weight, g	
			средняя / mean	min-max
к-4420	Guliru	Япония	485,0	430-497
вр.к-3832	Zhong nong № 11	Китай	284,0	247-331
к-4498	Динь-ень № 2	Китай	310,0	262-347
вр.к-3073	Длиноплодный	Китай	325,0	294-370
вр.к-3839	Тянь-узинь ян № 4	Китай	284,0	230-348
вр.к-3840	Тянь-узинь ян № 5	Китай	274,0	238-320
к-4498	Тянь-узинь ян № 7	Китай	363,7	215-530
вр.к-2801	-	Корея	300,0	251-324
вр.к-3714	Petrel	Тайвань	265,0	220-310

Таблица 4. Образцы огурца, выделенные по длине плода  
(Волгоградская ОС – филиал ВИР, 2001–2018 гг.)Table 4. Cucumber accessions identified for their fruit length  
(Volgograd Experiment Station of VIR, 2001–2018)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Длина плода, см / Fruit length, cm	
			средняя / mean	min-max
к-4484	205 Cucumber	Тайвань	21,7	17-26
к-4542	Changchun mici	Нидерланды	26,5	21-32
к-4371	Hsia Tzu Huangkua	Германия	21,8	14-30
к-4510	Hybrid Pegasus	Ю. Корея	26,5	23-30
к-4549	Kaga Aonaga	Япония	24,1	17-30
вр.к-3862	Man chuncheongiang madi	Ю. Корея	25,4	19-27
к-4523	Northern President F1	Дания	20,2	18-22
вр.к-3885	Tasty Bright F1	Нидерланды	25,0	23-27
к-4270	Tasty Green F1	США	25,0	16-29
к-4490	Tianin mini cucumber	Китай	21,5	20-25
к-4482	Ting Xu hao	Корея	25,3	21-30
вр.к-1997	Дзибаи	Япония	22,5	18-27
к-4930	Китайские	Китай	25,0	18-29
вр.к-4056	-	Китай	32,5	30-35
вр.к-4061	-	Китай	31,0	26-35

брожения. Повышенное содержание сахаров обеспечивает высокое качество продукта при засолке.

Из изученных нами 819 образцов 389 (47,5%) содержали от 1,8 и более процентов сахаров, то есть пригодны по этому показателю для засолки.

Для консервных сортов характерным признаком является прочная, плотная структура мякоти плода, которая определяется содержанием целлюлозы и пектинов, входящих в состав сухого вещества. Согласно нашим исследованиям, образцы с низким содержанием сухого вещества в плодах отсутствовали, 49 образцов (5,6%) имели средние показатели и 760 образцов – высокие (94,4%). Таким образом, абсолютное большинство образцов отличались высоким содержанием сухого вещества.

Для засолки предпочтение отдается огурцам, имеющим черную или коричневую окраску шипов. Впрочем, у современных гибридов огурца белошипые плоды также пригодны для засолки. Среди образцов, изученных нами по этому признаку, 55% обладали белыми шипами, 39% – черными, 4,9% – черными и белыми, 0,9% – коричневыми и 0,2% были гладкими, без шипов.

Одним из основных требований, предъявляемых к засолочным огурцам для консервирования, являются ограничения по длине (до 14 см для длинноплодных форм), диаметру (не более 5 см) и индексу плода, то есть соотношению длины к диаметру (не менее 2,5).

Между тем длинноплодные огурцы при небольшом диаметре плода имеют значительную длину. Так, огурцы Северной, Центральной и Южной климатических провинций Китая сортоотипов Пекинский и Китайский змеевидный достигают в длину 40–100 см. (Tkachenko, 1967; Yuldasheva, Stepanova, 1986).

Кроме того, плоды должны обладать тонкой, нежной и пористой кожицей, чтобы не задерживать процесс диффузии. Сорта с грубой кожицей малоприспособлены для засолки, и их приходится накалывать или использовать более молодые плоды. Также первосортная продукция получается из огурцов, имеющих маленькую семенную камеру с отсутствием пустот.

Принимая во внимание, что население нашей страны традиционно отдавало предпочтение мелко- и среднеплодным огурцам, а также учитывая требования консервной промышленности, отечественные селекционеры до недавнего времени были вынуждены ориентироваться на выведение сортов огурца именно такого размера, что, естественно, ограничивало повышение урожайности. В настоящее время у населения начали приобретать все большую популярность длинноплодные огурцы. Поскольку около 80% продукции выращивается в частных хозяйствах и консервируется в домашних условиях, ограничение по длине плода огурца потеряло свою актуальность.

В заключение перечислим и другие преимущества длинноплодных огурцов. Н. Н. Ткаченко, описывая огурцы из Индии, Китая и Японии, прежде всего поражаемся огромным разнообразием их сортового состава. Только в Северном Китае он насчитал более 250 сортов. Огурцы этих стран обладают такими непревзойденными свойствами, как высокая урожайность, скороспелость, нежная кожица, прекрасный вкус, сильно выраженная партенокарпия, маленькая семенная камера, способность дольше сохранять товарные качества зеленца. Автор также особо выделял их замечательные засолочные качества, и, что особенно важно для климатических условий Нижнего Поволжья, позднеспелость и повышенную жаро-

стойкость (Tkachenko, 1967). Он рекомендовал отечественным селекционерам шире использовать большой сортимент огурца этого региона в качестве исходного материала для селекции.

Немаловажно и то, что длинноплодные сорта выделяются также по относительной устойчивости к ложной мучнистой росе, являющейся основным фактором, ограничивающим урожайность огурца. В. И. Пыженков, анализируя регионы происхождения сортов огурца, устойчивых к ложной мучнистой росе, установил, что они в основном происходят из первичного центра происхождения огурца – Индии и из вторичных центров – Китая, Японии, Вьетнама, Бирмы, Непала, Индонезии, российского Дальнего Востока (Pyzhenkov, 1977). Наши исследования также подтвердили, что огурцы из центров происхождения обладают относительной устойчивостью к пероноспорозу и выделяются среди остальных образцов по урожайности (Sukhanberdina et al., 2019).

Таким образом, вполне очевидно, что длинноплодные формы огурца обладают значительными преимуществами для производства и явно заслуживают большего внимания со стороны селекционеров России.

### Заключение

В результате проведенного скрининга мировой коллекции огурца ВИР по основным хозяйственно ценным признакам при выращивании в открытом грунте в условиях жаркого засушливого климата Нижнего Поволжья были получены следующие результаты:

- установлены заметные и умеренные прямые корреляции между такими признаками, как урожайность, масса и длина плода, а также между содержанием сухого вещества и сахара;
- выделены образцы, которые наиболее приспособлены к климатическим условиям данной зоны, отличаются высокой урожайностью и качеством продукции. Большинство из них представлены образцами из Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока;
- определено, что значительная часть изученных образцов обладает такими необходимыми свойствами для засолки, как высокое содержание сахара и сухого вещества.

Использование в селекции выделенных образцов позволит создать высокопродуктивные сорта и гибриды для открытого грунта, полностью удовлетворить потребность населения нашей страны в этом замечательном овоще и отказаться от его импорта.

---

*Работа выполнена в рамках государственного задания по тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0003 «Генетические ресурсы овощных и бахчевых культур мировой коллекции ВИР: эффективные пути расширения разнообразия, раскрытия закономерностей наследственной изменчивости, использования адаптивного потенциала».*

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-003 "Genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR global collection: effective ways to expand their diversity, disclose the patterns of hereditary variability, and use their adaptive potential".*

---

## References / Литература

- Burenin V.I., Artemyeva A.M., Vinogradov Z.S. Germplasm of vegetable crops (Department of Vegetable Crops of VIR – 90th anniversary). *Vegetable Crops of Russia*. 2014;2(23):8-13. [in Russian] (Буренин В.И., Артемьева А.М., Виноградов З.С. Генофонд для селекции овощных культур (Отделу овощных культур ВИР – 90 лет) *Овощи России*. 2014;2(23):8-13).
- Chekmarev P.A., Mamedov M.I. The current state of vegetable production in Russia. *Vegetable Crops of Russia*. 2015;1(26):3-7. [in Russian] (Чекмарев П.А., Мамедов М.И. Современное состояние производства овощей в Российской Федерации. *Овощи России*. 2015;1(26):3-7).
- Ермаков А.И. (ed.). Methods of biochemical research on plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- FAOSTAT. Food and agriculture data. 2020. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> [accessed Jan. 21, 2021].
- Makarova N.V., Trofimets V.J. Statistics in Excel (Statistika v Excel). Moscow: Finance and Statistics; 2002. [in Russian] (Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. Москва: Финансы и статистика; 2002).
- Murtazov T., Mikhov A., Stefanova L., Chavdarov Ch., Alexandrova M., Meshcherov E., Pyzhenkov V., Yuldasheva L., Korneychuk V., Zatkan E. Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Cucumis sativus* L. E.V. Osokin (ed.). Leningrad: VIR; 1980. [in Russian] (Муртазов Т., Михов А., Стефанова Л., Чавдаров Ч., Александрова М., Мещеров Э., Пыженков В., Юлдашева Л., Корнейчук В., Затько Э. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и Международный классификатор СЭВ вида *Cucumis sativus* L. / под ред. Е.В. Осокина. Ленинград: ВИР; 1980).
- Pyzhenkov V.I. Areas of cucumber plant disease resistance formation and geographical patterns in its distribution. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1977;61(1):19-31. [in Russian] (Пыженков В.И. Районы формирования болезнеустойчивости растений огурца и географические закономерности в ее распределении. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1977; 61 (1):19-31).
- Pyzhenkov V.I., Yuldasheva L.M. Guidelines for the study and maintenance of the collection of cucumbers (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i podderzhaniyu kolleksii ogurtsov). D.D. Brezhnev (ed.). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Пыженков В.И., Юлдашева Л.М. Методические указания по изучению и поддержанию коллекции огурцов / под ред. Д.Д. Брежнева. Ленинград: ВИР; 1977).
- Russian Statistical Yearbook 2018: Statistical handbook. Moscow: Rosstat; 2018. [in Russian] (Российский статистический ежегодник 2018. Статистический сборник. Москва: Росстат; 2018). URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2018/year/year18.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/year/year18.pdf) [дата обращения: 04.12.2020].
- Samsonova A.N., Khalupnaya L.I., Telyatnikova G.N., Averina L.I., Gusachenko Z.S. Handbook of a fruit and vegetable canning production technologist (Spravochnik tekhnologa plodoovoshchnogo konservnogo proizvodstva). Moscow: Light and Food Industry; 1983. [in Russian] (Самсонова А.Н., Халупная Л.И., Телятникова Г.Н., Аверина Л.И., Гусаченко З.С. Справочник технолога плодоовощного консервного производства. Москва: Легкая и пищевая промышленность; 1983).
- Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M. Screening of the cucumber collection for resistance to downy mildew in the Lower Volga region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):102-108. [in Russian] (Суханбердина Э.Х., Грушин А.А., Пискунова Т.М. Скрининг коллекции огурца по устойчивости к ложной мучнистой росе в зоне Нижнего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):102-108). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-102-108
- Tkachenko N.N. Cucumbers of India, China and Japan as source material for breeding (Ogurtsy Indii, Kitaya i Yaponii kak iskhodny material dlya seleksii). Moscow; 1967. [in Russian] (Ткаченко Н.Н. Огурцы Индии, Китая и Японии как исходный материал для селекции. Москва; 1967).
- Vavilov N.I. The main tasks of Soviet plant breeding and ways of their implementation (Osnovnye zadachi sovetskoy seleksii i puti ikh osushchestvleniya). In: *N.I. Vavilov. Selected works (Izbrannye trudy)*. Vol. V. Moscow; Leningrad: Nauka; 1965. p.305-324. [in Russian] (Вавилов Н.И. Основные задачи советской селекции растений и пути их осуществления. В кн.: *Н.И. Вавилов. Избранные труды*. Т. V. Москва; Ленинград: Наука; 1965. С.305-324).
- World Health Organization (WHO). Obesity and overweight. 1 April 2020. [in Russian] (Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Ожирение и избыточный вес. 1 апреля 2020). URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> [дата обращения: 25.11.2020].
- Yakimovich A.D., Sheremetyevsky P.V. Cucumbers (Ogurtsy). Moscow: Selkhozizdat; 1938. [in Russian] (Якимович А.Д., Шереметьевский П.В. Огурцы. Москва: Сельхозиздат; 1938).
- Yuldasheva L.M., Stepanova V.M. Agroclimatic characteristics of the Chinese cucumber formation center. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding* 1986;102:20-25. [in Russian] (Юлдашева Л.М., Степанова В.М. Агроклиматическая характеристика китайского очага формирования огурца. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1986;102:20-25).
- Zaitsev G.N. The methodology of biometric calculations (Metodika biometricheskikh raschetov). Moscow: Nauka; 1973. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Москва: Наука; 1973).

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Суханбердина Э.Х., Грушин А.А., Пискунова Т.М. Изучение образцов огурца коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам в зоне Нижнего Поволжья. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):45-52. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-45-52

Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M. Study of cucumber accessions from the VIR collection for their agronomic traits in the Lower Volga Region. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):45-52. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-45-52

**Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work**

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-45-52>

**Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer**

**Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript**

**Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest**

**ORCID**

Sukhanberdina E.H. <https://orcid.org/0000-0001-8414-245X>

Grushin A.A. <https://orcid.org/0000-0003-2842-1512>

Piskunova T.M. <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>

# Сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках между диплоидными и тетраплоидными сортами сахарной кукурузы

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

УДК 633.15: 631.52

Поступление/Received: 15.06.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



Э. Б. ХАТЕФОВ<sup>1</sup>, В. И. ХОРЕВА<sup>1</sup>, Ю. А. КЕРВ<sup>1</sup>,  
Т. В. ШЕЛЕНГА<sup>1</sup>, В. В. СИДОРОВА<sup>1</sup>, Я. Н. ДЕМУРИН<sup>2</sup>,  
В. Г. ГОЛЬДШТЕЙН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Большая Морская, 42, 44  
✉ haed1967@rambler.ru, horeva43@mail.ru,  
sidorova42@mail.ru, kerv@mail.ru,  
tatianashelenga@yandex.ru

<sup>2</sup> Федеральный научный центр  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
масличных культур имени В.С. Пустовойта,  
350038 Россия, г. Краснодар, ул. Филатова, 17  
✉ yakdemurin@yandex.ru

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт  
крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный  
научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН,  
140051 Россия, Московская обл., п. Красково,  
ул. Некрасова, 11  
✉ 6919486@mail.ru

Comparative analysis of the chemical  
composition and size of starch granules  
in grain between diploid and tetraploid  
sweetcorn cultivars

E. B. KHATEFOV<sup>1</sup>, V. I. KHOREVA<sup>1</sup>, YU. A. KERV<sup>1</sup>,  
T. V. SHELENGA<sup>1</sup>, V. V. SIDOROVA<sup>1</sup>, Y. N. DEMURIN<sup>2</sup>,  
V. G. GOLDSTEIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
✉ haed1967@rambler.ru\*, horeva43@mail.ru,  
sidorova42@mail.ru, kerv@mail.ru,  
tatianashelenga@yandex.ru  
<sup>2</sup> V.S. Pustovoit All-Russian  
Research Institute of Oil Crops,  
17 Filatova St.,  
Krasnodar 350038, Russia  
✉ yakdemurin@yandex.ru

<sup>3</sup> All-Russian Research Institute  
for Starch Products,  
branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center  
for Food Systems of the RAS,  
11 Nekrasova St., Kraskovo,  
Moscow Province 140051, Russia  
✉ 6919486@mail.ru

**Актуальность.** Улучшение вкусовых качеств и пищевой ценности сахарной кукурузы селекционно-генетическими методами актуально. Тетраплоидный сорт сахарной кукурузы 'Баксанская сахарная' (к-23426) имеет ряд преимуществ по вкусовым и товарным качествам перед традиционными диплоидными сортами. Цель исследования – определение отличительных биохимических особенностей, влияющих на вкусовые качества этого сорта, в сравнении с диплоидной кукурузой (сорт 'Ранняя Лаконка').

**Материалы и методы.** Проведена оценка различий фенотипических признаков растений диплоидной (2n) и тетраплоидной (4n) кукурузы. Методом инфракрасной спектроскопии изучено различие биохимического состава зерновок по содержанию белка, крахмала, масла. Методом газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией изучено накопление метаболитов в сухой зерновке.

**Результаты.** Сравнение фенотипических признаков растений диплоидной (2n) и тетраплоидной (4n) кукурузы показало, что структура початка, содержание белка и масла у тетраплоидной лучше. Анализ метаболитов показал, что в зерновках тетраплоидной кукурузы изменяются количественные показатели химических компонентов без изменения качественного состава. Химический состав метаболитов зерна 4n-кукурузы характеризуется усилением синтеза большинства органических кислот и свободных аминокислот, фосфорной кислоты, жирных кислот, некоторых моносахаридов, фенольных соединений и фитостеролов. Наблюдается снижение со-

**Background.** Improving the taste and nutritional value of sweetcorn using genetic selection techniques is an important trend. The tetraploid sugary maize cultivar 'Baksanskaya sakharnaya' (k-23426) has a number of advantages in terms of taste and marketability over traditional diploid varieties. The purpose of the research was to identify the distinctive biochemical characteristics that affect the taste of this cultivar in comparison with the diploid reference (cv. 'Rannyaya Lakomka', c-1775).

**Materials and methods.** The differences in phenotypic traits between diploid (2n) and tetraploid (4n) maize plants were assessed. Infrared spectroscopy was used to study the difference in the biochemical composition of kernels in terms of protein, starch and oil content. Accumulation of metabolites in a dry kernel was studied using gas-liquid chromatography with mass spectrometry.

**Results.** Comparison of the phenotypic traits in 2n and 4n sweetcorn plants showed that 4n had a better ear structure, protein and oil content. Analysis of metabolites showed that quantitative indicators of chemical components changed in kernels of the 4n sweetcorn without changing the qualitative composition. The chemical composition of the metabolites in 4n sweetcorn grain was characterized by an increase in the synthesis of most organic acids and protein amino acids, phosphoric acid, fatty acids, some monosaccharides, phenolic compounds, and phytosterols. A decrease in the content of most polyhydric alcohols, disaccharides, trisaccharides, some monosaccharides, and phenolic compounds was observed. An inhibitory effect of a *su2* gene dose on the size of starch granules was found.

держания большинства многоатомных спиртов, дисахаридов, трисахаридов, некоторых моносахаридов и фенольных соединений. Обнаружен ингибирующий эффект дозы гена *su2* на размеры крахмальных гранул.

**Заключение.** Результаты исследований показали, что сорт тетраплоидной сахарной кукурузы 'Баксанская сахарная' имеет улучшенную структуру початка и существенные отличия от диплоидной по биохимическому составу, влияющие на вкусовые качества.

**Ключевые слова:** *Zea mays* L., *su2*, эндосперм, зародыш, маркер, тетраплоид, диплоид, биохимический состав, общие сахара, коллекция ВИР.

**Conclusion.** The studies showed the advantage of the 4n sweetcorn over the 2n one due to its improved ear structure and biochemical composition, which positively affected the taste qualities.

**Key words:** *Zea mays* L., *su2*, endosperm, germ, marker, tetraploid, diploid, biochemical composition, total sugars, the VIR collection.

## Введение

Производство сахарной кукурузы и продуктов ее переработки с каждым годом приобретает все большую популярность и распространение в России и странах СНГ. Вкусовые качества сахарной кукурузы являются самыми важными показателями для повышения потребительского интереса к этому продукту и увеличения рентабельности производства оригинальных по пищевой ценности сортов. Потребление кукурузы в мире по странам на 2018–2019 гг. составило в США 315,341 млн т, в Китае – 276,987 млн т, в Европейском союзе – 63,185 млн т, в Бразилии – 66,5 млн т. Соединенные Штаты являются ведущим потребителем кукурузы во всем мире. В 2018 г. среднестатистический американец потреблял 3,06 кг свежей сладкой кукурузы, тогда как в 2010 г. потребление составляло 4,17 кг (Shahbandeh, 2019). В РФ культура сахарной кукурузы только начинает набирать популярность в производственных посевах: ее площади малозначительны и сосредоточены в основном в небольших фермерских и частных тепличных хозяйствах.

В России в 2012 г. впервые на мировом и отечественном рынке овощной кукурузы был создан сорт тетраплоидной сахарной кукурузы, который характеризовался крупным початком и крупными зерновками (Khatfov, Shcherbak, 2012). Сорт 'Баксанская сахарная' является единственным в мире тетраплоидным сортом сахарной кукурузы, внесенным в Реестр селекционных достижений РФ. В связи с ростом популярности как диплоидной, так и тетраплоидной сахарной кукурузы, среди селекционеров актуальны исследования генетического контроля морфобиологических признаков растения и качества биохимического состава, влияющих на цвет, запах и вкусовые качества зерна (Mahato et al., 2018; Flora, Wiley, 1974; Žilić et al., 2011).

В селекции пищевой кукурузы открытием генов *sugary endosperm (su)*, *sugary extender (se)*, *waxy endosperm (wx)*, *amylase extender (ae)*, *dull endosperm (du)*, *shrunk endosperm (sh)*, *opaque-2 (o<sub>2</sub>)*, *floury-2 (fl<sub>2</sub>)* и других, мутации которых изменяют характеристики эндосперма у кукурузы, ускорились исследования по искусственному моделированию вкусовых качеств за счет биохимического состава зерна (Paliy, 1989; Sotchenko, Novoselov, 1995; Boyer, Shannon, 2011; Wang, Larkins, 2001). До настоящего времени все селекционно-генетические исследования по введению таких мутаций в геном кукурузы проводили на диплоидных генотипах, и лишь отдельные авторы сравнивали биохимический состав генотипов кукурузы различной пloidности (Paliy, 1989; Khatfov, 2019). На пищевых подвидах кукурузы и, в частности, тетраплоидной сахарной кукурузе подобные вопросы и вовсе не изуча-

ли. Тетраплоидная кукуруза была впервые создана в 30-х годах прошлого века Л. Ф. Рэндольфом. Растения и особенно зерновки тетраплоидной зубовидной и сахарной кукурузы характеризуются большей изменчивостью размеров вегетативных частей и химического состава зерна по сравнению с диплоидной (Khatfov, Shcherbak, 2002; Novoselov, Khatfov, 2011).

Из 13 известных генов, контролирующих признак сахарного эндосперма, наибольшее распространение нашли три из них: *sugary (su)*, *shrunk (sh)*, *sugary extender (se)* (Paliy, 1989; Motto et al., 2010; Hartings et al., 2012). Наибольшее распространение в производстве имеют сорта и гибриды сахарной кукурузы, созданные на основе гена *su* с содержанием сахара 5–10%. Это объясняется большей технологичностью и удобством выращивания, пригодностью для механизированной уборки и переработки зерновок, несущих аллели этого гена, чем гены сладкой (*sh*) с содержанием сахара 7–15% и суперсладкой (*su*, *se*) с содержанием сахара 20–30% кукурузы (Garkushka et al., 2010; Pairochteerakul, 2018; Wilson, Mohan, 1998; Abd El-Hamed et al., 2011; Zhang et al., 2019).

Создавая диплоидные гибриды, сочетающие несколько рецессивных мутаций, селекционеры могут изменять вкусовые качества зерна. В случае селекции сахарной и других пищевых подвигов кукурузы на тетраплоидном уровне селекционеру приходится работать с числом хромосом в геноме в два раза больше диплоидного. Это позволяет объединить больше ценных аллелей генов, влияющих на химический состав зерна в одном гибридном генотипе (Khlestkina et al., 2016; Khatfov et al., 2018). Поэтому селекция гибридов сахарной кукурузы на тетраплоидном уровне существенно расширяет диапазон вкусовых и питательных качеств зерна, имеет больше возможностей для оптимального сочетания разных генов, влияющих на признаки как эндосперма, так и зародыша в одном геноме. Определение изменчивости накопления специфических метаболитов в зависимости от генотипа могут быть использованы в качестве биохимических маркеров кукурузы (Chesnokov, 2019; Nerling et al., 2018; Jompuk et al., 2020; Motto et al., 2010).

*Цель данной работы* – определение отличительных особенностей, влияющих на вкусовые качества сорта тетраплоидной сахарной кукурузы в сравнении с диплоидной.

## Материалы и методы

Для исследований были использованы образцы, гомозиготные по гену *su2*, сортов диплоидной ('Ранняя Лакомка', с-1775) и тетраплоидной ('Баксанская сахарная', к-23426) сахарной кукурузы из коллекции Всерос-

сийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Исследования проведены в 2018–2019 гг. на территории Опытного-производственного хозяйства «Нартан» при Институте сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН (ИСХ КБНЦ РАН). Селекционный участок расположен в пределах предгорной зоны Северного Кавказа, на водоразделе рек Урвань – Нальчик.

Почвы в основном представлены луговыми черноземами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64%, реакция почвенного раствора по всему почвенному профилю среднещелочная (рН 8,1), со средней емкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв. на 100 г почвы), которая уменьшается постепенно с увеличением глубины. Значения содержания карбонатов в пахотном слое варьируют от среднего (6,7%) на поверхности до высокого (13,6–14,7%) на глубине. Обеспеченность почвы подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г).

Климат зоны характеризуется как умеренно жаркий при сумме активных температур 3000–3200°C и умеренном увлажнении (коэффициент увлажнения – 0,5–0,9), гидротермический коэффициент составляет 0,9–1,2. В целом за период исследований рост и развитие кукурузы проходили при избытке тепла и дефиците влаги.

Испытание всех образцов кукурузы проводили в двукратной повторности в одинаковых агротехнических условиях, что позволило нивелировать влияние внешней среды на показатели. Делянки двухрядковые, площадью 4,9 м<sup>2</sup>. Ширина междурядий – 0,7 м, густота стояния – 50–60 тыс. растений на 1 га. Измерения и учеты проводили на 10 растениях и 10 початках в двукратной повторности.

Изучение фенотипических признаков линий осуществляли по методике ВИР (Shmaraev, 1985), агротехнические мероприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko et al., 2019). Определение общих сахаров в сухих зерновках проводили по ГОСТ 26176-91 (ГОСТ 26176-91..., 2018). Описание биометрических показателей даны согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L.» (Kukekov, 1977). Содержание в сухих зерновках белка, крахмала, масла определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infracrac 1241 Grain Analyzer (Швеция). Анализ метаболитов в зерне проводили с помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ГЖХ МС) на хроматографе Agilent 6850 с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD (Agilent Technologies, США) в отделе биохимии ВИР. Жирнокислотный состав масла сухих зерен кукурузы определяли с помощью ГЖХ на хроматографе «Кристалл 200М» в лаборатории Всероссийского НИИ масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК). Полученные результаты обрабатывали с помощью программы UniChrom (Loskutov et al., 2016).

Морфологию выделенных гранул кукурузных крахмалов определяли с помощью световой микроскопии. Крахмал помещали на предметное стекло и окрашивали каплей раствора Люголя (раствор йода в водном растворе йодида калия). Затем препарат накрывали покровным стеклом и слегка прижимали для равномерного распределения крахмальных гранул под стеклом. Избыток красителя удаляли с помощью фильтровальной бумаги. Анализ гранул крахмала проводили при 400-кратном увеличении с применением синего фильтра под оптическим микроскопом «Микромед 3 ЛЮМ LED» в проходящем све-

те с фотонасадкой на микроскоп Oplenic psc600-15c (B51) (Oplenic Corp., USA). Экспериментальные данные анализировали методом биометрической статистики по Б. А. Доспехову, определяли  $HCP_{0,5}$  и отклонение от  $X_{\text{сред}}$  (Dospikhov, 2014).

## Результаты

Результаты сравнительного анализа растений диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы показали, что тетраплоидный генотип (сорт 'Баксанская сахарная') в сравнении с диплоидным (сорт 'Ранняя Лакомка') имеет преимущества по многим селекционно ценным признакам (табл. 1).

Размеры початка, зерновки и зародыша у тетраплоидного сорта значительно крупнее, чем у диплоидного, что является для сахарной кукурузы очень важным качественным признаком (рис. 1, 2). Поэтому проведение анализа динамики и особенностей накопления веществ, определяющих вкусовые качества зерна, при переводе с диплоидного уровня на тетраплоидный важно для определения векторов селекционного улучшения новых сортов и гибридов сахарной кукурузы.

Для селекционеров и технологов по переработке сырья сахарной кукурузы в виде початков молочной спелости важное значение имеют такие признаки, как крупный мощный стебель, способный выдержать 1-2 початка, крупный многорядный початок преимущественно цилиндрической формы, с крупными и высокими зерновками, ровной окраской зерна и содержанием сахаров от 7% до 30%, в зависимости от генотипа и требований потребителя. Важное значение имеет аромат сваренных початков, который должен быть без посторонних примесей. Сорт кукурузы 'Баксанская сахарная' полностью удовлетворяет всем этим требованиям, за исключением формы початка, которая ближе к слабоконусовидной, чем к цилиндрической.

Результаты анализа содержания метаболитов в зерновках 2n- и 4n-кукурузы показал, что увеличение дозы гена *su2* в два раза, не изменяя биохимического состава, приводит к модификации их количественного соотношения (табл. 2).

Анализ показал, что тетраплоидная сахарная кукуруза в сравнении с диплоидной содержит больше таких органических кислот, как молочная и 2-гидроксипропионовая, уступая ей по содержанию янтарной и яблочной кислот. От содержания органических кислот и их количества зависят вкусовые (кислые) и консервирующие качества зерновки, ее аромат.

Одним из важных элементов для внутриклеточных биохимических процессов является фосфор, который в виде фосфорной кислоты входит в состав нуклеиновых кислот. По содержанию фосфорной кислоты тетраплоидные зерновки в 3,94 раза превышают этот показатель у диплоидных. Многоатомные спирты участвуют в формировании сладковатого вкуса в зерновке сахарной кукурузы. Анализ количества многоатомных спиртов в зерновке показал, что тетраплоидная кукуруза уступает диплоидной по содержанию глицерола, эритритола, трейтола, арабинитола, дульцитолола, инозитола, миоинозитола, за исключением ксилитола, содержание которого равно таковому у диплоидной кукурузы.

Содержание белка и его аминокислотный состав значительно влияет на вкусовые и питательные качества сахарной кукурузы. Особую ценность представляют незаменимые аминокислоты, к которым отно-

**Таблица 1. Основные селекционно ценные признаки сортов 'Баксанская сахарная' (4n) и 'Ранняя Лакомка' (2n) сахарной кукурузы, выращенных на орошении (ИСХ КБНЦ РАН; 2018/2019 г.)****Table 1. Main agronomic characters of sweetcorn cultivars 'Baksanskaya sakharnaya' (4n) and 'Rannaya Lakomka' (2n) under irrigation (Institute of Agriculture, Kabardino-Balkarian Scientific Center, RAS; 2018/2019)**

Признаки / Characters	Ранняя Лакомка (стандарт) / Rannaya Lakomka (ref.)	Баксанская сахарная / Baksanskaya sakharnaya	Стандарт / Reference ( $\pm$ )
Урожайность початков в технической спелости (без оберток), т/га (при НСР <sub>05</sub> = 0,24 т/га)	4,8	9,8	+5,0
Выход кондиционных початков, %	93 $\pm$ 22,32	94 $\pm$ 20,68	+1,0
Группа спелости по системе ФАО	150	400	+250
Высота растения	156,3 $\pm$ 34,3	225,8 $\pm$ 56,25	+69,5
Число початков на растении	1,0 $\pm$ 0,02	1,8 $\pm$ 0,03	+0,8
Кустистость, шт.	1,3 $\pm$ 0,39	1,0 $\pm$ 0,15	-0,3
Длина початка	15,0 $\pm$ 4,50	22,5 $\pm$ 6,75	+7,5
Число рядов зерен на початке, шт.	14,5 $\pm$ 4,35	18,3 $\pm$ 5,49	+3,8
Число зерен в ряду на початке, шт.	36,2 $\pm$ 4,34	45,5 $\pm$ 5,46	+9,3
Высота зерновки, мм	8,0 $\pm$ 0,96	12,0 $\pm$ 1,44	+4,0
Масса 1000 зерен, г	170 $\pm$ 42,5	260 $\pm$ 65,0	+90
Содержание крахмала*	64,4 $\pm$ 1,28	63,2 $\pm$ 1,58	-1,2
Содержание белка*	13,1 $\pm$ 0,26	16,3 $\pm$ 0,32	+3,2
Содержание масла*	6,1 $\pm$ 0,12	7,5 $\pm$ 0,15	+1,4
Внешний вид**	Зерна средние, однородные	Зерна крупные, однородные	-
Вкус**	Сладкий	Сладкий	-
Запах**	Характерный для кукурузы	Характерный для кукурузы	-
Цвет**	Желтый	Светло-желтый	-

Примечание: \* - анализ ИК-спектрометрии проведен на сухих зерновках;

\*\* - определено органолептическим методом для сваренных початков молочной спелости

Note: \* - IR spectrometry analysis was performed on dry kernels;

\*\* - determined organoleptically for boiled milk-ripe sweetcorn ears

**Рис. 1. Размеры зерна диплоидной (слева) и тетраплоидной (справа) сахарной кукурузы (см)****Fig. 1. Grain sizes of diploid (left) and tetraploid (right) sweetcorn (cm)**



**Рис. 2.** Початки сахарной кукурузы (см) диплоидного сорта 'Ранняя Лакомка' (слева) и тетраплоидного сорта 'Баксанская сахарная' (справа)

**Fig. 2.** Sweetcorn ear sizes (cm) of the diploid cv. 'Rannaya Lakomka' (left) and tetraploid cv. 'Baksanskaya sakharnaya' (right)

**Таблица 2.** Содержание основных химических компонентов в сухом зерне диплоидной и тетраплоидной кукурузы

**Table 2.** The content of main chemical components in dry grain of diploid and tetraploid sweetcorn

Биохимические Компоненты / Biochemical components		Ранняя Лакомка, 2n (стандарт) / Rannaya Lakomka, 2n (ref.)	Баксанская сахарная, 4n / Baksanskaya sakharnaya, 4n
Органические кислоты	молочная	0,32 ± 0,05	0,44 ± 0,09
	2-гидроксипропионовая	0,06 ± 0,02	0,23 ± 0,21
	янтарная	0,22 ± 0,12	0,17 ± 0,04
	глицериновая	0,05 ± 0,01	0,08 ± 0,02
	яблочная	1,36 ± 0,37	0,73 ± 0,43
Неорганические кислоты	фосфорная	0,85 ± 0,40	3,35 ± 1,00
Многоатомные спирты	глицерол	2,40 ± 0,39	1,30 ± 0,27
	эритритол	3,91 ± 0,55	2,20 ± 1,77
	трейтол	0,07 ± 0,02	0,03 ± 0,02
	ксилитол	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,03
	арабинитол	0,26 ± 0,06	0,16 ± 0,09
	дульцитол	5,77 ± 2,80	3,69 ± 2,76
	инозитол	0,68 ± 0,10	1,26 ± 0,48
	миоинозитол	4,80 ± 0,32	1,69 ± 1,32
Свободные аминокислоты	α-аланин	0,60 ± 0,04	0,92 ± 0,41
	глицин	0,51 ± 0,03	0,84 ± 0,18
	валин	0,08 ± 0,02	0,20 ± 0,09
	пролин	1,19 ± 1,01	22,08 ± 14,72
	серин	0,05 ± 0,02	0,11 ± 0,09
	треонин	0,03 ± 0,01	0,14 ± 0,09
	аспарагиновая	0,14 ± 0,09	0,10 ± 0,04

Таблица 2. Окончание  
Table 2. The end

Биохимические Компоненты / Biochemical components		Ранняя Лакомка, 2n (стандарт) / Rannaya Lakomka, 2n (ref.)	Баксанская сахарная, 4n / Baksanskaya sakharnaya, 4n
Свободные аминокислоты	аспарагин	0,09 ± 0,04	0,39 ± 0,29
	оксипролин	0,09 ± 0,05	0,22 ± 0,11
	глутамин	0,16 ± 0,07	0,13 ± 0,07
Жирные кислоты	пальмитиновая	15,49 ± 1,13	16,56 ± 4,05
	линолевая	26,87 ± 1,61	28,41 ± 8,45
	вакценовая	14,41 ± 1,29	15,10 ± 3,69
	олеиновая	0,58 ± 0,04	0,82 ± 0,20
	стеариновая	2,96 ± 0,44	3,05 ± 1,14
	арахиновая	0,18 ± 0,06	0,19 ± 0,02
Треозы	глицерол-3-фосфат	0,43 ± 0,04	0,48 ± 0,23
Пентозы	арабиноза	0,20 ± 0,06	0,49 ± 0,16
	рибоза	0,24 ± 0,07	0,69 ± 0,28
Гексозы	фруктоза	24,24 ± 4,63	33,24 ± 24,07
	сорбоза	0,62 ± 0,16	2,03 ± 1,31
	галактоза	27,72 ± 25,71	6,38 ± 3,67
	глюкоза	207,03 ± 178,85	75,48 ± 43,34
	манноза	2,77 ± 2,18	1,03 ± 0,51
	$\alpha$ -метилглюкофуранозид	0,27 ± 0,24	3,26 ± 2,57
	глюкозамин	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02
Дисахариды	сахароза	613,14 ± 31,64	557,10 ± 24,04
	мальтоза	0,16 ± 0,06	0,11 ± 0,04
	мелибиоза	5,50 ± 2,51	2,85 ± 1,61
Трисахариды	раффиноза	21,02 ± 8,04	10,68 ± 5,02
Фенольные соединения	4-гидроксидиннамовая кислота	0,18 ± 0,15	0,16 ± 0,08
	феруловая кислота	0,08 ± 0,03	0,13 ± 0,08
Фитостеролы	кампестерол	0,67 ± 0,10	2,12 ± 1,76
	стигмастерол	0,30 ± 0,05	0,71 ± 0,14
	$\beta$ -ситостерол	3,65 ± 0,44	6,63 ± 1,40

сятся валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин, гистидин и аргинин. Результаты анализа содержания незаменимых аминокислот в зерне сахарной кукурузы показали, что в тетраплоидных зерновках содержание валина в 2,5 раза, а треонина в 4,7 раза выше, чем у диплоидной. По количеству заменимых аминокислот тетраплоидные зерновки существенно превышают значения диплоидной, а содержание пролина в 18,5 раза выше значения стандарта. Содержание аспарагиновой кислоты в тетра-

плоидном образце близко к значению диплоидной кукурузы.

Жирные кислоты влияют на вкусовые качества и особенно запах пищевых продуктов, в том числе на характерный аромат и вкус зерна сахарной кукурузы. У высших растений доля основных жирных кислот в составе растительных жиров очень высока (до 90%). Ее составляют в основном пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты. Анализ жирнокислотного состава зерна сахарной кукурузы (пальмитиновая, линолевая, вакцено-

вая, олеиновая, стеариновая, арахидовая) показал, что в тетраплоидном образце значения как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот немного выше, чем у диплоидной. Такие же различия наблюдаются по содержанию незаменимых жирных кислот (линолевая, олеиновая).

Моносахариды представляют собой производные многоатомных спиртов и служат источником для синтеза дисахаридов (сахароза, мальтоза, лактоза), олигосахаридов и полисахаридов (целлюлоза и крахмал). Многие из них обладают сладким вкусом, но имеются градации от безвкусных до горьких веществ, влияющих на все вкусовые качества зерна, в том числе сахарной кукурузы. Анализ образцов выявил у диплоидных зерновок повышенное содержание в основном гексоз – галактозы, глюкозы и маннозы, тогда как тетраплоидные образцы имели высокие значения фруктозы, сорбозы,  $\alpha$ -метилглюкофуранозида, глюкозамина, а также пентоз (арабиноза, рибоза) и триоз (глицерол-3-фосфат).

Дисахариды играют не менее значимую роль в структуре вкуса зерновок сахарной кукурузы. В природе самыми распространенными дисахаридами являются сахароза (тростниковый сахар), лактоза (молочный сахар) и мальтоза, причем последняя в свободном состоянии встречается довольно редко. Наиболее значимыми из них являются мальтоза и целлобиоза, которые представляют собой продукты гидролиза крахмала и целлюлозы соответственно. Результаты анализа показали более высокое содержание дисахаридов и трисахаридов у диплоидных образцов, чем у тетраплоидных.

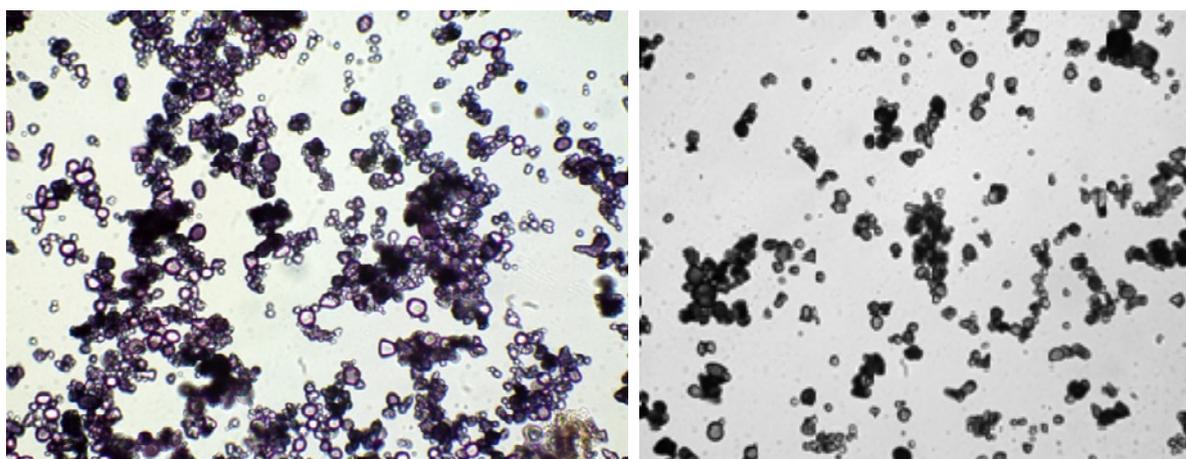
Фенольные соединения обуславливают устойчивость плодов и овощей к фитопатогенным микроорганизмам, придают вкус, терпкость, аромат и окраску продуктам. Анализ содержания 4-гидроксициннамовой и феруловой кислот в зерновках сахарной кукурузы показал, что уровень 4-гидроксициннамовой кислоты в диплоидных образцах немного выше, а феруловой кислоты в 1,6 раза ниже, чем у образцов тетраплоидной сахарной кукурузы.

Из стеринных растительного происхождения (фитостеринных) в растениях наиболее часто содержатся си-

тостерин и стигмастерин, являющиеся предшественниками витамина D, поэтому при переработке и очистке растительного сырья потери стеринных стареют свести к минимуму. Результаты анализа содержания стеринных (кампестерол, стигмастерол,  $\beta$ -ситостерол) показали, что тетраплоидные зерновки содержат больше стеринных, чем диплоидные. По содержанию кампестерола значения тетраплоидных образцов превысили диплоидные в 3,16 раза, а по содержанию стигмастерола и  $\beta$ -ситостерола – в 2,36 и 1,81 раза соответственно.

Ингибирование процесса полимеризации сахаров в крахмал вследствие эффектов гена *su2* проявляется в виде снижения накопления крахмала в зерне сахарной кукурузы. Ключевая роль в этом процессе принадлежит сахарным синтазам SS (sucrose synthase), образующим фитогликоген как предшественник амилопектина. Кроме того, эти мутанты характеризуются дефицитом таких ферментов, как изоамилазы и пуллулазазы, нарушающие ветвление крахмалов. Это, в свою очередь, приводит к высокому накоплению сахаров и снижению содержания крахмала (James et al., 1999; Myers et al., 2000; Zhang et al., 2007).

При переработке кукурузного зерна на крахмал и побочные продукты методом «Завод на столе», разработанным во ВНИИ крахмалопродуктов, крахмал от побочной продукции трудно отделяется при сепарировании крахмало-белковой суспензии. Анализ крахмальных гранул, выделенных по этой технологии из диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы, показал, что в эндосперме 4n-кукурузы образуются более мелкие гранулы, размером от 0,7 до 5,0 мкм (рис. 3), чем у 2n, что подтверждает исследования, проведенные Цуй Л. с соавторами (Cui et al., 2014) на диплоидных подвидах кукурузы. При анализе содержания крахмала в зерне и его корреляций с содержанием белка и масла не было обнаружено каких-либо отклонений от существующей закономерности, характерной для диплоидных генотипов. Анализ показал, что у тетраплоидной кукурузы содержание белка и масла в зерне имеет обратную зависимость от содержания крахмала.



**Рис. 3.** Размеры крахмальных гранул, выделенных из эндосперма диплоидного сорта 'Ранняя Лакомка' (слева) в сравнении с гранулами тетраплоидного сорта 'Баксанская сахарная' (справа).

Увеличено в 400 раз (10×40) с синим светофильтром, окраска крахмальных зерен раствором Люголя

**Fig. 3.** The sizes of starch granules isolated from the endosperm of the diploid cv. 'Rannaya Lakomka' (left) in comparison with those of the tetraploid cv. 'Baksanskaya sakharnaya' (right).

Magnified 400× (10×40), with a blue optical filter; starch granules stained with Lugol's iodine

В лабораторных условиях удается выработать крахмал из тетраплоидной сахарной кукурузы с гранулами 2–5 мкм. Причем для этих гранул характерна не свойственная нативному кукурузному крахмалу пористая структура. Анализ оставшихся на ситах крахмальных гранул показал, что у диплоидного генотипа остаток незначительно больше, чем остаток у тетраплоидного, что косвенно свидетельствует о формировании более мелких крахмальных гранул у тетраплоидного сорта сахарной кукурузы, чем у диплоидного.

### Обсуждение

Результаты исследований показали, что тетраплоидная сахарная кукуруза выгодно отличается от диплоидной по ряду селекционно ценных признаков. Основным признаком сахарной кукурузы, ради которого этот подвид возделывается и потребляется в свежем и консервированном виде, – это содержание сахаров, наравне с другими ее вкусовыми качествами. Анализ химического состава показал, что присутствие более чем трех аллелей гена *su2* в эндосперме тетраплоидной сахарной кукурузы не влияет на содержание общих сахаров, тогда как по содержанию некоторых из них (арабиноза, рибоза, сорбоза,  $\alpha$ -метилглюкофуранозид, глюкозамин) наблюдали значения выше, а по другим (галактоза, глюкоза, манноза, сахароза, мальтоза, мелибиоза, раффиноза) ниже, чем у диплоидной сахарной кукурузы. При этом содержание крахмала в сухих зерновках у диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы имеет одинаковые значения ( $64,4 \pm 1,28$  мг/100 г и  $63,2 \pm 1,58$  мг/100 г соответственно), что свидетельствует об отсутствии влияния дополнительных аллелей генов *su2* на процессы полимеризации сахаров при формировании крахмальных гранул. Выявлено лишь угнетающее действие дополнительных аллелей гена *su2* на размеры крахмальных гранул в зерновках тетраплоидной сахарной кукурузы. Метаболические процессы и их продукты, влияющие на вкусовые качества зерна тетраплоидной сахарной кукурузы, несомненно, представляют научный интерес как результат совокупного действия большего числа аллелей генов, чем имеется в геноме у диплоидной кукурузы. Исследования особенностей синтеза и накопления различных биохимических веществ в клетке и тканях зерна кукурузы создают перспективу для инновационных селекционных технологий с возможностью управления химическими реакциями внутри клеток эндосперма и зародыша за счет регулирования числа множества генов (*sugary*, *waxy*, *sugary extender*, *amylase extender*, *dull*, *shrunkен*, *opaque-2*, *floury-2* и др.), влияющих на ее вкусовые качества. Поэтому определение особенностей биохимических продуктов обмена веществ в клетке, ткани, органе с учетом числа генов и их сочетания в сортах с диплоидным и тетраплоидным геномом становится перспективным и эффективным инструментом селекционных исследований, направленных на определение потенциала их генетической и фенотипической изменчивости, в том числе для выявления важных и ценных для селекции и производства признаков.

### Заключение

Зерно тетраплоидной сахарной кукурузы сорта 'Баксанская сахарная' (к-23426), в сравнении с диплоидным сортом 'Ранняя Лакомка' (с-1775), характеризуется изменением количественных, но не качественных характери-

стик ее биохимического профиля, контролирующего вкусовые и товарные признаки, а также фенотипа растения, початков и зерновки. Сорт 'Баксанская сахарная' характеризуется максимальной выраженностью самых привлекательных для сахарной кукурузы признаков – урожая товарных початков, размеров початка и зерна. Анализ содержания основных химических компонентов, влияющих на вкусовые качества зерна, показал повышенное содержание белка и масла у сорта 'Баксанская сахарная' в сравнении с диплоидным сортом 'Ранняя Лакомка'.

Результаты более тонкого анализа метаболитов в зерне показали, что в зерне сорта 'Баксанская сахарная' наблюдается большее, чем у сорта 'Ранняя Лакомка', накопление таких веществ, как органические кислоты (за исключением яблочной кислоты), фосфорная кислота, свободные аминокислоты (за исключением аспарагиновой кислоты), жирные кислоты, некоторые моносахариды (фруктоза, сорбоза,  $\alpha$ -метилглюкофуранозид, глюкозамин, арабиноза, рибоза, глицерол-3-фосфат), фенольные соединения (феруловая кислота) и фитостеролы. Снижение содержания биохимических компонентов в зерне сорта 'Баксанская сахарная' обнаружено по таким веществам, как многоатомные спирты (за исключением инозитола), дисахариды и трисахариды, а также некоторые моносахариды (галактоза, глюкоза и манноза) и фенольные соединения в виде 4-гидроксицианамовой кислоты. Анализ размеров крахмальных гранул, извлеченных из сортов сахарной кукурузы 'Ранняя Лакомка' и 'Баксанская сахарная' показал наличие более мелких гранул крахмала в тетраплоидных зерновках.

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану:*

– ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»;

– ВНИИ крахмалопродуктов – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН № 585-2018-0015 «Разработать теоретические и практические основы глубокой переработки крахмалсодержащего сырья на основе системного анализа его технологических свойств и разработать технологии извлечения крахмала и белковых концентратов с применением мембранных технологий и биоконверсии сырья».

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plans of:*

– VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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";

– All-Russian Scientific Research Institute for Starch Products, branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS, No. 585-2018-0015 "To develop theoretical and practical foundations for deep processing of starch-containing raw materials based on a systematic analysis of their technological properties, and to develop technologies for extracting starch and protein concentrates using membrane technologies and bioconversion of raw materials".

## References / Литература

- Abd El-Hamed K.E., Elwan M.W.M., Shaban W.I. Enhanced sweet corn propagation: Studies on transplanting feasibility and seed priming. *Vegetable Crops Research Bulletin*. 2011;75(1):31-50. DOI: 10.2478/v10032-011-0016-4
- Boyer C.D., Shannon J.C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. *Plant Breeding Reviews*. 2011;1:139-161. DOI 10.1002/9781118060988.ch5
- Chesnokov Yu.V. Biochemical markers in genetic investigation of cultivated crops: the pros and cons (review). *Agricultural Biology*. 2019;54(5):863-874. [in Russian] (Чесноков Ю.В. Биохимические маркеры в генетических исследованиях культурных растений: применимость и ограничения (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(5):863-874). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus
- Cui L., Dong S., Zhang J., Liu P. Starch granule size distribution and morphogenesis in maize (*Zea mays* L.) grains with different endosperm types. *Australian Journal of Crop Science*. 2014;8(11):1560-1565.
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).
- Flora L.F., Wiley R.C. Sweet corn aroma: Chemical components and relative importance in overall flavor response. *Journal of Food Science*. 1974;39(4):770-773. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1974.tb17976.x
- Garkushka V.G., Litvinova N.V., Frolov A.N. Sweetcorn is a promising vegetable crop (Sakharnaya kukuruza – perspektivnaya ovoshchnaya kultura). NGO “KOS-MAIS”; 2010. [in Russian] (Гаркушка В.Г., Литвинова Н.В., Фролов А.Н. Сахарная кукуруза – перспективная овощная культура. НПО «КОС-МАИС»; 2010). URL: [http://kosmais.ru/maize\\_sugar.html](http://kosmais.ru/maize_sugar.html) [дата обращения: 10.06.2020].
- GOST 26176-91. Interstate standard. Fodders, mixed feeds. Methods for determination of soluble and hydrolysable carbohydrates. Moscow; 1993. [in Russian] (ГОСТ 26176-91. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. Москва; 1993). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26176-91> [дата обращения: 10.10.2018].
- Hartings H., Fracassetti M., Motto M. Genetic enhancement of grain quality-related traits in maize. In: Y.O. Çiftçi (ed.). *Transgenic plants – advances and limitations: monograph*. Rijeka: InTechOpen; 2012. p.191-218. DOI: 10.5772/32758
- James M.G., Robertson D.S., Myers A.M. Characterization of the maize gene *sugary1*, a determinant of starch composition in kernels. *The Plant Cell*. 1995;7(4):417-429. DOI: 10.1105/tpc.7.4.417
- Jompuk C., Jitlaka C., Jompuk P., Stamp P. Combining three grain mutants for improved-quality sweet corn. *Agricultural and Environmental Letters*. 2020;5(3):e20010. DOI: 10.1002/ael2.20010
- Khatefov E.B. Creating tetraploid lines of sweet corn (*Zea mays saccharata*) and studying biochemical content of their grain. *KnE Life Sciences*, 2019;4(14):1003-1012. DOI: 10.18502/kls.v4i14.5699
- Khatefov E.B. Khachidogov A.V., Kagermazov A.M., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S. Creation and study of the selection value of restored corn lines from tetraploid populations in the conditions of Kabardino-Balkaria. *Innovations and Food Safety*. 2018;2(20):104-116. [in Russian] (Хатефов Э.Б. Хачидогов А.В., Кагермазов А.М., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С. Создание и изучение селекционной ценности восстановленных линий кукурузы из тетраплоидных популяций в условиях Кабардино-Балкарии. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2018;2(20):104-116).
- Khatefov E.B. Shcherbak V.S. Cytogenetic studies of tetraploid corn seed productivity (Tsitogeneticheskiye issledovaniya semennoy produktivnosti tetraploidnoy kukurusy). *Vestnik Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta: Seriya: Biologicheskkiye nauki = Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University. Series: Biological Sciences*. 2002;5:83-88. [in Russian] (Хатефов Э.Б. Щербак В.С. Цитогенетические исследования семенной продуктивности тетраплоидной кукурузы. *Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Серия: Биологические науки*. 2002;5:83-88).
- Khatefov E.B., Shcherbak V.S. Sugar corn (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Korn). Cv. Baksan Sugar ('Baksanskaya Sakharnaya'). Russian Federation; breeding achievement patent number: 6335; 2012. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Щербак В.С. Кукуруза сахарная (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Korn). Сорт 'Баксанская сахарная'. Российская Федерация; патент на селекционное достижение № 6335; 2012).
- Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the "grain – flour – bread" chain. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):511-527. [in Russian] (Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно – мука – хлеб». *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):511-527). DOI: 10.18699/VJ15.140
- Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).
- Loskutov I.G., Shelenga T.I., Konarev A.V., Shavarda A.L., Blinova E.V., Dzyubenko N.I. The metabolomic approach to the comparative analysis of wild and cultivated species of oats (*Avena* L.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):636-642. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Шеленга Т.И., Конарев А.В., Шаварда А.Л., Блинова Е.В., Дзюбенко Н.И. Метаболомный подход к сравнительному анализу диких и культурных видов овса (*Avena* L.). *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):636-642). DOI: 10.18699/VJ16.185
- Mahato A., Shahi J.P., Singh P.K., Kumar M. Genetic diversity of sweet corn inbreds using agro-morphological traits and microsatellite markers. *3 Biotech*. 2018;8(8):332. DOI: 10.1007/s13205-018-1353-5
- Motto M., Balconi C., Hartings H., Rossi V. Gene discovery for improvement of kernel quality-related traits in maize. *Genetika*. 2010;42(1):23-56. DOI: 10.2298/GENSR1001023M

- Myers A.M., Morell M.K., James M.G., Ball S.G. Recent progress toward understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. *Plant Physiology*. 2000;122(4):989-997. DOI: 10.1104/pp.122.4.989
- Nerling D., Coelho C.M.M., Brümmer A. Biochemical profiling and its role in physiological quality of maize seeds. *Journal of Seed Science*. 2018;40(1):7-15. DOI: 10.1590/2317-1545v40n1172734
- Novoselov S.N., Khatefov E.B. Biochemical composition of grain in tetraploid sugar corn. *Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2011;4:40-42. [in Russian] (Новоселов С.Н., Хатефов Э.Б. Биохимический состав зерна тетраплоидной сахарной кукурузы. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2011;4:40-42).
- Pairochteerakul P., Jothityangkoon D., Ketthaisong D., Simla S., Lertrat K., Suriharn B. Seed germination in relation to total sugar and starch in endosperm mutant of sweet corn genotypes. *Agronomy*. 2018;8(12):299. DOI: 10.3390/agronomy8120299
- Paliy A.F. Genetic aspects of improving the quality of maize grain (Geneticheskiye aspekty uluchsheniya kachestva zerna kukuruzy). Chişinău: Ştiinţă; 1989. [in Russian] (Палий А.Ф. Генетические аспекты улучшения качества зерна кукурузы. Кишинев: Штиинца; 1989).
- Shahbandeh M. Global corn consumption 2018/2019 by country. Statista; 2019. Available from: <https://www.statista.com/statistics/691175/consumption-corn-worldwide-by-country/> [accessed June 10, 2020].
- Shmaraev G.E. (ed.). Studying and maintenance of maize collection accessions: guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kolleksii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания / под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Bagrinceva V.N., Sotchenko E.F., Lavrenchuk N.F., Suprunov A.I., Toloyaya T.R., Zhukov N.I., Smirnova L.A. Guidelines for the production of hybrid maize seed (Metodicheskiye ukazaniya po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy). Ryatigorsk: Kolos; 2019. [in Russian] (Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Толорая Т.Р., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы. Пятигорск: Колос; 2019).
- Sotchenko V.S., Novoselov S.N. The use of modified recurrent reciprocal selection in sweetcorn breeding (Primeneniye modifitsirovannogo rekurrentnogo otbora v selektsii sakharnoy kukuruzy). *Kukuruza i sorgo = Maize and Sorghum*. 1995;4:2-5. [in Russian] (Сотченко В.С., Новоселов С.Н. Применение модифицированного рекуррентного реципрокного отбора в селекции сахарной кукурузы. *Кукуруза и сорго*. 1995;4:2-5).
- Wang X., Larkins B.A. Genetic analysis of amino acid accumulation in *opaque-2* maize endosperm. *Plant Physiology*. 2001;125(4):1766-1777. DOI: 10.1104/pp.125.4.1766
- Wilson D.O. Jr., Mohan S.K. Unique seed quality problems of *sh2* sweet corn. *Seed Technology*. 1998;20(2):176-186. Available from: <https://www.jstor.org/stable/23433021> [accessed Aug. 13, 2020].
- Zhang H.Y., Dong S.T., Gao R.Q., Li Y.Q. Comparison of starch synthesis and related enzyme activities in developing grains among different types of maize. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*. 2007;33(1):25-32.
- Zhang X., von Mogel K.J.H., Lor V.S., Hirsch C.N., De Vries B., Kaeppler H.F. et al. Maize *sugary enhancer1 (se1)* is a gene affecting endosperm starch metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019;116(41):20776-20785. DOI: 10.1073/pnas.1902747116
- Žilić S., Milašinović-Šeremešić M., Terzić D., Barać M., Ignjatović-Mičić D. Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids. *Charanish Journal of Agricultural Research*. 2011;9(1):230-241. DOI: 10.5424/sjar/20110901-053-10

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Хатефов Э.Б., Хорева В.И., Керв Ю.А., Шеленга Т.В., Сидорова В.В., Демури Я.Н., Гольдштейн В.Г. Сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках между диплоидными и тетраплоидными сортами сахарной кукурузы. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):53-62. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

Khatefov E.B., Khoreva V.I., Kerv Yu.A., Shelenga T.V., Sidorova V.V., Demurin Y.N., Goldstein V.G. Comparative analysis of the chemical composition and size of starch granules in grain between diploid and tetraploid sweetcorn cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):53-62. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-53-62>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Khatefov E.B. <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>  
Khoreva V.I. <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>  
Kerv J.A. <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>  
Shelenga T.V. <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Sidorova V.V. <https://orcid.org/0000-0002-5233-8949>  
Demurin Ya.N. <https://orcid.org/0000-0003-3903-020X>  
Goldshstein V.G. <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

# Сборка генома *Vitis rotundifolia* Michx. с использованием методов секвенирования третьего поколения (Oxford Nanopore Technologies)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-63-71  
УДК 634.8; 577.212.3



Поступление/Received: 14.03.2021

Принято/Accepted: 12.05.2021

М. М. АГАХАНОВ<sup>1\*</sup>, Е. А. ГРИГОРЬЕВА<sup>2</sup>,  
Е. К. ПОТОКИНА<sup>2</sup>, П. С. УЛЬЯНИЧ<sup>3</sup>, Ю. В. УХАТОВА<sup>1</sup>

Genome assembly of *Vitis rotundifolia* Michx. using third-generation sequencing (Oxford Nanopore Technologies)

M. M. AGAKHANOV<sup>1\*</sup>, E. A. GRIGOREVA<sup>2</sup>,  
E. K. POTOKINA<sup>2</sup>, P. S. ULIANICH<sup>3</sup>, Y. V. UKHATOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Большая Морская, 42, 44  
\* ✉ m.agahanov@vir.nw.ru

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
\* ✉ m.agahanov@vir.nw.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова,  
194021 Россия, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State Forest Technical  
University named after S.M. Kirov,  
5 Institutsky Lane, St Petersburg, 199034 Russia

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт  
сельскохозяйственной микробиологии,  
196608 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин,  
шоссе Подбельского, 10

<sup>3</sup> All-Russian Research Institute  
for Agricultural Microbiology,  
10 Shosse Podbelskogo,  
Pushkin, St. Petersburg,  
196608 Russia

Североамериканский иммунный к болезням вид винограда *Vitis rotundifolia* Michx. (подрод *Muscadinia* Planch.) рассматривается как потенциальный донор генов устойчивости к опасным болезням винограда – оидиуму и милдью. Сорт 'Dixie' – единственный представитель вида *V. rotundifolia*, сохраняемый в коллекциях *ex situ* на территории России, а именно в коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) в полевых условиях Крымской опытно-селекционной станции – филиала ВИР.

Для получения информации о первичной структуре фрагментов геномной ДНК данного сорта был использован метод секвенирования третьего поколения на платформе MinION, а также привлечены результаты секвенирования на платформе Illumina, имеющиеся в базах данных.

В статье представлено подробное описание последовательности действий для секвенирования генома винограда и полногеномной сборки. Модифицированный метод включает основные этапы оригинальной методики, рекомендованной производителем MinION: 1) выделение ДНК; 2) подготовка библиотек для секвенирования; 3) секвенирование на MinION и биоинформатическая обработка данных; 4) полногеномная сборка методом *de novo* (сборка с использованием данных ONT и сборка с комбинацией данных ONT и Illumina); 5) оценка качества полногеномной сборки. Этап 4 включал не только секвенирование *de novo*, но и анализ имеющихся биоинформатических данных, что позволило уменьшить ошибки и повысить точность при сборке изучаемого генома. ДНК, выделенная из листьев сорта 'Dixie', была секвенирована с использованием двух ячеек MinION типа R9.4.1.

**Ключевые слова:** виноград, геномная сборка, полногеномное секвенирование, иммунный вид, гены устойчивости.

The immune North American grapevine species *Vitis rotundifolia* Michaux (subgen. *Muscadinia* Planch.) is regarded as a potential donor of disease resistance genes, withstanding such dangerous diseases of grapes as powdery and downy mildews. The cultivar 'Dixie' is the only representative of this species preserved *ex situ* in Russia: it is maintained by the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) in the orchards of its branch, Krymsk Experiment Breeding Station. Third-generation sequencing on the MinION platform was performed to obtain information on the primary structure of the cultivar's genomic DNA, employing also the results of Illumina sequencing available in databases. A detailed description of the technique with modifications at various stages is presented, as it was used for grapevine genome sequencing and whole-genome sequence assembly. The modified technique included the main stages of the original protocol recommended by the MinION producer: 1) DNA extraction; 2) preparation of libraries for sequencing; 3) MinION sequencing and bioinformatic data processing; 4) *de novo* whole-genome sequence assembly using only MinION data or hybrid assembly (MinION+Illumina data); and 5) functional annotation of the whole-genome assembly. Stage 4 included not only *de novo* sequencing, but also the analysis of the available bioinformatic data, thus minimizing errors and increasing precision during the assembly of the studied genome. The DNA isolated from the leaves of cv. 'Dixie' was sequenced using two MinION flow cells (R9.4.1).

**Key words:** grapevine, genome assembly, whole-genome sequencing, immune species, resistance genes.

## Введение

Виноград (*Vitis vinifera* L.) является экономически значимой для Российской Федерации культурой. По данным международной организации виноградарства и виноделия (OIV) за 2016 г., во всем мире виноградники возделываются на площади ~7,5 млн га, включая 95 тыс. га на территории РФ. Основные проблемы виноградарства связаны с восприимчивостью культуры к фитопатогенам и вредителям. Среди грибковых болезней наиболее опасными считаются оидиум (*Uncinula necator* Burill.), милдью (*Plasmopara viticola* Berl. et Toni.), серая гниль (*Botrytis cinerea* Pers.), фомопсис (*Phomopsis viticola* Sacc.) и антракноз, возбудителем которого является *Elsinoe ampelina* Shear. Получение качественного урожая напрямую зависит от фитосанитарного состояния насаждений.

Наиболее опасным для культуры винограда является оидиум – биотрофный фитопатоген, вызывающий настоящую мучнистую росу виноградной лозы. Патоген поражает не только листья, но и грозди, что приводит к потерям урожая и снижению качества ягод. Ягоды растрескиваются, трещины доходят до семян, что ведет к загниванию ягод и существенному ухудшению их качества из-за повышенной кислотности и пониженного содержания антоцианов и сахара.

Не менее вредоносным является милдью, который поражает почти исключительно молодые зеленые побеги и листья, вследствие чего задерживается и останавливается процесс созревания винограда. Ягоды поражаются значительно реже, чем листья и соцветия; в зависимости от степени зрелости ягод их поражение милдью проявляется различно. Вина из винограда, частично пораженного милдью, имеют специфический горьковатый привкус и неприятный запах. Качество ягод снижается, они содержат мало сахара, много кислот, чрезмерно богаты белковыми и пектиновыми веществами, дают вина, неустойчивые к бактериальным заболеваниям и предрасположенные к окислению.

Использование фунгицидов помогает контролировать развитие грибковых болезней, однако на обработки приходится до 20% от затрат на производство винограда, при этом наносится вред окружающей среде. Кроме того, в последнее время в тренд входит потребление экологически чистых пищевых продуктов, поэтому спрос на органическое, биодинамическое земледелие и переработку экологически чистой продукции растет. Наилучшей альтернативой химической защите является создание новых сортов с генетически обусловленной устойчивостью к патогенам.

Одним из уникальных источников генов устойчивости к оидиуму и милдью для селекции винограда является североамериканский вид *V. rotundifolia* Michx. – виноград круглолистный, мускадин (syn. *V. muscadina* Raf.; *Muscadinia rotundifolia* (Michx.) Smal.), относящийся к подроду *Muscadinia* Planch. Промышленные плантации этого винограда в США являются основой широко распространенного в южных штатах производства мускадинового сока и вина. Этот вид можно считать практически иммунным к возбудителям оидиум и милдью, однако использовать этот ценный источник генов устойчивости для селекции европейских сортов винограда затруднительно. Если виды подрода *Euvitis* Planch. легко скрещиваются между собой, то получить гибриды между *V. vinifera* (подрод *Euvitis*, 38 хромосом) и *V. rotundifolia* (подрод *Muscadinia*, 40 хромосом) ранее удавалось с большим трудом, при этом гибридные сеянцы становились фертиль-

ными только после их полиплоидизации (Volynkin et al., 2010). Очевидно, что ни созданный ранее селекционный гибридный материал с участием *V. rotundifolia*, ни материал, полученный вновь с целью поиска генов устойчивости к оидиуму, милдью и филлоксере, не удастся использовать целенаправленно без информации о геноме донора генов устойчивости – иммунного вида *V. rotundifolia*.

До настоящего времени в базе данных Sequence Read Archive (SRA) и European Nucleotide Archive (ENA) были представлены результаты четырех проектов по секвенированию полного генома *V. rotundifolia* с использованием платформы Illumina. Они содержат архивы коротких прочтений ДНК этого вида длиной до 150 пн. Более полную информацию о геноме *V. rotundifolia* можно получить путем прочтения протяженных (до сотен тысяч пар нуклеотидов) последовательностей ДНК с использованием секвенаторов «третьего поколения» – Pacific Biosciences (PacBio) Single Molecule Real-Time (SMRT) и Oxford Nanopore Technologies (ONT) MinION. В отличие от секвенирования коротких (100–300 пн) фрагментов ДНК на платформе Illumina, эти секвенаторы «длинных прочтений» позволяют получить расшифровку фрагмента молекулы ДНК в 100 и более тысяч пар оснований. Кроме того, с появлением таких технологий секвенирования получил широкое распространение так называемый метод «гибридной сборки» полноразмерных геномов (Grigoreva et al., 2019). При гибридной сборке длинные прочтения с секвенаторов PacBio или ONT предоставляют информацию об общей структуре генома, а короткие прочтения с платформы Illumina уточняют сборку в конкретных участках и параллельно корректируют ошибки, которые являются слабым местом технологий секвенирования третьего поколения.

Примечательно, что вариант получения гибридной сборки, по крайней мере бактериальных геномов, по результатам комбинирования данных секвенирования ONT+Illumina оказался эффективнее варианта PacBio+Illumina, обеспечивая более высокое качество и точность полногеномного прочтения (De Maio et al., 2019).

Совсем недавно с использованием технологий секвенирования PacBio (Pacific Biosciences) и оптического картирования (Bionano's Next Generation Mapping, NGM) был опубликован препринт первой версии полногеномной сборки *Muscadinia rotundifolia* (= *Vitis rotundifolia*) сорта 'Trayshed' с распределением прочтений ДНК по хромосомам (Cochetel et al., 2020).

Настоящая статья посвящена результатам секвенирования геномной ДНК *V. rotundifolia* сорта 'Dixie' с использованием нанопорового секвенатора MinION и созданию на этой основе версии полногеномной сборки этого вида методом *de novo* с использованием исключительно данных нанопорового секвенирования и гибридным методом (с привлечением результатов секвенирования на платформе Illumina, имеющихся в базах данных). Секвенирование *de novo* и анализ имеющихся биоинформационных данных позволили уменьшить ошибки и повысить точность при сборке изучаемого генома

## Материал

В качестве объекта исследования был использован сорт 'Dixie' – единственный представитель североамериканского вида *V. rotundifolia*, сохраняемый в живом виде на Крымской опытно-селекционной станции – филиале ВИР (г. Крымск, Краснодарский край), куда он был интро-

дуцирован в 1992 г. из США известным отечественным ампелографом В. А. Носульчаком. С 1992 по 1994 г. на Павловской опытной станции ВИР (г. Санкт-Петербург; ныне научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР») образец проходил карантинную проверку. После прохождения карантина в 1995 г. саженцы были переданы на Крымскую опытно-селекционную станцию, где их и высадили в коллекцию. Сбор листьев для анализа осуществлялся в октябре 2019 г., затем материал был лиофильно высушен и использован для выделения ДНК.

## Методы

### Первый этап. Выделение ДНК из лиофилизированных листьев винограда

Для выделения ДНК использовали коммерческий набор DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen). Разрушение клеточной стенки в листьях осуществлялось с использованием жидкого азота и гомогенизатора Tissue lyser LT (Qiagen).

### Второй этап. Подготовка библиотек для секвенирования на платформе MinION

Секвенирование производилось с использованием прибора MinION (OxfordNanoporeTechnologies). Были задействованы две проточные ячейки типа R9.4.1. Подготовка библиотек и загрузка на ячейки осуществлялась с использованием набора Ligation Sequencing Kit 1D (MinION). Для приготовления каждой из библиотек использовали примерно 2000 нг высокомолекулярной очищенной ДНК. Перед подготовкой библиотек ДНК была фрагментирована с использованием колонок g-TUBE (Covaris), согласно протоколу производителя. Ожидаемый размер фрагментов составил 10 000 пн и 12 000 пн для первой и второй библиотек соответственно.

### Третий этап. Процедура секвенирования на MinION и биоинформатическая обработка данных

Технология секвенирования на нанопорах подразумевает получение информации об изменении потенциала силы тока при прохождении молекулы ДНК через белковую пору. В зависимости от структуры азотистого основания (A, G, T, C), сила тока изменяется по-разному. Таким образом, «сырой» сигнал секвенирования представляет собой запись изменения силы тока (fast5) с помощью программ русоQC. Для последующих биоинформатических операций такой бинарный сигнал необходимо декодировать и перевести в широко используемый и поддерживаемый уже разработанным программным обеспечением (ПО) формат. С этой целью сырой сигнал fast5 проходит процедуру распознавания нуклеотидов (basecalling), которая переводит информацию о нуклеотидах A, G, C, T из бинарной записи fast5 в формат fasta/fastq (de.NBI Nanopore..., 2019). На сегодняшний день доступно несколько программ для такой конвертации, среди них: chirron, flappie, guppy, scrappie (Wick et al., 2019). В данном исследовании был применен один из самых широко используемых и точных алгоритмов декодирования guppy V.0.1.11.

После преобразования сигнала был осуществлен контроль качества секвенирования с помощью программ русоQC (Leger, Leonardi, 2019) и poretools (Loman, Quinlan, 2014). Контроль качества позволяет получить информацию о базовых статистических показателях проведенного секвенирования: общее количество прочтений (ридов), количество ридов, успешно прошедших процедуру

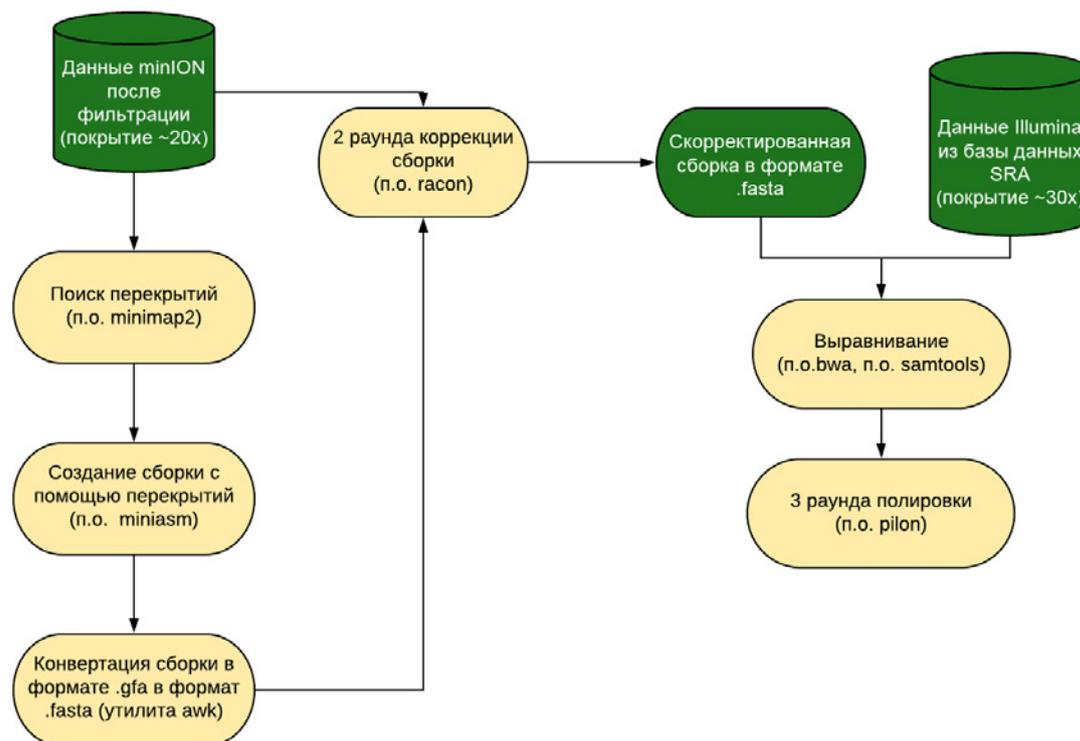
распознавания нуклеотидов, N50 – показатель непрерывности чтения, обозначающий минимальную длину прочтения для более половины (50%) всех полученных ридов, медиана длины ридов и медиана качества, определяемого по шкале Phred (Q) (Ewing, Green, 1998). Для фильтрации возможной контаминации библиотек человеческой ДНК использовали программу minimap2 (Li, 2018). Чтения низкого качества с большой вероятностью ошибок, определяемой по показателю Phred  $\leq 8$ , и чтения длиной менее 500 пн были отфильтрованы с помощью NanoFilt (De Coster et al., 2018).

### Четвертый этап. Полногеномная сборка *V. rotundifolia* методом *de novo* для данных ONT и сборка гибридным методом

Для сборки генома методом *de novo* применялся алгоритм (pipeline) minimap2/miniasm (Li, 2016), который является одним из наиболее широко используемых при сборке длинных прочтений, и подразумевает последовательное выполнение нескольких этапов (рис. 1). Однако алгоритм minimap2/miniasm не включает в себя шага корректировки возможных ошибок прочтений, полученных с MinION. Кроме того, при использовании только чтений с MinION при сборке *de novo* образуется большое количество пустот в сборке, так называемых «гэпов» (gaps), из-за неравномерности покрытия. Эти проблемы частично решаются процедурой полировки (polishing) сборки, полученной с использованием длинных прочтений, путем ее наложения на множество коротких, но многочисленных прочтений, полученных с Illumina. Поэтому мы дополнили рутину minimap2/miniasm еще одним этапом – коррекцией ошибок с помощью наложения полученной сборки длинными чтениями на сырые прочтения Illumina и ONT, используя программы Racon (Vaser et al., 2017) и Pilon (Walker et al., 2014) (см. рис. 1). Для этого из базы данных сырых прочтений (SRA) геномной ДНК *V. rotundifolia* были использованы риды, полученные с Illumina HiSeq2500, обеспечивающие 30-кратное покрытие генома этого вида (Bioproject SRX2868329: WGS of Muscadine Grape [*Vitis rotundifolia*]). Racon был использован для двух раундов коррекции полученной сборки и Pilon для трех раундов процедуры ее финальной «полировки» (polishing). Это позволило снизить частоту ошибок секвенирования, которые характерны для длинных ридов с MinION, и уменьшить количество пропусков в полученной сборке, тем самым увеличив долю скаффолдов среди всех фрагментов.

Дополнительно был применен альтернативный подход к получению полногеномной сборки *de novo* *V. rotundifolia* – гибридным методом. Этот метод подразумевает изначальное комбинирование коротких и длинных прочтений, которое выполняет программа SPAdes (hybrid SPAdes) (Antipov et al., 2016). Как и в предыдущем случае, были использованы ранее опубликованные короткие риды с Illumina HiSeq2500 (Bioproject SRX2868329: WGS of Muscadine Grape [*Vitis rotundifolia*]), комбинированные с результатами секвенирования на MinION.

Алгоритм гибридной сборки включает в себя сборку коротких прочтений графами Де Брюина с последующим закрытием «пропусков» сборки с помощью длинных ридов. Отличительной особенностью алгоритма является автоматический подбор наиболее подходящих k-меров (k-mer – короткие фрагменты ридов варьирующей длины, на которые разбиваются прочтения для последующей сборки).



**Рис. 1.** Схема процесса (pipeline) сборки генома *Vitis rotundifolia* методом *de novo* по результатам секвенирования на MinION с использованием программы minimap2/miniasm

**Fig. 1.** Flowchart of the *Vitis rotundifolia* genome assembly by the *de novo* method based on the results of sequencing on the MinION platform using the minimap2/miniasm pipeline

#### Пятый этап. Оценка качества полногеномной сборки *V. rotundifolia*

Для оценки качества сборки и ее фрагментированности полногеномная сборка *V. rotundifolia*, полученная двумя различными способами, была проанализирована с помощью BUSCO V.3.0.2 (Benchmarking Universal Single-Copy Orthologs) (Simão et al., 2015; Seppey et al., 2019). BUSCO представляет собой биоинформатический инструмент, который позволяет оценить качество полногеномной сборки, полученной из множества коротких прочтений, основываясь не на технических параметрах, как, например, показатель N50 или статистическое распределение длин полученных контигов, а принимая во внимание «смысловый» параметр собранного генома – полноту представленности генов, ортологи которых встречаются, например, более чем у 90% видов Embryophyta. При этом BUSCO принимает во внимание преимущественно уникальные гены (single-copy orthologs).

Алгоритм BUSCO включает три этапа:

1) поиск функциональных последовательностей в анализируемой сборке путем ее выравнивания методом tBlast на одну из доступных баз данных генов-ортологов BUSCO;

2) прогнозирование структуры генов для выявленных функциональных последовательностей с помощью программы Augustus (Stanke et al., 2006);

3) заключительный этап, который определяет, насколько выявленные в сборке функциональные последовательности являются полноразмерными. Если их длина находится в пределах двух стандартных отклонений от длины последовательностей генов-ортологов данной группы в BUSCO, аннотированным генам присваивается статус «полноразмерный» (Complete BUSCOs). Полноразмерные гены, обнаруженные не в единственной копии,

относятся к группе «дублированный» (Duplicated). Частично воссозданные гены классифицируются как «фрагментированные» (Fragmented), не обнаруженные гены классифицируются как «отсутствующие» (Missed). Для анализа двух версий полногеномной сборки *V. rotundifolia* использовали 1614 последовательности ортологических генов из базы данных BUSCO высших растений (Embryophyta) embryophyta\_odb 10.2019-11-20.

Пошаговый протокол представлен в Приложении 1 (Supplementary Materials 1)<sup>1</sup>.

#### Результаты

##### Секвенирование MinION, распознавание нуклеотидов, контроль качества прочтений

Две ячейки MinION (тип R9.4.1) были использованы для секвенирования двух библиотек геномной ДНК, выделенной из листьев *V. rotundifolia* (сорт 'Dixie'). Перед загрузкой в ячейку первая библиотека содержала 1008 нг ДНК (с концентрацией 84 нг/мкл), вторая библиотека – 1152 нг (96 нг/мкл). Время работы одной ячейки в среднем составило 48 ч. Всего с двух ячеек было получено 1 748 466 прочтений (далее – ридов) (табл. 1).

После декодирования сырого сигнала fast5 в fastq/fast5 и коррекции ошибок с помощью guppy было получено 1 738 535 ридов. Для полученных ридов произвели контроль качества с помощью ruqQC, получив такие статистические показатели, как количество ридов, количество оснований, N50, медианы длин и качества ридов. Показатель N50 (минимальная длина, которую имели более половины полученных ридов) по результатам запуска первой ячейки составил 7310 пн, второй – 14600 пн.

<sup>1</sup> Electronic supplementary material. The online version of this article: (<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-63-71>).

**Таблица 1.** Общая статистика «сырых» данных секвенирования двух библиотек геномной ДНК *Vitis rotundifolia*, полученных с двух ячеек MinION с помощью программы NanoStat V.0.8.1 из пакета Nanopack

**Table 1.** General statistics of “raw” sequencing data for two *Vitis rotundifolia* genomic DNA libraries obtained from two MinION cells using the NanoStat V.0.8.1 program from the Nanopack package

Статистический показатель	Значение
Средняя длина рида (пн)	5,987.6
Среднее качество рида (Phred)	12.3
Медиана длины рида (пн)	4,142.0
Медиана качества рида (Phred)	12.5
Общее количество ридов	1,748,466
N50 длины рида (пн)	9,514
Всего прочитано нуклеотидов (пн)	10,469,195,297
>Q5	1744047 (99.7%) 10468.0Mb
>Q7	1740159 (99.5%) 10465.2Mb
>Q10	1478525 (84.6%) 8862.5Mb
>Q12	1040592 (59.5%) 6223.0Mb
>Q15	119125 (6.8%) 497.8Mb
Топ 5 ридов с лучшим качеством по шкале Phred (длина, пн)	
1	20.4 (422)
2	20.1 (334)
3	20.0 (1241)
4	20.0 (525)
5	19.9 (252)
Топ 5 самых длинных ридов – длина (качество по шкале Phred)	
1	122768 (13.1)
2	121913 (9.3)
3	113066 (10.0)
4	112400 (8.7)
5	112314 (11.7)

Медианы длин ридов составили 3500 пн для первой ячейки и 6380 пн – для второй (табл. 2).

На следующем этапе анализа данных осуществили фильтрацию прочтений низкого качества, коротких прочтений и наиболее вероятных прочтений инородной ДНК. Для удаления возможной контаминации био-

логическим материалом человека процедуру фильтрации произвели с помощью minimap2. Всего был удален 41 501 рид (~2%), содержащий 100% сходство с референсным геномом человека. NanoFilt применили для фильтрации по показателям качества прочтений (вероятности встретить ошибочно распознанный нуклеотид)

**Таблица 2.** Основные статистические характеристики данных секвенирования ONT после процедуры распознавания нуклеотидов (basecalling с помощью guppy), полученных с помощью pyroQC

**Table 2.** Main statistical characteristics of the obtained data after nucleotide recognition procedures (basecalling) using pyroQC

Количество активных пор	Номер ячейки	Количество ридов	Количество оснований	Медиана длины	Медиана качества по шкале Phred	N50
481	1	1 220 594	5 732 084 000	3530	11.809	7310
455	2	517 941	4 729 669 000	6380	11.373	14600

и длины ридов. Для последующего анализа были сохранены риды, имеющие показатель качества по шкале Phred не менее 8 и длину прочтения более 500 пн. После фильтрации по этим показателям получили 163 5299 высококачественных ридов, составивших в общей сложности более 10 млрд (10 197 618 064) пн. Отфильтрованные риды низкого качества составили 5,9% от общего числа прочтений.

Принимая во внимание опубликованный размер генома культурного винограда (*V. vinifera*) в ~486 тыс. пн (Canaguier et al., 2017), можно предположить, что полученный объем данных обеспечивает почти 21-кратное «покрытие» секвенируемого генома *V. rotundifolia*. Такая глубина прочтений позволяет осуществлять сборку методом *de novo* без использования референсного генома (NCBI..., 2020).

По результатам комбинирования коротких и длинных прочтений нами были протестированы разные длины k-меров (21, 33, 55, 77 пн). В качестве наиболее результативной алгоритм автоматически выявил длину k-меров 77 пн. Сборка была протестирована на основные статистические показатели с помощью программы QUASt (Gurevich et al., 2013). Общая длина сборки составила 539 Мб (млн пн), что соотносится с аналогичным показателем для референсного генома *V. vinifera*, размер которого был определен в ~486 Мб (Canaguier et al., 2017). В таблице 3 представлены основные статистические показатели качества полногеномной сборки *V. rotundifolia*, полученной с использованием *de novo*, привлекая только данные нанопорового секвенирования (ONT) и используя данные Illumina и ONT (гибридный метод).

По результатам сравнения двух подходов к получению полногеномной сборки *V. rotundifolia* установлено,

что оба метода имеют свои преимущества и недостатки. Гибридный метод позволяет получить большее количество скаффолдов, однако при этом сборка получается намного более фрагментированной, чем при сборке с использованием только данных нанопорового секвенирования. Сборка *de novo* с использованием minimap2/miniasm с последующей процедурой полировки (polishing) на сырые риды Illumina дает возможность получить более длинные скаффолды, однако в гораздо меньшем количестве, из-за чего большая часть исследуемого генома остается не покрытой скаффолдами.

Полученные разными способами две версии полногеномной сборки *V. rotundifolia* различаются также по количеству выявленных повторяющихся последовательностей. Для их идентификации в полученных сборках использовали алгоритм «маскинга» (masking), который позволяет найти и скрыть повторы путем сравнения полногеномной сборки и доступных баз данных повторяющихся элементов с помощью программы Repeat Masker (Tarailo-Graovac, Chen, 2009). Для сборки, полученной гибридным методом, выявили повторы общей протяженностью 1 651 434 пн, для сборки с использованием данных ONT – почти в 3,5 раза меньше (484 681 пн).

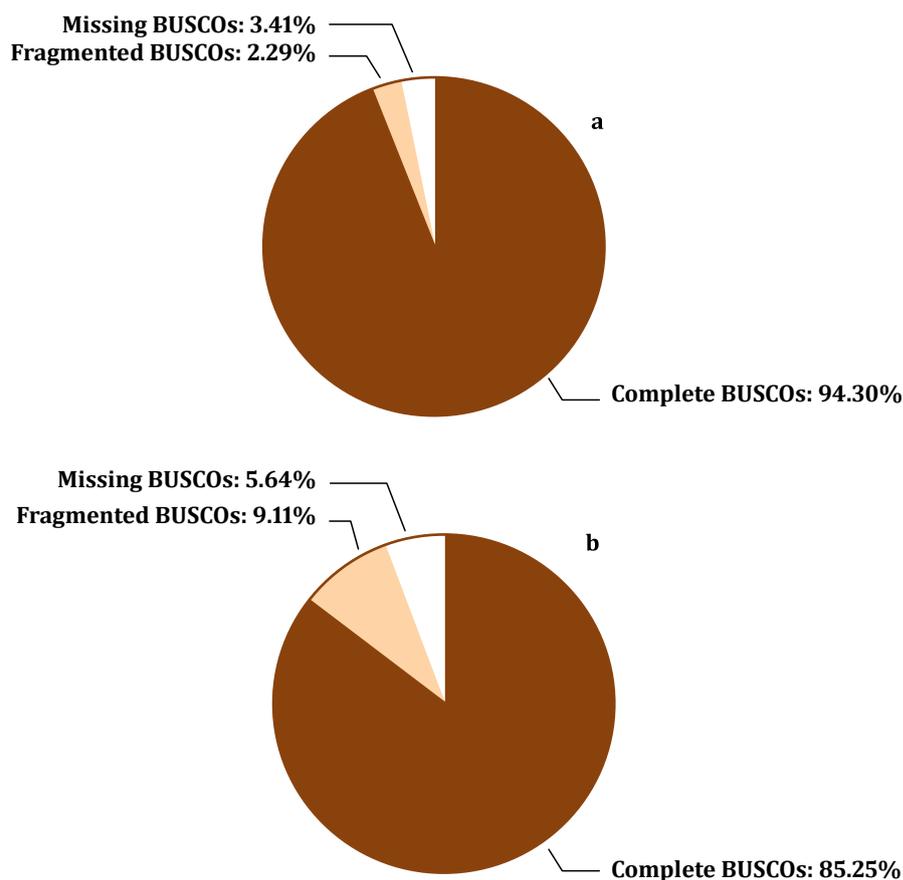
На рисунке 2 представлены результаты оценки полноты представленности последовательностей ортологических генов в сборке *de novo*, полученной с использованием данных ONT и гибридным методом.

В целом можно заключить, что обе версии сборки удовлетворяют показателям представленности в них последовательностей генов-ортологов, универсальных для Embryophyta, хотя сборка гибридным методом выглядит более фрагментированной. Результаты ана-

**Таблица 3. Основные характеристики полногеномной сборки *Vitis rotundifolia*, полученной методом *de novo* и гибридным методом по результатам оценки с помощью QUASt**

**Table 3. Main characteristics of the *Vitis rotundifolia* whole-genome assembly by the *de novo* and hybrid methods according to the results of the assessment using QUASt**

Показатели качества сборки	Сборка <i>de novo</i> ONT+Illumina (гибридный метод) (пн)	Сборка <i>de novo</i> , исключительно используя данные ONT (пн)-
Количество контигов (>= 0 пн)	809 308	2039
Количество контигов (>= 1000 пн)	43 425	2037
Количество контигов (>= 5000 пн)	15 430	2020
Количество контигов (>= 10000 пн)	9292	1998
Количество контигов (>= 25000 пн)	4056	1808
Количество контигов (>= 50000 пн)	1516	1493
Общая длина контигов (сборки) (>= 0 пн)	428 439 192	386 122 654
Количество скаффолдов	84 025	2039
Самый длинный скаффолд	319 841	2 353 788
N50	24 761	374 653
N75	6901	173 204
L50	4103	293
L75	12 305	669
GC%	33,31	33,94



**Рис. 2.** Представленность последовательностей ортологичных генов из базы данных BUSCO высших растений (Embryophyta) в полногеномной сборке *Vitis rotundifolia*, полученной методом *de novo* с использованием исключительно данных ONT (а) и гибридным методом (ONT+Illumina) (б)

**Fig. 2.** Representation of orthologous gene sequences from the BUSCO database of higher plants (Embryophyta) in the *de novo* whole-genome assembly of *Vitis rotundifolia* obtained using only ONT data (a) and the hybrid method (ONT+Illumina) (b)

лиза BUSCO выявили несколько больше полных последовательностей генов-ортологов (Complete BUSCOs) для сборки с использованием исключительно данных ONT, что можно объяснить простотой предсказания генов для длинных непрерывных чтений. С другой стороны, судя по показателям общей длины сборки и количества контигов и скаффолдов, можно заключить, что сборка гибридным методом покрыла более протяженную часть уникальных участков генома, чем сборка с использованием minimap2/miniasm.

Предложенная нами полногеномная сборка иммунного вида *V. rotundifolia* может быть также проанализирована с точки зрения идентификации гомологичных участков с опубликованным геномом культурного винограда *V. vinifera* 12X (International Grape Genome Program, GenBank assembly accession: GCA\_000003745.2) и оценки степени сходства геномов двух видов. Особый интерес может представлять выравнивание полученной сборки на 12 хромосому в геноме *V. vinifera*, где ранее был картирован локус RUN1/RPV, ассоциированный с устойчивостью к оидиуму (RUN1) и милдью (RPV1).

Исследование Cochetel et al. (2020), опубликовавших первую версию сборки генома *V. rotundifolia*, позволило проанализировать различия в структуре этого локуса RUN1/RPV1 у иммунного *V. rotundifolia* (сорт 'Trayshed')

и поражаемого *V. vinifera* (сорт 'Sauvignon blanc'). Локус RUN1/RPV1, фланкированный двумя микросателлитными маркерами VMC4f3.1 и VMC8g9 (Barker et al., 2005), протяженностью 5 млн пар оснований был расшифрован на хромосоме 12 *V. vinifera*. Аналогичный участок на хромосоме 12 у *V. rotundifolia* соответствовал интервалу почти 7,3 млн пн вследствие многочисленных дупликаций внутри этого участка генома. В пределах этого интервала на хромосоме 12 у *V. vinifera* были идентифицированы 33 R-гена из семейства NBS-LRR (Nucleotide binding site leucine-rich repeat), роль которых в формировании устойчивости к патогенам описана для многих видов растений, в том числе и винограда (Zini et al., 2019). Для *V. rotundifolia* в том же локусе выявили 57 генов NBS-LRR, причем один класс этого семейства генов, TIR-X со специфичным доменом, был обнаружен только в геноме устойчивого *V. rotundifolia* (сорт 'Trayshed'). Присутствие генов TIR-X постулируется в качестве одной из возможных причин устойчивости *V. rotundifolia* к фитопатогенам (Cochetel et al., 2020). Аналогичный анализ структуры локуса RUN1/RPV1 у еще одного сорта *V. rotundifolia* (сорт 'Dixie') с целью выявления вставок, делеций, повторов может быть полезным для уточнения вероятных генов-кандидатов, определяющих устойчивость *V. rotundifolia* к оидиуму и милдью.

### Заключение

В настоящей статье представлены методика и результаты полногеномного секвенирования иммунного вида *Vitis rotundifolia* на примере сорта 'Dixie', выполненного с использованием секвенатора «третьего поколения» MinION (Oxford Nanopore Technologies). Более 1,6 млн высококачественных прочтений длиной ~5 тыс. пн, составивших в общей сложности более 10 млрд пн, были депонированы в базы данных NCBI, SRA, ENA и доступны для использования. Помимо депонированных «сырых» прочтений, также была создана и опубликована в NCBI версия полногеномной сборки *V. rotundifolia*, выполненная «гибридным» методом, с комбинированием длинных прочтений, полученных с MinION, и коротких ридов Illumina, доступных из баз данных. Созданный исследовательский ресурс может быть использован для молекулярно-генетической идентификации генов устойчивости к болезням и вредителям винограда, донором которых является этот североамериканский вид.

#### Доступность данных

Сырые данные секвенирования генома *Vitis rotundifolia* двух ячеек minION были депонированы в базу данных Национального центра биотехнологической информации США (U.S. National Center for Biotechnology Information, NCBI) (NCBI..., 2020) и базу данных SRA (Sequence Reads Archive) (BioProject: PRJNA649974; Biosample: SAMN15690594; SRA ENA: SRS7124084). Данные сборки гибридным методом (hybrid SPAdes) доступны в базе данных ENA (PRJNA649974).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-316-90007.

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research in the framework of Research Project No. 19-316-90007

### References / Литература

Antipov D., Hartwick N., Shen M., Raiko M., Lapidus A., Pevzner P.A. PlasmidSPAdes: assembling plasmids from whole genome sequencing data. *Bioinformatics*. 2016;32(22):3380-3387. DOI: 10.1093/bioinformatics/btw493

Barker C.L., Donald T., Pauquet J., Ratnaparkhe M.B., Bouquet A., Adam-Blondon A.F. et al. Genetic and physical mapping of the grapevine powdery mildew resistance gene, *Run1*, using a bacterial artificial chromosome library. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(2):370-377. DOI: 10.1007/s00122-005-2030-8

Canaguier C.A., Grimplet J., Di Gaspero G., Scalabrin S., Duchêne E., Choisne N. et al. A new version of the grapevine reference genome assembly (12X. v2) and of its annotation (VCost. v3). *Genomics Data*. 2017;14:56-62. DOI: 10.1016/j.gdata.2017.09.002

Cochetel N., Minio A., Massonnet M., Vondras A., Figueroa-Balderas R., Cantu D. Diploid chromosome-scale assembly of the *Muscadinia rotundifolia* genome supports chromosome fusion and disease resistance gene expansion during *Vitis* and *Muscadinia* divergence. *G3 (Bethesda)*. 2021;11(4):jkab033. DOI: 10.1093/g3journal/jkab033

De Coster W., D'Hert S., Schultz D.T., Cruts M., Van Broeckhoven Ch. NanoPack: visualizing and processing long-read sequencing data. *Bioinformatics*. 2018;34(15):2666-2669. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty149

De Maio N., Shaw L.P., Hubbard A., George S., Sanderson N.D., Swann J. et al. Comparison of long-read sequencing technologies in the hybrid assembly of complex bacterial genomes. *Microbial Genomics*. 2019;5(9):e000294. DOI: 10.1099/mgen.0.000294

de.NBI Nanopore Training Course. The Tutorial Data Set. Basecalling. 2019. Available from: <https://denbi-nanopore-training-course.readthedocs.io/en/latest/basecalling/index.html> [accessed Dec. 10, 2020].

Ewing B., Green P. Base-calling of automated sequencer traces using *Phred*. II. Error probabilities. *Genome Research*. 1998;8(3):186-194. DOI: 10.1101/gr.8.3.186

Grigoreva E., Ulianich P., Ben C., Gentzbittel L., Potokina E. First insights into the guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genome of the 'Vavilovskij 130' accession, using second and third-generation sequencing technologies. *Russian Journal of Genetics*. 2019;55(11):1406-1416. DOI: 10.1134/S102279541911005X

Gurevich A., Saveliev V., Vyahhi N., Tesler G. QUILT: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics*. 2013;29(8):1072-1075. DOI: 10.1093/bioinformatics/btt086

Leger A., Leonardi T. PycoQC, interactive quality control for Oxford Nanopore Sequencing. *Journal of Open Source Software*. 2019;4(34):1236. DOI: 10.21105/joss.01236

Li H. Minimap and miniasm: fast mapping and de novo assembly for noisy long sequences. *Bioinformatics*. 2016;32(14):2103-2110. DOI: 10.1093/bioinformatics/btw152

Li H. Minimap2: pairwise alignment for nucleotide sequences. *Bioinformatics*. 2018;34(18):3094-3100. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty191

Loman N.J., Quinlan A.R. Poretools: a toolkit for analyzing nanopore sequence data. *Bioinformatics*. 2014;30(23):3399-3401. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu555

NCBI: National Center for Biotechnology Information. BioProject 649974. *Vitis rotundifolia* cultivar: Dixie. *Vitis rotundifolia* Michx. whole genome sequencing and assembly using nanopore technology (Oxford Nanopore Technologies). Accession: PRJNA649974. Registration date: Nov. 10, 2020. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/649974> [accessed Dec. 07, 2020].

Seppy M., Manni M., Zdobnov E.M. BUSCO: assessing genome assembly and annotation completeness. *Methods in Molecular Biology*. 2019;1962:227-245. DOI: 10.1007/978-1-4939-9173-0\_14

Simão F.A., Waterhouse R.M., Ioannidis P., Kriventseva E.V., Zdobnov E.M. BUSCO: assessing genome assembly and annotation completeness with single-copy orthologs. *Bioinformatics*. 2015;31(19):3210-3212. DOI: 10.1093/bioinformatics/btv351

Stanke M., Keller O., Gunduz I., Hayes A., Waack S., Morgenstern B. AUGUSTUS: ab initio prediction of alternative transcripts. *Nucleic acids research*. 2006;34 Suppl 2:W435-W439. DOI: 10.1093/nar/gkl200

Tarailo-Graovac M., Chen N. Using RepeatMasker to identify repetitive elements in genomic sequences. *Current Protocols in Bioinformatics*. 2009;25(1):4.10.1-4.10.14. DOI: 10.1002/0471250953.bi0410s25

Vaser R., Sović I., Nagarajan N., Šikić M. Fast and accurate de novo genome assembly from long uncorrected

reads. *Genome Research*. 2017;27(5):737-746. DOI: 10.1101/gr.214270.116

Volyntkin V.A., Zlenko V.A., Poluliakh A.A., Oleinikov N.P., Likhovskoi V.V. Results of experiment research into the formation of genetic diversity in the Vitaceae family during natural evolution. *Magarach. Viticulture and Wine-making*. 2010;40:12-16. [in Russian] (Волынкин В.А., Зленко В.А., Популях А.А., Олейников Н.П., Лиховской В.В. Результаты экспериментальных исследований формирования генетического разнообразия у семейства винограда Vitaceae в процессе естественной эволюции. *Магарач. Виноградарство и виноделуе*. 2010;40:12-16).

Walker B.J., Abeel T., Shea T., Priest M., Abouelliel A., Sakthikumar Sh. et al. Pilon: an integrated tool for comprehensive microbial variant detection and genome assembly improvement. *PLoS One*. 2014;9(11):e112963. DOI: 10.1371/journal.pone.0112963

Wick R.R., Judd L.M., Holt K.E. Performance of neural network basecalling tools for Oxford Nanopore sequencing. *Genome Biology*. 2019;20(1):129. DOI: 10.1186/s13059-019-1727-y

Zini E., Dolzani Ch., Stefanini M., Gratl V., Bettinelli P., Nicolini D. et al. R-loci arrangement versus downy and powdery mildew resistance level: A *Vitis* hybrid survey. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(14):3526. DOI: 10.3390/ijms20143526

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Агаханов М.М., Григорьева Е.А., Потоккина Е.К., Ульянич П.С., Ухатова Ю.В. Сборка генома *Vitis rotundifolia* Michx. с использованием методов секвенирования третьего поколения (Oxford Nanopore Technologies). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):63-71. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-63-71

Agakhanov M.M., Grigoreva E.A., Potokina E.K., Ulianich P.S., Ukhatoeva Y.V. Genome assembly of *Vitis rotundifolia* Michx. using third-generation sequencing (Oxford Nanopore Technologies). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):63-71. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-63-71

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-63-71>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Agakhanov M.M. <https://orcid.org/0000-0003-2438-9156>  
 Grigoreva E.A. <https://orcid.org/0000-0002-7285-2291>  
 Potokina E.K. <https://orcid.org/0000-0002-2578-6279>  
 Ulianich P.S. <https://orcid.org/0000-0002-2768-505X>  
 Ukhatoeva Y.V. <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

# Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80

УДК 634.75:577.2:575.22

Поступление/Received: 11.08.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles

А. С. ЛЫЖИН\*, И. В. ЛУКЪЯНЧУК

A. S. LYZHIN\*, I. V. LUK'YANCHUK

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина,  
393760 Россия, Тамбовская обл., г. Мичуринск,  
ул. Мичурина, 30

\*✉ [Ranenburzhetc@yandex.ru](mailto:Ranenburzhetc@yandex.ru)

I.V. Michurin Federal Science Center,  
30 Michurina St., Michurinsk,  
Tambov Prov. 393760, Russia

\*✉ [Ranenburzhetc@yandex.ru](mailto:Ranenburzhetc@yandex.ru)

**Актуальность.** Важной потребительской характеристикой плодов земляники является их аромат. Значительный вклад в формирование аромата плодов земляники вносит метилантранилат. Содержание метилантранилата в плодах земляники контролируется геном *FanAAMT* (метилтрансфераза антраниловой кислоты). Идентификация генетических детерминант данного признака позволяет вести целенаправленный отбор перспективных форм на основе диагностических ДНК-маркеров. Целью настоящего исследования являлось изучение аллельного разнообразия гена аромата плодов *FanAAMT* у дикорастущих видов и сортов земляники для выявления перспективных генотипов.

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись дикорастущие виды рода *Fragaria* L., сорта земляники (*F. × anaschata* Kantor) и сорта земляники садовой (*F. × ananassa* Duch.), интродуцированные из различных эколого-географических регионов произрастания. Для идентификации гена *FanAAMT* использовали маркер FanAAMT.

**Результаты и выводы.** В анализируемой коллекции генотипов земляники ген *FanAAMT* идентифицирован у 36,4% форм, в том числе – у дикорастущих видов *F. moschata* Duch., *F. vesca* L., *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt и сорта земляники 'Купчиха'. Среди проанализированных сортов земляники садовой ген *FanAAMT* выявлен у 31,6% образцов, при этом среди отечественных сортов ген *FanAAMT* идентифицирован у 27,3% форм, среди зарубежных – у 37,5% форм. Перспективными источниками высокого содержания метилантранилата в плодах являются дикорастущие виды *F. vesca*, *F. moschata* и *F. virginiana* subsp. *platypetala*, сорт земляники 'Купчиха', а также сорта земляники садовой отечественной ('Былинная', 'Зенит', 'Ласточка', 'Незнакомка', 'Фейерверк', 'Царскосельская') и зарубежной ('Karmen', 'Ostara', 'Samson', 'Symphony', 'Troubadour', 'Vima Tarda') селекции, у которых идентифицирован функциональный аллель гена *FanAAMT*. У остальных изученных генотипов земляники маркер FanAAMT отсутствует, что, предположительно, свидетельствует об отсутствии гена *FanAAMT*.

**Ключевые слова:** аромат плодов, метилантранилат, молекулярные маркеры, генотип.

**Background.** An important consumer trait of strawberry fruits is their aroma. Methyl anthranilate makes a considerable contribution to the fruit flavor. The methyl anthranilate content in strawberry fruits is controlled by the *FanAAMT* (anthranilic acid methyltransferase) gene. Identification of genetic determinants for this trait facilitates targeted selection of promising forms based on diagnostic DNA markers. The purpose of this study was to study the allelic diversity of the *FanAAMT* fruit flavor gene in wild strawberry species and strawberry cultivars for identification of promising genotypes.

**Materials and methods.** The objects of this study were wild species of *Fragaria* L. as well as *F. × anaschata* Kantor and *F. × ananassa* Duch. cultivars of different ecogeographic origin. The *FanAAMT* gene was identified with the dominant marker FanAAMT.

**Results and conclusion.** In the analyzed collection of strawberry genotypes, the *FanAAMT* gene was identified in 36.4% of the forms, including the wild species *F. vesca* L., *F. moschata* Duch. and *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt, and cv. 'Kupchikha' (*F. × anaschata*). Among the analyzed *F. × ananassa* cultivars, the *FanAAMT* gene was found in 31.6% of the tested forms, specifically in 27.3% of the 22 Russian cultivars, and 37.5% of the analyzed foreign ones. Promising sources of high methyl anthranilate content in fruits were identified: wild spp. *F. moschata*, *F. vesca*, and *F. virginiana* subsp. *platypetala*; cv. 'Kupchikha' (*F. × anaschata*); Russian garden strawberry cvs. 'Bylinnaya', 'Zenit', 'Lastochka', 'Neznakomka', 'Feyerverk' and 'Tsarskoselskaya'; and foreign garden strawberry cvs. 'Karmen', 'Ostara', 'Samson', 'Symphony', 'Troubadour' and 'Vima Tarda', in which the functional allele of the *FanAAMT* gene was found. In the remaining studied strawberry genotypes the marker FanAAMT was not detected, which presumably indicates that the *FanAAMT* gene is absent.

**Key words:** fruit flavor, methyl anthranilate, molecular markers, genotype.

## Введение

Земляника (*Fragaria* L.) – род многолетних травянистых растений, насчитывающий около 25 видов различного уровня ploидности (2x, 4x, 6x, 8x, 10x) с базовым числом хромосом  $x = 7$  (Liston et al., 2014). Возделываемые сорта и формы земляники относятся к синтетическому октоплоидному виду *F. × ananassa* Duch. ( $8x = 56$ ), образовавшемуся в результате спонтанной гибридизации *F. virginiana* Duch. и *F. chiloensis* (L.) Mill. (Hancock et al., 2003). При этом длительная селекция в пределах вида *F. × ananassa* посредством межсортовых скрещиваний и инбридинга хоть и способствовала формированию у современных сортов таких хозяйственно ценных признаков, как высокая урожайность, крупноплодность, транспортабельность, но привела к значительному снижению генетического разнообразия современных сортов, а также к элиминации некоторых признаков, до недавнего времени считавшихся несущественными (Lei et al., 2002, Noguchi et al., 2002). К числу таких признаков относится и аромат плодов, поэтому многие широко возделываемые сорта земляники обладают невыраженным, слабым ароматом (Negri et al., 2015, Ulrich, Olbricht, 2016, Bianchi et al., 2017).

Виды рода *Fragaria* характеризуются различной степенью выраженности аромата плодов. При этом большинство дикорастущих видов земляники, в частности *F. vesca* L., *F. moschata* Duch., *F. virginiana*, *F. nilgerrensis* Schlecht ex J. Gay, обладают более выраженным, интенсивным ароматом по сравнению с культивируемыми формами *F. × ananassa*, что обусловлено широким спектром летучих ароматических соединений в плодах и высоким уровнем их накопления (Aharoni et al., 2004; Ulrich et al., 2007). Например, концентрация летучих органических соединений в плодах *F. virginiana* превышает аналогичную у *F. × ananassa* в 15 раз (Ulrich et al., 2007). Генотипы земляники садовой (*F. × ananassa*) также значительно различаются по накоплению отдельных компонентов ароматического комплекса плодов (Zorrilla-Fontanesi et al., 2012; Schwieterman et al., 2014).

Характерный приятный аромат плодов земляники обусловлен содержанием большого количества летучих ароматообразующих органических веществ (альдегиды, кетоны, спирты, терпены, фураноны, серосодержащие соединения и др.), общее число которых в плодах превышает 360 (Cumplido-Laso et al., 2012; Schwieterman et al., 2014; Song et al., 2016). При этом наиболее значительный вклад в формирование ароматического профиля плодов земляники вносят около 20 соединений, к числу которых относится метиловый эфир антралиновой кислоты (метил-2-аминобензоат, метилантранилат). Высокое содержание метилантранилата в плодах диплоидного вида *F. vesca* придает им «типичный» земляничный аромат. В плодах культивируемых форм *F. × ananassa* метилантранилат встречается редко (Ulrich et al., 1997; Urrutia et al., 2017).

Концентрация метилантранилата в плодах земляники в основном детерминирована генотипически (вклад генотипа в изменчивость содержания метилантранилата составляет более 65%) (Urrutia et al., 2017). При этом идентифицирован ген-кандидат – contig 1885 (*FanAAMT*), кодирующий в геноме земляники садовой метилтрансферазу антралиновой кислоты, которая участвует в синтезе метилантранилата в плодах. Репрессия транскрипта гена *FanAAMT* приводит к практически полному ингибированию синтеза метилантранилата, что подтверждает

главную роль гена *FanAAMT* в формировании признака (Pillet et al., 2017). Идентификация главных детерминант биосинтеза метилантранилата в плодах земляники позволяет вести целенаправленный отбор перспективных форм на основе молекулярных маркеров.

Целью исследования являлось изучение аллельного разнообразия гена аромата плодов *FanAAMT* у дикорастущих видов и сортов земляники для выявления перспективных генотипов для вовлечения в селекционный процесс по совершенствованию аромата плодов.

## Материалы и методы

Исследования проведены в 2019–2020 гг. В качестве биологических объектов использованы генотипы земляники генетической коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр (ФНЦ) им. И.В. Мичурина»: 4 дикорастущих вида рода *Fragaria*<sup>1</sup> (*F. vesca* L., *F. moschata* Duch., *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt, *F. ovalis* (Lehm.) Rydb.), 2 сорта земклуники (*F. × anaschata* Kantor) и 38 сортов земляники садовой (*F. × ananassa* Duch.), интродуцированных из различных эколого-географических регионов произрастания (табл. 1).

Экстракция тотальной ДНК генотипов земляники осуществлялась согласно методу DArT (DArT, 2014) с модификациями (Luk'yanchuk et al., 2018).

Для идентификации аллельного состояния гена *FanAAMT* использовали праймеры *FanAAMT* For (5'-GGGATT GAATGCAATTTGTCTATTTTGCCTTTTCTGTGA-3) и *FanAAMT* Rev (5'-GAACACTAGCATCCCAATCCA-3) (Pillet et al., 2017).

Реакционная смесь общим объемом 15 мкл содержала 1,5 mM Таq-буфера, 2,0 mM смеси дезоксинуклеозидтрифосфатов, 2,5 mM хлорида магния, 0,2 U Таq-полимеразы, 0,2 мкМ каждого праймера и 20 нг геномной ДНК. Все компоненты произведены фирмой Thermo Fisher Scientific (США).

Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе T100 (BIO-RAD, США) по программе: начальная денатурация – 3 мин при 95°C, далее 20 циклов: 30 с при 95°C, 30 с при 62°C (–0,5°C/цикл), 45 с при 72°C; далее 25 циклов: 30 с при 95°C, 30 с при 52°C, 45 с при 72°C; далее финальная элонгация – 5 мин при 72°C.

Разделение продуктов амплификации проводили электрофоретическим методом в агарозном геле (концентрация агарозы 2-процентная, буферная система – 1x TBE). Определение размера ампликонов проводили с использованием Gene Ruler 100 bp Plus DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

## Результаты и обсуждение

В результате сравнительного анализа геномов земляники садовой сортов 'Florida Elyana' и 'Mara des Bois', различающихся по содержанию метилантранилата в плодах, а также изучения гибридного потомства Florida Elyana × Mara des Bois установлено, что накопление метилантранилата в плодах земляники в значительной степени определяется экспрессией одного функционального гена, нуклеотидная последовательность которого на 97,12% идентична аннотированной последовательности генома *F. vesca*, кодирующей метилтрансферазу антралиновой кислоты. Предполагаемый ген (ген-кандидат

<sup>1</sup> Названия дикорастущих видов приведены по А. А. Зубову (Zubov, 2004)

<sup>1</sup> The names of wild species are given according to A. A. Zubov (Zubov, 2004)

Таблица 1. Анализируемые генотипы земляники

Table 1. The analyzed strawberry genotypes

<i>Fragaria</i> L. Генотип / Genotype	Происхождение / Оригинатор Origin / Originator
<i>F. vesca</i> L.	Европейская часть России
<i>F. moschata</i> Duch.	
<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt	British Columbia, Canada
<i>F. ovalis</i> (Lehm.) Rydb.	
Алёна	Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Россия
Русич	
Зенит	
Сударушка	
Боровицкая	
Троицкая	
Кубата	
Царица	
Незнакомка	
Гирлянда	
Купчиха	Кокинский опорный пункт Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства, Россия
Студенческая	
Былинная	Крымская опытно-селекционная станция Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Россия
Царскосельская	Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Россия
Юниол	Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Крым, Россия
Ласточка	Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, Россия
Флора	
Избранница	
Яркая	
Фейерверк	
Урожайная ЦГЛ	
Фестивальная	Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Россия
Карнавал	Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия
Олимпийская надежда	
Symphony	Mylnefield Research Services Ltd, United Kingdom
Troubadour	United Kingdom

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

<i>Fragaria</i> L. Генотип / Genotype	Происхождение / Оригинатор Origin / Originator
Polka	PRI, Netherlands
Korona	
Ostara	
Vima Tarda	Vischers International BV, Netherlands
Elianny	Gebr. Vischers, Netherlands
Kimberly	
Barlidaun	USA
Marshall	
Samson	
Karmen	Czech Republic
Tokado	Japan
Aprica	CIV, Italy
Murano	
Quicky	

1885) был картирован на LG IV генома *F. × ananassa* и получил название *FanAAMT* (Pillet et al., 2017). Секвенирование целевых участков генома 'Florida Elyana' (метилантранилат продуцируется) и 'Mara des Bois' (метилантранилат не продуцируется) показало наличие пяти SNPs в 16 нуклеотидах в промоторной области гена. Прайммеры *FanAAMT* For/Rev амплифицируют с 5' конца гена 04119 (*F. vesca*) фрагменты размером 350 и около 1500 пн. Фрагмент размером 350 пн присутствует у всех генотипов земляники. Фрагмент размером 1500 пн амплифицируется только у форм с высоким содержанием метилантранилата в плодах (Pillet et al., 2017).

В анализируемой коллекции генотипов земляники ген *FanAAMT* идентифицирован у 36,4% образцов видов и сортов (пример идентификации приведен на рисунке, результаты – в таблице 2).

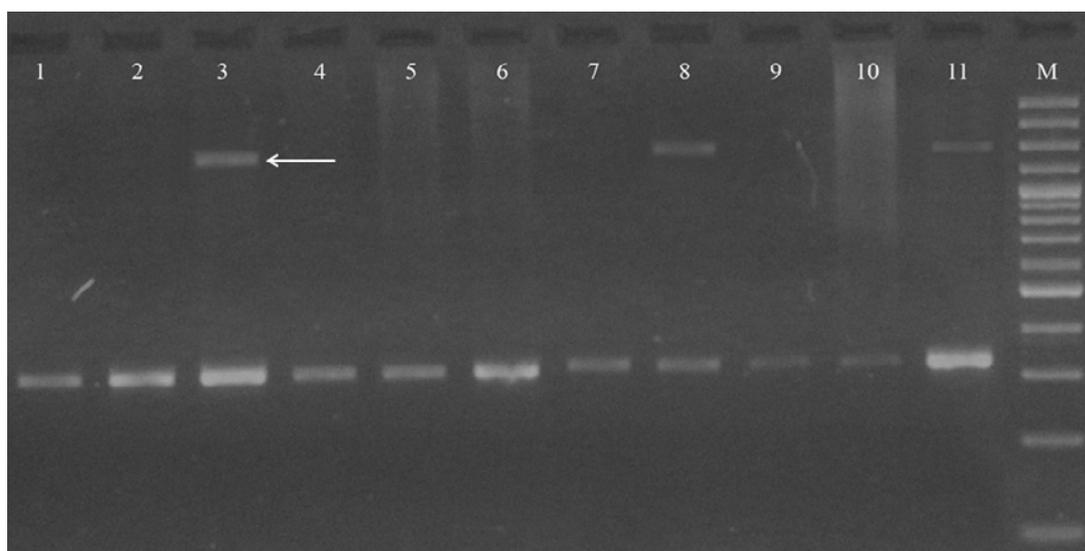
Среди изученных дикорастущих форм земляники ген *FanAAMT* выявлен у *F. vesca*, *F. moschata* и *F. virginiana* subsp. *platypetala*. У земляники овальной (*F. ovalis*) ген *FanAAMT* отсутствует. Высокое содержание метилантранилата в плодах *F. vesca* и *F. moschata* подтверждается также литературными данными (Negri et al., 2015, Ugrutia et al., 2017). Кроме того, ген *FanAAMT* идентифицирован у сорта земляники 'Купчиха', который является межвидовым гибридом *F. × ananassa* × *F. moschata* и, предположительно, наследовал высокий уровень содержания метилантранилата в плодах от *F. moschata*. При этом сорт 'Троицкая' ген *FanAAMT* от *F. moschata* не унаследовал (целевой фрагмент около 1500 пн отсутствует).

Среди проанализированных сортов земляники садовой ген *FanAAMT* выявлен у 31,6% образцов. При этом среди российских сортов ген *FanAAMT* идентифицирован у 27,3% форм. Необходимо также отметить, что ряд

отечественных сортов имеет общее происхождение (табл. 3).

В частности, сорта 'Зенит', 'Фейерверк', 'Флора', 'Урожайная ЦГЛ' и 'Яркая' получены в комбинации скрещивания Senga Sengana × Redcoat. При этом у трех сортов ('Флора', 'Урожайная ЦГЛ', 'Яркая') ген *FanAAMT* отсутствует, а сорта 'Зенит' и 'Фейерверк' характеризуются наличием в геноме данного гена. Кроме того, сорт 'Senga Sengana' использовался при получении сортов 'Избранница' и 'Русич', у которых целевой продукт маркера *FanAAMT*, по нашим данным, также отсутствует, а сорт 'Redcoat' получен в комбинации скрещивания Sparkle × Valentine, где сорт 'Valentine' характеризуется высоким содержанием метилантранилата в плодах (Hirvi, Honkanen, 1982). В связи с вышеизложенным источником гена *FanAAMT* для сортов 'Зенит' и 'Фейерверк', предположительно, является исходная форма 'Redcoat'. Кроме того, все сорта земляники отечественной селекции с идентифицированным геном *FanAAMT* получены с участием зарубежных сортов в первом ('Зенит', 'Фейерверк', 'Царско-сельская') или втором ('Былинная', 'Ласточка') поколении. Сорт земляники 'Незнакомка' ('Вегера') также был получен в Европе. Результаты позволяют предположить, что ген *FanAAMT* в геноплазму сортов земляники отечественной селекции мог быть интрогрессирован как от исходных дикорастущих видов, так и вовлечением в гибридизацию зарубежных сортов.

Среди изученных форм земляники зарубежной селекции ген *FanAAMT* идентифицирован у 37,5%. Необходимо отметить, что сорт 'Mara des Bois', использованный J. Pillet et al. (2017) для выявления генетических детерминант биосинтеза метилантранилата в плодах и характеризующийся отсутствием гена *FanAAMT*, получен с использованием в гибридизации сорта 'Ostara'



**Рисунок.** Электрофоретические профили маркерных фрагментов гена *FanAAMT* у разных генотипов земляники: 1 – 'Боровицкая', 2 – 'Elianny', 3 – 'Ласточка', 4 – 'Korona', 5 – 'Kimberly', 6 – 'Яркая', 7 – 'Троицкая', 8 – 'Ostara', 9 – 'Quicky', 10 – 'Aprica', 11 – 'Фейерверк';  
М – маркер молекулярного веса

**Figure.** Electrophoretic profiles of marker fragments of the *FanAAMT* gene in different strawberry genotypes: 1 – 'Borovitskaya', 2 – 'Elianny', 3 – 'Lastochka', 4 – 'Korona', 5 – 'Kimberly', 6 – 'Yarkaya', 7 – 'Troitskaya', 8 – 'Ostara', 9 – 'Quicky', 10 – 'Aprica', 11 – 'Feyerverk';  
M – molecular weight marker

**Таблица 2.** Аллельное разнообразие гена *FanAAMT* ароматического комплекса плодов у дикорастущих видов и сортов земляники

**Table 2.** Allelic diversity of the *FanAAMT* fruit flavor gene in strawberry cultivars and wild species

<i>Fragaria</i> L. Генотип / Genotype	<i>FanAAMT</i>	
	300 пн / 300 bp	1500 пн / 1500 bp
<i>F. vesca</i> L.	+	+
<i>F. moschata</i> Duch.	+	+
<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt	+	+
<i>F. ovalis</i> (Lehm.) Rydb.	+	
Алёна	+	
Боровицкая	+	
Былинная	+	+
Гирлянда	+	
Зенит	+	+
Избранница	+	
Карнавал	+	
Кубата	+	
Купчиха	+	+
Ласточка	+	+
Незнакомка	+	+
Олимпийская надежда	+	

Таблица 2. Окончание  
Table 2. The end

<i>Fragaria L.</i> Генотип / Genotype	<i>FanAAMT</i>	
	300 пн /300 bp	1500 пн /1500 bp
Русич	+	
Студенческая	+	
Сударушка	+	
Троицкая	+	
Урожайная ЦГЛ	+	
Фейерверк	+	+
Фестивальная	+	
Флора	+	
Царица	+	
Царскосельская	+	+
Юниол	+	
Яркая	+	
Aprica	+	
Barlidaun	+	
Elianny	+	
Karmen	+	+
Kimberly	+	
Korona	+	
Marshall	+	
Murano	+	
Ostara	+	+
Polka	+	
Quicky	+	
Samson	+	+
Symphony	+	+
Tokado	+	
Troubadour	+	+
Vima Tarda	+	+

Примечание: символ «+» указывает на наличие фрагмента указанного размера  
Note: the "+" symbol indicates the presence of the specified fragment

**Таблица 3. Происхождение анализируемых сортов земляники**  
**Table 3. Origin of the analyzed strawberry cultivars**

Сорт / Cultivar	Комбинация скрещивания / Crossing combination
Алёна	Нет доступной информации
Боровицкая	Надежда × Red Gauntlet
Былинная	Персиковая × Сеянец ВИР-228613
Гирлянда	Нет доступной информации
Зенит	Senga Sengana × Redcoat
Избранница	Фестивальная × Senga Sengana
Карнавал	Памятная × Ранняя плотная кл. 26V
Кубата	Кубенская × Holiday
Купчиха	<i>F.</i> × <i>ananassa</i> × <i>F. moschata</i>
Ласточка	922-67 × Привлекательная
Незнакомка	Сеянец неизвестного происхождения
Олимпийская надежда	Нет доступной информации
Русич	Фестивальная Ромашка × Сюрприз Олимпиаде
Студенческая	FB <sub>3</sub> ( <i>F.</i> × <i>ananassa</i> × <i>F. moschata</i> )
Сударушка	Фестивальная × Roxana
Троицкая	<i>F.</i> × <i>ananassa</i> × <i>F. moschata</i>
Урожайная ЦГЛ	Senga Sengana × Redcoat
Фейерверк	Senga Sengana × Redcoat
Фестивальная	Обильная × Premier
Флора	Senga Sengana × Redcoat
Царица	Venta × Red Gauntlet
Царскосельская	Павловчанка × Holiday
Юниол	Нет доступной информации
Яркая	Senga Sengana × Redcoat
Aprica	Нет доступной информации
Barlidaun	MDUS 2359 × MDUS 2713
Elianny	Нет доступной информации
Karmen	Georg Soltwedel × Sparkle
Kimberly	Gorella × Chandler
Korona	Tamella × Induka
Marshall	<i>F.</i> × <i>ananassa</i> × св. опыление
Murano	R6R1-26 × A030-12
Ostara	Red Gauntlet × Masherahs Daurernte
Polka	Unduka × Sivetta
Quicky	CIVN251
Samson	Нет доступной информации
Symphony	Rhapsody × Holiday
Tokado	Нет доступной информации
Troubadour	61AM68 × US2650
Vima Tarda	Vima Zanta × Vicoda

(комбинация скрещивания (Humi Gento × Ostara) × (Red Gauntlet × Ostara)), у которого, согласно нашим данным, ген *FanAAMT* присутствует. Кроме того, сорта 'Царско-сельская' и 'Symphony', характеризующиеся наличием гена *FanAAMT*, имеют родственное происхождение (получены с участием сорта 'Holiday', который, предположительно, мог быть донором анализируемого гена).

Относительное преобладание у сортов зарубежной селекции гена *FanAAMT* может объясняться их генетической близостью вследствие активного применения в гибридизации нескольких исходных форм (Lei et al., 2002), одна из которых могла являться донором гена *FanAAMT*.

### Заключение

Таким образом, проведено изучение аллельного полиморфизма гена *FanAAMT*, детерминирующего содержание метилантранилата в плодах земляники. Функциональный аллель *FanAAMT* идентифицирован у 36,4% изучаемых форм. Среди проанализированных сортов земляники садовой ген *FanAAMT* выявлен у 31,6% образцов, при этом среди российских сортов ген *FanAAMT* выявлен у 27,3% форм, среди изученных форм земляники зарубежной селекции – у 37,5%. Перспективными источниками высокого содержания метилантранилата в плодах по результатам анализа аллельного состояния гена *FanAAMT* являются дикорастущие виды *F. vesca*, *F. moschata* и *F. virginiana* subsp. *platypetala*, сорт земляники 'Купчиха', а также сорта земляники садовой отечественной ('Былинная', 'Зенит', 'Ласточка', 'Незнакомка', 'Фейерверк', 'Царскосельская') и зарубежной ('Karmen', 'Ostara', 'Samson', 'Symphony', 'Troubadour', 'Vima Tarda') селекции, у которых идентифицирован функциональный аллель гена *FanAAMT*.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану ФНЦ им. И.В. Мичурина по проекту № 0646-2019-0001 «Провести мобилизацию новых генотипов из других регионов произрастания, комплексную оценку генофонда плодовых, ягодных, нетрадиционных, цветочных культур по важнейшим селекционно значимым признакам и геномный анализ гибридных сеянцев при интрогрессивной гибридизации с целью выделения перспективных генотипов для дальнейшего селекционного использования».*

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of the I.V. Michurin FSC, Project No. 0646-2019-0001 "To conduct mobilization of new genotypes from other growing regions, complex assessment of the gene pools of fruit, berry, non-traditional and flower crops for the most important traits of breeding value, and genomic analysis of hybrid seedlings during introgressive hybridization in order to identify promising genotypes for further breeding".*

### References / Литература

- Aharoni A., Giri A.P., Verstappen F.W.A., Berteaux C.M., Sevenier R., Sun Z. et al. Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. *Plant Cell*. 2004;16(11):3110-3131. DOI: 10.1105/tpc.104.023895
- Bianchi G., Lucchi P., Maltoni M.L., Fagherazzi A.F., Baruzzi G. Analysis of aroma compounds in new strawberry advanced genotypes. *Acta Horticulturae*. 2017;1156:673-678. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.98
- Cumplido-Laso G., Medina-Puche L., Moyano E., Hoffmann T., Sinz Q., Ring L. et al. The fruit ripening-related gene *FaAAT2* encodes an acyl transferase involved in strawberry aroma biogenesis. *Journal of Experimental Botany*. 2012;63(11):4275-4290. DOI: 10.1093/jxb/ers120
- Hancock J.F., Callow P.W., Serçe S., Son P.Q. Variation in the horticultural characteristics of native *Fragaria virginiana* and *F. chiloensis* from North and South America. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2003;128(2):201-208. DOI: 10.21273/JASHS.128.2.0201
- Hirvi T., Honkanen E. The volatiles of two new strawberry cultivars, "Annelie" and "Alaska Pioneer", obtained by backcrossing of cultivated strawberries with wild strawberries, *Fragaria vesca* Rügen and *Fragaria virginiana*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 1982;175(2):113-118. DOI: 10.1007/BF01135046
- Lei J., Dai H., Deng M., Wu L., Hu W. Studies on the interspecific hybridization in the genus *Fragaria*. *Acta Horticulturae Sinica*. 2002;29(6):519-523.
- Liston A., Cronn R., Ashman T.L. *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany*. 2014;101(10):1686-1699. DOI: 10.3732/ajb.1400140
- Luk'yanchuk I.V., Lyzhin A.S., Kozlova I.I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):795-799. DOI: 10.18699/VJ18.423
- Negri A.S., Allegra D., Simoni L., Rusconi F., Tonelli C., Espen L. et al. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries "Profumata di Tortona" (*F. moschata*) and "Regina delle Valli" (*F. vesca*). *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:56. DOI: 10.3389/fpls.2015.00056
- Noguchi Y., Mochizuki T., Sone K. Breeding of a new aromatic strawberry by interspecific hybridization *Fragaria* × *ananasa* × *F. nilgerrensis*. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 2002;71(2):208-213. DOI: 10.2503/jjshs.71.208
- Pillet J., Chambers A.H., Barbey C., Bao Z., Plotto A., Bai J. et al. Identification of a methyltransferase catalyzing the final step of methyl anthranilate synthesis in cultivated strawberry. *BMC Plant Biology*. 2017;17(1):147. DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1
- Schwieterman M.L., Colquhoun T.A., Jaworski E.A., Bartoshuk L.M., Gilbert J.L., Tieman D.M. et al. Strawberry flavor: Diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. *PLoS One*. 2014;9(2):e88446. DOI: 10.1371/journal.pone.0088446
- Song C., Hong X., Zhao S., Liu J., Schulenburg K., Huang F.C. et al. Glucosylation of 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone, the key strawberry flavor compound in strawberry fruit. *Plant Physiology*. 2016;171(1):139-151. DOI: 10.1104/pp.16.00226
- Ulrich D., Hoberg E., Rapp A., Kecke S. Analysis of strawberry flavour – discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 1997;205(3):218-223. DOI: 10.1007/s002170050154
- Ulrich D., Komes D., Olbricht K., Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007;54(6):1185-1196. DOI: 10.1007/s10722-006-9009-4
- Ulrich D., Olbricht K. A search for the ideal flavor of strawberry – Comparison of consumer acceptance and meta-

bolite patterns in *Fragaria × ananassa* Duch. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2016;89:223-234. DOI: 10.5073/JABFQ.2016.089.029

Urrutia M., Rambla J.L., Alexiou K.G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017;121:99-117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015

Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J.L., Cabeza A., Medina J.J., Sánchez-Sevilla J.F., Valpuesta V. et al. Genetic analysis

of strawberry fruit aroma and identification of *O-methyltransferase FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content. *Plant Physiology*. 2012;159(2):851-870. DOI: 10.1104/pp.111.188318

Zubov A.A. Theoretical foundations of strawberry breeding (Teoreticheskiye osnovy seleksii zemlyaniki). Michurinsk: VNIIGiSPR; 2004. [in Russian] (Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. Мичуринск: ВНИИГиСПР; 2004).

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Лыжин А.С., Лукъянчук И.В. Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):72-80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80

Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):72-80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-72-80>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Lyzhin A.S. <https://orcid.org/0000-0001-9770-8731>

Luk'yanchuk I.V. <https://orcid.org/0000-0003-1626-840X>

# Сравнительный анализ наследования высокой скорости развития линий Римакс и Рико яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L.

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-81-88

УДК: 633.11: 581.132.2

Поступление/Received: 20.08.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



## Comparative analysis of the inheritance of a high development rate in the Rimax and Rico lines of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.)

В. В. РИГИН\*, Е. В. ЗУЕВ, А. С. АНДРЕЕВА,  
И. И. МАТВИЕНКО, З. С. ПЫЖЕНКОВА

B. V. RIGIN\*, E. V. ZUEV, A. S. ANDREEVA,  
I. I. MATVIENKO, Z. S. PYZHENKOVA

Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
\*✉ riginbv@mail.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
\*✉ riginbv@mail.ru

**Актуальность.** Знание характера наследования признака «ультраскороспелость» у сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) будет способствовать повышению эффективности селекционного процесса.

**Материалы и методы.** Исследовали ультраскороспелые линии Рико (к-65588, var. *erythrosperrum* Коерн.), Римакс (к-67257, var. *lutescens* (Alef.) Mansf.), а также сорта 'Мах' (к-57181, var. *lutescens*) и 'Ленинградская 6' (к-64900, var. *lutescens*). Линия Римакс была получена в результате скрещивания ультраскороспелой линии Рико с сортом 'Мах'. В родословную Рико входит СКФ (к-67258, var. *erythrosperrum*) и АНК-17В (к-60314, var. *albium* Alef.). Аллели генов *Vrn* и *Ppd* идентифицировали с помощью ПЦР-анализа. Реакция растений на короткий день определена по методике ВИР.

**Результаты.** Линии Римакс и Рико характеризуются самой высокой скоростью развития от всходов до колошения среди образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. В генотипах Римакс и Рико обнаружены доминантные аллели генов *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* и доминантный ген *Ppd-D1*. В линии Римакс выявлены разные аллели генов *Ppd-D1* и *Vrn-B1*. В условиях длинного дня (18 ч) в  $F_2$  ( $F_3$ ) гибридной комбинации Рико × Римакс наблюдали отношение фенотипов с высокой скоростью развития к растениям с низкой скоростью развития как 1 : 15 ( $\chi^2_{1;15} = 0,64$ ). При выращивании на коротком дне (12 ч) в  $F_2$  выделяли пять четко тестируемых групп в соотношении 1 : 4 : 6 : 4 : 1 ( $\chi^2 = 3,03$ ;  $\chi^2_{0,05} = 9,48$ ).

**Заключение.** Линии Римакс и Рико имеют по две пары независимых дуплицированных генов, детерминирующих высокую скорость развития. В условиях короткого дня эти гены могут взаимодействовать по типу кумулятивной полимерии. Линии Римакс и Рико за счет высокой скорости развития являются ценным исходным материалом для селекции на скороспелость.

**Ключевые слова:** ультраскороспелость, реакция на яровизацию, фотопериод, гены, взаимодействие, селекция.

**Background.** Development of early-ripening spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars is an important task for Russian breeders. Knowledge of the genetics of ultra-early varieties – sources of valuable genes that determine an earlier-maturing type of plant development – will be used to work out methods for obtaining source material for breeding.

**Materials and methods.** The ultra-early lines Rico (k-65588, var. *erythrosperrum* Koern.) and Rimax (k-67257, var. *lutescens* (Alef.) Mansf.), and cvs. 'Max' (k-57181, var. *lutescens*) and 'Leningradskaya 6' (k-64900, var. *lutescens*) were studied. Alleles of the *Vrn* and *Ppd* genes were identified by PCR according to known publications, and genomic DNA was isolated from 3-day-old seedlings by the CTAB method.

**Results.** In the environments of Northwest Russia, the Rimax and Rico lines are characterized by the highest rate of development before heading among the spring wheat accessions from the VIR collection. In the Rimax and Rico genotypes, the *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* and *Ppd-D1* genes were found. Genotypes with different alleles of *Ppd-D1* and *Vrn-B1* were identified in the Rimax line. Under conditions of a long day (18 hours), in the population of  $F_2$  ( $F_3$ ) Rico × Rimax hybrids, the ratio of phenotypes with a high development rate to all others was observed as 1 : 15 ( $\chi^2_{1;15} = 0.64$ ). Under a short day (12 hours), 5 clearly tested groups were identified in  $F_2$  with the ratio 1 : 4 : 6 : 4 : 1 ( $\chi^2 = 3.03$ ;  $\chi^2_{0,05} = 9.48$ ), which indicates the manifestation of cumulative polymerization.

**Conclusion.** Each of the Rimax and Rico lines has two pairs of independent duplicated genes that determine a high development rate. Under short-day conditions, these genes can interact like cumulative polymers. The Rimax and Rico lines, due to their high development rate, are valuable source material to be used in breeding for earliness.

**Key words:** ultra-earliness, reaction to vernalization, photoperiod, genes, interaction, breeding.

## Введение

Создание сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), скорость развития которых связана с агроклиматическими особенностями районов их возделывания, является одной из важнейших задач современной селекции этой культуры. Скороспелые сорта необходимы для сельского хозяйства России, которое функционирует преимущественно в зонах с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями, отрицательно влияющими на зерновую продуктивность сортов и качество получаемой продукции. Селекция на скороспелость связана с необходимостью поиска нового исходного материала с ценными для селекции генами (Zuev, 2009). Источниками таких генов или их аллелей могут быть ультраскороспелые формы мягкой пшеницы, для которых характерны отсутствие реакции на яровизацию и слабая фотопериодическая чувствительность. Сорта с такой характеристикой способны обладать повышенной адаптивностью к различным факторам среды.

Время цветения мягкой пшеницы в основном детерминируется генами, определяющими реакцию на яровизацию (гены *Vrn*), фотопериод (гены *Ppd*) (Goncharov, 2003; Yoshida et al., 2010) и собственно скороспелость, или скороспелость *per se* (гены *Eps*). Признак «скороспелость *per se*» у мягкой пшеницы проявляется на фоне экспрессии генов, контролирующих тип развития и фотопериодическую реакцию растений. Гены *Eps* могут активизировать переход из вегетативной фазы развития к генеративной и иметь плейотропный эффект на развитие признаков морфологии и продуктивности (Lewis et al., 2008; Zikhali et al., 2016). Возможно, ген *Eps*, определяющий скороспелость *per se*, является блоком полигенов (модификаторов) с малым эффектом, который идентифицируется методами генетического анализа. Разная скорость развития растений мягкой пшеницы и признаки продуктивности могут ассоциироваться с определенным сочетанием аллелей генов *Ppd* и *Vrn* (Potokina et al., 2012; Zaitseva, Lemesh, 2015).

Сроки цветения пшеницы зависят также от экспрессии генов, детерминирующих циркадные ритмы, действие фитогормонов и другие особенности растений (Kiseleva, Salina, 2018)

Линия яровой мягкой пшеницы Рико, созданная в отделе генетики ВИР, характеризуется отсутствием реакции на яровизацию и очень слабой фотопериодической чувствительностью (Rigin et al., 2019). Отсутствие реакции на яровизацию этой линии детерминируют три неаллельных доминантных гена *Vrn-A1*, *Vrn-B1a*, *Vrn-D1*. Кроме того, у Рико обнаружен доминантный аллель гена *Ppd-D1a*, ответственного за слабую фотопериодическую чувствительность (Vrazhnov et al., 2012; Rigin et al., 2019). Такая особенность генетического контроля адаптивных признаков в основном характерна для ультраскороспелых образцов яровой мягкой пшеницы (Rigin, Puzhenkova, 2011). Однако существенная особенность линии Рико состоит в том, что она по скорости развития превосходит другие образцы яровой мягкой пшеницы коллекции генетических ресурсов растений ВИР (Уникальная научная установка – УНУ, регистрационный номер USU\_505851) и другие ультраскороспелые формы яровой мягкой пшеницы.

Среди гибридов мягкой пшеницы Рико с 'Мах' нами выделена константная линия Римакс, которая по темпам развития от всходов до колошения, как и линия

Рико, относится к ультраскороспелым формам: линии незначительно различаются по продолжительности периода «посев – колошение», по реакции на низкие яровизирующие температуры и разный фотопериод.

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ наследования признаков, определяющих адаптивность ультраскороспелых линий мягкой пшеницы Римакс и Рико. Такая информация имеет значение для генетической характеристики форм мягкой пшеницы с очень высокой скоростью развития, а также для разработки методов создания исходного материала при селекции мягкой пшеницы на скороспелость.

## Условия, материалы и методы

Опыты проведены в 2017–2019 гг. в условиях Северо-Запада России (г. Санкт-Петербург, Пушкин) на научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Территория лабораторий ВИР располагается в зоне избыточного увлажнения: количество осадков – 550–850 мм в год. Лето прохладное, температура июля от +15 до +17,5°C. Продолжительность периода вегетации – 150–170 суток. Погодные условия 2017 г., по сравнению с 2018 и 2019 г., способствовали более продолжительному развитию испытуемых растений.

Исходным материалом явились ультраскороспелые линии яровой мягкой пшеницы Рико (к-65588, РФ, var. *erythrospermum* Koern.), Римакс (к-67257, РФ, var. *lutescens* (Alef.) Mansf.), а также сорта 'Мах' (к-57181, Германия, var. *lutescens*) и 'Ленинградская б' (к-64900, РФ, var. *lutescens*), районированный в Северо-Западном регионе России. Родословная линии Римакс – Рико × Мах. В родословную Рико входят образец СКФ (к-67258, РФ, var. *erythrospermum*) и изогенная линия сорта 'Новосибирская 67' АНК-17В (к-60314, РФ, var. *albidum* Alef.). Ультраскороспелые линии СКФ и АНК-17В созданы соответственно Р. М. Карамышевым (Karamyshev, 1984) и С. Ф. Ковалем (Koval', 1997).

Для идентификации аллелей генов *Vrn-A1a*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*, контролирующих яровой тип развития, и гена *Ppd-D1a*, детерминирующего реакцию на фотопериод, использовали опубликованные в литературе аллель-специфичные праймеры (табл. 1).

Геномную ДНК для молекулярно-генетического анализа выделяли из трехдневных проростков СТАВ-методом (Granger et al., 1991). В анализ было включено по пять растений линии Римакс и по пять растений образца Рико, объединенных в две bulk-пробы.

ПЦР осуществляли в общем объеме пробы 20 мкл; в состав реакционной смеси входили следующие компоненты: 60 нг ДНК; 1х буфер для Taq-полимеразы (Евроген), содержащий 2,5 мМ MgCl<sub>2</sub>; 150–500 мкмоль dNTPs; 0,1–0,5 мкмоль каждого из праймеров и 1 ед. Taq-полимеразы (Евроген). Концентрация dNTPs и праймеров зависела от анализируемого аллеля генов *Vrn-A1a*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* и *Ppd-D1a* (Zlotina et al., 2012). Разделение фрагментов проводили электрофорезом в 2-процентных агарозных гелях, гели окрашивали бромистым этидием и фотографировали в проходящем УФ-свете с использованием системы гель-документации GelDoc XR производства BioRad. Для определения размеров фрагментов использовали маркер молекулярного веса GeneRuler 1 kbPlus DNA Ladder фирмы Thermo Scientific.

**Таблица 1.** Аллель-специфичные праймеры, опубликованные для генов *Ppd-D1* и *Vrn* мягкой пшеницы, использованные в анализе (по М. М. Zlotina et al., 2012)**Table 1.** Allele-specific primers, published for the *Ppd-D1* and *Vrn* genes of bread wheat, used in the analysis (from M. M. Zlotina et al., 2012)

Тестируемый аллель гена	Аллель-специфичные праймеры, использованные в ПЦР	Температура отжига, С°	Ожидаемый размер ДНК-фрагмента, пн	Литературный источник
<i>Ppd-D1a</i>	<b>Ppd1_F</b> ACGCCTCCCACTACACTG <b>Ppd1_R1</b> GTTGGTTCAAACAGAGAGC <b>Ppd1_R2</b> CACTGGTGGTAGCTGAGATT	54	288	Beales et al., 2007
<i>ppd-D1b</i>	<b>Ppd1_F</b> ACGCCTCCCACTACACTG <b>Ppd1_R1</b> GTTGGTTCAAACAGAGAGC <b>Ppd1_R2</b> CACTGGTGGTAGCTGAGATT	54	414	Beales et al., 2007
<i>Vrn-A1a</i>	<b>VRN1AF</b> GAAAGGAAAAATCTGCTCG <b>VRN1-1R</b> TGCACCTTCCCCGCCCCAT	55	715 + 624	Yan et al., 2004
<i>vrn-A1</i>	<b>VRN1AF</b> GAAAGGAAAAATCTGCTCG <b>VRN1-1R</b> TGCACCTTCCCCGCCCCAT	55	484	Yan et al., 2004
<i>Vrn-B1a</i>	<b>Intr1/B/F</b> CAAGTGGAACGGTTAGGACA <b>Intr1/B/R3</b> CTCATGCCAAAAATGAAGATGA	58	709	Fu et al., 2005
<i>Vrn -B1c</i>	<b>Intr1</b> ATCATCTTCTCCACCAAGGG <b>Intr1/B/R3</b> CTCATGCCAAAAATGAAGATGA	58	700	Shcherban et al., 2012
<i>vrn-B1</i>	<b>Intr1/B/F</b> CAAGTGGAACGGTTAGGACA <b>Intr1/B/R4</b> CAAATGAAAAGGAATGAGAGCA	58	1149	Fu et al., 2005
<i>Vrn-D1</i>	<b>Intr1/D/F</b> GTTGTCTGCCTCATCAAATCC <b>Intr1/D/R3</b> GGTCACTGGTGGTCTGTGC	65	1671	Fu et al., 2005
<i>vrn-D1</i>	<b>Intr1/D/F</b> GTTGTCTGCCTCATCAAATCC <b>Intr1/D/R4</b> AAATGAAAAGGAACGAGAGCG	63	997	Fu et al., 2005

Исследование характера наследования высокой скорости развития в продолжительности периода «посев – колошение» проведено путем гибридологического анализа в условиях поля и с использованием разного фотопериода в вегетационном опыте на фотопериодической площадке научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». В качестве тестера высокой скорости развития растений была использована линия Рико с самой короткой фазой развития до

колошения среди всех изученных ранее образцов яровой мягкой пшеницы.

Реакция растений на короткий день определена в условиях 18-часового естественного и 12-часового короткого дня по методике, используемой в ВИР (Koshkin, 2012). Условия яровизации – 30 дней при 3°C. Скорость развития каждого растения оценивали в полевых условиях от посева до колошения, на фотопериодической площадке – от появления первого листа до колошения.

Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы Microsoft Excel 2010 по стандартной методике (Zaitsev, 1984). Вычисление средней арифметической по каждому признаку сопровождалось определением их доверительных интервалов, рассчитанных при уровне значимости 0,05. При вычислении показателя  $\chi^2$  класс вариационного ряда, содержащий менее трех наблюдений, объединяли с соседним классом.

### Результаты и обсуждение

По наблюдениям в течение 10 лет в условиях Северо-Запада России, период от посева до колошения линии Римакс, в среднем равен  $40 \pm 2,0$  суток, в отдельные годы колошение наступало через 36–46 суток. Корреляция между темпами развития Римакс и самой скороспелой линией Рико за этот период равна 0,97, то есть скорость развития этих линий до колошения была практически одинаковой. В отдельные годы с более высокой температурой воздуха Римакс колосится на 1–2 суток раньше Рико. В целом линия Римакс, как и Рико, была более скороспелой на 14–15 суток, чем районированный в регионе сорт яровой мягкой пшеницы Ленинградская 6, используемый в качестве контроля.

Линия Римакс, как, впрочем, и линия Рико, практически не реагирует на яровизацию как в условиях длинного, так и короткого дня (табл. 2). Не отмечено статистически значимой реакции этих растений и на короткий день, что согласуется с итогами прежних опытов (Rigin et al., 2019).

характерно наличие только одного аллеля каждого гена (см. рисунок). Вероятно, аллели *Ppd-D1a* и *Vrn-B1a* были получены от сорта 'Мах', однако делать заключение о происхождении таких аллелей пока преждевременно, поскольку сорт 'Мах' в этом опыте не был изучен молекулярно-генетическими методами.

Таким образом, линии Римакс и Рико имеют доминантные аллели генов, контролирующих яровой тип развития (*Vrn-A1a*, *Vrn-B1a*, *Vrn-D1*), что хорошо коррелирует с результатами исследований реакции на яровизацию (см. табл. 2). Обе линии имеют рецессивный аллель *ppd-D1a*, детерминирующий реакцию на фотопериод; у bulk-пробы линии Римакс одновременно выявлен ПЦР-продукт размером 288 пн, соответствующий доминантному аллелю *Ppd-D1a*. Однако линия Римакс, так же как и Рико, характеризуется отсутствием фоточувствительности (см. табл. 2), то есть доминантным проявлением признака. Можно предположить, что в линии Римакс как в менее отселектированной остаются генотипы – носители доминантного аллеля *Ppd-D1a* или что фрагмент 288 пн в данном случае имеет другую природу, например амплифицируется с последовательностью псевдогена.

В условиях полевого опыта период «посев – колошение» у линий Рико и Римакс был равен соответственно  $42,4 \pm 1,1$  и  $41,7 \pm 1,9$  суток, у гибридов  $F_1$  Рико  $\times$  Римакс равен  $45,2 \pm 1,2$  суток, то есть различия по этому признаку у родителей и гибридов были не достоверны. В других экспериментах у гибридов  $F_1$  Рико с разными по скорости развития образцами яровой мягкой пшеницы не было отмечено полного доминирования ультраскороспелости,

**Таблица 2. Реакция сортов и линий яровой мягкой пшеницы на яровизацию и короткий день**

(Пушкин, вегетационный опыт, 2017 г.)

**Table 2. Response of spring bread wheat cultivars and lines to vernalization and short-day conditions**

(vegetative experiment, Pushkin, 2017)

Линия, сорт	Вариант	Период от всходов до колошения, сутки		
		18-часовой естественный день	12-часовой день	Реакция на короткий день
Римакс	без яровизации	$29,8 \pm 0,31$	$32,3 \pm 0,30$	$2,5 \pm 0,42$
	с яровизацией	$31,7 \pm 0,35$	$33,5 \pm 0,27$	$1,8 \pm 0,44$
Рико	без яровизации	$29,5 \pm 0,30$	$32,5 \pm 0,30$	$3,0 \pm 0,42$
	с яровизацией	$30,7 \pm 0,37$	$31,5 \pm 0,27$	$0,8 \pm 0,46$
Ленинградская 6	без яровизации	$36,8 \pm 0,29$	$51,36 \pm 0,56$	$14,5 \pm 0,62$
	с яровизацией	$36,5 \pm 0,36$	$53,3 \pm 0,76$	$16,8 \pm 0,8$
Мах	без яровизации	$41,5 \pm 0,31$	$64,7 \pm 0,85$	$23,2 \pm 0,90$

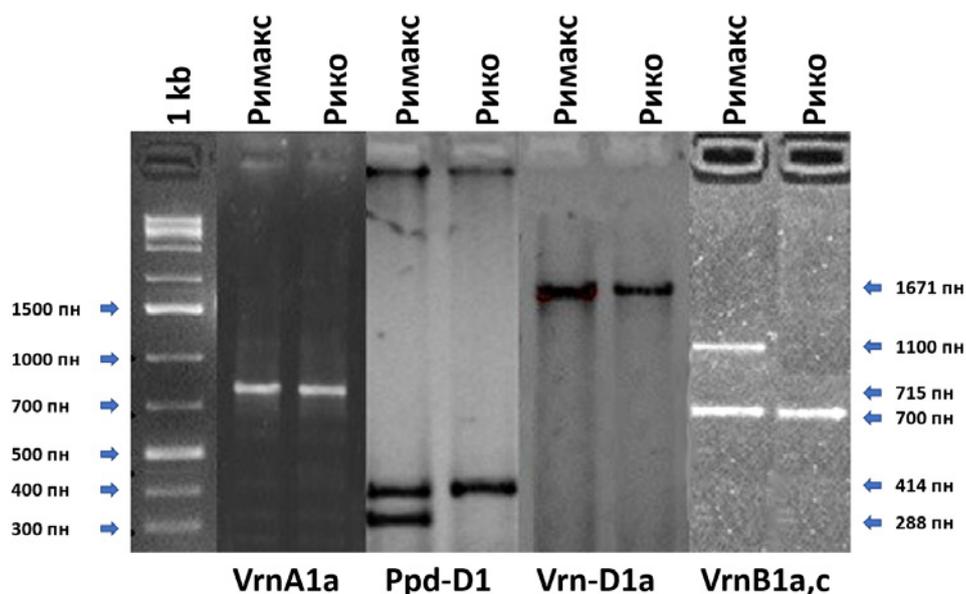
Растения сорта 'Мах', наследственный потенциал которого входит в родословную линии Римакс, имеют сильную фотопериодическую реакцию, равную таковой у сорта Ленинградская 6.

Согласно молекулярно-генетическому анализу, реакцию на яровизацию ультраскороспелых линий Римакс и Рико контролируют три неаллельных доминантных гена *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* (рисунок).

У линии Римакс (Рико  $\times$  Мах) были выявлены одновременно два аллеля генов *Ppd-D1* (*ppd-D1b* 414 пн и *Ppd-D1a* 288 пн) и *Vrn-B1* (*Vrn-B1c* 1100 пн и *Vrn-B1a* 700 пн), в то время как для родительской формы Рико было ха-

рактерной для линии Рико: величина периода «посев – колошение» у гибридов была промежуточной по сравнению с родительскими формами с небольшим отклонением в сторону позднеспелого родителя (Rigin, Pyzhenkova, 2011).

Второе поколение гибридов Рико  $\times$  Римакс в нашем эксперименте получено от двух растений  $F_1$ , которые выколосились соответственно через 47 и 45 суток. Тест на однородность показал отсутствие статистически значимого различия по скорости развития между распределениями в  $F_2$  гибридов в потомствах этих растений, равных 70 и 61 особи ( $\chi^2 = 1,26$ ;  $\chi^2_{0,05} = 9,45$ ), что позволило их



**Рисунок.** Электрофорез продуктов амплификации ДНК ультраскороспелых образцов яровой мягкой пшеницы с аллель-специфичными праймерами: **Vrnl-D1a** (доминантный) 1671 пн; **Ppd-D1a** (доминантный) 288 пн; **ppd-D1b** (рецессивный) 414 пн; **Vrnl-A1a** (доминантный) 715 пн; **Vrnl-B1c** (доминантный) 1100 пн и **Vrnl-B1a** (доминантный) 700 пн

**Figure.** Electrophoresis of DNA amplification products in ultra-early spring bread wheat accessions employing allele-specific primers: **VrnlD1a** (dominant), 1671 bp; **Ppd-D1a** (dominant), 288 bp; **ppd-D1b** (recessive), 414 bp; **Vrnl-A1a** (dominant), 715 bp; **Vrnl-B1c** (dominant), 1100 bp; **Vrnl-B1a** (dominant), 700 bp

объединить и рассматривать как одну выборку. Среди 131 растения  $F_2$  суммарной выборки было отмечено 4 более скороспелых растения, чем родительские линии, которые в условиях 2018 г. колосились в среднем на 37–38-й день после посева. В  $F_3$  гибридов было испытано потомство 10 самых скороспелых растений  $F_2$  (2019 г.). Среди них достоверно скороспелее, чем линии Рико и Римакс, оказались семьи с периодом «посев – колошение» равным  $35,2 \pm 0,52$ ;  $35,7 \pm 0,60$ ;  $35,03 \pm 0,50$ ;  $36,33 \pm 0,53$  суткам. В таком случае в  $F_2$  фактическое отношение числа трансгрессивных растений ко всем остальным растениям равно 4 к 127, что соответствует теоретически ожидаемому 1 : 15 ( $\chi^2_{1;15} = 3,28$ ). Величина периода до колошения остальных 6 исследованных семей  $F_3$  находилась в пределах  $36,43 \pm 0,50$  –  $39,77 \pm 0,18$  суток. Таким образом, наличие четырех трансгрессивных растений среди популяции  $F_2$  позволяет предположить различие генетических систем, определяющих высокую скорость развития до фазы «колошение» линий Римакс и Рико, причем каждая линия имеет по одной паре таких генов.

В вегетационном опыте в условиях длинного дня среди 70 растений  $F_2$  комбинации скрещивания Рико × Римакс обнаружено 6 более скороспелых растений, чем родительские формы. В  $F_3$  гибридов было изучено потомство 12 растений с быстрым развитием до колошения, в том числе 6 уже выделенных в  $F_2$  по скороспелости. Как оказалось, у потомств 6 растений период до колошения (размах варьирования:  $25,8 \pm 0,26$  –  $27,3 \pm 0,97$  суток) достоверно меньше величины этого признака у линий Римакс ( $27,8 \pm 0,60$ ) и Рико ( $28,2 \pm 0,57$ ). Вариация величины периода «всходы – колошение» потомств других 6 исследованных потомств растений  $F_2$  была в пределах изменчивости признака родительских форм. То есть выделение в  $F_2$  более скороспелых растений по отношению к остальным фенотипам популяции  $F_2$  Рико × Римакс являлось правомерным. Отношение объемов двух классов,

6 : 64, достоверно не отличается от ожидаемого 4,38 : 65,62 (1 : 15;  $\chi^2_{1;15} = 0,64$ ) при взаимодействии двух независимых генов. Такой вывод не противоречит результатам анализа  $F_2$  и  $F_3$  гибридов комбинации скрещивания Рико × Римакс в полевом эксперименте.

Согласно родословной линии Римакс, источником высокой скорости развития до колошения является генотип линии Рико. В результате рекомбинации у гибридов Рико × Мах ген, отвечающий за высокую скорость развития линии Римакс, оказался в другой группе сцепления, чем у Рико, или в одной, но на расстоянии, чтобы мог проходить кроссинговер. В этом смысле гены высокой скорости развития Рико и Римакс можно определить как дублированные.

Несколько иной результат получен в условиях короткого 12-часового дня (табл. 3). В этом случае отмечен иной характер распределения фенотипов гибридной популяции  $F_2$  Рико × Римакс: по сравнению с вариантом «длинный день» оно оказалось несколько сдвинутым в сторону позднеспелых форм и при том обнаружилось, как и в первом варианте, пять четко тестируемых групп фенотипов с разным объемом (см. табл. 2). С формальной точки зрения, соотношение этих групп удовлетворяет теоретическому отношению 3,6 : 14,5 : 21,7 : 14,5 : 3,7 (1 : 4 : 6 : 4 : 1;  $\chi^2 = 3,03$ ;  $\chi^2_{0,05} = 9,48$ ), что можно интерпретировать как проявление кумулятивной полимерии (Tikhomirova, 1990). Необходимо отметить, что в условиях длинного естественного дня среди 70 растений  $F_2$  Рико × Римакс можно выделить 5 четких групп фенотипов в соотношении 6 : 35 : 21 : 4 : 4, но это соотношение достоверно различается с ожидаемым 4,4 : 17,6 : 26,4 : 17,6 : 4,4 (1 : 4 : 6 : 4 : 1;  $\chi^2 = 29,41$ ;  $\chi^2_{0,05} = 9,48$ )

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что условия короткого фотопериода влияют на взаимодействие генов Римакс и Рико, детерминирующих высокую скорость их развития.

**Таблица 3. Распределение растений  $F_2$  Рико × Римакс и родителей по продолжительности периода «всходы – колошение» в условиях длинного 18-часового и короткого 12-часового дня**  
(Пушкин, вегетационный опыт, 2018 г.)

**Table 3. Distribution of  $F_2$  Rico × Rimax plants and parents according to the length of the period from germination to heading under the conditions of a long 18-hour and short 12-hour day** (vegetative experiment, Pushkin, 2018)

Вариант	Линия, гибрид	Всего растений	в том числе с периодом «всходы – колошение», суток						
			28	29	30	31	32	33	34
Длинный день	Рико	29	–	13	14	2	–	–	–
	Римакс	25	–	14	10	1	–	–	–
	$F_2$ Рико × Римакс / $F_2$ Rico × Rimax	70	6	35	21	4	4	–	–
Короткий день	Рико	13	–	–	–	4	7	2	–
	Римакс	16	–	–	–	5	9	2	–
	$F_2$ Рико × Римакс / $F_2$ Rico × Rimax (фактическое)	58	–	–	6	18	19	12	3
	$F_2$ Рико × Римакс (теоретическое)	58	–	–	3,6	14,5	21,7	14,5	3,7

Особенности морфологии и элементов продуктивности линий Римакс и Рико в целом характерны для ультра-скороспелых образцов яровой мягкой пшеницы: средняя высота растений и длина колоса, невысокая зерновая продуктивность (табл. 4).

кой скоростью развития в период до колошения среди всех изученных образцов коллекции генетических ресурсов яровой пшеницы ВИР. Линии на 14–15 суток скороспелее районированного по региону сорта Ленинградская 6'.

**Таблица 4. Элементы морфологии и продуктивности ультра-скороспелых линий мягкой пшеницы в сравнении с сортом Ленинградская 6' (Пушкин, 2017–2019)**

**Table 4. Elements of morphology and productivity in ultra-early bread wheat lines compared with cv. 'Leningradskaya 6' (Pushkin, 2017–2019)**

Номер по каталогу ВИР	Линия, сорт	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерен с колоса, г
67257	Римакс	68	6,1 ± 0,18	27,7 ± 1,5	39,3 ± 1,7	1,11 ± 0,01
65588	Рико	73	6,4 ± 0,17	23,4 ± 1,5	46,2 ± 1,6	1,11 ± 0,01
64900	Ленинградская 6	92	9,1 ± 0,37	40,4 ± 2,8	42,2 ± 2,4	1,72 ± 0,14

Линия Рико, в отличие от линии Римакс, имеет более крупное зерно и по этому признаку превосходит сорт Ленинградская 6'. Предыдущими исследованиями гибридов  $F_2$  –  $F_3$  Рико с 'Forlani Roberto' (к-42641, var. *erythroleucum*, Италия) показана возможность преодоления отрицательной корреляции между скороспелостью и высокой продуктивностью, отобраны ультра-скороспелые линии Рифор (к-67120, 67121, 67249 ... 67256), которые в определенных условиях среды могут конкурировать с сортом Ленинградская 6' (Rigin et al., 2018).

Таким образом, линии Римакс и Рико, как ультра-скороспелые образцы, являются ценным исходным материалом для селекции мягкой пшеницы на скороспелость.

#### Заключение

В условиях Северо-Запада России (Ленинградская область) линии Римакс (к-67257, var. *lutescens*) и Рико (к-65588, var. *erythrosperrum*) характеризуются самой высо-

кой скоростью развития в период до колошения среди этих линий связана с экспрессией гена *Eps*, контролирующего скороспелость *per se*, и что в генотипах Римакс и Рико этот ген присутствует.

В генотипах Римакс и Рико обнаружены три неаллельных доминантных гена *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, контролирующих реакцию на яровизацию, и аллель *Ppd-D1*, ответственный за фотопериодическую нечувствительность. В линии Римакс, как менее отселектированной формы, чем Рико, найдены подлинники, которые характеризуются наличием разных аллелей генов *Ppd-D1* и *Vrn-B1*.

В условиях естественного длинного дня в популяции гибридов  $F_2$  ( $F_3$ ) Рико × Римакс наблюдали отношение фенотипов с высокой скоростью развития к более позднеспелым растениям как 1 : 15. Таким образом, ультра-скороспелые линии Римакс и Рико имеют две пары независимых дуплицированных генов, которые локализованы в разных хромосомах или в одной, но на дальнем рас-

стоянии. На фоне короткого фотопериода гены Римакс и Рико, детерминирующие высокую скорость развития, могут взаимодействовать по типу кумулятивной полимерии.

Особенности морфологии и элементов продуктивности линий Римакс и Рико в целом характерны для ультраскороспелых образцов яровой мягкой пшеницы: средняя высота растений и длина колоса, невысокая зерновая продуктивность. Линия Рико имеет более крупное зерно и по этому признаку превосходит сорт-стандарт Ленинградская 6'.

Особенности генетической структуры Римакс и Рико, определяющей высокую скорость развития (разная локализация генов, детерминирующих этот признак, наличие различных аллелей *Ppd-D1* и *Vrn-B1* в генотипе Римакс), использование каждой из них в качестве исходного материала в селекции, вполне возможно, приведет к разным результатам рекомбинационного процесса и выходу хозяйственно ценных ультраскороспелых рекомбинантов.

Ультраскороспелые линии Римакс и Рико за счет высокой скорости развития в период до колошения являются ценным исходным материалом для селекции мягкой пшеницы.

---

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2020-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».*

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0006 "Search for and viability maintenance, 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".*

---

### References / Литература

- Beales J., Turner A., Griffiths S., Snape J., Laurie D. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;115(5):721-733. DOI: 10.1007/s00122-007-0603-4
- Fu D., Szucs P., Yan L., Helguera M., Skinner J.S., von Zitzewitz J. et al. Large deletions within the first intron in *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat. *Molecular Genetics and Genomics*. 2005;273(1):54-65. DOI: 10.1007/s00438-004-1095-4
- Goncharov N.P. Genetics of growth habit (spring vs winter) in common wheat: Confirmation of the existence of dominant gene *Vrn4*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;107(4):768-772. DOI: 10.1007/s00122-003-1317-x
- Graner A., Jahoor A., Schondelmaier J., Siedler H., Pillen K., Fischbeck G. et al. Construction of an RFLP map of barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 1991;83(2):250-256. DOI: 10.1007/BF00226259
- Karamyshev R.M. Inheritance of the period from germination to earing in  $F_1$  and  $F_2$  when crossing ultra-early ripening varieties of spring bread wheat of different geographic origin (short messages). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1984;85:97-98. [in Russian] (Карамышев Р.М. Наследование периода от всходов до колошения в  $F_1$  и  $F_2$  при скрещивании ультраскороспелых сортов яровой мягкой пшеницы разного географического происхождения (краткие сообщения). *Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1984;85:97-98).
- Kiseleva A.A., Salina E.A. Genetic regulation of common wheat heading time. *Russian Journal of Genetics*. 2018;54(4):375-388. DOI: 10.1134/S1022795418030067
- Koshkin V.A. Methodical approaches of diagnosis of photoperiodical sensitivity and earliness of plants. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:118-129. [in Russian] (Кошкин В.А. Методические подходы в диагностике фотопериодической чувствительности и скороспелости растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:118-129).
- Koval' S.F. The catalog of near-isogenic lines of Novosibirskaya-67 common wheat and principles of their use in experiments. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(8):995-1000.
- Lewis S., Faricelli M.E., Appendino M.L., Valárik M., Dubcovsky J. The chromosome region including the earliness *per se* locus *Eps-A<sup>m</sup>1* affects the duration of early developmental phases and spikelet number in diploid wheat. *Journal of Experimental Botany*. 2008;59(13):3595-3607. DOI: 10.1093/jxb/ern209
- Potokina E.K., Koshkin V.A., Alekseeva E.A., Matvienko I.I., Filobok V.A., Bepalova L.A. The combination of the *Ppd* and *Vrn* gene alleles determines the heading date in common wheat varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;2(4):311-318. DOI: 10.1134/S2079059712040089
- Rigin B.V., Pyzhenkova Z.S. The genes controlling vernalization response and earliness *per se* in ultra-early forms of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 2011;168:39-49. [in Russian] (Ригин Б.В., Пыженкова З.С. Гены, контролирующие реакцию на яровизацию и скороспелость *per se* ультраскороспелых форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;168:39-49).
- 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 представителей 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., 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

- Shcherban A.B., Efremova T.T., Salina E.A. Identification of a new *Vrn-B1* allele using two near-isogenic wheat lines with difference in heading time. *Molecular Breeding*. 2012;29(3):675-685. DOI: 10.1007/s11032-011-9581-y
- Tikhomirova M.M. Genetic analysis (Geneticheskiy analiz). Leningrad: Leningrad State University; 1990. [in Russian] [Тихомирова М.М. Генетический анализ. Ленинград: ЛГУ; 1990].
- Vrazhnov V.A., Koshkin V.A., Rigin B.V., Potokina E.K., Tyunin V.A., Shreider E.R. et al. Ecological testing of ultra-early common wheat forms under various photoperiod conditions. *Russian Agricultural Sciences*. 2012;28(2):79-85. DOI: 10.3103/S106836741202022X
- Yan L.D., Helguera M., Kato K., Fukuyama S., Sherman J., Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN1* 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;120:543-552. DOI: 10.1007/s00122-009-1174-3
- Zaitsev G.N. Mathematical statistics in experimental botany (Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] [Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1984].
- Zaitseva O.I., Lemesh V.A. Allelic composition in the *VRN-A1*, *VRN-B1*, and *VRN-B3* genes of double haploid lines of hexaploid triticale. *Russian Journal of Genetics*. 2015;51(7):653-660. DOI: 10.1134/S1022795415070145
- 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
- Zlotina M.M., Kiseleva A.A., Potokina E.K. The use of allele-specific markers of the *VRN* and *PPD* genes for express diagnostics of photoperiodic sensitivity and the need for vernalization of bread wheat and barley (Ispolzovaniye allel-spetsifichnykh markerov genov *VRN* i *PPD* dlya ekspress-diagnosticski fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti i potrebnosti v yarovizatsii myagkoy pshenitsy i yachmenya). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Злотина М.М., Киселева А.А., Потокина Е.К. Использование аллель-специфичных маркеров генов *VRN* и *PPD* для экспресс-диагностики фотопериодической чувствительности и потребности в яровизации мягкой пшеницы и ячменя. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- 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. *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant 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 селекцентах России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:101-106).

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Ригин Б.В., Зуев Е.В., Андреева А.С., Матвиенко И.И., Пыженкова З.С. Сравнительный анализ наследования высокой скорости развития линий Римакс и Рико яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):81-88. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-81-88

Rigin B.V., Zuev E.V., Andreeva A.S., Matvienko I.I., Pyzhenkova Z.S. Comparative analysis of the inheritance of a high development rate in the Rimax and Rico lines of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):81-88. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-81-88

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-81-88>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Rigin B.V. <https://orcid.org/0000-0001-9848-5795>  
 Zuev E.V. <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>  
 Andreeva A.S. <https://orcid.org/0000-0002-6754-2897>  
 Matvienko I.I. <https://orcid.org/0000-0001-8233-5047>  
 Pyzhenkova Z.S. <https://orcid.org/0000-0003-3533-0352>

## Effects of the *Blp1* locus, which controls melanin accumulation in the barley ear, on the size and weight of seeds

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-89-95

УДК 574/577

Поступление/Received: 02.04.2021

Принято/Accepted: 12.05.2021

O. Y. SHOEVA<sup>1,2\*</sup>, A. Y. GLAGOLEVA<sup>1,2</sup>, T. V. KUKOEVA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology and Genetics,  
Siberian Branch of the RAS,  
10 Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia

<sup>2</sup> Kurchatov Genomic Center, Institute of Cytology and  
Genetics, Siberian Branch of the RAS,  
10 Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090, Russia

\* ✉ olesya\_ter@bionet.nsc.ru

## Влияние локуса *Blp1*, контролирующего синтез меланина в колосе ячменя, на размер и вес зерна

O. Ю. ШОЕВА<sup>1,2\*</sup>, А. Ю. ГЛАГОЛЕВА<sup>1,2</sup>, Т. В. КУКОЕВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт цитологии и генетики  
Сибирского отделения РАН,  
630090 Россия, г. Новосибирск,  
пр. Академика Лаврентьева, 10

<sup>2</sup> Курчатовский геномный центр,  
Институт цитологии и генетики  
Сибирского отделения РАН,  
630090 Россия, г. Новосибирск,  
пр. Академика Лаврентьева, 10

\* ✉ olesya\_ter@bionet.nsc.ru

**Background.** In cereals, photosynthetically active parts of the ear significantly contribute to seed size and weight at the grain-filling stage. In barley, ear tissues may accumulate melanin pigments synthesized in chloroplast-derived melanoplasts. Effects of such pigments on yield parameters of seeds have not been evaluated to date.

**Materials and methods.** Seed weight and size assessed by image analysis were compared between two near-isogenic barley lines differing in alleles of the *Blp1* gene, which determines melanin accumulation in ear tissues. Data on grain-related parameters were collected during 6 years and include data on seeds grown either in the field or under greenhouse conditions.

**Results and discussion.** A negative effect of the *Blp1* locus on the weight of 1000 seeds harvested in the field but not in the greenhouse was revealed. To determine whether this effect is related to grain size, a comparison of two-dimensional linear parameters of seeds between the lines was performed. It was shown that unlike the length and the area of seeds, the width of seeds was also negatively affected by the *Blp1* locus. Although the same factors affected the weight of 1000 seeds and the width of seeds, a correlation between them was not found, implying a dependence of seed weight on other factors such as thickness and its related parameter, seed volume.

**Conclusion.** Effects of barely ear pigmentation and of the gene controlling it on yield-related parameters of seeds were studied here for the first time. The observed negative impact of the *Blp1* locus on seed weight and size may be mediated by an interfering chloroplast activity and/or accumulation of assimilates via melanogenesis. Additional studies are necessary to test this supposition and to investigate the interaction of melanin synthesis and photosynthetic activity of the tissues accumulating this pigment.

**Key words:** *Hordeum vulgare* L., melanoplast, photosynthesis, assimilate, grain filling.

**Актуальность.** Фотосинтезирующие ткани колоса ячменя являются источниками ассимилирующих веществ, которые вносят большой вклад в формирование размера и массы зерна. У ячменя в тканях колоса могут накапливаться меланиновые пигменты, влияние которых на показатели урожайности зерна исследованы не были.

**Материалы и методы.** В работе было проведено сравнительное исследование массы и линейных размеров зерна, полученных с помощью анализа изображений, почти изогенных линий ячменя, отличающихся по локусу *Blp1*, контролирующему синтез меланиновых пигментов в тканях колоса ячменя – в цветковой чешуе, перикарпии зерна и осях.

**Результаты и обсуждение.** Было показано, что в полевых условиях локус *Blp1* отрицательно влияет на массу 1000 зерен. Чтобы определить обусловлен ли наблюдаемый эффект уменьшением размеров зерна, было проведено сравнение линейных параметров зерна между линиями. Было показано, что, в отличие от длины и площади семян, локус *Blp1* отрицательно влияет на ширину семян. Несмотря на то что на массу и ширину зерна влияли одни и те же факторы, корреляции между этими параметрами выявлено не было, что, возможно, связано с зависимостью массы зерна от других параметров, например толщины и связанного с ней объема зерна.

**Заключение.** Впервые было проведено исследование роли пигментов и контролирующих их формирование генов на показатели продуктивности зерна. Обнаруженный отрицательный эффект локуса *Blp1* на массу и ширину зерна может быть связан с нарушениями фотосинтетической активности и накоплением ассимилятов в зерне, вызванных синтезом меланинов в тканях колоса. Для проверки выдвинутого предположения и установления характера связи между меланогенезом и фотосинтезом необходимы дополнительные исследования.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare* L., меланопласты, фотосинтез, ассимиляты, налив зерна.

## Introduction

The size and weight of barley grains are agronomically important traits that significantly contribute to the final yield. These traits are determined by linear parameters of seeds: length, width, and thickness as well as the degree of grain filling (Zhang et al., 2012). They are considered the primary traits for crop domestication and artificial breeding. Modern barley varieties have larger grains as compared to their ancestors (Hughes et al., 2019). Although grain size and weight have a favorable influence on seedling vigor and yield, including malt yields and feed production capacity, little is known about the genes that determine these parameters in barley. Some attempts have been made to clarify the genetic control of these traits. Quantitative trait loci and hotspots for grain size and weight are reported to be distributed on all seven chromosomes (Ayoub et al., 2002; Walker et al., 2013; Wang et al., 2019). Additionally, several genes have been identified that affect barley grain size or weight, e.g., *Nud* (Taketa et al., 2008), *Int-c* (Ramsay et al., 2011), *Vrs1* (Sakuma et al., 2017), *Vrs2* (Youssef et al., 2017), *Vrs3* (Bull et al., 2017), and *Vrs4* (Koppolu et al., 2013).

Besides the aforementioned genetic factors, grain yield parameters in cereals are influenced by plant nutrition during the grain-filling stage. Photosynthetically active organs of the ear such as lemmas, paleas, glumes, and awns may significantly contribute to grain size and weight (Brazel, Ó'Maoiléidigh, 2019). For example, in wheat, the ear contributes 45–65% of grain filling whereas the rest of the above-ground parts of the plant contribute 35–69% (Sanchez-Bragado et al., 2016). Although awn length not always contributes to an enhanced grain yield, reduced awn size correlates with a reduction in individual grain size and an increased number of shriveled grains (Rebetzke et al., 2016).

Some specimens of barley can accumulate melanin pigments in such ear tissues as the grain pericarp, husks, and awns (Shoeva et al., 2020). This trait is under the control of the *Blp1* (*Black lemma and pericarp 1*) locus mapped to chromosome 1HL (Long et al., 2019). Because melanin accumulates at the grain-filling stage, which is crucial for grain size development, this pigment is assumed to affect grain yield-associated traits. To test the impact of the *Blp1* locus on the size and weight of barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds, a comparative analysis of these traits between two near-isogenic lines (NILs) having different alleles of the *Blp1* locus was carried out in this study.

## Material and methods

### Plant material and growth conditions

Spring barley cv. 'Bowman' ('Bowman From Fargo', NGB22812, www.nordgen.org) and its NIL i:Bw*Blp1* (NGB20470) developed for the *Blp1* locus controlling melanin accumulation in spike tissues – the grain pericarp, husks, and awns (Figure) (Druka et al., 2011) – were grown either in a greenhouse of the ICG SB RAS (Novosibirsk, Russia) under a 12 h photoperiod in a temperature range of 20–25°C in autumn (from October to January) or spring (from February to May) vegetation seasons or in the experimental field of the ICG Breeding Genetic Complex (Novosibirsk, N54.847102, E83.127422). During 2015–2020, seeds of both lines were collected and subjected to the comparative analysis. In total, data on 14 trials (seed weight measurement; each trial corresponds to a distinct vegetation season and study site; Table 1) and 12 trials (measurement of all other parameters; Table 2) were collected including data on 6-year observations of the plants under field conditions and 4- or 3-year observations in autumn and spring vegetation seasons in the greenhouse.



**Figure.** Ears of 'Bowman' (top) and its NIL i:Bw*Blp1* (bottom) at the full-maturity stage  
**Рисунок.** Колос ячменя сорта 'Bowman' (сверху) и его почти изогенной линии i:Bw*Blp1* (снизу) на стадии полной спелости зерна

**Table 1. The weight of 1000 seeds in 'Bowman' and i:BwBlp1****Таблица 1. Показатели массы 1000 зерен сорта 'Bowman' и линии i:BwBlp1**

Year	Growth conditions	Bowman	i:BwBlp1	p-value	Significant difference
2015	field	58.7 ± 0.8	53.0 ± 0.3	0.0495	yes
	greenhouse, S	47.1 ± 0.1	45.7 ± 2.2	0.5127	no
2016	field	58.6 ± 0.7	50.6 ± 2.7	0.0495	yes
	greenhouse, A	54.4 ± 0.8	41.4 ± 0.8	0.0495	yes
2017	field	57.1 ± 1.0	57.0 ± 0.3	0.8273	no
2018	field	49.6 ± 0.6	47.4 ± 0.3	0.0495	yes
	greenhouse, S	44.7 ± 0.7	44.0 ± 0.2	0.1840	no
	greenhouse, A	46.6 ± 1.2	47.2 ± 0.3	0.8222	no
2019	field	47.3 ± 0.1	45.4 ± 0.4	0.0431	yes
	greenhouse, S	46.0 ± 0.7	53.4 ± 0.7	0.0495	yes
	greenhouse, A	36.2 ± 1.3	39.4 ± 1.5	0.0495	yes
2020	field	48.1 ± 0.7	47.5 ± 0.5	0.5127	no
	greenhouse, S	49.4 ± 1.7	45.0 ± 1.1	0.0495	yes
	greenhouse, A	37.9 ± 0.1	44.6 ± 0.0	0.0339	yes

Note: mean of three biological replicates ± standard deviation, in grams; differences are significant at  $p \leq 0.05$ , *U* test; A: autumn; S: spring  
 Примечание: среднее значение трех биологических повторений ± стандартное отклонение, в граммах; различия значимы при  $p \leq 0.05$ , *U*-критерий Манна-Уитни; A: осенняя вегетация; S: весенняя вегетация

**Table 2. The linear parameters and weight of 30 seeds in 'Bowman' and i:BwBlp1****Таблица 2. Линейные размеры и масса 30 зерен сорта 'Bowman' и линии i:BwBlp1**

Year	Growth conditions	Parameter	Bowman	i:BwBlp1	p-value	Significant difference
2015	field	length, mm	7.50 ± 0.25	7.59 ± 0.16	0.6015	no
		width, mm	3.43 ± 0.11	3.07 ± 0.05	0.0086	yes
		area, mm <sup>2</sup>	19.48 ± 1.20	17.97 ± 0.62	0.0163	yes
		mass, g	1.76 ± 0.04	1.56 ± 0.05	0.0082	yes
2016	field	length, mm	7.79 ± 0.25	7.67 ± 0.11	0.2506	no
		width, mm	3.28 ± 0.09	3.12 ± 0.06	0.0163	yes
		area, mm <sup>2</sup>	19.70 ± 1.00	18.41 ± 0.10	0.1172	no
		mass, g	1.59 ± 0.07	1.53 ± 0.05	0.1161	no
2017	field	length, mm	7.51 ± 0.19	8.06 ± 0.23	0.0163	yes
		width, mm	3.15 ± 0.03	3.20 ± 0.07	0.1172	no
		area, mm <sup>2</sup>	18.31 ± 0.55	19.85 ± 0.90	0.0163	yes
		mass, g	1.47 ± 0.03	1.65 ± 0.07	0.0088	yes
2018	field	length, mm	9.89 ± 0.28	9.27 ± 0.35	0.0283	yes
		width, mm	3.67 ± 0.10	3.38 ± 0.10	0.0090	yes
		area, mm <sup>2</sup>	27.49 ± 1.57	23.89 ± 1.41	0.0283	yes
		mass, g	1.51 ± 0.05	1.44 ± 0.02	0.0350	yes

**Table 2. The end**  
**Таблица 2. Окончание**

Year	Growth conditions	Parameter	Bowman	<i>i:BwBlp1</i>	<i>p</i> -value	Significant difference
2018	greenhouse, S	length, mm	7.44 ± 0.82	8.00 ± 0.51	0.1172	no
		width, mm	3.33 ± 0.39	3.36 ± 0.13	0.9168	no
		area, mm <sup>2</sup>	18.86 ± 4.45	20.46 ± 1.98	0.7540	no
		mass, g	1.39 ± 0.04	1.33 ± 0.04	0.0356	yes
	greenhouse, A	length, mm	7.87 ± 0.76	8.56 ± 0.19	0.0283	yes
		width, mm	3.50 ± 0.36	3.66 ± 0.12	0.2506	no
		area, mm <sup>2</sup>	21.00 ± 3.83	24.07 ± 1.21	0.0472	yes
		mass, g	1.42 ± 0.02	1.46 ± 0.03	0.0555	no
2019	field	length, mm	9.18 ± 0.10	8.67 ± 0.34	0.0163	yes
		width, mm	3.40 ± 0.12	3.30 ± 0.13	0.1172	no
		area, mm <sup>2</sup>	23.66 ± 1.08	21.91 ± 1.78	0.1172	no
		mass, g	1.44 ± 0.03	1.35 ± 0.04	0.0278	yes
	greenhouse, S	length, mm	7.97 ± 0.13	9.45 ± 0.20	0.0090	yes
		width, mm	3.63 ± 0.11	3.53 ± 0.04	0.1172	no
		area, mm <sup>2</sup>	21.46 ± 0.82	25.48 ± 0.65	0.0090	yes
		mass, g	1.39 ± 0.09	1.60 ± 0.04	0.0090	yes
	greenhouse, A	length, mm	7.71 ± 0.34	7.72 ± 0.47	0.7540	no
		width, mm	3.37 ± 0.21	3.09 ± 0.20	0.0758	no
		area, mm <sup>2</sup>	19.49 ± 2.00	18.35 ± 2.27	0.6015	no
		mass, g	1.12 ± 0.05	1.19 ± 0.03	0.0723	no
2020	field	length, mm	8.44 ± 0.35	8.03 ± 0.47	0.0758	no
		width, mm	3.58 ± 0.13	3.39 ± 0.17	0.0758	no
		area, mm <sup>2</sup>	23.05 ± 1.77	20.86 ± 2.38	0.1172	no
		mass, g	1.44 ± 0.04	1.42 ± 0.06	0.2933	no
	greenhouse, S	length, mm	8.34 ± 0.95	8.03 ± 0.35	0.1172	no
		width, mm	3.60 ± 0.26	3.39 ± 0.20	0.1172	no
		area, mm <sup>2</sup>	22.32 ± 3.87	20.85 ± 2.02	0.1745	no
		mass, g	1.50 ± 0.06	1.38 ± 0.03	0.0090	yes
	greenhouse, A	length, mm	7.78 ± 0.47	7.73 ± 0.45	0.7540	no
		width, mm	3.36 ± 0.13	3.22 ± 0.12	0.0758	no
		area, mm <sup>2</sup>	19.40 ± 1.80	19.21 ± 1.91	0.9168	no
		mass, g	1.15 ± 0.05	1.31 ± 0.04	0.0090	yes

Note: mean of five biological replicates ± standard deviation; differences are significant at  $p \leq 0.05$ , *U* test; A: autumn; S: spring

Приложение: среднее значение пяти биологических повторений ± стандартное отклонение; различия значимы при  $p \leq 0.05$ , *U*-критерий Манна-Уитни; A: осенняя вегетация; S: весенняя вегетация

### Evaluation of grain yield-associated traits

The weight of 1000 seeds was measured in triplicate (three biological replicates) in each trial. Linear parameters of seeds (length, width, and area) were measured in five biological replicates with 30 seeds per replicate using the Seed-Counter application for Android (Komyshev et al., 2017). The same 30 seeds were weighed in each replicate. The significance ( $p \leq 0.05$ ) of differences in parameters between the two lines was assessed by the nonparametric Mann–Whitney  $U$  test. The nonparametric Kruskal–Wallis  $H$  test was performed for determining the influence of factors “growth conditions” (greenhouse or field), “year” (field conditions in a distinct year) and “genotype” (‘Bowman’ or *i:BwBlp1*) on seed size parameters. Correlations between the linear parameters of seeds and their weight were evaluated by means of Spearman’s rank correlation coefficient. Statistical analysis of the resulting data was carried out in Statistica v.6.1 (StatSoft Inc., 2004).

## Results

### The weight of 1000 seeds

These data were collected for the NILs grown under the field or greenhouse conditions during 6 consecutive years (Table 1). The parameter was within ranges 36.2–58.7 and 39.4–57.0 g in ‘Bowman’ and *i:BwBlp1*, respectively. ‘Bowman’ was found to have heavier seeds in comparison with the *i:BwBlp1* line in 10 of 14 trials, and in six of them, the differences in the weight of 1000 seeds were statistically significant including four field trials (Table 1).

One-way ANOVA on ranks was conducted to evaluate the effects of different factors on the weight of 1000 seeds (Supplementary Materials, Table S1)<sup>1</sup>. It was revealed that growth conditions and the year significantly affected this parameter when assessed either in the whole dataset of 14 trials or in the datasets of ‘Bowman’ and *i:BwBlp1* separately. We showed that on average, both genotypes have heavier seeds when harvested from the plants grown under field conditions in comparison with those grown in the greenhouse (Supplementary Materials, Table S2). Under the field conditions, the genotype affected the weight of 1000 seeds significantly. Independent on years being compared ‘Bowman’ seeds harvested from the plants grown under the field conditions were on average heavier than *i:BwBlp1* seeds (Supplementary Materials, Table S3). Under the greenhouse conditions, the influence of factor genotype on this parameter was not detectable in the combined dataset of spring and autumn vegetation seasons and in the separate datasets of these vegetation seasons. In dependence on years being compared, greenhouse-harvested ‘Bowman’ seeds were more often either heavier or lighter in weight and in some cases did not differ from greenhouse-harvested *i:BwBlp1* seeds (Supplementary Materials, Table S3).

### Linear parameters of seeds

The length of seeds varied within ranges 7.44–9.89 and 7.59–9.45 mm in ‘Bowman’ and *i:BwBlp1*, respectively (Table 2). ‘Bowman’ was found to have longer seeds in comparison with the *i:BwBlp1* line in 6 of 12 trials, and in two of them, the differences in the length of seeds were statistically significant, while in three trials, *i:BwBlp1* had significantly longer seeds in comparison with ‘Bowman’. In 7 of 12 trials, the differences in the seed length between the lines were not significant. Factors growth conditions and genotype did not affect this parameter, while the year did, both in ‘Bowman’ and in

*i:BwBlp1* (Supplementary Materials, Table S1). In dependence on years being compared, the seeds of both genotypes either were longer or did not differ when harvested from the plants grown under the field conditions in comparison with those grown in the greenhouse. In a few cases only, the seeds harvested in the greenhouse were longer in comparison with those harvested under the field conditions (Supplementary Materials, Table S4). In dependence on years being compared, ‘Bowman’ seeds were either longer or shorter or did not differ from *i:BwBlp1* seeds when harvested in the field, but there were no ‘Bowman’ seeds longer than *BwBlp1* seeds when harvested in the greenhouse (Supplementary Materials, Table S5).

The width of seeds was within ranges 3.15–3.67 and 3.07–3.66 mm in ‘Bowman’ and *i:BwBlp1*, respectively (Table 2). The seeds harvested from ‘Bowman’ plants were wider than *i:BwBlp1* seeds in 9 of 12 trials, and in three of them, the differences were statistically significant (Table 2). Unlike the length of seeds, the width was influenced by the growth conditions, year, and genotype (Supplementary Materials, Table S1). For both lines, grains were either wider or did not differ when harvested from plants grown in the greenhouse than in the field; only in a few cases, the seeds harvested in the field were wider than those harvested in the greenhouse (Supplementary Materials, Table S6). In dependence on years being compared, Bowman seeds were more often wider than *i:BwBlp1* seeds when harvested in the field, while they did not differ more often from *i:BwBlp1* seeds harvested in the greenhouse; in a few cases only, *i:BwBlp1* seeds were wider than ‘Bowman’ seeds (Supplementary Materials, Table S7).

The area of seeds varied within ranges 18.31–27.49 and 17.97–25.48 in ‘Bowman’ and in the *i:BwBlp1* line, respectively. ‘Bowman’ was found to have larger seeds in comparison with the *i:BwBlp1* line in eight of 12 trials, and in two of them, the differences were statistically significant (Table 2). As in the case of seed length, the growth conditions and genotype did not affect seed area, while the year did, both in ‘Bowman’ and in *i:BwBlp1* (Supplementary Materials, Table S1). In dependence on years being compared, field-harvested ‘Bowman’ seeds were more often either larger or did not differ from greenhouse-harvested seeds, while *BwBlp1* seeds harvested in the greenhouse were more often either larger or did not differ from seeds harvested in the field (Supplementary Materials, Table S8). ‘Bowman’ seeds were more often larger or did not differ from *i:BwBlp1* seeds when harvested in the field, while ‘Bowman’ seeds were more often smaller or did not differ from *i:BwBlp1* seeds when harvested in the greenhouse (Supplementary Materials, Table S9).

A moderate positive correlation between the length and width of seeds ( $r_s = 0.70$ ,  $p < 0.0001$ ) was revealed. Seed area positively correlated with seed length ( $r_s = 0.95$ ,  $p < 0.0001$ ) and width ( $r_s = 0.86$ ,  $p < 0.0001$ ), while seed weight did not show associations with any linear parameters of the seeds.

## Discussion

Plant melanin can accumulate in covering tissues of seeds, where its role is not obvious at present. According to summarized data reviewed by Glagoleva et al. (2020), melanin is not essential for plants, but under some conditions, it can give them some advantages. For instance, melanin can confer more vigor on seeds, as in brown seeds of watermelon, which are heavier and have higher germination and emergence percentages and seedling fresh and dry weights relative to light-colored seeds (Mavi, 2010). There have been attempts to determine the function of melanin pigments accumulating in

<sup>1</sup> Electronic supplementary material. The online version of this article (<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-89-95>)

barley seeds during exposure to salinity, drought, or cadmium toxicity in the same genetic model of NILs differing in grain color that are used in the current study. The results indicated that melanin does not give any advantages to barley seedlings under the stressful conditions tested (Glagoleva et al., 2020).

Recently, the localization of the melanin pigment in aging chloroplasts of pericarp and husk tissues was identified in barley seeds (Shoeva et al., 2020). Dynamics of melanin pigmentation development coincided with the grain-filling stage. This finding suggests that melanin can affect photosynthetic activity of ear tissues accumulating it and, as a consequence, some parameters of seeds.

To identify a possible effect of melanin itself or the gene that determines its accumulation on grain weight and size, a comparative study of two NILs differing in grain color was carried out here. Datasets on the weight of 1000 seeds and linear parameters of seeds were collected, respectively, for 14 and 12 trials (Tables 1, 2, respectively) including 6-year observations on the seeds harvested in the field.

The observed impact of growth conditions in a given year on seed weight and size in both studied genotypes ('Bowman' and its NIL i:BwBlp1) was an expected one, while the effect of the *Blp1* locus (controlling melanin accumulation in the barley ear) on these parameters was shown for the first time. The negative effect of melanin accumulation in ear tissues on the weight of 1000 seeds was small and depended on growth conditions: it was more pronounced in seeds harvested in the field but not in the greenhouse. To determine whether this effect on weight is related to grain size, a comparison of two-dimensional linear parameters of seeds between the NILs was performed here by image analysis.

Unlike seed length and area, the width of seeds was affected by factor genotype. The parameter was on average greater in noncolored 'Bowman' than in the black-grained line. Even though the same factors affected the weight of 1000 seeds and seed width, there was no correlation between these parameters. Moreover, seed weight did not correlate with any two-dimensional linear parameters of seeds (length, width, and area of seeds), while there were strong positive correlations among the linear parameters. Earlier, a dependence of the volume of wheat and barley seeds on the death and to a lesser extent on the width of seeds was demonstrated (Hughes et al., 2019). Different contributions of morphometric parameters to seed shape and as a consequence to seed volume and weight may explain the absence of associations between seed weight and the two-dimensional parameters of seeds assessed here.

The size of seeds is determined by the accumulation of assimilates originating from photosynthetically active tissues of plants, including ear tissues such as the husk and awns (Brazel, Ó'Maoiléidigh, 2019). As a possible explanation of the negative impact of melanogenesis on the weight and size of barley seeds, one can consider declining photosynthetic processes in chloroplasts of the ear tissues accumulating melamins. This notion is supported by downregulation of photosynthesis-related genes in the melanin-accumulating i:BwBlp1 line in comparison to control 'Bowman' plants as evidenced by high-throughput RNA sequencing (Glagoleva et al., 2017).

### Conclusion

For the first time, attempts were undertaken to evaluate the influence of pigmentation and of the gene controlling it on yield-related parameters of seeds such as weight and size. Some negative effects of melanin presence in ear tis-

ues on the weight of 1000 seeds and their width were identified. The negative effect of the *Blp1* locus on seed weight and size did not manifest itself in all trials (i.e., vegetation seasons and study sites) and was dependent on growth conditions in different years. The observed negative impact of the *Blp1* locus on seed weight and size may be mediated by an interfering chloroplast activity and/or by the accumulation of assimilates via melanogenesis. Additional research is necessary to investigate the interaction of melanin synthesis and photosynthetic activity of the tissues accumulating this pigment.

*The study was funded by the Russian Science Foundation, Grant No. 19-76-00018. The growing of barley plants at the Greenhouse Facility was supported by ICG SB RAS Project No. 0259-2021-0012.*

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант №19-76-00018. Выращивание растений в тепличном комплексе ЦКП «Ливр» было поддержано бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН №0259-2021-0012.*

### References / Литература

- Ayoub M., Symons J., Edney J., Mather E. QTLs affecting kernel size and shape in a two-rowed by six-rowed barley cross. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105:237-247. DOI: 10.1007/s00122-002-0941-1
- Brazel A.J., Ó'Maoiléidigh D.S. Photosynthetic activity of reproductive organs. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(6):1737-1754. DOI: 10.1093/jxb/erz033
- Bull H., Casao M.C., Zwirek M., Flavell A.J., Thomas W.T.B., Guo W.B. et al. Barley *SIX-ROWED SPIKE3* encodes a putative Jumonji C-type H3K9me2/me3 demethylase that represses lateral spikelet fertility. *Nature Communications*. 2017;8:936. DOI: 10.1038/s41467-017-00940-7
- Druka A., Franckowiak J., Lundqvist U., Bonar N., Alexander J., Houston K. et al. Genetic dissection of barley morphology and development. *Plant Physiology*. 2011;155(2):617-627. DOI: 10.1104/pp.110.166249
- Glagoleva A.Y., Shmakov N.A., Shoeva O.Y., Vasiliev G.V., Shatskaya N.V., Börner A. et al. Metabolic pathways and genes identified by RNA-seq analysis of barley near-isogenic lines differing by allelic state of the *Black lemma* and *pericarp (Blp)* gene. *BMC Plant Biology*. 2017;17 Suppl 1:182. DOI: 10.1186/s12870-017-1124-1
- Glagoleva A.Y., Shoeva O.Y., Khlestkina E.K. Melanin pigments in plants: current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:770. DOI: 10.3389/fpls.2020.00770
- Hughes N., Oliveira H.R., Fradgley N., Corke F.M.K., Cockram J., Doonan J.H. et al.  $\mu$ CT trait analysis reveals morphometric differences between domesticated temperate small grain cereals and their wild relatives. *The Plant Journal*. 2019;99(1):98-111. DOI: 10.1111/tjp.14312
- Komyshv E., Genaev M., Afonnikov D. Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping. *Frontiers Plant Science*. 2017;7:1990. DOI: 10.3389/fpls.2016.01990
- Koppolu R., Anwar N., Sakuma S., Tagiri A., Lundqvist U., Pourkheirandish M. et al. *Six-rowed spike4 (Vrs4)* controls spikelet determinacy and row-type in barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

- States of America*. 2013;110(32):13198-13203. DOI: 10.1073/pnas.1221950110
- Long Z., Jia Y., Tan C., Zhang X-Q., Angessa T., Broughton S. et al. Genetic mapping and evolutionary analyses of the black grain trait in barley. *Frontiers in Plant Science*. 2019; 9:1921. DOI: 10.3389/fpls.2018.01921
- Mavi K. The relationship between seed coat color and seed quality in watermelon Crimson sweet. *Horticultural Science*. 2010;37:62-69. DOI: 10.17221/53/2009-HORTSCI
- Ramsay L., Comadran J., Druka A., Marshall D.F., Thomas W.T.B., Macaulay M. et al. INTERMEDIUM-C, a modifier of lateral spikelet fertility in barley, is an ortholog of the maize domestication gene TEOSINTE BRANCHED 1. *Nature Genetics*. 2011;43(2):169-172. DOI: 10.1038/ng.745
- Rebetzke G.J., Bonnett D.G., Reynolds M.P. Awns reduce grain number to increase grain size and harvestable yield in irrigated and rainfed spring wheat. *Journal of Experimental Botany*. 2016;67(9):2573-2586. DOI: 10.1093/jxb/erw081
- Sakuma S., Lundqvist U., Kakei Y., Thirulogachandar V., Suzuki T., Hori K. et al. Extreme suppression of lateral floret development by a single amino acid change in the VRS1 transcription factor. *Plant Physiology*. 2017;175(4):1720-1731. DOI: 10.1104/pp.17.01149
- Sanchez-Bragado R., Molero G., Reynolds M.P., Araus J.L. Photosynthetic contribution of the ear to grain filling in wheat: a comparison of different methodologies for evaluation. *Journal of Experimental Botany*. 2016;67(9):2787-2798. DOI: 10.1093/jxb/erw116
- Shoeva O.Yu., Mursalimov S.R., Gracheva N.V., Glagoleva A.Yu., Börner A., Khlestkina E.K. Melanin formation in barley grain occurs within plastids of pericarp and husk cells. *Scientific Reports*. 2020;10:179. DOI: 10.1038/s41598-019-56982-y
- Taketa S., Amano S., Tsujino Y., Sato T., Saisho D., Kakeda K. et al. Barley grain with adhering hulls is controlled by an ERF family transcription factor gene regulating a lipid biosynthesis pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008;105(10):4062-4067. DOI: 10.1073/pnas.0711034105
- Walker C.K., Ford R., Muñoz-Amatriaín M., Panozzo J.F. The detection of QTLs in barley associated with endosperm hardness, grain density, grain size and malting quality using rapid phenotyping tools. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(10):2533-2551. DOI: 10.1007/s00122-013-2153-2
- Wang Q., Sun G., Ren X., Du B., Cheng Y., Wang Y. et al. Dissecting the genetic basis of grain size and weight in barley (*Hordeum vulgare* L.) by QTL and comparative genetic analyses. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:469. DOI: 10.3389/fpls.2019.00469
- Youssef H.M., Eggert K., Kopplu R., Alqudah A.M., Poursarebani N., Fazeli A. et al. VRS2 regulates hormone-mediated inflorescence patterning in barley. *Nature Genetics*. 2017;49:157-161. DOI: 10.1038/ng.3717
- Zhang X., Wang J., Huang J., Lan H., Wang C., Yin C. et al. Rare allele of *OsPPKL1* associated with grain length causes extra-large grain and a significant yield increase in rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012;109(52):21534-21539. DOI: 10.1073/pnas.1219776110

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Шоева О.Ю., Глаголева А.Ю., Кукоева Т.В. Влияние локуса *Blp1*, контролирующего синтез меланина в колосе ячменя, на размер и вес зерна. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):89-95. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-89-95

Shoeva O.Y., Glagoleva A.Y., Kukoeva T.V. Effects of the *Blp1* locus, which controls melanin accumulation in the barley ear, on the size and weight of seeds. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):89-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-89-95

#### ORCID

Shoeva O.Y. <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

Glagoleva A.Y. <https://orcid.org/0000-0002-1692-7578>

Kukoeva T.V. <https://orcid.org/0000-0002-1425-7849>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-89-95>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

**‘Таис’ – новый сорт груши для Среднего Урала**

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-96-99

УДК 634.13 (470.54-25)

Поступление/Received: 25.05.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021

**‘Tais’: a new pear cultivar for the Middle Urals****Г. Н. ТАРАСОВА, Л. А. КОТОВ, Д. Д. ТЕЛЕЖИНСКИЙ****G. N. TARASOVA, L. A. KOTOV, D. D. TELEZHINSKIY**

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН,  
620142 Россия, г. Екатеринбург,  
ул. Белинского, 112, корп. А  
✉ [sadovodnauka@mail.ru](mailto:sadovodnauka@mail.ru)

Ural Federal Agricultural Research Center,  
Ural Branch of the RAS,  
112, bldg. A, Belinskogo St.,  
Yekaterinburg 620142, Russia  
✉ [sadovodnauka@mail.ru](mailto:sadovodnauka@mail.ru)

Расширение ассортимента за счет создания новых высокоадаптивных сортов – основная задача селекции груши на Среднем Урале. Наиболее значимые хозяйственно ценные признаки: зимостойкость, урожайность, хорошее качество плодов. В настоящее время районированный сортимент для Среднего Урала включает шесть сортов. Кроме того, шесть сортов проходят Государственное сортоиспытание. Один из них – новый сорт груши ‘Таис’ (селекционный номер ДЛ-33-104), результат скрещивания Дюймовочка × Жанна д’Арк. Сорт ‘Таис’ находится в сортоизучении на Свердловской селекционной станции садоводства (г. Екатеринбург) с 2006 года. Характеризуется хорошей зимостойкостью, скороплодностью. Средняя урожайность в возрасте 10–14 лет – 94,2 ц/га, максимальная – 198,1 ц/га. Плоды желтые, хорошего сладкого вкуса, массой 94 г. Содержание сухого вещества – 11,9%, сахаров – 9,0%, титруемых кислот – 0,4%. В 2017 году по результатам многолетних исследований новый сорт груши ‘Таис’ передан в Государственное сортоиспытание.

**Ключевые слова:** *Pyrus ussuriensis*, селекция, сортоизучение, Государственное сортоиспытание.

Expanding the assortment through the development of new highly adaptable cultivars is the main task of pear breeding in the Middle Urals. The most significant agronomic traits are winter hardiness, high fruit yield, and good fruit quality. The zoned pear assortment for the Middle Urals includes six cultivars. Six more cultivars now undergo the State Variety Trials. One of them is the new pear cultivar ‘Tais’ (breeding number DL-33-104), the result of crossing Dyuymovochka × Zhanna d’Ark. Cv. ‘Tais’ has been in variety studies at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station (Yekaterinburg) since 2006. The new cultivar is characterized by good winter hardiness and productivity. The average yield at the age of 10–14 years is 9.42 tons per hectare, while the maximum yield is 19.81 t/ha. Fruits are yellow, with a good sweet taste, weighing 94 g. The content of dry matter is 11.9%, sugars 9.0%, and titratable acids 0.4%. According to the results of long-term research, the new pear cultivar ‘Tais’ was submitted to the State Variety Trials in 2017.

**Key words:** *Pyrus ussuriensis*, breeding, variety studies, State Variety Trials.

**Введение**

Сложности возделывания культуры груши на Среднем Урале обусловлены особенностями климатических условий региона. Основные лимитирующие факторы – повреждающие зимние температуры ниже –30°C; короткий вегетационный период продолжительностью 109–119 дней; низкая сумма активных температур – 1600–1800°C. (Agroclimatic conditions..., 1978). В настоящее время районированный сортимент культуры представлен шестью сортами, включенными в Государственный реестр селекционных достижений РФ в период 2002–2013 гг.: ‘Бере желтая’, ‘Талица’, ‘Добрянка’, ‘Заречная’, ‘Гвидон’, ‘Пермячка’. (State Register..., 2020). Еще шесть новых сортов проходят Государственное сортоиспытание. В их числе – сорт ‘Таис’.

**Материал и методика**

Место проведения исследований: Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, на уникальной научной установке коллекции живых растений открытого грунта «Гено-

фонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» (г. Екатеринбург).

Объект исследований – новый сорт груши ‘Таис’ (селекционный номер ДЛ-33-104), полученный от скрещивания 1995 года: Дюймовочка × Жанна д’Арк. Год посева – 1996, год вступления в плодоношение – 2004, год отбора элитного сеянца – 2004. В качестве контрольного выбран районированный сорт ‘Бережная’ (искусственная радиомутация от сорта ‘Бере желтая’) – позднего срока созревания, зимостойкий, высокоурожайный, с плодами хорошего вкуса (Sedov, 2007). Работа проводилась согласно общепринятой методике (Sedov, Ogoltsova, 1999). Растения высажены в 2006 году по схеме 6 × 2,5 м, подвой – сеянцы уссурийской груши (*Pyrus ussuriensis* Maxim.).

**Результаты и их обсуждение**

Результаты многолетних наблюдений в сравнении с контрольным сортом представлены в таблице. В условиях г. Екатеринбурга сорт ‘Таис’ характеризуется хорошей зимостойкостью на уровне контрольного сорта ‘Бережная’ (к). В 2010 году после длительных морозов в январе с минимумом –35,5°C были отмечены слабые повреждения однолетних побегов и генеративных почек

**Таблица. Основные хозяйственно-ценные признаки сорта груши 'Таис' (Екатеринбург, 2006–2019 гг.)**  
**Table. Main valuable agronomic characters of the pear cultivar 'Tais' (Yekaterinburg, 2006–2019)**

Признаки	Сорт 'Таис'	Сорт 'Береженная' (контроль)
Степень подмерзания (при -35,5°C), балл	1,5	2,0
Устойчивость к засухе	средняя	средняя
Осыпаемость завязи, %	0	0
Регулярность плодоношения	не резко периодичное	не резко периодичное
Возраст вступления в пору плодоношения, лет	6	5
Средняя урожайность в возрасте 10–14 лет, ц/га	94,2	69,5
Максимальная урожайность в возрасте 10–14 лет, ц/га	198,1	116,9
Средняя масса плода, г	94	74
Максимальная масса плода, г	140	120
Содержание в плодах:		
сухого вещества, %	11,9	12,6
сахаров, %	9,0	12,2
титруемых кислот, %	0,4	1,3
витамина С, мг%	6,7	6,5
Сахарокислотный индекс	22,5	9,4
Дегустационная оценка в свежем виде, балл	4,0	4,0
Характер вкуса	сладкий	кисло-сладкий
Транспортабельность плодов	средняя	слабая
Основное назначение сорта	столовый	столовый

у нового сорта; у контрольного – однолетних и многолетних побегов, генеративных почек.

Сорт 'Таис' является скороплодным, вступление в плодоношение наблюдалось в возрасте шести лет. По средней урожайности новый сорт достоверно превосходит контрольный сорт 'Береженная' при 95% уровне значимости (рис. 1).

Деревья сорта 'Таис' среднерослые, с округлой кроной средней густоты. Основные ветви прямые, концы ветвей направлены вверх. Побеги прямые, средней толщины, зеленовато-коричневые, опушенные. Листья продолговатые, длиннозаостренные, зеленые с желтым оттенком, гладкие, блестящие, с грубой нервацией. Пластинка листа вогнутая, изогнута вниз, скрученная. Край листа волнистый, мелкопильчатый. Тип плодоношения – на простых и сложных кольчатках.

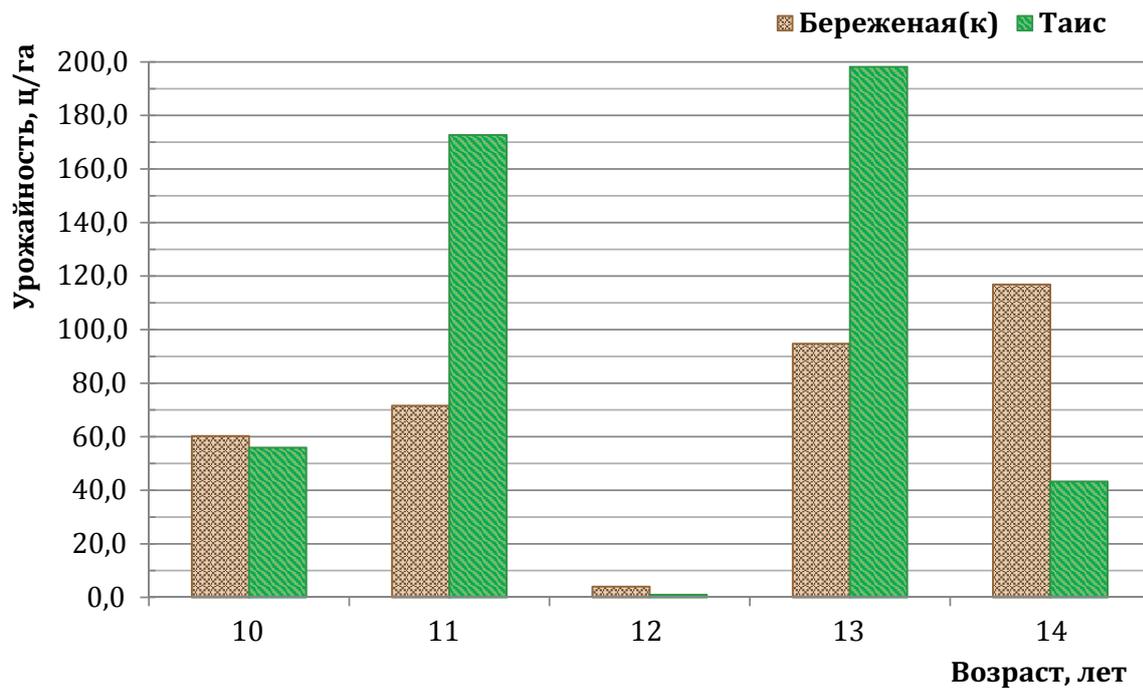
Цветки белые, среднего размера, мелкочашевидные, без запаха, с овальными лепестками. Колонка пестиков длинная, рыльце по высоте на одном уровне с пыльниками.

Плоды неоднородные (коэффициент вариации 14%), среднего размера (в среднем 94 г, максимальный вес – 140 г), округло-конической правильной формы, на сред-

ней плодоножке (рис. 2). Воронка отсутствует, блюдце среднее, бороздчатое, чашечка открытая. Кожица гладкая, блестящая. Окраска в момент съемной зрелости зеленовато-желтая; потребительской зрелости – золотисто-желтая без покровной окраски. Подкожные точки многочисленные, крупные, коричневые, хорошо заметные.

Мякоть кремовая, средней плотности, средней консистенции, крупнозернистая, сочная. Вкус плодов хороший, на уровне сорта 'Береженная' (к). По содержанию сахаров и сухих растворимых веществ в плодах сорт 'Таис' несколько уступает контрольному сорту (см. таблицу). В то же время содержание титруемых кислот в плодах нового сорта значительно ниже, а сахарокислотный индекс (отношение сахара/титруемые кислоты) значительно выше: 22,5 у 'Таис' и 9,4 у контрольного сорта. Соответственно, плоды отличаются по характеру вкуса: сладкие у сорта 'Таис' и кисло-сладкие у сорта 'Береженная' (к). В условиях Екатеринбурга плоды нового сорта подлежат сбору в середине сентября и сразу готовы к потреблению, а также способны храниться в течение месяца.

Считаем, что сорт 'Таис' может стать достойным пополнением сортимента груши на Среднем Урале.



**Рис. 1.** Урожайность сортов ‘Таис’ и ‘Бережная’ (Екатеринбург, 2015–2019 гг.)

**Fig. 1.** Yield of cvs. ‘Tais’ and ‘Berezhnaya’ (Yekaterinburg, 2015–2019)



**Рис. 2.** Плоды сорта ‘Таис’ (фото Д. Д. Тележинского)

**Fig. 2.** Fruits of cv. ‘Tais’ (photo by D. D. Telezhinskiy)

### Заклучение

Согласно результатам многолетних исследований, проведенных в условиях г. Екатеринбурга, новый сорт груши 'Таис' характеризуется скороплодностью, хорошей зимостойкостью и урожайностью. Плоды красивой формы, желтые, без румянца, сладкого вкуса, имеют период потребления около 30 дней. В 2017 году сорт передан в Государственное сортоиспытание.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ УрФАНИЦ УРО РАН направления 150 Программы ФНИ государственных академий наук на 2021–2030 гг.*

*The research was performed in the framework of the State Task for the Ural Federal Agricultural Research Center, UB RAS, under Guideline 150 of the Federal Scientific Research Program of the State Academies of Sciences for 2021–2030.*

### References / Литература

- Agroclimatic conditions of Sverdlovsk Province (Agroklimaticheskiye usloviya Sverdlovskoy oblasti). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1978. [in Russian]. (Агроклиматические условия Свердловской области, Ленинград: Гидрометеоиздат; 1978).
- Sedov E.N. (ed.). Pomology. Vol. II. Pear. Quince (Pomologiya. Tom II. Grusha. Ayva). Orel: VNIISPK; 2007. [in Russian] (Помология. Том II. Груша. Айва / под ред. Е. Н. Седова. Оре́л: ВНИИСПК; 2007).
- 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: VNIISPK, 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Оре́л: ВНИИСПК; 1999).

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2020). URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN\\_reestr\\_dop\\_12\\_03\\_2020.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf) [дата обращения: 17.11.2020].

### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

### Для цитирования / How to cite this article

Тарасова Г.Н., Котов Л.А., Тележинский Д.Д. 'Таис' – новый сорт груши для Среднего Урала. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):96-99. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-96-99

Tarasova G.N., Kotov L.A., Telezhinskiy D.D. 'Tais': a new pear cultivar for the Middle Urals. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):96-99. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-96-99

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-96-99>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

### ORCID

Tarasova G.N. <https://orcid.org/0000-0003-3563-6917>

Kotov L.A. <https://orcid.org/0000-0001-5211-7583>

Telezhinskiy D.D. <https://orcid.org/0000-0002-4783-2029>

**‘Вычегодский’ – новый сорт картофеля для Республики Коми**

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-100-106



УДК 635.21:631.527

Поступление/Received: 11.10.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021

А. Г. ТУЛИНОВ\*, А. Ю. ЛОБАНОВ

*Институт агробиотехнологий  
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
167023 Россия, Республика Коми,  
г. Сыктывкар, ул. Ручейная, 27  
\* toolalgen@mail.ru*

**‘Vychegodsky’: a new potato cultivar for the Republic of Komi**

A. G. TULINOV\*, A. YU. LOBANOV

*Institute of Agrobiotechnologies,  
Komi Science Center, Ural Branch of the RAS,  
27 Rucheynaya St., Syktyvkar,  
Republic of Komi 167023, Russia  
\* toolalgen@mail.ru*

**Актуальность.** В статье приведена информация о завершённом этапе селекционного процесса, проведенного на базе Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар), в результате которого получен новый среднеранний сорт картофеля столового назначения – ‘Вычегодский’. Сорт получен путем контролируемого скрещивания сортов-родителей Свитанок Киевский × Амадеус. Данный сорт прошел комплексную оценку на основные хозяйственно ценные признаки и генетический скрининг на устойчивость к раку, нематоде, вирусам X и Y.

**Материалы и методы.** В 2020 г. по итогам производственных испытаний 2017–2019 гг. проведено итоговое описание нового сорта картофеля столового назначения ‘Вычегодский’. В качестве сравнительного стандарта выбран районированный сорт ‘Невский’. Исследования проводили на опытных полях института в шестипольном культурном севообороте, что обеспечивает высокое плодородие почвы без использования минеральных и органических удобрений. Почва – дерново-подзолистая. Посадку осуществляли по схеме 70 × 30 см на глубину 8–10 см, площадь опытной делянки – 52,5 м<sup>2</sup> (250 клубней), повторность четырехкратная.

**Результаты.** Среднеранний сорт ‘Вычегодский’ можно характеризовать следующим образом. Растение прямостоячее, 50–65 см в высоту, клубни округло-овальной формы, окраска кожуры желтая, мякоть светло-желтая. Исследованиями установлено, что по хозяйственно ценным признакам в условиях Республики Коми сорт ‘Вычегодский’ превосходит сорт-стандарт ‘Невский’. Урожайность – 34,3 т/га, масса товарного клубня – 55,1 г. Содержание крахмала – 15,7%, сухого вещества – 24,1%, витамина С – 11,2 мг%. Сорт обладает высокой полевой устойчивостью косновным болезням картофеля, а также имеет генетически обусловленную устойчивость к раку и золотистой картофельной нематоде.

**Заключение.** Таким образом, получен новый сорт картофеля, включенный в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*, урожайность, качество, устойчивость, болезни, рак, нематода, вирус.

**Background.** The presented information refers to the completed stage of the breeding process carried out at the Institute of Agrobiotechnologies (Syktyvkar) that led to the development of a new mid-early table potato variety – ‘Vychegodsky’. This cultivar was obtained from controlled crossing of cvs. Svitank Kievsky × Amadeus. The new variety underwent a comprehensive assessment for the main agronomic traits and genetic screening for resistance to wart disease, nematode, and viruses X and Y.

**Materials and methods.** In 2020, according to the results of production tests performed in 2017–2019, the description of the new cv. ‘Vychegodsky’ was finalized. The registered cv. ‘Nevsky’ was chosen as the reference. The study was conducted in the Institute’s experiment fields with a six-field crop rotation, which ensured high soil fertility without the use of mineral or organic fertilizers. The soil was soddy-podzolic. The planting scheme was 70 × 30 cm, at a depth of 8–10 cm, over the experimental plot area of 52.5 m<sup>2</sup> (250 tubers), with four replications.

**Results.** The mid-early cultivar ‘Vychegodsky’ is described as follows: the plant is erect, 50–65 cm in height; tubers are roundish-oval, with yellow skin color and light yellow flesh. The studies have shown that in its agronomic traits in the Republic of Komi cv. ‘Vychegodsky’ exceeds the reference cv. ‘Nevsky’. Its yield is 34.3 t/ha, and its marketable tuber weight 55.1 g; it contains 15.7% of starch, 24.1% of dry matter, and 11.2 mg% of vitamin C. The cultivar demonstrates high field resistance to major potato diseases, and genetically determined resistance to wart disease and golden potato nematode.

**Conclusion.** Thus, a new potato cultivar has been released and included into the State Register of Selection Achievements (National List of the Russian Federation).

**Key words:** *Solanum tuberosum*, yield, quality, resistance, diseases, wart disease, nematode, virus.

## Введение

Современный селекционный процесс картофеля предусматривает всестороннее его изучение. Перед подачей сорта для его регистрации в Государственный реестр селекционных достижений должна проводиться комплексная оценка по урожайности и качеству клубней, устойчивости к болезням, выполняется генетический скрининг на наличие маркеров генов, отвечающих за устойчивость к раку, нематоде, вирусам X, Y и другим болезням, в том числе карантинным (Vyukova et al., 2017; Khiutti et al., 2017; Sintsova, 2019).

В ходе селекционного процесса к сортам предъявляются определенные требования (Lynch et al., 2008; Clough et al., 2010; Sergeeva et al., 2014; Simakov et al., 2017; Korshunov et al., 2018; da Silva et al., 2019). Для Республики Коми, в частности, важна селекция сортов, обладающих определенными качествами, такими как срок созревания 70–90 дней, устойчивость как к засухе, так и избыточному увлажнению по всем фазам развития (Shmorgunov et al., 2016). То же самое относится и к распределению тепла в период вегетации. Поздние весенние и ранние осенние (иногда в середине августа) заморозки способны как погубить молодые побеги, так и повредить растения во время набора клубнями товарной массы. На фоне неустойчивых температур часты вспышки таких заболеваний, как фитофтороз, ризоктониоз и альтернариоз (Anisimov, 2009; Shmorgunov et al., 2017).

Институтом агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УРО РАН (Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар) выведен новый столовый сорт картофеля 'Вычегодский' (Shmorgunov et al., 2012; Tulinov, 2015; Tulinov, Konkin, 2016). По итогам селекционной работы сорт 'Вычегодский' показал свою адаптивность к условиям Республики Коми, его средняя урожайность составила 27,2 т/га, генетическим скринингом выявлена резистентность к раку и золотистой картофельной нематоде (Tulinov, Lobanov, 2020). Итоговое описание сорта проведено в 2020 г. в сравнении с сортом 'Невский'.

## Материал и методы

Клубни высаживали 3 июня 2020 г. на опытном поле института с поддержанием шестипольного культурного севооборота, что обеспечивает высокое плодородие почвы без использования минеральных и органических удобрений. Почва дерново-подзолистая, гумуса – 3,4% (ГОСТ 26213-91). Содержание основных питательных элементов:  $N_{\text{общ.}}$  – 90 мг/кг (ГОСТ 26107-84);  $P_2O_5$  – 597,5 мг/кг;  $K_2O$  – 103,7 мг/кг почвы (ГОСТ 26207-91). Посадку осуществляли по схеме 70 × 30 на глубину 8–10 см, площадь опытной делянки – 52,5 м<sup>2</sup> (250 клубней), повторность четырехкратная (Dospikhov, 1979).

Исследования проведены в питомнике динамического испытания сортов, в котором устойчивость ботвы и клубней картофеля к болезням (фитофтороз, альтернариоз, ризоктониоз, парша обыкновенная) определена согласно балловой шкале: 1 – очень низкая, 3 – низкая, 5 – средняя, 7 – высокая, 9 – очень высокая (Simakov et al., 2006). В качестве контроля использовали широко распространенный среднеранний сорт столового назначения 'Невский', районированный для 1-го (Северного) региона возделывания картофеля РФ (State Register..., 2019). Учет урожайности и фракционного состава клубней провели на 65 и 85 день после посадки. На 85 день осуществили полную уборку урожая с последующей за-

кладкой на хранение и химический анализ клубней на содержание сухого вещества (ГОСТ 27548-97), крахмала (ГОСТ 7194-81), витамина С (ГОСТ 24556-89), нитратов (ГОСТ 13496.19-93).

Оценка кулинарных качеств столового картофеля проведена согласно буквенной шкале: А – салатный тип, Б – универсальный тип, С – мучнистый тип, Д – сильно мучнистый тип (Simakov et al., 2006).

Генетический скрининг на выявление резистентности к раку и золотистой картофельной нематоде проведен научно-производственной компанией ООО «Синтол» (Operator's manual..., 2017; Reagent kit user guide..., 2018; Reagent kit user manual..., 2018; Instructions..., 2019).

Погодные условия в 2020 г. были неблагоприятными для всходов картофеля. Среднемесячная температура июня составляла 14,8°C, что на один градус ниже нормы. Ночные температуры опускались до 1°C. При этом осадков выпало в два раза меньше, чем обычно (41 мм при норме в 74 мм). Июль выдался чрезвычайно жарким. Среднемесячная температура составила 20,0°C, что на 2,5°C выше среднегодовых значений; при этом зафиксирован абсолютный рекорд по температуре за весь период метеонаблюдений – 30,3°C. На фоне высокой температуры и малого количества осадков (79% от нормы) сильное развитие получил альтернариоз. В августе температура вошла в климатическую норму, однако осадки были все так же ниже многолетних показателей (75 мм) – 71 мм. Ослабленные июльской жарой, на фоне снижения среднесуточной температуры и повышения количества осадков, растения стали активно поражаться фитофторозом и ризоктониозом.

## Результаты и обсуждение

'Вычегодский' – среднеранний сорт картофеля столового назначения. Сорт получен путем контролируемого скрещивания сортов-родителей Свитанок Киевский × Амадеус (рис. 1). Растение прямостоячее, низкой высоты (50–65 см), с промежуточным типом облиственности, по времени созревания – среднего срока; клубни округло-овальной формы, тип кожуры гладкий, окраска кожуры желтая, глазки мелкой глубины, окраска основания глазка синяя, мякоть светло-желтая, антоциановая окраска кожуры в реакции на свет средняя.

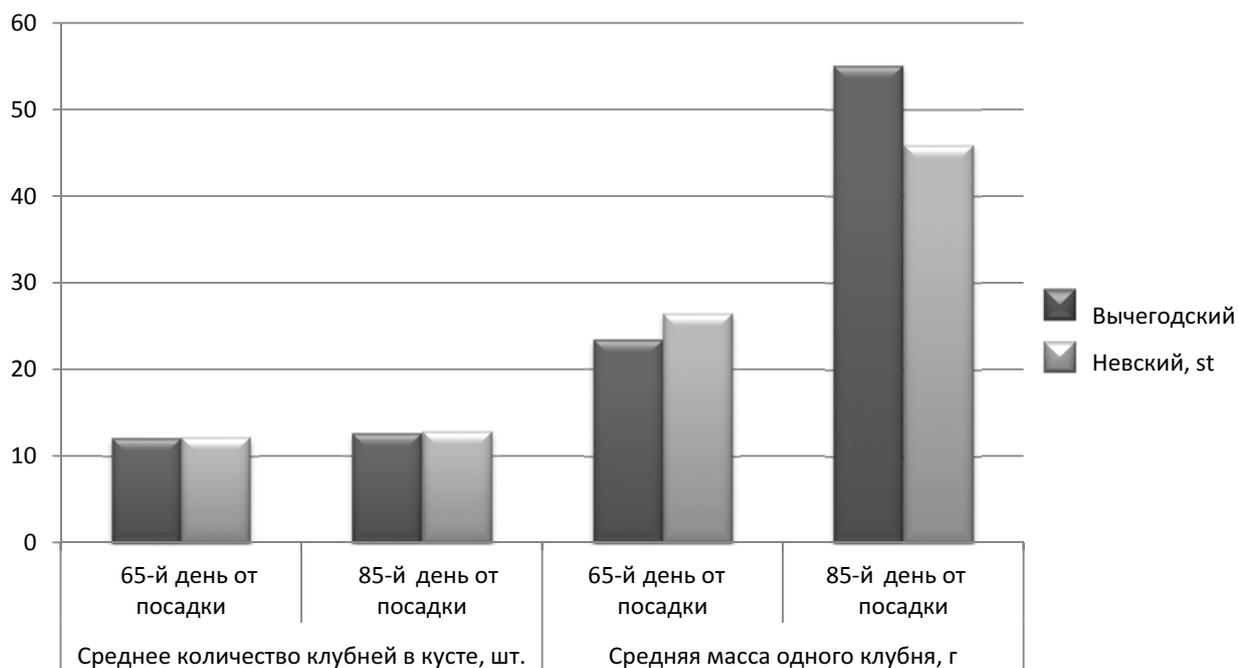
По кулинарным качествам это сорт столового назначения, тип С (Simakov et al., 2006), мучнистый (пригоден для пюре и запекания), для которого характерна средняя развариваемость поверхности клубня, мягкая консистенция, некоторая суховатость, слабжесткая структура.

Анализ структуры формирования клубней картофеля, который провели на 65 и 85 день после посадки (рис. 2), показал, что к первому учету оба сорта формируют в среднем 12–13 клубней, но если масса одного клубня картофеля сорта 'Невский' на 65 день составляет 26,4 г, или 60% от средней массы клубня, на 85 день – 45,9 г, или 40%, то у нового сорта 'Вычегодский' наблюдалась обратное соотношение: на 65 день – 23,4 г, или 40%, а на 85 день наблюдений – 55,1 г, или 60%. Таким образом, основной урожай стандарта формировался к 65 дню, а дальше шел постепенный набор массы, в то время как 'Вычегодский' интенсивно набирал товарную урожайность в последние двадцать дней вегетации. В условиях жаркого и сухого июля, а также более благоприятного августа это оказало существенное влияние на итоговый урожай (рис. 3).



**Рис. 1.** Растение сорта картофеля 'Вычегодский' в питомнике динамического испытания на 85 день от посадки, 2020 г. (фото авторов)

**Fig. 1.** A plant of the potato cultivar 'Vychegodsky' in the dynamic trial nursery on the 85th day after planting, 2020 (photo by the authors)



**Рис. 2.** Структура урожая исследуемых сортов картофеля в питомнике динамического испытания, 2020 г.

**Fig. 2.** Yield structure of the tested potato cultivars in the dynamic trial nursery, 2020

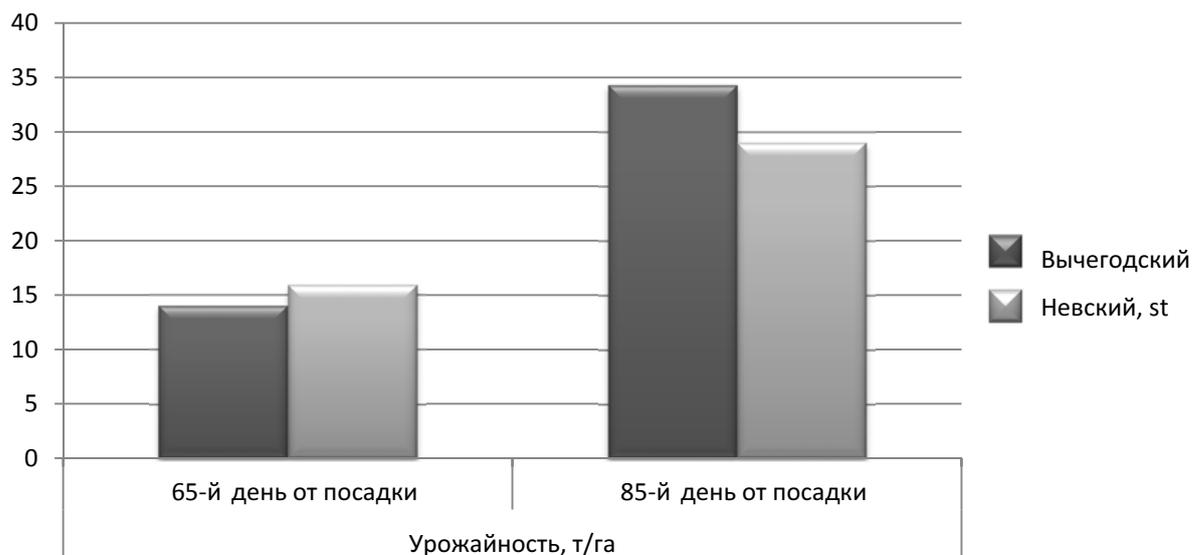
Если к 65 дню вегетации контрольный сорт 'Невский' превосходил сорт 'Вычегодский' по урожайности на 1,9 т/га, то к 85 дню новый сорт превосходил стандарт на 5,3 т/га, чему способствовала вошедшая в климатическую норму погода августа.

Проведенные ранее исследования (Tulinov, Lobanov, 2020) показали, что сорт 'Вычегодский' превосходил стандарт по содержанию сухого вещества на 1,2%, крахмала – на 0,5%, а по содержанию витамина С – на 0,7 мг% (рис. 4).

Погодные условия 2020 г. способствовали развитию болезней на сорте-стандарте 'Невский'. Первое появление альтернариоза отмечено в фазу цветения, в период июльской засухи. В дальнейшем на растениях наблюда-

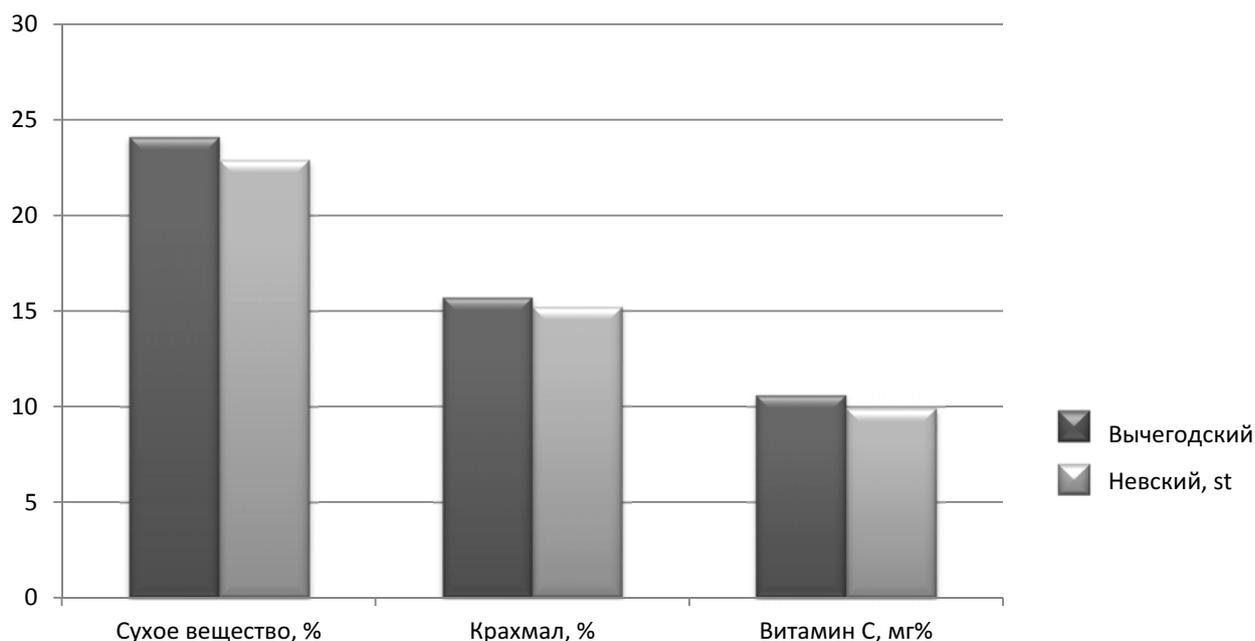
лось умеренное развитие болезни. Итоговая устойчивость – до 7 баллов (до 25% пораженной поверхности листьев). Первые признаки фитофтороза и ризоктониоза отмечены в начале августа на фоне снижения среднесуточной температуры и повышения количества осадков, при этом фитофтороз особенно активно развивался в течение первых двух недель и поразил большую часть растений. В период уборки поражение клубней картофеля паршой обыкновенной было умеренным – язвы занимали до 10% поверхности клубней, устойчивость к фитофторе средняя – 5 баллов (симптомы фитофтороза отмечены у 50% клубней).

Новый сорт 'Вычегодский', напротив, продемонстрировал высокую устойчивость к данным болезням. Так,



**Рис. 3.** Показатели урожайности исследуемых сортов картофеля в питомнике динамического испытания, 2020 г.

**Fig. 3.** Yield parameters of the tested potato cultivars in the dynamic trial nursery, 2020



**Рис. 4.** Химический состав клубней картофеля (по А. Г. Тулинову, А. Ю. Лобанову, 2020)

**Fig. 4.** Chemical composition of potato tubers (from A. G. Tulinov, A. Yu. Lobanov, 2020)

альтернариоз и фитофтороз на ботве не были обнаружены в период вегетации, а единичные пятна фитофтороза отмечены только на 65 день после посадки во время первой копки. Клубни паршой и фитофторозом также не поражались.

Таким образом, урожайность и качество клубней нового сорта картофеля 'Вычегодский', превышающие контроль, можно связать с высокой полевой резистентностью к болезням.

Ранее проведенные молекулярно-генетические исследования ДНК на наличие 10 маркеров генов устойчи-

вости показали: отсутствие маркеров устойчивости к Y-вирусу картофеля (RYSC3, Ry186, YES3-3A); наличие ряда маркеров устойчивости к золотистой картофельной нематодe (TG689, 57R, N195, Gro1-4-1; гены *H1*, *Gro1-4*); отсутствие маркера устойчивости к бледной картофельной нематодe (*Gra2-2*, ген *Gpa2*); наличие маркера устойчивости к раку картофеля (NL25; ген *Sen1*); отсутствие маркера устойчивости к X-вирусу картофеля (PVX ген *Rx1*) (Tulinov, Lobanov, 2020).

Итоговая сравнительная характеристика двух сортов представлена в таблице.

**Таблица. Основные хозяйственно ценные признаки картофеля сорта 'Вычегодский'**  
**Table. Main agronomic characteristics of cv. 'Vychegodsky'**

Параметры	Сорт Вычегодский	Сорт Невский, стандарт
<b>Морфологические и биологические особенности</b>		
Срок созревания	Среднеранний	Среднеранний
Растение	Прямостоячее, высотой 50–65 см	Прямостоячее, высотой 40–50 см
Форма клубней	Округло-овальная	Округло-овальная
Цвет кожуры клубней	Желтый	Светло-желтый
Цвет мякоти	Светло-желтая	Кремовая
Количество клубней, шт./куст	12–13	12–13
Товарность, %	97%	80%
Урожайность, т/га	34,3	29,0
Средняя масса товарного клубня, г	45–51	43–45
Устойчивость клубней к механическим повреждениям	Высокая	Высокая
<b>Химический состав клубней и потребительские качества</b>		
Крахмал, %	15,7	15,2
Сухое вещество, %	24,1	22,9
Витамин С, мг%	11,2	9,9
Нитраты, мг/кг	71	70
Вкус	Хороший	Хороший
Кулинарные качества (тип)	С	С
Потемнение мякоти	отсутствует	отсутствует
<b>Устойчивость к болезням</b>		
Рак картофеля	Устойчив	Устойчив
Золотистая картофельная нематода	Устойчив	Неустойчив
Фитофтороз (ботва)	8 баллов	5 баллов
Фитофтороз (клубни)	9 баллов	5 баллов
Парша обыкновенная	9 баллов	5 баллов
Ризоктониоз	9 баллов	5–7 баллов
Альтернариоз	9 баллов	5–7 баллов
Лежкость при хранении	Средняя	Хорошая

### Заключение

В результате селекционного процесса получен новый среднеранний сорт картофеля столового назначения 'Вычегодский'. Данный сорт по всем хозяйственно ценным признакам в условиях Республики Коми превосходит сорт-стандарт 'Невский' и имеет следующие характеристики: урожайность – 34,3 т/га, масса товарного клубня – 55,1 г, содержание крахмала – 15,7%, сухого вещества – 24,1%, витамина С – 11,2 мг%; обладает высокой полевой устойчивостью к основным болезням картофеля, а также имеет генетически обусловленную устойчивость к раку (ген *Sen 1*) и золотистой картофельной нематоде (гены *H1*, *Gro1-4*). Сорт 'Вычегодский' включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания № 0333-2019-0008-С-01, Рег. № НИОКТР АААА-А19-119031390055-1 и Государственного задания № 0412-2019-0051, Рег. № НИОКТР АА-АА20-120022790009-4.*

*Авторы выражают благодарность научно-производственной компании ООО «Синтол» за проведение генетической паспортизации нового сорта 'Вычегодский'.*

*The work was accomplished with the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Tasks: No. 0333-2019-0008-С-01, R&D Reg. No. АААА-А19-119031390055-1, and No. 0412-2019-0051, R&D Reg. No. АААА-А20-120022790009-4.*

*The authors are grateful to the research and production company Syntol LLC for carrying out genetic certification of the new cv. 'Vychegodsky'.*

### References / Литература

- Anisimov B.V., Belov G.L., Varitsev Y.A., Elansky S.N., Zhurumsky G.K., Zavriev S.K., Zeyruk V.N., Ivanyuk V.G., Kuznetsova M.A., Plyakhnevich M.P., Pshechenkov K.A., Simakov E.A., Sklyarova N.P., Stashevski Z., Uskov A.I., Yashina I.M. Protection of potatoes from diseases, pests and weeds (Zashchita kartofelya ot bolezney, vreditel'ey i sorn'yakov). Moscow: Kartofelevod; 2009. [in Russian] (Анисимов Б.В., Белов Г.Л., Варицев Ю.А., Еланский С.Н., Журомский Г.К., Завриев С.К., Зейрук В.Н., Иванюк В.Г., Кузнецова М.А., Пляхневич М.П., Пшеченков К.А., Симаков Е.А., Склярова Н.П., Стасhevski З., Усков А.И., Яшина И.М. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. Москва: Картофелевод; 2009).
- Vukova I.V., Shmakov N.A., Afonnikov D.A., Kochetov A.V., Khlestkina E.K. Achievements and prospects of applying high-throughput sequencing techniques to potato genetics and breeding. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(7):736-743. DOI: 10.1134/S2079059717070036
- Clough M.E., Yencho G.C., Christ B., DeJong W., Halseth D., Haynes K. et al. An interactive online database for potato varieties evaluated in the Eastern United States. *Hort-Technology*. 2010;20(1):250-256. DOI: 10.15482/USDA.ADC/1178080
- Da Silva G.O., Pereira A.S., Azevedo F., de Carvalho A.D.F., Pinheiro J.B. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. *Horticultura Brasileira*. 2019;37(4):423-428. DOI: 10.1590/S0102-053620190410
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Колос; 1979).
- Instructions for the software GenExpert Potato – version 5.0.1.16 (Instruktsiya k programmnomu obespecheniyu «GenEkspert «Kartofel» versiya 5.0.1.16). Moscow: Syntol LLC; 2019. [in Russian] (Инструкция к программному обеспечению «ГенЭксперт «Картофель» – версия 5.0.1.16. Москва: ООО «Синтол»; 2019).
- Khiutti A.V., Antonova O.Yu., Mironenko N.V., Gavrilenko T.A., Afanasenko O.S. Potato resistance to quarantine diseases. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):51-61. [in Russian] (Хютти А.В., Рыбаков Д.А., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С. Устойчивость картофеля к карантинным болезням. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):51-61). DOI: 10.18699/VJ17.223
- Korshunov A.V., Simakov E.A., Lysenko Yu.N., Anisimov B.V., Mityushkin A.V., Gaitov M.Yu. Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(3):12-20. [in Russian] (Коршунов А.В., Симаков Е.А., Лысенко Ю.Н., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Гаитов М.Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(3):12-20). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10303
- Lynch D.H., Zheng Z., Zebarth B.J., Martin R.C. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2008;23(3):250-259. DOI: 10.1017/S1742170508002330
- Operator's manual for the genetic analyzer Nanofor 05 (Rukovodstvo operatora geneticheskogo analizatora «Nanofor 05»). Moscow: Syntol LLC; 2017. [in Russian] (Руководство оператора генетического анализатора «Нанофор 05». Москва: ООО «Синтол»; 2017).
- Reagent kit user guide for GenExpert Potato (Rukovodstvo polzovatelya nabora reagentov «GenEkspert «Kartofel»). Moscow: Syntol LLC; 2018. [in Russian] (Руководство пользователя набора реагентов «ГенЭксперт «Картофель». Москва: ООО «Синтол»; 2018).
- Reagent kit user manual for GenExpert markers of potato resistance genes (Instruktsiya polzovatelya nabora reagentov «GenEkspert «Markery genov ustoychivosti kartofelya»). Moscow: Syntol LLC; 2018. [in Russian] (Инструкция пользователя набора реагентов «ГенЭксперт «Маркеры генов устойчивости картофеля». Москва: ООО «Синтол»; 2018).
- Sergeeva Z.F., Sintsova N.F., Lyskova I.V. New potato variety Golubka. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;4(41):18-21. [in Russian] (Сергеева З.Ф., Синцова Н.Ф., Лыскова И.В. Новый сорт картофеля Голубка. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2014;4(41):18-21).
- Shmorgunov G.T., Kokovkina S.V., Tulinov A.G., Konkin P.I., Yudin A.A., Oblizov A.V. Development of agricultural technologies to increase the productivity of potato growing in the North: a monograph (Razvitiye agrotekhnologii povysheniya produktivnosti kartofelevodstva v uslovi-

- yakh Severa: monografiya). Syktyvkar; 2016. [in Russian] (Шморгунов Г.Т., Коковкина С.В., Тулинов А.Г., Конкин П.И., Юдин А.А., Облизов А.В. Развитие агротехнологий повышения продуктивности картофелеводства в условиях Севера: монография. Сыктывкар; 2016).
- Shmorgunov G.T., Puzanova I.E., Tulinov A.G. The estimation of the perspective breeding numbers and varieties of the potato in the conditions of Komi Republic. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2012;4(29):17-20. [in Russian] (Шморгунов Г.Т., Пузанова И.Е., Тулинов А.Г. Оценка перспективных селекционных номеров и сортов картофеля в условиях Республики Коми. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2012;4(29):17-20).
- Shmorgunov G.T., Tulinov A.G., Bulatova N.V. (eds). Farming system of the Republic of Komi: a monograph (Sistema zemledeliya Respubliki Komi: monografiya). Syktyvkar; 2017. [in Russian] (Система земледелия Республики Коми: монография / под ред. Г.Т. Шморгунова, А.Г. Тулинова, Н.В. Булатовой. Сыктывкар; 2017).
- Simakov E.A., Anisimov B.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A. Varietal resources for intended potato growing. *Potato and Vegetables*. 2017;(11):24-26. [in Russian] (Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А. Сортовые ресурсы картофеля для целевого выращивания. *Картофель и овощи*. 2017;(11):24-26).
- Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I.M. (comp). Guidelines for potato breeding process technology (Metodicheskiye ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsesssa kartofelya). Moscow: Achievements of Science and Technology of AIC; 2006. [in Russian] (Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля / подгот. Е.А. Симаковым, Н.П. Склярской, И.М. Яшиной. Москва: Достижения науки и техники АПК; 2006).
- Sintsova N.F. The sources of potato resistance to viral diseases. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;3(173):42-47. [in Russian] (Синцова Н.Ф. Источники устойчивости картофеля к вирусным болезням. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019;3(173):42-47).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; 2019. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва; 2019). URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/07/REESTR\\_2019-3.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/07/REESTR_2019-3.pdf) [дата обращения: 20.11.2020].
- Tulinov A.G. Results of testing of promising varieties of potato under conditions of Komi Republic. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;4(47):21-28. [in Russian] (Тулинов А.Г. Результаты испытания перспективных сортов картофеля в условиях Республики Коми. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;4(47):21-28). DOI: 10.30766/2072-9081.2015.47.4.21-28
- Tulinov A.G., Konkin P.I. Evaluation of promising variety samples of potato under conditions of the Komi Republic. *Zemledelie = Crop Farming*. 2016;(8):45-47. [in Russian] (Тулинов А.Г., Конкин П.И. Оценка перспективных сортообразцов картофеля в условиях Республики Коми. *Земледелие*. 2016;(8):45-47).
- Tulinov A.G., Lobanov A.Yu. The study of a new potato variety Vychehodsky according to a set of economically valuable traits. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(3):283-292. [in Russian] (Тулинов А.Г., Лобанов А.Ю. Изучение нового сорта картофеля Вычегодский по комплексу хозяйственно ценных признаков. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(3):283-292). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.283-292

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Тулинов А.Г., Лобанов А.Ю. 'Вычегодский' – новый сорт картофеля для Республики Коми. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):100-106. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-100-106

Tulinov A.G., Lobanov A.Yu. 'Vychehodsky': a new potato cultivar for the Republic of Komi. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):100-106. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-100-106

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-100-106>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Tulinov A.G. <https://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Lobanov A.Yu. <https://orcid.org/0000-0003-1653-2987>

**‘Тоболяк’ – сорт овса ярового универсального использования**

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113

УДК 633.13:631.521

Поступление/Received: 16.05.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021

**М. Н. ФОМИНА, Ю. С. ИВАНОВА\*,  
О. А. ПАЙ, Н. А. БРАГИН***Федеральный исследовательский центр  
Тюменский научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук,  
625026 Россия, г. Тюмень ул. Малыгина, 86*

✉ maria\_f72@mail.ru

\* ✉ averyasova-ulyi@mail.ru

**‘Tobolyak’: an oat cultivar  
for universal use****M. N. FOMINA, YU. S. IVANOVA\*,  
O. A. PAY, N. A. BRAGIN***Tyumen Scientific Centre,  
Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia*

✉ maria\_f72@mail.ru;

\* ✉ averyasova-ulyi@mail.ru

**Актуальность.** Создание и внедрение в производство сортов универсального использования, которые способны удовлетворять потребности АПК в кормах различного типа, а пищевой промышленности – в сырье, является актуальной проблемой. Большой интерес в этом плане представляет новый сорт овса ярового ‘Тоболяк’, который отличается высоким урожаем зерна и зеленой массы.

**Материалы и методы.** Сорт создан в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Северного Зауралья – филиале Тюменского научного центра СОРАН методом гибридизации с последующим отбором из гибридной популяции Таёжник × Орион.

**Результаты.** Сорт среднеспелый, от всходов до восковой спелости – 71–83 сут.; среднерослый, высота растений – 89,6–120,2 см, устойчив к полеганию. Урожай зерна в среднем за годы изучения (2014–2019) в условиях северной лесостепи Тюменской области составил 5,88 т/га (+0,41 т/га к стандарту). Максимальный урожай зерна (7,97 т/га) был получен в 2019 г. на Нижне-Тавдинском сортоучастке Тюменской области. Сорт формировал высококачественное зерно (459,5–527,0 г/л) с низкой пленчатостью (22,1–25,1%). Урожай зеленой массы в зависимости от условий выращивания варьировал от 31,4 до 47,3 т/га и составил в среднем за 2014–2019 гг. 37,7 т/га (+7,3 т/га к стандарту). Сбор сухого вещества в среднем был 11,76 т/га (+1,54 т/га к стандарту) и колебался от 8,62 до 14,56 т/га.

**Заключение.** Новый сорт овса ярового ‘Тоболяк’ универсального использования внесен в Государственный реестр селекционных достижений с 2020 года по 10, 11 и 12 регионам Российской Федерации.

**Ключевые слова:** кормовое назначение, урожайность, качество зерна, морфологические признаки.

**Background.** An urgent problem is the development and introduction of cultivars for universal use that can meet the demand of animal husbandry for various types of feed and that of food industry for raw materials. Of great interest in this regard is ‘Tobolyak’, a new spring oat cultivar characterized by a high yield of grain and green biomass.

**Materials and methods.** The cultivar was developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Urals, a branch of the Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the RAS, using hybridization techniques with subsequent selection. The cultivars used as source material for hybridization were ‘Tayoznik’ (Narym Agricultural Station, Tomsk Province) and ‘Orion’ (Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk Province).

**Results.** It is a mid-ripening cultivar, with the growing season of 71 to 83 days from sprouting to wax ripeness; its plants are medium-tall (89.6 to 120.2 cm), and resistant to lodging. The average grain yield for the years of study (2014–2019) under the environmental conditions of the northern forest-steppe (Tyumen Province) was 5.88 t/ha (+0.41 t/ha to the reference). The maximum grain yield (7.97 t/ha) was obtained in 2019 at the Lower Tavda Variety Testing Plot, Tyumen Province. The cultivar formed a grain with the test weight of 459.5–527.0 g/l and a low hull content of 22.1–25.1%. The yield of green biomass varied from 31.4 to 47.3 t/ha, depending on the growing conditions, and averaged 37.7 t/ha in 2014–2019 (+7.3 t/ha to the reference). Dry matter harvest averaged 11.76 t/ha (+1.54 t/ha to the reference), ranging from 8.62 to 14.56 t/ha.

**Conclusion.** The new spring oat cultivar ‘Tobolyak’ for universal use has been listed the State Register for Selection Achievements since 2020 and recommended for cultivation in regions 10, 11 and 12 of the Russian Federation.

**Key words:** feed purposes, yield, grain quality, morphological characteristics.

**Введение**

Овес – одна из основных зерновых культур Российской Федерации, в том числе Сибири и Дальнего Востока (Fomina et al., 2018; Sadimantara et al., 2018). Он сочетает питательные и целебные свойства с высокой степенью адаптивности к условиям возделывания, способен произрастать не только на окультуренных почвах, но и в условиях низкого естественного плодородия, имеет

большое значение в создании надежной кормовой базы животноводства, а также в обеспечении людей продовольствием (Batalova et al., 2008; Gao et al., 2019).

Необходимым условием повышения урожайности и качества зерна овса (Ivanova et al., 2018; Abd-Elmabod et al., 2019), наряду с совершенствованием технологии возделывания, следует признать создание и внедрение в производство новых сортов, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с устойчивостью к дейст-

вию абиотических и биотических стрессов в конкретных природно-климатических условиях (Zechner, 2001; Surin 2011; Fomina, 2015; Ivanova et al., 2017). Актуальной проблемой остается поиск новых генотипов овса с улучшенной питательной ценностью (Myszka, Boros, 2013).

За последние годы в Государственный реестр селекционных достижений включено значительное количество новых, высокопродуктивных сортов овса, в том числе созданных в НИИСХ Северного Зауралья и рекомендованных для возделывания в ряде регионов Российской Федерации (Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский и Дальневосточный). Актуальной проблемой является создание и внедрение в производство сортов универсального использования, которые способны удовлетворять потребности АПК в кормах различного типа, а пищевой промышленности – в сырье. Большой интерес в этом плане представляет новый высокопродуктивный сорт овса ярового ‘Тоболяк’, который формировал зерно с высокими технологическими свойствами.

*Цель настоящей работы* – оценить биологические, агрономические, технологические, биохимические показатели и морфологические признаки нового сорта ярового овса ‘Тоболяк’.

### Материалы и методы

Экспериментальная часть работы проводилась на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья (Тюменская область, северная лесостепь) в 2014–2019 гг. Почва серая лесная тяжелосуглинистая оподзоленная. Мощность пахотного горизонта – 18–30 см, содержание гумуса в почве (по Тюрину, ГОСТ 23740-79) – 1,50–4,75%, рН солевой вытяжки (по Алямовскому) – 5,5–6,8. Содержание нитратного азота (по Градндваль-Ляжу) – 6,6–7,9 мг/кг почвы, подвижных форм (по Чирикову) фосфора – 19,8–24,5, калия – 19,0–20,6 мг/100 г почвы. Предшественник – яровая пшеница.

В процессе эксперимента были использованы данные ОМ г. Тюмень. Агрометеорологические условия в годы проведения исследования (2014–2019) значительно различались между собой и отличались от среднелетних данных как по температурному режиму,

так и по количеству выпавших осадков. Это позволило дать более полную оценку сорту ‘Тоболяк’ в природно-климатических условиях Северного Зауралья.

Селекционную проработку материала вели по общепринятой схеме. Оценка и отбор образцов с заданными параметрами на всех этапах селекционного процесса проводили по методике ВИР (Loskutov et al., 2012) и методике государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (Fedin, 1989). Химический состав и технологические качества зерна определяли в аналитической лаборатории НИИСХ Северного Зауралья. Содержание белка в зерне определяли фотоколориметрическим методом (Kurkaev et al., 1977), содержание жира – на установке ЭЖ-101 методом экстрагирования (по Рушковскому), содержание крахмала – поляриметрическим методом (ГОСТ 10845-98).

Статистическая обработка данных проведена по методике полевого опыта (Dospikhov, 1985) с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel и Snedecor (Sorokin, 2004).

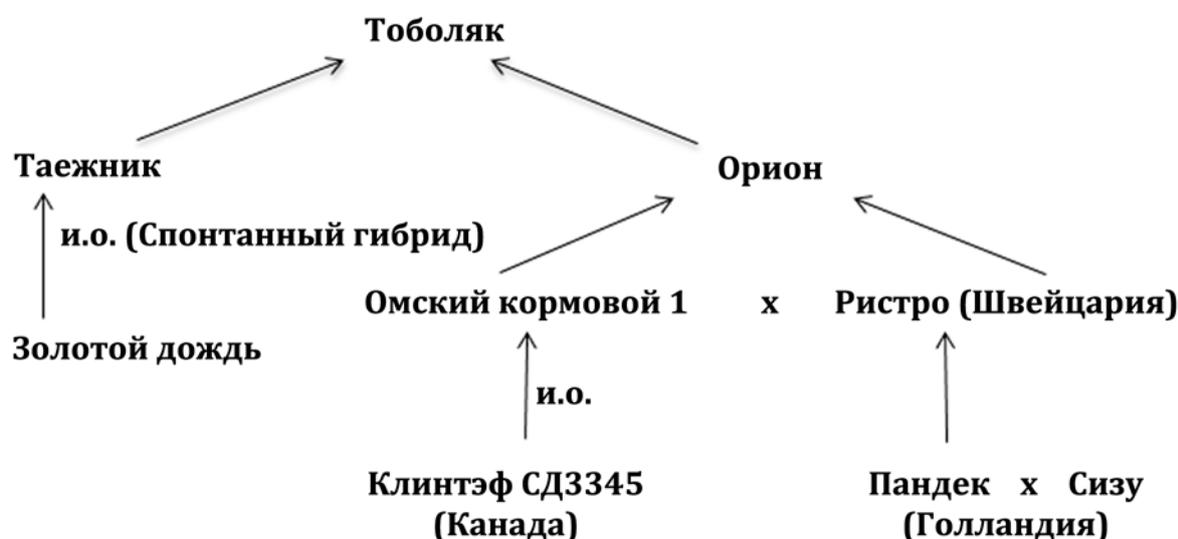
В качестве исходного материала послужили сорта ‘Таёжник’ (Нарымская ГСС, Томская область), ‘Орион’ (СибНИИСХ, Омская область).

### Результаты и обсуждение

Сорт ‘Тоболяк’ (ТМ08-179-9) создан в НИИСХ Северного Зауралья методом гибридизации с последующим индивидуальным отбором из гибридной популяции Таёжник × Орион ( $F_4$ ) (рисунок).

В процессе селекционной проработки разных поколений ( $F_3$ – $F_9$ ) данной популяции было оценено 679 линий, из которых пять дошли до конкурсного сортоиспытания (табл. 1). Линия ТМ08-179-9 в 2017 г. была передана на государственное сортоиспытание под названием «Тоболяк».

*Морфологическое описание сорта.* Вид *Avena sativa* L. var. *mutica* Alef. Куст прямостоячий. Опушение влагалища нижних листьев отсутствует или очень слабое. Опушение краев листа ниже флагового отсутствует или очень слабое. Опушение верхнего узла стебля отсутствует. Направление ветвей метелки двустороннее, горизонталь-



**Рисунок.** Родословная сорта овса ярового ‘Тоболяк’

**Figure.** Pedigree of the spring oat cultivar ‘Tobolyak’

**Таблица 1. Проработка исходного материала из гибридной популяции Таёжник × Орион (F<sub>3</sub>–F<sub>9</sub>)**  
**Table 1. Development of the source material from the hybrid population Tayozhnik × Orion (F<sub>3</sub>–F<sub>9</sub>)**

Селекционный питомник / Breeding nursery	Оценено селекционных линий (сортов), шт. / Number of tested breeding lines (cultivars), pcs
Селекционный питомник I-го года (СП-1) / Breeding nursery of the 1th year	679
Селекционный питомник II-го года (СП-2) / Breeding nursery of the 2nd year	79
Контрольный питомник (КП) / Control nursery	41
Предварительное сортоиспытание (ПСИ) / Preliminary variety trials	16
Конкурсное сортоиспытание (КСИ) / Competitive variety trials	5
Государственное сортоиспытание (ГСИ) / State crop variety trials	1
Включено в государственный реестр селекционных достижений / Included in the State Register for Selection Achievements	1

ное. Расположение колосков пониклое. Колосковая чешуя короткая, имеет сильный восковой налет. Первая зерновка на нижней цветковой чешуе имеет слабый восковой налет. Зерно средней крупности удлинённой формы. Масса 1000 семян – 31,6–35,6 г. Зерновка плотно закрыта в цветочной пленке белой окраски. Тенденция к остистости у первой зерновки отсутствует или очень слабая. Опушение спинки нижней цветковой чешуи отсутствует. Основание первой зерновки без опушения, или оно очень слабое. Первая зерновка имеет стерженек средней длины.

*Биологические и хозяйственные свойства сорта.* Сорт универсального использования (на зерно и зеленую массу), среднеспелый с колебаниями по годам от 71 до 83 суток (табл. 2).

Он формировал растение средней высоты (89,6–120,2 см) с прочной, устойчивой к полеганию соломиной, не уступая по этим показателям стандартному сорту 'Отрада'.

Сорт отличался высоким урожаем зерна и зеленой массы. Потенциальная урожайность – более 7,5 т/га. Максимальный урожай зерна (7,97 т/га) был получен в 2019 г. на Нижне-Тавдинском сортоучастке Тюменской области. Урожай зерна в среднем за годы изучения (2014–2019) на заключительном этапе селекционного процесса (конкурсное сортоиспытание) в условиях северной лесостепи Тюменской области составил 5,88 т/га при урожае сорта-стандарта 'Отрада' – 5,47 т/га (+0,41 т/га).

Сорт имел достаточно высокий выход зерна (средний показатель  $K_{\text{хоз.}} = 37,4\%$  с амплитудой колебаний от 29,4 до 43,3%).

Урожай зеленой массы в зависимости от условий выращивания варьировал от 31,4 до 47,3 т/га и составил

в среднем за 2014–2019 гг. 37,7 т/га (+7,3 т/га к стандарту 'Отрада').

Сбор сухого вещества в среднем был 11,76 т/га (+1,54 т/га к стандарту) и колебался от 8,62 до 14,56 т/га.

Технологическая оценка показала, что сорт способен формировать зерно средней крупности (масса 1000 зерен – 31,6–35,6 г) с низкой пленчатостью (22,1–25,8%) и достаточно высокой натурой (459,5–527,0 г/л).

Биохимический анализ зерна свидетельствовал о том, что данный сорт несколько уступал стандарту ('Отрада') по содержанию белка (–0,63%) и жира (–0,92%), но существенно превосходил его по содержанию крахмала (+1,78%) (табл. 3).

По сбору сырого протеина (0,826 т/га) сорт 'Тоболяк' практически не уступал стандарту ('Отрада' – 0,828 т/га), превосходя его по сбору сырой клетчатки (+0,214 т/га) и сырых БЭВ (+0,619 т/га), но несколько уступал по сбору сырого жира (–0,04 т/га) и облиственности (–1,8%).

Сорт устойчив к осыпанию зерна, среднеустойчив к весенне-летней засухе. В естественных условиях пыльной и покрытой головней не поражался.

Результаты химического анализа зеленой массы показали, что содержание каротина составило в среднем 26,13 мг/кг (размах варьирования от 16,63 до 40,95 мг/кг), кальция – 0,39% (размах варьирования от 0,25 до 0,54%), фосфора – 0,28% (размах варьирования от 0,22 до 0,33%).

По результатам изучения сорт был передан в Государственное сортоиспытание по 4, 9, 10, 11 и 12 регионам Российской Федерации (табл. 4).

Сорт 'Тоболяк' изучался на государственных сортоучастках в 2018 и 2019 г. Средняя урожайность за годы изучения в зависимости от зоны выращивания колебалась от 1,43 (Челябинская обл.) до 5,03 т/га (Кировская

**Таблица 2. Основные показатели хозяйственно ценных признаков овса ярового сорта 'Тобольк', Тюмень, 2014–2019 гг.****Table 2. Main indicators of agronomic traits of the spring oat cultivar 'Tobolyak', Tyumen, 2014–2019**

Показатели / Indicators	Сорта / Cultivars			
	Отрада (St) / Otrada (ref.)		Тобольк / Tobolyak	
	$\bar{x}$ R	V, %	$\bar{x}$ R	V, %
Период вегетации, сут. / Growing season, days	$\frac{76}{69-83}$	6,4	$\frac{78}{71-83}$	5,4
Высота растений, см / Plant height, cm	$\frac{92,0}{77,6-113,0}$	13,5	$\frac{98,8}{89,6-120,2}$	12,5
Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, score	$\frac{4,3}{3,6-5,0}$	15,6	$\frac{4,3}{3,4-5,0}$	15,1
Урожай зерна, т/га / Grain yield, t/ha	$\frac{5,47}{4,71-6,11}$	10,1	$\frac{5,88}{5,39-6,54}$	7,7
Зерновой коэффициент / Grain coefficient	$\frac{40,4}{25,7-46,0}$	18,5	$\frac{37,4}{29,4-43,3}$	14,9
Урожай зеленой массы, т/га / Green biomass yield, t/ha	$\frac{30,4}{22,9-39,4}$	26,6	$\frac{37,7}{31,4-47,3}$	15,9
Сбор сухого вещества, т/га / Dry matter yield, t/ha	$\frac{10,22}{8,69-11,75}$	16,1	$\frac{11,76}{8,62-14,56}$	18,4
Облиственность, % / Leafiness, %	$\frac{46,3}{37,1-54,4}$	15,8	$\frac{44,5}{37,3-54,1}$	17,2
Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	$\frac{35,9}{32,8-40,0}$	5,7	$\frac{33,8}{31,6-35,6}$	4,5
Натура зерна, г/л / Grain test weight, g/l	$\frac{500,1}{438,3-548,0}$	7,6	$\frac{497,2}{459,5-527,0}$	4,7
Пленчатость, %* / Hull content, %	$\frac{24,3}{22,2-27,0}$	7,5	$\frac{23,9}{22,1-25,8}$	6,3

Примечание:  $\bar{x}$  – среднее; R – размах варьирования; V – коэффициент вариации  
 Note:  $\bar{x}$  – mean; R – range of variation; V – coefficient of variation

**Таблица 3. Биохимические показатели зерна и зеленой массы овса ярового сорта 'Тобольк', Тюмень, 2014–2019 гг.****Table 3. Biochemical indicators of grain and green biomass of the spring oat cultivar 'Tobolyak', Tyumen, 2014–2019**

Показатели / Indicators	Сорта / Cultivars			
	Отрада (St) / Otrada (ref.)		Тобольк / Tobolyak	
	$\bar{x}$ R	V, %	$\bar{x}$ R	V, %
<b>Содержание в зерне / Grain contains</b>				
белка, %** / protein, %	$\frac{9,82}{7,97-10,96}$	11,5	$\frac{9,19}{7,00-10,20}$	17,6
жира, %** / fat, %	$\frac{5,17}{4,40-5,64}$	8,6	$\frac{4,25}{3,25-4,95}$	14,2
крахмала, %** starch, %	$\frac{49,57}{46,02-54,32}$	7,7	$\frac{51,35}{46,52-58,92}$	8,7
<b>Содержание в зеленой массе / Green biomass contains</b>				
каротина, мг/кг*** / carotene, mg/kg	$\frac{31,36}{21,01-45,48}$	40,4	$\frac{26,13}{16,63-40,95}$	49,8
кальция, %*** / calcium, %	$\frac{0,44}{0,30-0,64}$	33,2	$\frac{0,39}{0,25-0,54}$	33,1
фосфора, %*** / phosphorus, %	$\frac{0,31}{0,28-0,33}$	16,9	$\frac{0,28}{0,22-0,33}$	19,1
Сбор сырого протеина, т/га / Crude protein yield, t/ha	$\frac{0,828}{0,597-1,100}$	23,4	$\frac{0,826}{0,673-0,918}$	13,4
Сбор сырого жира, т/га* / Crude fat yield, t/ha	$\frac{0,398}{0,301-0,507}$	21,4	$\frac{0,358}{0,313-0,449}$	17,5
Сбор сырой клетчатки, т/га / Crude fiber yield, t/ha	$\frac{3,318}{2,556-4,556}$	26,6	$\frac{3,532}{2,513-4,822}$	30,9
Сбор сырых БЭВ, т/га* / Crude NFE yield, t/ha	$\frac{5,153}{4,317-5,638}$	11,2	$\frac{5,772}{4,900-6,817}$	13,7

Примечание:  $\bar{x}$  – среднее; R – размах варьирования; V – коэффициент вариации;

\* – данные 2016–2019 гг., \*\* – данные 2014–2019 гг., \*\*\* – данные 2017–2019 гг.

Note:  $\bar{x}$  – mean; R – range of variation; V – coefficient of variation;

\* – data for 2016–2019, \*\* – data for 2014–2019, \*\*\* – data for 2017–2019

**Таблица 4. Урожайность сорта 'Тоболяк' в регионах Российской Федерации, 2018–2019 гг.****Table 4. Yield of cv. 'Tobolyak' in the regions of the Russian Federation, 2018–2019**

Регион / Region	Урожайность, т/га / Yield, t/ha		Отклонение от стандарта, т/га / Deviation from the reference, t/ha
	Средний стандарт Average reference	Тоболяк Tobolyak	
Волго-Вятский (4) / Volgo-Vyatka (4)	4,41	4,36	-0,05
Уральский (9) / Urals (9)	2,67	2,70	+0,03
Западно-Сибирский (10) / West Siberia (10)	3,88	4,12	+0,24
Восточно-Сибирский (11) / East Siberia (11)	2,88	2,98	+0,10
Дальневосточный (12) / Far East (11)	3,66	3,98	+0,33

обл.). Результаты оценки показали преимущество данного сорта в ряде регионов Сибири и Дальнего Востока. Существенное превышение урожайности к среднему стандарту было отмечено в Кемеровской (+0,37 т/га), Омской (+0,32 т/га), Томской (+0,48 т/га) и Тюменской (+0,24 т/га) областях, а также в Республике Саха (Якутия) (+0,27 т/га), Приморском (+0,90 т/га) и Хабаровском (+0,35 т/га) краях. Прибавка урожая к среднему стандарту по сибирским регионам и Дальнему Востоку колебалась от 0,10 до 0,33 т/га.

В Государственный реестр селекционных достижений сорт внесен с 2020 года по 10, 11 и 12 регионам РФ.

#### Заключение

Сорт овса ярового нового поколения 'Тоболяк' может быть использован в АПК для производства кормов различного типа (концентрированные, зеленые и др.), а также в качестве сырья для пищевой промышленности. Он рекомендован для возделывания в Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

*Проведенные исследования по созданию новых сортов выполнены в соответствии с госзаданием Сибирского отделения Российской академии наук: Приоритетное направление X.10. 4. Программа X.10. 4.150. Проект X. 10. 4. 150.*

*The research on the development of new cultivars was performed in accordance with the State Task assigned to the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: Priority Activity X.10. 4. Program X.10. 4.150. Project X. 10. 4. 150.*

#### References / Литература

- Abd-Elmabod S.K., Abou-Baker N.H., Mansour H.A., Abd El-Rheem K.M. Climate change impacts on soil suitability for wheat production in North-Western Coast of Egypt. *Bioscience Research*. 2019;16(1):262-271.
- Batalova G.A., Lisitsyn E.M., Rusakova I.I. Biology and genetics of oats (Biologiya i genetika ovsa). Kirov: Zonal Research Institute of the North-East; 2008. [in Russian] (Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Русакова И.И. Биология и генетика овса. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока; 2008).
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. Second issue. Cereals, groat crops, grain legumes, maize and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: State Commission for Crop Variety Trials; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под ред. М.А. Федина. Москва: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; 1989).
- Fomina M., Tobolova G., Lyubimova A. New generation varieties of spring oats selected for areas with the climate as in Ural, Siberia and the Far East of Russia. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Agro-SMART – Smart Solutions for Agriculture"*

- (*Agro-SMART 2018*). Tyumen: Atlantis Press; 2018. p.201-205. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.3
- Fomina M.N. "Foma" spring oats. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(10):63-66. [in Russian] (Фомина М.Н. Яровой овес Фома. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(10):63-66).
- Gao H., Wang W., Wang Y., Liang Y. Molecular mechanisms underlying plant architecture and its environmental plasticity in rice. *Molecular Breeding*. 2019;39(12):167-169. DOI: 10.1007/s11032-019-1076-2
- Ivanova J.S., Fomina M.N., Loskutov I.G. Source material to create of high-protein varieties of oats in a zone of Northern Trans-Ural. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(2):38-47. [in Russian] (Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Лоскутов И.Г. Исходный материал для создания высокобелковых сортов овса в зоне Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):38-47). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-38-47
- Ivanova Yu.S., Fomina M.N., Loskutov I.G. Biochemical indices of grain quality of the collection samples of naked oat under the conditions of Northern Forest-Steppe. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(6):38-41. [in Russian] (Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Лоскутов И.Г. Биохимические показатели качества зерна у коллекционных образцов овса голозерного в условиях Северной Лесостепи. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(6):38-41). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10609
- Kurkaev V.T., Eroshkina S.M., Ponomarev A.A. Agricultural analysis and fundamentals of plant biochemistry (Selskokhozyaystvennyy analiz i osnovy biokhimii rasteniy). Moscow: Kolos; 1977. [in Russian] (Куркаев В.Т., Ерошкина С.М., Пономарев А.А. Сельскохозяйственный анализ и основы биохимии растений. Москва: Колос; 1977).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kolleksii 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).
- Myszka K., Boros D. Search for new genotypes of oats with improved nutritional value and high bioactive properties. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 2013;286(101-112).
- Sadimantara G.R., Muhidin, Sri Suliartini N.W., Nuraida W., Sadimantara M.S., Leomo S. et al. Agronomic and yield characteristics of new superior lines of amphibious rice derived from paddy rice and local upland rice cross-breeding in Konawe of Indonesia. *Bioscience Research*. 2018;15(2):893-899.
- Sorokin O.D. Applied statistics on the computer (Prikladnaya statistika na kompyutere). Novosibirsk; 2004. [in Russian] (Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск; 2004).
- Surin N.A. Adaptive potential of grain varieties of Siberian breeding and ways of its improvement (wheat, barley, oats): a monograph (Adaptivnyy potentsial sortov zernovykh kultur sibirskoy selektsii i puti ego sovershenstvovaniya [pshenitsa, yachmen, oves]: monografiya). Novosibirsk; 2011. [in Russian] (Сурин Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес): монография. Новосибирск; 2011).
- Zechner E. Qualitätshaferzüchtung in Österreich. In: *Getreide: Anbau und Vermarktung im Alpenraum*. Irdning; 2001. p.27-30. [in German]

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

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

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. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-107-113>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Fomina M.N. <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

Ivanova Yu.S. <https://orcid.org/0000-0002-3376-490X>

Pay O.A. <https://orcid.org/0000-0003-1996-5796>

Bragin N.A. <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

## Identification of *Tinomiscium petiolare* from Vietnam using the DNA barcode

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-114-122

УДК 582:575:581.9

Поступление/Received: 16.01.2021

Принято/Accepted: 12.05.2021



В. В. ТХИН<sup>1\*</sup>, Р. В. ДОУДКИН<sup>1,2</sup>, Л. Д. ЧАК<sup>3</sup>,  
Н. В. ЧИН<sup>3</sup>, Q. V. HOI<sup>4</sup>, N. T. LIEN<sup>3</sup>

### Идентификация *Tinomiscium petiolare* из Вьетнама с помощью штрих-кода ДНК

Б. Б. ТХИНЬ<sup>1\*</sup>, Р. В. ДУДКИН<sup>1,2</sup>, Л. Д. ЧАК<sup>3</sup>,  
Х. В. ЧИНЬ<sup>3</sup>, К. В. ХОЙ<sup>4</sup>, Н. Т. ЛИЕН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia

<sup>2</sup> Botanical Garden Institute, Far-East Branch of the Russian Academy of Sciences, 142 Makovskogo St., Vladivostok 690024, Russia

<sup>3</sup> Faculty of Natural Sciences, Hong Duc University, 565 Quang Trung Street, Thanh Hoa 40130, Vietnam

<sup>4</sup> Tay Nguyen Institute for Scientific Research, Vietnam Academy of Science and Technology, 116 Xo Viet Nghe Tinh Street, Dalat 66107, Vietnam

\* [✉ buibaothinh9595@gmail.com](mailto:buibaothinh9595@gmail.com)

<sup>1</sup> Школа естественных наук,

Дальневосточный федеральный университет, 690922 Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

<sup>2</sup> Ботанический сад-институт ДВО РАН, 690024 Россия, г. Владивосток, ул. Маковского, 142

<sup>3</sup> Факультет естественных наук, Университет Хонгдык, 40130 Вьетнам, г. Тханьхоа, ул. Куанг Чунг, 565

<sup>4</sup> Институт научных исследований Тай Нгуен Вьетнамской академии наук и технологий, 66107 Вьетнам, г. Далат, ул. Со Вьет Нге Тинь, 116

\* [✉ buibaothinh9595@gmail.com](mailto:buibaothinh9595@gmail.com)

**Background.** *Tinomiscium petiolare* Hook.f. & Thomson is a medicinal species of the family Menispermaceae. This species is currently being intensively exploited for therapeutic purposes. Precise and rapid identification of *T. petiolare* is critical and essential for the classification, propagation, use and conservation of its genetic resources. In recent years, DNA barcoding has been known to be a fast and sensitive method for identifying species at any stage of development, using short DNA sequences. In this study we have performed the identification of *T. petiolare* specimens in Vietnam based on the sequence analysis of 4 DNA barcode loci: ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*.

**Materials and methods.** Total DNA was extracted from leaf samples using DNeasy Plant Mini Kit. PCR amplification of the ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* regions was carried out on the GeneAmp PCR System 9700 with specific primers. The purified PCR products were sequenced on the ABI 3500 Genetic Analyzer system, using BigDye@Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. These genetic sequences were analyzed and compared, and a phylogenetic tree was constructed using BioEdit, BLAST, and MEGA 6 programs.

**Results and conclusion.** The success rate of amplification and sequencing was 100% for all 4 DNA barcode loci (ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*) in the studied specimens. The produced sequence sizes of ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* in the specimens were 574 bp, 810 bp, 527 bp and 488 bp, respectively. Further, we identified that all studied specimens were genetically related to each other and associated with the same species *T. petiolare*. Overall, the results of the study generated the most complete DNA barcode database of *T. petiolare* collected in Vietnam, contributing to the taxonomy and identification of this species.

**Key words:** Menispermaceae, sequence analysis, molecular identification, ITS, *matK*, *rbcl*, *rpoC*.

**Актуальность.** *Tinomiscium petiolare* Hook.f. & Thomson (тиномисциум черешковый) – лекарственный вид семейства Menispermaceae Juss. (Луносемянниковые). Этот вид в настоящее время активно используется в лечебных целях. Точная и быстрая идентификация *T. petiolare* имеет решающее значение для классификации, размножения, использования и сохранения его генетических ресурсов. В последние годы стало известно, что ДНК-штрихкодирование является быстрым и чувствительным методом идентификации видов на любой стадии развития с использованием коротких последовательностей ДНК. В этом исследовании мы провели идентификацию образцов *T. petiolare* во Вьетнаме на основе анализа последовательностей ДНК-штрихкодов 4 локусов: ITS, *matK*, *rbcl* и *rpoC*.

**Материалы и методы.** Тотальную ДНК экстрагировали из образцов листьев с помощью DNeasy Plant Mini Kit. ПЦР-амплификацию участков ITS, *matK*, *rbcl* и *rpoC* проводили в амплификаторе GeneAmp PCR System 9700 со специфическими праймерами. Очищенные продукты ПЦР секвенировали с помощью системы ABI 3500 Genetic Analyzer с использованием BigDye@Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. Полученные последовательности были проанализированы, сравнены, и построено филогенетическое дерево с помощью программ BioEdit, BLAST и MEGA 6.

**Результаты и выводы.** Степень результативности амплификации и секвенирования составила 100% для ДНК-штрихкодов всех 4 локусов (ITS, *matK*, *rbcl* и *rpoC*) исследуемых образцов. Размеры последовательностей ITS, *matK*, *rbcl* и *rpoC* исследуемых образцов, которые мы получили, составляли 574 пн, 810 пн, 527 пн и 488 пн соответственно. Кроме того, мы определили, что все исследуемые образцы генетически связаны друг с другом и относятся к одному и тому же виду *T. petiolare*. В целом результаты исследования дали самую полную базу данных о ДНК-штрихкоде образцов *T. petiolare*, собранных во Вьетнаме, что способствовало идентификации и уточнению таксономии вида.

**Ключевые слова:** Menispermaceae, анализ последовательности, молекулярная идентификация, ITS, *matK*, *rbcl*, *rpoC*.

## Introduction

Menispermaceae is a large family with about 68 genera and 440 species, including the genus *Tinomiscium* (Christenhusz, Byng, 2016). *Tinomiscium petiolare* is a medicinal species of the genus *Tinomiscium*. This species is found in China, India, Indonesia, Malaysia, Myanmar, Papua New Guinea, Philippines, Thailand, and Vietnam (Forman, 1988; Ho, 2000; Ghollasimood et al., 2012). The plants grow naturally and sparsely in mixed forests at elevations from 200 to 600 m. According to traditional medicine, *T. petiolare* has the effects on hemostasis, treatment of osteoarthritis pain, toothache, and cardiovascular disease (Van Valkenburg, Bunyapraphatsara, 2001; Chi, 2012).

Currently, *T. petiolare* is being intensively exploited for therapeutic purposes. Precise and rapid identification is critical for the classification, propagation, use and conservation of its genetic resources. Identification of this species is based on the morphological characteristics that have been studied (Ho, 2000; Chinh et al., 2015), but if the specimen is incomplete or crushed, it will be difficult to ensure high accuracy of morphological identification. Therefore, in order to overcome the disadvantages of morphology-based biological classification, the classification methods based on genetic materials have been studied and developed. In molecular classification techniques, the DNA barcode is a supporting tool for morphological classification (Hollingsworth et al., 2011). It is a modern technique that uses short DNA sequences to standardize differentiation between species (Kress, 2017). They have become a new tool to serve effectively in the inspection, classification, evaluation of genetic relationships, quality management, and origin of biological products (Mishra et al., 2015; Kress, 2017). In higher plants, some chloroplast genome regions (such as *matK*, *rbcl*, *psbA-trnH*, *atpF-atpH*, etc.) and nuclear genome regions (such as ITS-rDNA, 18S, etc.) are widely used in studying phylogenetic relationships, species taxonomy and identification (Kress et al., 2005; Mishra et al., 2015; Kress, 2017). However, for each different target group, the taxonomy of these genome regions was different (Kress et al., 2005; Tripathi et al., 2013).

Until now, the information about the DNA barcode of *T. petiolare* from Vietnam has not been studied. In this study, we carried out the identification of *T. petiolare* specimens on the basis of sequence analysis of 4 DNA barcode loci, namely ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*. At the same time, this study also generated the database of DNA barcodes for *T. petiolare* plants collected in Vietnam for GenBank (NCBI..., 1988-2021).

## Materials and methods

### Plant materials

For this study, a total of 4 *Tinomiscium petiolare* samples were collected in Pu Luong Nature Reserve (PL1 and PL2) and Ben En National Park (BE1 and BE2) in Thanh Hoa province, Vietnam (Table 1). All these specimens were identified by Dr. Hoang Van Chinh (Hong Duc University) on the basis of their morphological characteristics. The specimens were deposited in the herbarium of Hong Duc University (Vietnam); 0.5 g of fresh leaves per plant sample were dried instantly in silica gel. All specimens were stored at -20°C until processed. Also, there were sequences downloaded from GenBank (Table 2).

### DNA extraction, amplification and sequencing

Total DNA was extracted from leaf samples using DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Germany). Amplification of the ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* genes was carried out on the GeneAmp PCR System 9700 with the corresponding primers (Table 3). The PCR amplification reaction was performed in 25 µl reaction mixture consisting of 12.5 µl Master mix 2x (CWBI, China), 0.75 µl each forward and reverse primer (10 pM/µl), 10 µl deionized water, and 1 µl of template DNA. The temperature cycle was as follows: one cycle of DNA denaturation at 94°C for 5 minutes followed by 35 cycles of 94°C for 1 minute, 52°C for 1 minute, and 72°C for 1 minute, with the last extension for 10 minutes at 72°C. The PCR product was tested on 0.8% agarose gel, then purified using GeneJET PCR Purification Kit (Thermo Fisher Scientific Co., USA). The sequence of DNA fragments was determined on the ABI 3500 Genetic Analyzer system following Sanger's principle, with BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing kit (Applied Biosystems Inc., USA) by sequencing directly from PCR products.

### Sequence alignment and analysis

DNA sequences were analyzed using BioEdit software (Hall et al., 2011). All positions that contain gaps and missing data were removed from the data set. The sequences of 4 specimens were compared with those published on GenBank (Table 2) using the BLAST tool (McGinnis, Madden, 2004). The sequences were registered on GenBank (see Table 1 for the accession numbers). Also, there were sequences downloaded from GenBank (Table 2). The genetic distance and phylogenetic tree were calculated and constructed using MEGA6 software (Tamura et al., 2013).

**Table 1. Specimens for testing potential barcodes, and accession numbers in GenBank**

**Таблица 1. Образцы растений для исследования потенциальных штрихкодов и номера образцов нуклеотидных последовательностей в базе данных GenBank**

Voucher number	Species name	Location	GenBank accession number			
			ITS	<i>matK</i>	<i>rbcl</i>	<i>rpoC</i>
PL1	<i>Tinomiscium petiolare</i>	Pu Luong, Thanh Hoa, Vietnam	MW147627	MW123076	MW123080	MW123084
PL2	<i>Tinomiscium petiolare</i>	Pu Luong, Thanh Hoa, Vietnam	MW147628	MW123077	MW123081	MW123085
BE1	<i>Tinomiscium petiolare</i>	Ben En, Thanh Hoa, Vietnam	MW147629	MW123078	MW123082	MW123086
BE2	<i>Tinomiscium petiolare</i>	Ben En, Thanh Hoa, Vietnam	MW147630	MW123079	MW123083	MW123087

**Table 2. Sequences from GenBank as extensions for species identification****Таблица 2. Последовательности из базы данных GenBank, использованные для видовой идентификации**

Species name	GenBank accession number			
	ITS	<i>matK</i>	<i>rbcL</i>	<i>rpoC</i>
<i>Tinomisium petiolare</i>	HG004877, KY365658	HG005005, DQ478612	KF181577, EF173675	
<i>Orthogynium sp.</i>	KY365652			
<i>Burasaia madagascariensis</i>	KY365641			
<i>Paratinospora sagittata</i>	KY365666, KY365671, KY365672, KY365673			
<i>Borismene japurensis</i>		KC494024		
<i>Burasaia apetala</i>		KC494025		
<i>Fibraurea tinctoria</i>		KC494035	HQ260781, FJ026485	
<i>Penianthus longifolius</i>		KC494046	FJ026499	
<i>Calycocarpum lyonii</i>		KC494026		
<i>Anamirta cocculus</i>		KC494022	FJ626591, EU526983	
<i>Sphenocentrum jollyanum</i>			JN051687	
<i>Tinospora sinensis</i>				MN727386
<i>Tinospora cordifolia</i>				NC042153, MH577056
<i>Sinomenium acutum</i>				MN626719
<i>Menispermum canadense</i>				NC048451, MH298221
<i>Menispermum dauricum</i>				NC042371, MH298220

**Table 3. Primers used for amplification reactions in the study****Таблица 3. Праймеры, использованные для амплификации**

Locus	Primer name	Primer sequences (5'–3')	Expected product length (bp)	Reference
ITS	ITS1F	TCCGTAGGTGAACCTGCGG	650	White et al., 1990
	ITS4R	TCCTCCGTCTATTGATATGC		
<i>matK</i>	<i>1RKIM-f</i>	ACCCAGTCCATCTGGAAATCTTGGTTC	900	Ki-Joong Kim, pers. comm.
	<i>3FKIM-r</i>	CGTACAGTACTTTTGTGTTTACGAG		
<i>rbcL</i>	<i>rbcLa-f</i>	ATGTCACCACAAACAGAGACTAAAGC	600	Levin et al., 2003
	<i>rbcLa-r</i>	GTA AAAATCAAGTCCACCRCG		Kress, Erickson, 2007
<i>rpoC</i>	<i>rpoCF</i>	TGAGAAAACATAAGTAAACGGGC	570	Ford et al., 2009
	<i>rpoCR</i>	GTGGATACACTTCTTGATATTGG		

## Results and discussion

### Total DNA extraction and amplification of gene segments

Total DNA products after extraction and purification were examined by electrophoresis on 0.8% agarose gel. It can be seen that the obtained DNA samples were of good quality. The electrophoresis clearly exhibited only a DNA tape with high molecular weight, sharpness, and quality assurance for the next study steps.

Total DNA of the specimens, after its ultraviolet absorbance (OD) had been determined by a spectrophotometer, was diluted to the concentration required to template PCR with the specific primers (Table 3). The results of the electrophoresis of PCR products on 0.8% agarose gel showed that the primers ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* were used successfully for amplifying desired gene segments from DNA of 4 specimens and subsequent fragment cloning. Specifically, PCR products in 4 sequence regions ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* of 4 studied specimens had sizes of about 650 bp, 950 bp, 600 bp and 600 bp, respectively (Fig. 1). This result is consistent with the sequences of primers, sufficiently reliable as a basis for reading ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* sequences in the specimens to serve for the next studies.

### Sequence determination

After purification of PCR products, we performed ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* gene sequencing in 4 studied specimens on the ABI 3500 Genetic Analyzer, using BigDye@Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. The results showed that all four specimens were completely similar in all 4 sequences of ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*. The consensus ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* sequences for the 4 studied specimens were deduced as follows:

#### ITS

GTCGAATCGCAACCTTCTGGACGAGAGCCGGGCGGCCTCCGCCTTCCCCGGTGCTCGGCCGAAACAACAACCCCGGCGCGGCACGCGCAAGGAAAACTCGAACGGAATTGGTGTGCCCGGACGATAGTGCATCGTCCCGGTGCCGCCGCTTCCGGGAAAAATCTCGAATGACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAAGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAATTGCAGAATCCCCTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCGAGGCCACCCGGCCGAGGGCACGCTGCGCTGGGCGTCACGC

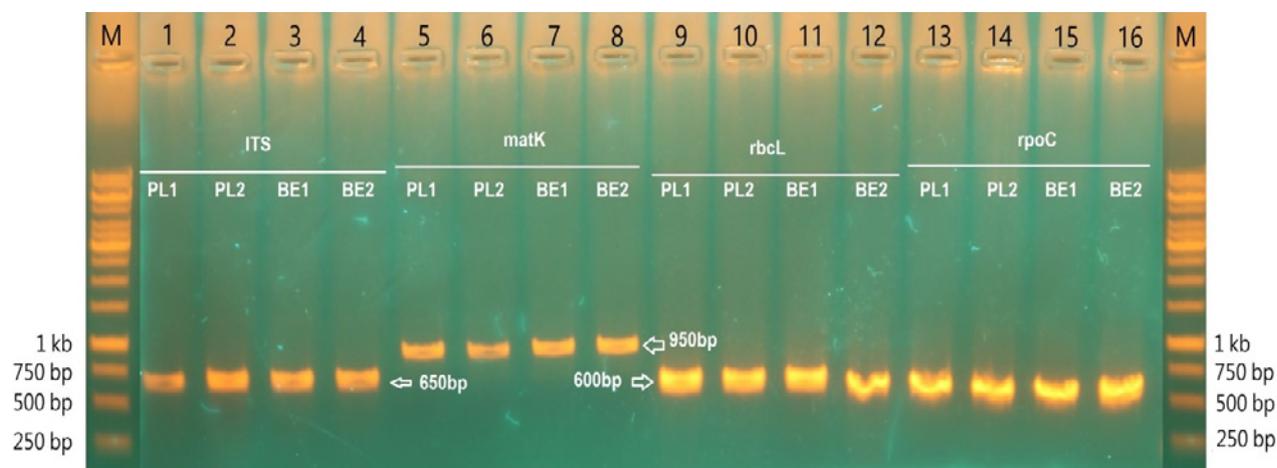
GAACGCCGCTCCCGCCCTCGCAAGAGCGCGGACAGGAGC  
GAACGTTGGCCCCCGTGACCCGGCTCACGGTCGGCTTAAAC  
GGATCCCCCTCGTTGCCCGGACGCGATCGGTGGTGGTTGAC  
GGCAACCCTTACCCGCGATTGGACGACGCGACCGAGGGGCAC  
GGGGGAAACGAACCTTCCGGAGAGAACTCCACGAGCGACCT  
CAGGTCAGGCGGGCCACCCGCTGAGTTTAA

#### *matK*

CTTTGCATTTATTGCGATTCTTTTCTACGAGTATCATA  
ATTGGAATAGGCTTATTACTCAAAAAATAAATCCATTTCT  
GTTTTTTTCAAAAAAAGAAAATCAAAGATTATTTCTT  
GTTCCATATAATTTCTCATGTATATGAATGCCAATC  
CATATTAGTTTTTTCCGTAAACAATCTTTTTATTACGATTAA  
CATCTTCTAGAGCCTTTCTGGAGCGAACCCATTTCTATG  
GAAAAATGGAACATCTTGTAGTAGTTTTTCAAAAC  
GATTTTCAGTTTATCCTATGGTTGTTGAGGGAGCCTTTCATG  
CATTATGTCAGATATCGAGGAAAAATCCATTCTGGGTTCA  
AAGGGGACCTTCTTCTGATGAATAAATGGAACCTATTACCTG  
TAAATTTCTGGCAATGTAATTTTGACTTGTGGTCTCAACTG  
GATAGGATTTATATAACCCAATTAGCCAATCATTACTTC  
GATTTTTTGGACTATCTTCAAGTGTACGACTAAATACTTCGG  
TAGTAAGGAGTCAAATGTAGATAATTCATTTATTATGGATATT  
GCGATTAAGAAGTTCGATAGTATAGTTCCAATTATTTCTTT  
GATTGGATCATTTGGCTAAAGCGAAATTTTGTAACGTAT  
CAGGGCATCCCATTAGTAAGCCGGCTCGGGCCGATTTCATCA  
GATTCTGATATTATCGATAGATTTGGGCGAATATACAA  
AAATTTCTCATTATTACAGCGGATCCTCAAAAAAAA  
TAGTTTTGATCGAATAAAGTATATACTTCGACTTTCCTGTGC  
TAGAACTTTGG

#### *rbcl*

AAGATTACAAATTGACTTATTATACTCCTGACTATG  
TACCCAAAGATACTGATACGCTAGCAGCATTCGGAGTAACTCCT  
CAACCTGGAGTTCCGCTGAAGAAGCGGGGGCTGCGGTAGCT  
GCCGAATCTTACAGGTACATGGACAACGTGTGGACCGATG  
GACTTACCAGTCTTGATCGTTACAAAAGCAGATGCTACGACATT  
GAGCCCCTTGCTGGGGAAGAAAAATCAATATATTTGTTATG  
TAGCTTACCCTTAGACCTTTTGAAGAAGTTCTGTTACTA  
ATATGTTTACTTCCATTTGTTGGTAATGTTTTTGGGTTCAAAGC  
GCTACGCGCTCTACGCTGAGGATCTGCGAGTTCTACTGCT  
TATATTAACCTTTCCAAGCCCGCTCATGGCATCCAAGTT  
GAGAGAGATAAATTGAACAAGTATGGTCTCCCTATTGGGAT  
GTACTATTAACCAAAATTTGGGATTATCCGCTAAGAACTACGG  
TAGAGCAGTTTATGAATGTCT



**Fig. 1.** DNA fragment amplification results for four studied specimens with primer pairs specific to the ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* loci

**Рис. 1.** Результаты амплификации фрагментов ДНК четырех изученных образцов с парами праймеров, специфичных для локусов ITS, *matK*, *rbcl* и *rpoC*

**rpoC**

TTACAAGTCGTTTTTCAGATGTAATTGAAGGCAAA  
GAGGAAGATTTTCGCGAGACTCTGCTTGGCAAACGGGTC  
GATTATTCGGGGCGTTCCGTCATTGTTGTGGGCCCTTC  
GCTTTCATTAATCGATGTGGATTGCCTCGCGAAATAG  
CAATAGAGCTTTTCAGACATTTGTCATTCTGTGGTTAAT  
CAGACAACATATTGCTTCCAATATAGGGGTTGCTAAAAATA  
AAATTCGGGAAAAAGAACCAATTGTGTGGGAAATAC  
TTCAAGAAGTTATGCAGGGACATCCCGTATTGCTGAA  
TAGAGCACCCACTCTGCATAGATTAGGCATACAGGCATTC  
CAACCCATTTTAGTGAAGGACGTGCTATTTGTTTACATC  
CATTAGTTTGTAAGGGATTCAATGCAGACTTTGATGGGGAT  
CAAATGGCTGTTTCATGTACCTTTATCTTTGGAGGCT  
CAAGCAGAGGCCCGTTTACTTATGTTTT

With 4 isolated sequences of ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*, we identified 4 sequences of ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* with the sizes 574 bp, 810 bp, 527 bp and 488 bp, respectively. Then, we analyzed and compared them with the ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* sequences published in GenBank (NCBI <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

**Sequence analysis**

After obtaining the sequences of ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC*, we checked the similarity of the obtained sequences with those available in GenBank using the BLAST tool (McGinnis, Madden, 2004). In our study, the ITS, *matK* and *rbcl* sequences of the studied specimens showed a high similarity index corresponding to the ITS, *matK* and *rbcl* sequences of *T. petiolare* from GenBank. Specifically, the ITS sequence in the studied specimens showed a similarity index of 99.46–99.48% with the ITS sequence of *T. petiolare* from GenBank. The *matK* and *rbcl* sequences in the studied specimens showed a simi-

larity index of 100% with the *matK* and *rbcl* sequences of *T. petiolare* in GenBank. Meanwhile, when compared with the available sequences from GenBank, the *rpoC* sequence of the studied specimens showed a similarity index of 98.16% with *T. sinensis*. This discrepancy might be due to the fact that the *rpoC* sequence data for *T. petiolare* is not currently available in GenBank. The comparison with the GenBank database aimed to give a reference result with the group of species identical to the query nucleotide sequence. BLAST results could not lead to exact conclusions about species. In the cases of BLAST with high coverage and high homology (99%), it was not possible to revise the species name because BLAST results only showed the homogeneous nucleotide sequence that was available in GenBank. Since the results of BLAST showed inaccurate points, we conducted genetic distance determination and phylogenetic tree construction using MEGA6 software to determine the scientific names for the tested specimens (Tamura et al., 2013). The results are presented in Table 4 and Fig. 2.

The results in Table 4 demonstrate that the ITS, *matK*, *rbcl* and *rpoC* sequences of all the studied specimens collected in Ben En and Pu Luong (Thanh Hoa, Vietnam) had no differences. The ITS sequence of 4 studied specimens was not significantly different (0.13% and 0.4%) compared with the ITS sequence of *T. petiolare* published on GenBank with codes HG004877 and KY365658. Meanwhile, the difference between the ITS sequence that we obtained and the ITS sequences of some other species in the family Menispermaceae, published in GenBank with codes KY365652, KY365641, KY365673, KY365672, KY365671 and KY365666, was quite sizable. The *matK* and *rbcl* sequences produced from the studied specimens showed no difference when compared with *matK* and *rbcl* sequences of *T. petiolare* published

**Table 4. Comparison of the studied gene sequences with the gene sequences in GenBank**  
(see Table 2 for the species name)

**Таблица 4. Сравнительный анализ последовательностей изучаемых фрагментов и последовательностей, представленных в базе данных GenBank (см. видовые названия в таблице 2)**

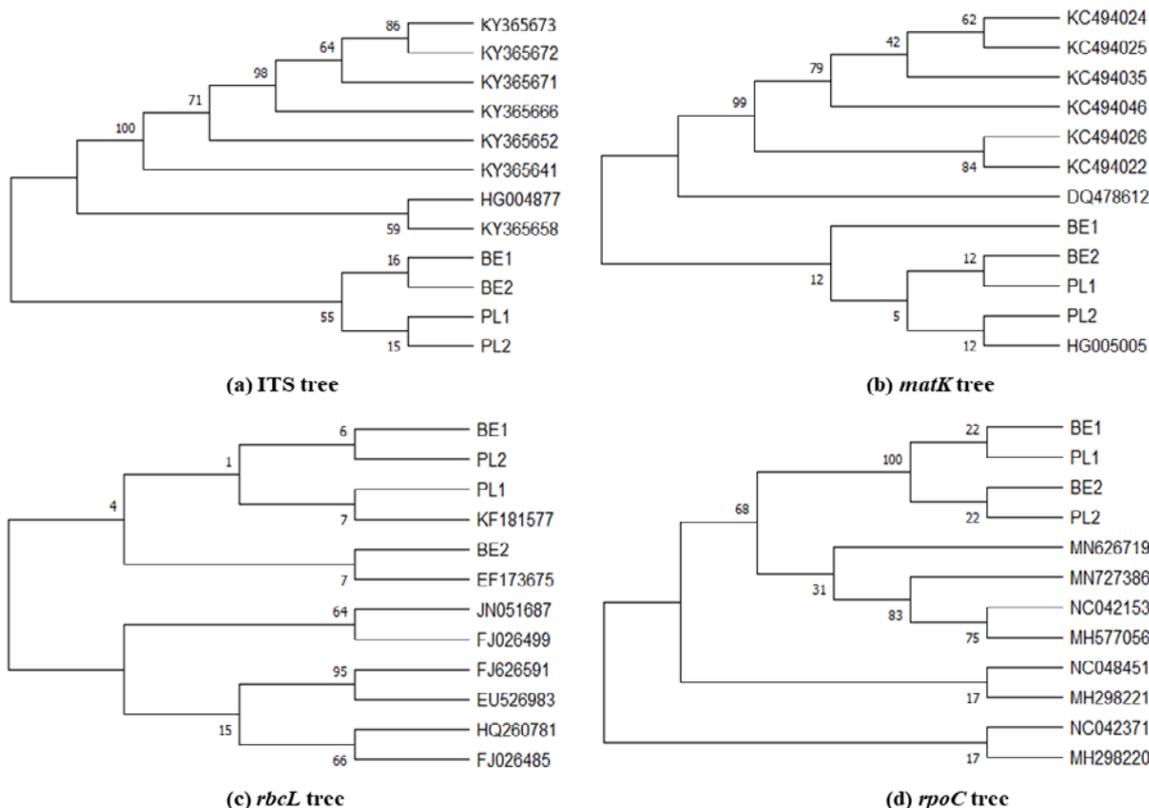
(a) ITS												
	BE1	BE2	PL1	PL2	HG004877	KY365658	KY365652	KY365641	KY365673	KY365672	KY365671	KY365666
BE1												
BE2	0.0000											
PL1	0.0000	0.0000										
PL2	0.0000	0.0000	0.0000									
HG004877	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013								
KY365658	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0013							
KY365652	0.1598	0.1598	0.1598	0.1598	0.1623	0.1715						
KY365641	0.1564	0.1564	0.1564	0.1564	0.1589	0.1679	0.0052					
KY365673	0.1645	0.1645	0.1645	0.1645	0.1671	0.1765	0.0200	0.0256				
KY365672	0.1645	0.1645	0.1645	0.1645	0.1671	0.1765	0.0200	0.0256	0.0000			
KY365671	0.1694	0.1694	0.1694	0.1694	0.1720	0.1818	0.0270	0.0327	0.0092	0.0092		
KY365666	0.1697	0.1697	0.1697	0.1697	0.1723	0.1820	0.0255	0.0298	0.0092	0.0092	0.0188	

**Table 4. Continued**  
**Таблица 4. Продолжение**

<b>(b) <i>matK</i></b>												
	<b>BE1</b>	<b>BE2</b>	<b>PL1</b>	<b>PL2</b>	<b>HG005005</b>	<b>DQ478612</b>	<b>KC494024</b>	<b>KC494035</b>	<b>KC494025</b>	<b>KC494046</b>	<b>KC494026</b>	<b>KC494022</b>
<b>BE1</b>												
<b>BE2</b>	0.0000											
<b>PL1</b>	0.0000	0.0000										
<b>PL2</b>	0.0000	0.0000	0.0000									
<b>HG005005</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000								
<b>DQ478612</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000							
<b>KC494024</b>	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0156						
<b>KC494035</b>	0.0188	0.0188	0.0188	0.0188	0.0188	0.0195	0.0137					
<b>KC494025</b>	0.0188	0.0188	0.0188	0.0188	0.0188	0.0182	0.0125	0.0163				
<b>KC494046</b>	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0131	0.0075	0.0075	0.0088			
<b>KC494026</b>	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241	0.0242	0.0250	0.0267	0.0280	0.0293	0.0192		
<b>KC494022</b>	0.0277	0.0277	0.0277	0.0277	0.0277	0.0274	0.0355	0.0381	0.0342	0.0293	0.0280	
<b>(c) <i>rbcl</i></b>												
	<b>BE1</b>	<b>BE2</b>	<b>PL1</b>	<b>PL2</b>	<b>KF181577</b>	<b>EF173675</b>	<b>FJ626591</b>	<b>JN051687</b>	<b>HQ260781</b>	<b>FJ026499</b>	<b>FJ026485</b>	<b>EU526983</b>
<b>BE1</b>												
<b>BE2</b>	0.0000											
<b>PL1</b>	0.0000	0.0000										
<b>PL2</b>	0.0000	0.0000	0.0000									
<b>KF181577</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000								
<b>EF173675</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000							
<b>FJ626591</b>	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057						
<b>JN051687</b>	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0077					
<b>HQ260781</b>	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0076	0.0038				
<b>FJ026499</b>	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0077	0.0000	0.0038			
<b>FJ026485</b>	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0076	0.0038	0.0000	0.0038		
<b>EU526983</b>	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0000	0.0077	0.0076	0.0077	0.0076	

**Table 4. The end**  
**Таблица 4. Окончание**

(d) <i>rpoC</i>												
	BE1	BE2	PL1	PL2	MN727386	NC042153	MH577056	MN626719	NC048451	MH298221	NC042371	MH298220
BE1												
BE2	0.0000											
PL1	0.0000	0.0000										
PL2	0.0000	0.0000	0.0000									
MN727386	3.9708	3.9708	3.9708	3.9708								
NC042153	3.9704	3.9704	3.9704	3.9704	0.0021							
MH577056	3.9704	3.9704	3.9704	3.9704	0.0021	0.0000						
MN626719	3.9660	3.9660	3.9660	3.9660	0.0237	0.0259	0.0259					
NC048451	3.9656	3.9656	3.9656	3.9656	0.0259	0.0281	0.0281	0.0021				
MH298221	3.9656	3.9656	3.9656	3.9656	0.0259	0.0281	0.0281	0.0021	0.0000			
NC042371	3.9656	3.9656	3.9656	3.9656	0.0259	0.0281	0.0281	0.0021	0.0000	0.0000		
MH298220	3.9656	3.9656	3.9656	3.9656	0.0259	0.0281	0.0281	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	



**Fig. 2. Tree diagram showing the genetic relationship between the studied gene sequences and the gene sequences published in GenBank (see Table 2 for the species name)**

**Рис. 2. Дендрограмма, показывающая родство последовательностей изучаемых фрагментов и последовательностей, представленных в базе данных GenBank (см. видовые названия в таблице 2)**

in GenBank with codes HG005005, DQ478612, KF181577 and EF173675. Meanwhile, the *matK* sequence that we obtained was different from the *matK* sequences of some other species in the same family Menispermaceae that were published in GenBank with codes KC494024, KC494035, KC494025, KC494046, KC494026 and KC494022. The difference rates were 1.50%, 1.88%, 1.88%, 1.26%, 2.41% and 2.77%, respectively. For the obtained *rbcL* sequence, there were differences with the *rbcL* sequences of some other species in the same family Menispermaceae published in GenBank with codes FJ626591, JN051687, HQ620781, FJ026499, FJ026485 and EU526983. The difference rates were 0.57%, 0.19%, 0.19%, 0.19%, and 0.57%, respectively. Notably, we did not find the *rpoC* sequence of *T. petiolare* on GenBank. So, the obtained *rpoC* sequence was significantly different from the *rpoC* sequences of other species in the same family Menispermaceae published in Genbank with codes MN727386, NC042153, MH577056, MN626719, NC048451, MH298221, NC042371 and MH298220. With these results, we confirmed that 4 studied specimens had genetic and species-specific relationships with *T. petiolare*.

Based on the identified sequences and homogenous ones from GenBank, we also built phylogenetic trees (Fig. 2). The results in Fig. 2 show that the ITS, *matK*, *rbcL* and *rpoC* sequences from the specimens that we collected and studied and the genetic sequence of *T. petiolare* were related to the same species and had a relatively high dissociation coefficient with other species. Therefore, the phylogenetic tree diagram demonstrates a diversity of branching, showing the genetic distance between the genetic sequence we obtained and the genetic sequences of some species that have been published in GenBank. The genetic sequences of the studied plant specimens collected at Pu Luong (PL1 and PL2) were not genetically different from those collected at Ben En (BE1 and BE2).

The results of the study have shown that the use of DNA barcodes is an effective method to quickly and accurately identify medicinal plant species (Chen et al., 2010; Mishra et al., 2016). Worldwide, there are also many studies that used DNA barcodes to identify species in the family Menispermaceae (Balasubramani, Venkatasubramanian, 2011; Yang et al., 2014; Osathanunkul et al., 2018; Wang et al., 2020). However, this study is the first to use a DNA barcode to authenticate *T. petiolare* from Vietnam. Of the four markers tested, ITS was arguably the most promising test region for species identification in this study. One advantage of the ITS region is that it can be amplified into two smaller segments (ITS1 and ITS2), therefore it is especially useful for degraded samples (Hillis, Dixon, 1991; Chen et al., 2010; Tripathi et al., 2013). The ITS region was also used to identify plant species with excellent results in previous studies (Balasubramani, Venkatasubramanian, 2011; Selvaraj et al., 2012; Thinh et al., 2020). At the same time, the results of this study also contribute to the DNA barcode database of *T. petiolare* in Vietnam.

### Conclusions

We have succeeded in isolating and sequencing ITS, *matK*, *rbcL* and *rpoC* of the studied specimens collected at Pu Luong and Ben En (Thanh Hoa, Vietnam). The sequence sizes of ITS, *matK*, *rbcL* and *rpoC* that we obtained were 574 bp, 810 bp, 527 bp and 488 bp, respectively. The ITS, *matK*, *rbcL* and *rpoC* sequences of the studied specimens collected at Pu Luong and Ben En did not differ, showing that our specimens belonged to the same species group. The ITS, *matK*, *rbcL* and *rpoC* sequences of the studied specimens were identified as *T. petio-*

*lare*. For the first time, the *rpoC* sequence of *T. petiolare* was published in GenBank. The analysis also showed that there was still a lack of data on the genetic sequence of *T. petiolare* in other available databases than GenBank. Therefore, updating and supplementing molecular data about this species in order to have a sufficient basis for comparison and identification of plant samples is also a matter of concern and implementation.

*The authors would like to thank Hong Duc University (Vietnam) and Far Eastern Federal University (Russia) for their support and facilitation to complete this study. The authors are also grateful to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to provide Bui Bao Thinh a scholarship.*

*Авторы выражают благодарность Университету Хонгдук (Вьетнам) и Дальневосточному федеральному университету (Россия) за поддержку и помощь в осуществлении настоящего исследования. Кроме того, авторы благодарны Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за предоставление стипендии Буи Бао Тхиню.*

### References / Литература

- Balasubramani S.P., Venkatasubramanian P. Molecular identification and development of nuclear DNA ITS sequence-based marker to distinguish *Coscinium fenestratum* Gaertn. (Menispermaceae) from its adulterants. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*. 2011;5(2):1163-1172.
- Chen S., Yao H., Han J., Liu C., Song J., Shi L. et al. Validation of the ITS2 region as a novel DNA barcode for identifying medicinal plant species. *PLoS One*. 2010;5(1):e8613. DOI: 10.1371/journal.pone.0008613
- Chi V.V. Dictionary of medicinal plants in Vietnam. Ho Chi Minh: Vietnam Publisher of Medicine; 2012. [in Vietnamese]
- Chinh V.T., Quang B.H., Anh T.T.P. Morphological characteristics and key to genera of family Menispermaceae in Vietnam. In: *Proceedings of the 6th National Scientific Conference of Ecology and Biological Resources (Hanoi, Vietnam)*; Hanoi; 2015. p.27-32.
- Christenhusz M.J., Byng J.W. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*. 2016;261(3):201-217. DOI: 10.11646/phytotaxa.261.3.1
- Ford C.S., Ayres K.L., Toomey N., Haider N., Van Alphen Stahl J., Kelly L.J. et al. Selection of candidate coding DNA barcoding regions for use on land plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009;159(1):1-11. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2008.00938.x
- Forman L.L. A synopsis of Thai Menispermaceae. *Kew Bulletin*. 1988;43(3):369-407. DOI: 10.2307/4118970
- Ghollasimood S., Faridah-Hanum I., Nazre M. Abundance and distribution of climbers in a coastal hill forest in Perak, Malaysia. *Journal of Agricultural Science*. 2012;4(5):245-254.
- Hall T., Biosciences I., Carlsbad C. BioEdit: an important software for molecular biology. *GERF Bulletin of Biosciences*. 2011;2(1):60-61.
- Hillis D.M., Dixon M.T. Ribosomal DNA: molecular evolution and phylogenetic inference. *The Quarterly Review of Biology*. 1991;66(4):411-453. DOI: 10.1086/417338

- Ho P.H. An illustrated flora of Vietnam. Vol. 1. Ho Chi Minh, Vietnam: Young Publishing House; 2000. [in Vietnamese]
- Hollingsworth P.M., Graham S.W., Little D.P. Choosing and using a plant DNA barcode. *PLoS One*. 2011;6(5):e19254. DOI: 10.1371/journal.pone.0019254
- Kress W.J. Plant DNA barcodes: Applications today and in the future. *Journal of Systematics and Evolution*. 2017;55(4):291-307. DOI: 10.1111/jse.12254
- Kress W.J., Erickson D.L. A two-locus global DNA barcode for land plants: the coding *rbcl* gene complements the non-coding *trnH-psbA* spacer region. *PLoS One*. 2007;2(6):e508. DOI: 10.1371/journal.pone.0000508
- Kress W.J., Wurdack K.J., Zimmer E.A., Weigt L.A., Janzen D.H. Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005;102(23):8369-8374. DOI: 10.1073/pnas.0503123102
- Levin R.A., Wagner W.L., Hoch P.C., Nepokroeff M., Pires J.C., Zimmer E.A. et al. Family-level relationships of Onagraceae based on chloroplast *rbcl* and *ndhF* data. *American Journal of Botany*. 2003;90(1):107-115. DOI: 10.3732/ajb.90.1.107
- McGinnis S., Madden T.L. BLAST: at the core of a powerful and diverse set of sequence analysis tools. *Nucleic Acids Research*. 2004;32 Suppl 2:W20-W25. DOI: 10.1093/nar/gkh435
- Mishra P., Kumar A., Nagireddy A., Mani D.N., Shukla A.K., Tiwari R. et al. DNA barcoding: an efficient tool to overcome authentication challenges in the herbal market. *Plant Biotechnology Journal*. 2016;14(1):8-21. DOI: 10.1111/pbi.12419
- NCBI. National Center for Biotechnology Information. U.S. National Library of Medicine. Bethesda, MD; 1988-2021. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> [accessed Aug. 31, 2020].
- Osathanunkul M., Osathanunkul R., Madesis P. Species identification approach for both raw materials and end products of herbal supplements from *Tinospora* species. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2018;18(1):111. DOI: 10.1186/s12906-018-2174-0
- Selvaraj D., Shanmughanandhan D., Sarma R.K., Joseph J.C., Srinivasan R.V., Ramalingam S. DNA barcode ITS effectively distinguishes the medicinal plant *Boerhavia diffusa* from its adulterants. *Genomics, Proteomics and Bioinformatics*. 2012;10(6):364-367. DOI: 10.1016/j.gpb.2012.03.002
- Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*. 2013;30(12):2725-2729. DOI: 10.1093/molbev/mst197
- Thin B.B., Chac L.D., Thu L.T. Application of internal transcribed spacer (ITS) sequences for identifying *Anoectochilus setaceus* Blume in Thanh Hoa, Vietnam. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):108-116. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-108-116
- Tripathi A.M., Tyagi A., Kumar A., Singh A., Singh S., Chaudhary L. et al. The internal transcribed spacer (ITS) region and *trnH-psbA* are suitable candidate loci for DNA barcoding of tropical tree species of India. *PLoS One*. 2013;8(2):e57934. DOI: 10.1371/journal.pone.0057934
- Van Valkenburg J.L.C.H., Bunyapraphatsara N. Medicinal and poisonous plants 2. In: *Plant Resources of South-East Asia*. Vol 12(2). Leiden: Backhuys Publishers; 2001. p.550-552.
- Wang X., Xue J., Zhang Y., Xie H., Wang Y., Weng W. et al. DNA barcodes for the identification of *Stephania* (Menispermaceae) species. *Molecular Biology Reports*. 2020;47(3):2197-2203. DOI: 10.1007/s11033-020-05325-6
- White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, T.J. White (eds). *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. London: Academic Press; 1990. p.315-322.
- Yang P., Li X., Zhou H., Hu H., Zhang H., Sun W., et al. Molecular identification of Chinese materia medica and its adulterants using ITS2 and *psbA-trnH* Barcodes: a case study on Rhizoma Menispermii. *Chinese Medicine*. 2014;5(4):1-8. DOI: 10.4236/cm.2014.54023

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Тхинь Б.Б., Дудкин Р.В., Чак Л.Д., Чинь Х.В., Хой К.В., Лиен Н.Т. Идентификация *Tinomisium petiolare* из Вьетнама с помощью штрих-кода ДНК. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):114-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-114-122

Thin B.B., Doudkin R.V., Chac L.D., Chinh H.V., Hoi Q.V., Lien N.T. Identification of *Tinomisium petiolare* from Vietnam using the DNA barcode. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):114-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-114-122

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-114-122>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Thin B.B. <https://orcid.org/0000-0002-3826-1199>

Doudkin R.V. <https://orcid.org/0000-0002-5528-7729>

Chac L.D. <https://orcid.org/0000-0002-0845-4678>

Chinh H.V. <https://orcid.org/0000-0002-5329-9478>

Hoi Q.V. <https://orcid.org/0000-0002-3691-941X>

Lien N.T. <https://orcid.org/0000-0002-0069-9945>

# Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130



УДК 633.14: 575.22:581.82

Поступление/Received: 28.05.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021

V. Д. КОБЫЛЯНСКИЙ<sup>1</sup>, О. В. СОЛОДУХИНА<sup>1\*</sup>,  
И. М. НИКОНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
\* [✉ osolodukhina1953@gmail.com](mailto:osolodukhina1953@gmail.com)

<sup>2</sup> Башкирский научно-исследовательский институт  
сельского хозяйства УФИЦ РАН,  
450059 Россия, г. Уфа ул. Рихарда Зорге, 19  
[✉ ilyusya.nikonorova@mail.ru](mailto:ilyusya.nikonorova@mail.ru)

## Morphological features of rye grain with low pentosan content

V. D. KOBLYANSKY<sup>1</sup>, O. V. SOLODUKHINA<sup>1\*</sup>,  
I. M. NIKONOROVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia  
\* [✉ osolodukhina1953@gmail.com](mailto:osolodukhina1953@gmail.com)

<sup>2</sup> Bashkir Research Institute of Agriculture,  
Ufa Federal Research Center  
of the Russian Academy of Sciences,  
19 R. Zorge St., Ufa 450059, Russia  
[✉ ilyusya.nikonorova@mail.ru](mailto:ilyusya.nikonorova@mail.ru)

**Актуальность.** Покровы зерна ржи играют главную роль при создании сортов ржи, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов (ВРП) в зерне. Тонкопокровность зерновки служит диагностическим признаком низкого содержания ВРП (арабиноксиланов). Для совершенствования технологии селекции низкопентозановой ржи приобретает значение изучение связи тонкопокровности ее зерна с морфологическими признаками.

**Материалы и методы.** Тонкопокровные стекловидноподобные зерна идентифицировали при помощи диафаноскопа ЛФС-1 в популяциях 7 сортов озимой ржи, районированных в РФ. Морфологические особенности покровов зерна изучали на толсто- и тонкопокровных зерновках, выявленных среди сортов 'Эра' и 'Вятка'. Препарирование зерна для определения толщины его покровов и алейронового слоя проводили по Л. Н. Любарскому.

**Результаты и заключение.** У тонкопокровного зерна ржи, по сравнению с толстопокровным, установлено уменьшение толщины перикарпия и семенной кожуры на 50–70% и алейронового слоя на 32,1–39,6% за счет не только клеточных стенок, но и межклеточного пространства. В тканях клеток эпидермы перикарпия содержится основное количество защитных биологически пассивных ВРП. Доказано отсутствие значимых изменений параметров зерновок по длине, ширине и условному объему в зависимости от их тонкопокровности. Достоверные отличия касались показателя «масса 1000 зерен». У стекловидноподобных (прозрачных) зерновок по сравнению с непрозрачными она увеличилась на 5,2–19,7 процентов.

**Ключевые слова:** *Secale cereale*, водорастворимые пентозаны, покровы и алейроновый слой зерновки.

**Background.** The grain coat plays a major role in the development of rye cultivars with low levels of water-soluble pentosans (WSP). Grain coat thinness is a diagnostic trait for low WSP (arabinoxylans) content. To improve the technology of low-pentosan rye breeding, it becomes important to study the effect of changes in the anatomy of low-pentosan grains on morphological characteristics.

**Materials and methods.** Grains with thin coats (transparent) were identified with the LFS-1 diaphanoscope in the population of 7 commercial winter rye cultivars grown in Russian Federation. Anatomical and morphological features of seed coats were studied on thick- and thin-coated grains identified in the rye cultivars 'Era' and 'Vyatka'. The thickness of grain coats and the aleurone layer were assessed according to L. N. Lyubarsky.

**Results and conclusions.** In thin-coated rye grains, we found a reduction in the thickness of the pericarp and seed coats by 50–70% and in the aleurone layer by 32.1–39.6%, compared to thick-coated grains. With a constant cell size in "transparent" grains, a decrease in the thickness of the aleurone layer and coat occurs at the expense of the reduction in not only the cell walls, but also the intercellular space. The pericarp in the tissues of the second multicellular layer contains the bulk of the protective biologically passive WSP. It was proved that there were no significant changes in grain parameters, such as length, width and relative volume, depending on coat thinness. Significant differences were found in the 1000 grain weight. In "transparent" grains the index increased by 5.2–19.7%, compared with "nontransparent" ones.

**Key words:** *Secale cereale*, water-soluble pentosans, grain coating, aleurone layer cells.

## Введение

В настоящее время особое внимание уделяется развитию нового направления в селекции ржи – созданию сортов универсального использования, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов (ВРП) в зерне. Выявлено, что покровы зерна ржи играют главную роль в решении рассматриваемой проблемы. Известно, что 99% ВРП в зерне злаковых растений

локализовано в периферической части зерновки – перикарпии, семенной кожуре (спермодерме) и алейроновом слое, располагаясь в клеточных стенках и межклеточном пространстве (Kretovich, Petrova, 1951). Выявлена взаимообусловленная связь между количественным содержанием ВРП и толщиной покровов зерновки (Kobylyansky, Solodukhina, 2009). При селекции низкопентозановой ржи проведен поиск генотипов, характеризующихся уменьшенной толщиной покровов зерновки до мини-

мально возможных размеров. Установлено, что крайняя тонкопокровность зерна служит диагностическим признаком низкого содержания ВРП (арабиноксиланов). В наших экспериментах поиск исходного материала для селекции направлен на выявление образцов ржи из коллекции ВИР, в популяциях которых содержится наибольший процент низкопентозановых зерен. Среди изученных 502 коллекционных популяций и 60 сортов диплоидной яровой и озимой ржи российской селекции удалось обнаружить формы растений с крайне низким содержанием ВРП в зерне. Частота тонкопокровных зерен у разных сортов составляет от 12 до 70%.

У ржи тонкопокровная структура зерновки формируется вследствие уменьшения толщины перикарпия, семенной кожуры и алейронового слоя, что и приводит к проявлению «прозрачности» и ложной стекловидности. Изменение «оптических» свойств низкопентозановых зерен ржи можно наблюдать, пропуская через них световые лучи. Без просвечивания тонкопокровные зерна не выглядят стекловидными, в отличие от реально стекловидных зерен у пшеницы. При проявлении ложной стекловидности у ржи эндосперм зерна остается мучнистым.

По результатам биохимического анализа установили, что зерновки ржи с «прозрачными» покровами, содержали низкое количество ВРП (0,5–0,9%). Их диагностировали как низкопентозановые, а непрозрачные зерновки с высоким содержанием ВРП (1,0–3,0%) – как высокопентозановые (рис. 1).

Особо ценными для селекции на низкопентозановость являются рецессивное полигенное наследование признака и незначительная его изменчивость в зависимости от места и условий выращивания сортов (Kobylyansky, Solodukhina, 2009). Это позволяет в процессе селекции получать нерасщепляющиеся константные формы растений для разных зон возделывания ржи.

На основе научных разработок сотрудников ВИР совместно с селекционерами за период 2016–2020 гг. удалось создать первые низкопентозановые сорта озимой ржи, не имеющие мировых аналогов: 'Вавиловская', 'Берегиня', 'Подарок', 'Янтарная', 'Красноярская универсальная' и 'Новая Эра' (Korelina et al., 2017; Kobylyanskii et al., 2019a). Низкопентозановость зерна этих сортов определяет их универсальное использование в комбикормовой,

хлебопекарной и перерабатывающей промышленности (Kobylyansky et al., 2017; Kobylyansky et al. 2019b). Созданные низкопентозановые сорта содержат более 90% тонкопокровных зерен.

По сообщению А. А. Гончаренко с соавторами (Goncharenko et al., 2020), высокое содержание некрахмальных полисахаридов (ВРП) в зерне хлебопекарных сортов ржи отрицательно сказывается на его крупобразующей способности.

Учитывая этот факт, можно предположить, что зерно ржи с низким содержанием ВРП пригодно для использования и в крупяной промышленности.

Предшествующие исследования структуры зерна классической (хлебопекарной) ржи были посвящены его использованию преимущественно в мукомольной и хлебопекарной промышленности и направлены на поиск и разработку более эффективных технологий его переработки. Большое внимание уделено анатомо-морфологическим особенностям «оболочек», покрывающих эндосперм (мучную часть зерновки), и находящемуся на его периферии алейроновому слою. Специалисты в области хлебопечения, изучив покровы зерновок, пришли к заключению, что «... оболочки зерна, выполняя различные функции в процессе его жизненного цикла, в то же время являются крайне нежелательным балластом при его размоле» (Lyubarsky, 1957, p. 56).

Существуют данные о связи анатомо-морфологических признаков и качества зерна хлебных злаков (Stepanov, 2001).

Для совершенствования технологии селекции низкопентозановой ржи приобретает значение изучение связи тонкопокровности ее зерна с морфологическими признаками.

#### Материалы и методы

Морфологические особенности покровов зерна изучали на толсто- и тонкопокровных зерновках, выявленных среди сортов 'Эра' и 'Вятка'. Препарирование зерна для определения толщины перикарпия, семенной кожуры и алейронового слоя проводили методом № 1 «прямого разделения зерна на его составные части» (Lyubarsky, 1957).

Идентификацию и отбор тонкопокровных зерновок, проявляющих ложную стекловидность («прозрач-



**Рис. 1. Зерновки ржи с различным содержанием водорастворимых пентозанов:**

- (a) непрозрачные морщинистые зерновки с содержанием водорастворимых пентозанов – 2,2%,  
 (b) прозрачные (стекловидноподобные) зерновки с содержанием водорастворимых пентозанов – 0,5%

**Fig. 1. Rye grains differing in the content of water-soluble pentosans:**

- (a) nontransparent wrinkled grains with the water-soluble pentosan content of 2.2%,  
 (b) transparent (quasi-vitreous) grains with the water-soluble pentosan content of 0.5%

ность») осуществляли визуально при помощи лабораторного цилиндрического диафаноскопа ЛФС-1, используемого для определения настоящей стекловидности зерна пшеницы.

Изучение линейных показателей параметров целого зерна проводили на зерновках у 7 произвольно взятых сортов, районированных в РФ. Для этих целей использовали фракции толсто- и тонкопокровных зерен по 20 штук каждого сорта. Промеры длины, ширины (между боковыми поверхностями) и высоты (от бороздки до спинки) зерновок осуществляли при помощи штангенциркуля КАЛИБРОН ШЦ-I 0,125 0,1. Условный объем зерновок рассчитывали по формуле определения объема эллипсоида, близкого по форме к зерновке ржи, а именно:

$$V = \frac{3}{4} \pi \times a \times b \times c, \text{ где}$$

a = длина зерновки /2, мм;

b = ширина зерновки /2, мм;

c = высота зерновки /2, мм.

Следует отметить особо, что из массы зерна каждого сорта взяты случайные зерна из каждой фракции. Кроме линейных параметров зерновок и вычисления их условного объема, определяли массу 1000 зерен. Учитывая тот факт, что зерновки имели одинаковые линейные размеры ширины и высоты, в таблице 2 представлены только показатели ширины.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали селекционно ориентированную программу AGROS (версия 2.09) и пакет прикладных программ Microsoft Excel 7.0.

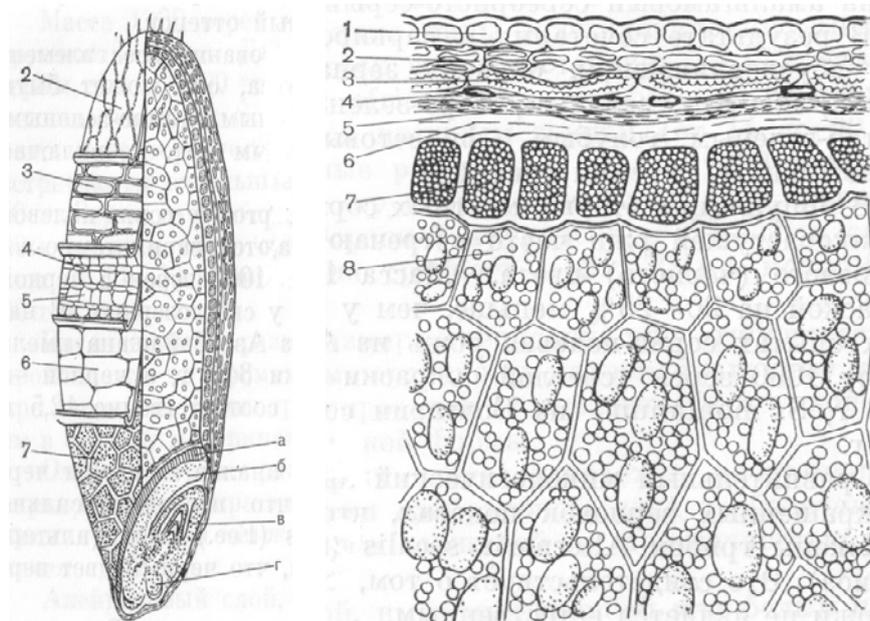
### Результаты и обсуждение

Первые наблюдения свидетельствовали об изменениях в структуре покровов зерновки и алейронового

слоя у низкопентозановой ржи. Строение зерновки ржи, а также названия ее частей и термины, используемые в исследованиях ботаников и селекционеров, типичны для всех хлебных злаков (Esau, 1980; Takhtajan, 1985). Покровы как высокопентозановой, так и низкопентозановой ржи состоят из перикарпия и семенной кожуры (рис. 2), которые защищают ржаное зерно от внешних воздействий, тем самым предохраняя зародыш от попадания в него вредных, ядовитых веществ и механических повреждений, пропускают внутрь зерна воздух и кислород при определенных условиях, что имеет большое значение при прорастании зерна.

**Перикарпий** покрывает всю поверхность зерновки, кроме зародыша. Он состоит из слоев клеток, различающихся по строению и функциям. В перикарпий входят: наружная эпидерма (экзокарпий), средние слои клеток (мезокарпий) и внутренняя эпидерма (эндокарпий). Толщина перикарпия у толстопокровных зерновок с высоким содержанием ВРП составляет 63–71 микрон, а у тонкопокровных низкопентозановых зерновок – почти в два раза меньше (табл. 1).

**Экзокарпий**, состоящий из полупрозрачных, вытянутых вдоль зерновки клеток, осуществляет общую защитную роль. Верхний слой состоит из одного ряда клеток, ниже лежащий неоднороден в разных местах по числу рядов клеток. Число рядов варьирует от одного-двух до шести вблизи зародыша и более шести около бороздки зерновки. Присутствуют склеренхимные клетки с крупными межклетниками, в которых содержатся в значительных количествах полимерные высокомолекулярные пентозаны. Кроме механической защиты, в связи с наличием большого количества полимерных пентозанов, экзокарпий служит биологической защитой от поедания зерен птицами и полевыми грызунами. У непрозрачных высокопентозановых зерновок покровы грубые и, как правило, в разной степени морщинистые. Животные



**Рис. 2.** Схема структуры зерновки ржи (по В. Д. Кобылянскому, 1982)

1, 2, 3 – слои клеток перикарпия; 4, 5, 6 – слои клеток семенной кожуры; 7 – алейроновый слой (максимальная локализация ВРП); 8 – эндосперм; а, б, в, г – зародыш зерновки

**Fig. 2.** The scheme of the rye grain structure (from V. D. Kobylansky, 1982)

1, 2, 3 – layers of pericarp cells; 4, 5, 6 – layers of spermoderm cells; 7 – aleurone layer (maximum localization of WSP); 8 – endosperm; а, б, в, г – grain germ

**Таблица 1. Толщина перикарпия, семенной кожуры и алейронового слоя зерновок ржи сортов 'Эра' и 'Вятка', различающихся по толщине покровов (мкм)****Table 1. The thickness of the pericarp, spermoderm and the aleurone layer in rye grains of cvs. 'Era' and 'Vyatka', differing in grain coat thickness (microns)**

Покровы зерновки и алейроновый слой	Варьирование толщины покровов и алейронового слоя зерновки, мкм		Степень уменьшения толщины оболочек и алейронового слоя у тонкопокровных зерновок, мкм
	толстопокровная	тонкопокровная	
Перикарпий:	63 – 71	38 – 51	20 – 25
Экзокарпий (продольные клетки)	31 – 39	19 – 23	12 – 16
Мезокарпий (поперечные клетки); Эндокарпий (трубчатые клетки)	31 – 32	19 – 28	4 – 12
Семенная кожура	31 – 41	19 – 25	12 – 16
Алейроновый слой	53 – 56	32 – 38	18 – 21

и птицы интуитивно распознают высокопентозановое зерно и не употребляют его в пищу. При этом животные поедают такое зерно в фазу его молочной спелости, когда ВРП находятся в мономерном низкомолекулярном состоянии. У низкопентозановых зерновок ржи клетки экзокарпия имеют тонкие стенки, что способствует их высокой прозрачности, а сама зерновка выглядит гладкой. Отличительная особенность такого зерна в том, что оно охотно поедается всеми видами животных вне зависимости от уровня его спелости, и это проверено опытным путем (Lunegova et al., 2014).

Следующие два слоя клеток различаются по расположению, форме и функциям. Средний слой (мезокарпий) состоит из плоских продолговатых (поперечных) клеток с одревесневшими стенками, вытянутых поперек зерновки. Следующий под ним слой (эндокарпий) имеет трубчатые (мешковидные) клетки, расположенные вдоль зерновки. Оба слоя клеток (поперечных и трубчатых) лежат плотно к друг другу и также плотно прилегают к семенной кожуре, распложенной под ними. Они выполняют функцию накопления воды при набухании зерновки и диффузной ее передаче семенной кожуре при прорастании зародыша. В связи с тем, что ВРП находятся в перикарпии зерновки, то есть за пределами зародыша, пентозаны не участвуют в обмене веществ при прорастании зерна.

Семенная кожура (спермодерма) состоит из трех «кутикулярных» слоев продольных прозрачных клеток, с внешней стороны покрытых слоем кутина, образующего гладкую глянцевую поверхность и пропускающего только диффузную влагу. В наших экспериментах наблюдали, что семенная кожура зерна не пропускала спирт и ацетон в течение 2,5 часов. Нижняя сторона спермодермы плотно примыкает к находящемуся под ней гиалиновому слою непрозрачных набухающих клеток, происходящих из нуцеллуса (перисперма), которые так же плотно прилегают к алейроновому слою эндосперма. У низкопентозановых зерновок клетки гиалинового слоя прозрачные, что увеличивает прозрачность всей зерновки. Семенная кожура осуществляет защиту зародыша и обеспечение его диффузной влагой при прорастании. Подобным образом диффузной влагой обеспечивается алейроновый слой и остальной эндосперм. В нашем эксперименте толщина семенной кожуры у толстопокров-

ных зерновок сортов 'Эра' и 'Вятка' составляла 31–41 мкм, у тонкопокровных – 19–25 мкм.

Наибольшая толщина покровов зерновки ржи формируется в период начала желтой (восковой) спелости. В фазу завершения роста зерновки, в конце молочной – начале восковой спелости, она начинает уменьшаться, достигая постоянных размеров. Перед созреванием зерна происходит завершающий рост тканей и перераспределение остаточных обменных веществ в межклеточное пространство перикарпия и семенной кожуры (Aleksandrov, Aleksandrova, 1948). Во время этого процесса под действием собственных ферментов пентозаны из мономерных физиологически активных переходят в полимерные высокомолекулярные формы. Слои перикарпия и спермодермы уплотняются. При этом зерновки, содержащие большое количество пентозанов, образуют толстые, а при малом их содержании – тонкие покровы. Замечено, что уменьшение толщины каждого слоя происходит по причине уменьшения объема клеток и межклеточных пространств. В наших исследованиях суммарная толщина перикарпия и семенной кожуры у «прозрачных» зерновок ржи варьировала в пределах 57–76 мкм, у непрозрачных зерновок – 94–112 мкм. Аналогичная тенденция прослеживалась и при изучении зерен у сортов мягкой пшеницы при изучении истинной стекловидности (Fedotov, 2017).

Алейроновый слой является периферической частью эндосперма и не относится к числу покровов зерновки. У зерна ржи алейроновый слой состоит из одного ряда крупных толстостенных клеток с большими межклеточными. С внешней стороны он плотно прилегает к гиалиновому слою семенной кожуры. Функция алейронового слоя состоит в обеспечении зародыша влагой, водоразводимыми пентозанами, питательными веществами и ферментами. Следует отметить, что по содержанию основных химических веществ, особенно пентозанов, он превосходит все ткани зерновки. Количество пентозанов увеличивается по мере роста алейронового слоя зерновки и составляет около 30% от его массы. В это время пентозаны находятся в активном мономерном состоянии и не образуют липкие слизи. По завершению роста зерновки в начале восковой спелости они переходят в полимерное высокомолекулярное состояние. Толщина алейронового слоя зерновки с высоким содержанием ВРП

варьировала от 53 до 56 мкм, а у ложностекловидных низкопентозановых зерновок – от 32 до 38 мкм (см. табл. 1). Впервые это явление у ржи было отмечено при изучении верхних слоев эндосперма у стекловидноподобных и мучнистых зерновок, различающихся по количеству белка и крахмала, у сорта 'Вятка'. Клетки алейронового слоя у «стекловидных» зерновок имели перегородки толщиной 3 мкм, а у мучнистых – 6,1 мкм (Ророва, 1979).

Проведенные исследования толщины покровов зерновок ржи позволили объяснить основную причину возникновения тонкопокровности. Проявление тонкопокровности зерновки обусловлено уменьшением толщины тканей перикарпия, семенной кожуры и алейронового слоя. Полученные данные подтвердили установленную причинно-следственную связь между «прозрачностью» зерна и низким содержанием в нем водорастворимых пентозанов. Иными словами, толщина покровов

зерновки «влияет» на содержание в них водорастворимых пентозанов (Kobylyansky, Solodukhina, 2009). Для детального рассмотрения установленных закономерностей нами планируется сравнительное анатомо-морфологическое изучение зерна (в том числе и в онтогенезе), различающегося по тонкопокровности.

С целью выявления изменчивости морфологических признаков было проведено изучение фракций зерна альтернативных по прозрачности и толщине покровов у произвольно взятых районированных сортов ржи, содержащих непрозрачные (НПР) толстопокровные и прозрачные (ПР) тонкопокровные зерновки (табл. 2). Частота прозрачных зерен в популяциях сортов колебалась от 24 до 60%. Больше всего низкопентозановых (прозрачных) зерен встречалось у сорта 'Синильга'.

Проведенные исследования не выявили статистически значимых различий между прозрачными и непрозрачными зерновками по длине, ширине, высоте

**Таблица 2. Основные параметры зерновок ржи, различающихся по прозрачности оболочки**

**Table 2. Main parameters of rye grains differing in grain coat transparency**

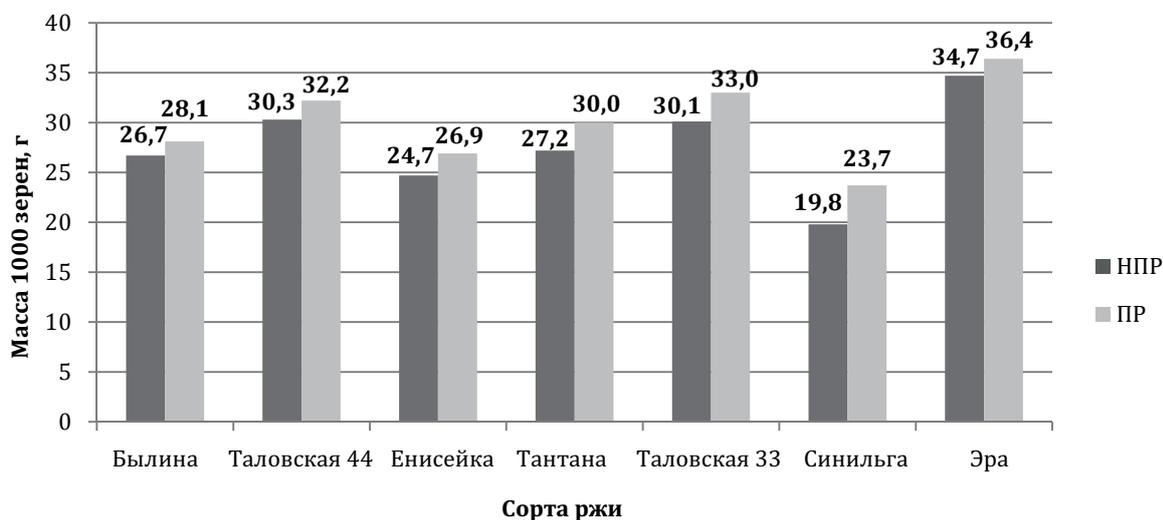
Сорт (количество прозрачных зерен, %)		Длина		Ширина		Условный объем		Масса 1000 зерен	
		мм	V, %	мм	V, %	мм <sup>3</sup>	V, %	г	+ / - к НПР
Былина (30)	НПР	6,84 ± 0,16	3,21	2,14 ± 0,09	8,90	16,40 ± 2,12	18,08	26,7	
	ПР	7,29 ± 0,14*	2,65	1,95 ± 0,10	10,62	14,39 ± 1,45	14,05	28,1*	+1,4
	НСР <sub>05</sub>	0,27		0,26		2,25		0,95	
Таловская 44 (24)	НПР	7,47 ± 0,40	7,64	2,46 ± 0,18	15,82	23,13 ± 2,65	16,01	30,3	
	ПР	7,37 ± 0,33	6,35	2,40 ± 0,09	8,39	22,20 ± 2,51	15,83	32,2*	+1,9
	НСР <sub>05</sub>	0,48		0,40		3,43		0,93	
Енисейка (40)	НПР	6,67 ± 0,34	7,2	1,93 ± 0,11	12,11	13,17 ± 2,55	27,12	24,7	
	ПР	6,76 ± 0,55	11,4	1,96 ± 0,08	8,36	13,67 ± 2,10	21,47	26,9*	+2,2
	НСР <sub>05</sub>	0,57		0,27		3,10		0,95	
Тантана (34)	НПР	7,12 ± 0,26	5,01	2,05 ± 0,09	9,16	15,85 ± 2,55	22,55	27,2	
	ПР	7,39 ± 0,33	6,34	2,18 ± 0,08	8,25	18,53 ± 2,36	17,80	30,0*	+2,8
	НСР <sub>05</sub>	0,41		0,24		3,27		0,93	
Таловская 33 (36)	НПР	7,27 ± 0,15	2,93	2,27 ± 0,07	6,65	19,56 ± 1,35	9,68	30,1	
	ПР	7,36 ± 0,30	5,73	2,18 ± 0,10	10,21	18,68 ± 3,28	24,55	33,0*	+2,9
	НСР <sub>05</sub>	0,43		0,31		4,05		0,93	
Синильга (60)	НПР	6,85 ± 0,38	7,79	1,85 ± 0,08	8,90	12,25 ± 1,51	17,30	19,8	
	ПР	6,93 ± 0,44	8,83	1,96 ± 0,09	9,39	14,02 ± 1,73	17,13	23,7*	+3,9
	НСР <sub>05</sub>	0,54		0,23		2,27		0,95	
Эра (43)	НПР	7,28 ± 0,38	7,31	2,31 ± 0,08	7,52	20,35 ± 2,20	15,10	34,7	
	ПР	7,72 ± 0,58	10,4	2,29 ± 0,05	4,85	21,25 ± 1,98	13,02	36,4*	+1,7
	НСР <sub>05</sub>	0,67		0,18		2,73		0,93	

Примечание: НПР (оболочки непрозрачные); ПР (оболочки прозрачные); V – коэффициент вариации; НСР<sub>05</sub> – наименьшая существенная разница при уровне значимости  $p < 0,05$ ; \* отклонение существенно при 5% уровне значимости

Note: НПР (nontransparent grain coat); ПР (transparent grain coat); V – coefficient of variation; НСР<sub>05</sub> – the lowest significant difference at  $p < 0.05$ ; \* deviation is significant at 5% level of significance

и условному объему у всех изученных сортов, о чем свидетельствовали показатели НСР. Достоверные изменения касались только массы 1000 зерен. Так, у прозрачных зерновок, по сравнению с непрозрачными, она увеличилась на 1,4–3,9 г или на 5,2–19,7%, в зависимости от сорта (рис. 3). Это можно объяснить увеличением доли тяжеловесного крахмало-белкового эндосперма и уменьшением доли «легковесных» покровов у «прозрачных» (тонкопокровных) зерновок.

щихся по структуре тканей, определяющих различное содержание ВРП в зерне. Оба класса находятся в тесном взаимодействии внутри единой генетической системы, контролирующей наследование и изменчивость признаков растений. При внутривидовом скрещивании альтернативных групп растений не образуется промежуточных рекомбинантов по содержанию ВРП. При расщеплении гибридов идентифицируются только растения, полностью соответствующие одной из двух возможных



**Рис. 3.** Масса 1000 зерен «прозрачных» (ПР) и «непрозрачных» (НПП) зерновок, выявленных в популяциях сортов ржи

**Fig. 3.** Weight of 1000 grains for “transparent” (PP) and “nontransparent” (NPP) grain types identified in populations of rye cultivars

### Заклучение

Проявление тонкопокровности зерновки обусловлено уменьшением толщины тканей перикарпия, семенной кожуры и алейронового слоя, приводящим к уменьшению содержания в них водорастворимых пентозанов.

Экспериментально доказано отсутствие существенных изменений основных показателей параметров зерновок (длины, ширины, условного объема) в зависимости от их тонкопокровности. Эти изменения не выходили за пределы статистической ошибки опыта.

Значимые изменения касались только показателей массы 1000 зерен. У тонкопокровных стекловидноподобных зерновок она достоверно увеличилась на 5,2–19,7% в зависимости от изучаемого сорта.

Незначительное влияние тонкопокровности на морфологические особенности низкопентозанового зерна можно считать положительным фактором при селекции универсальной ржи. Это свидетельствует о том, что у нового типа низкопентозановых растений, выделенных из популяций классической высокопентозановой ржи, низкое содержание ВРП не влияет отрицательно на размер зерна и, следовательно, на продуктивность колоса.

Изменения в структуре тканей зерна ржи, связанные с изменением количества пентозанов, распространяются и на другие органы растений. Подтверждением этому служит факт создания низкопентозановых сортов, состоящих на 90% и более из стекловидноподобных зерновок.

Наши наблюдения позволяют утверждать, что современные популяции ржи состоят из двух самостоятельных равноценных классов растений, четко различаю-

форм. Каждый тип растений (с высоким или низким содержанием ВРП в зерне) может существовать как в виде самостоятельных равноценных популяций, так и в виде смешанной популяции ржи. Методами селекции изучаемые популяции сортов могут быть разделены на отдельные субпопуляции, каждая из которых состоит из разных обособленных форм растений. При создании низкопентозановых сортов отбирают формы ржи со стекловидноподобным низкопентозановым зерном. Это позволяет за короткий срок (3 года) создать популяцию нового низкопентозанового сорта. Для этой цели большой интерес представляет сорт ‘Синильга’, содержащий 60% низкопентозановых зерен.

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».*

*The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 “Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and great crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production”.*

## References / Литература

- Aleksandrov V.G., Aleksandrova O.G. Anatomy of the wheat grain (*Anatomiya zernovki pshenitsy*). *Trudy Botanicheskogo instituta imeni V.L. Komarova = Proceedings of the Komarov Botanical Institute*. 1948;1(7):263-334. [in Russian] Александров В.Г. Александрова О.Г. Анатомия зерновки пшеницы. *Труды Ботанического института имени В.Л. Комарова*. 1948;1(7):263-334.
- Esau K. Anatomy of seed plants. Book 2. Translated by A.E. Vasilyev et al. Moscow: Mir; 1980. [in Russian] (Эзау К. Анатомия семенных растений. Книга 2. Перевод А.Е. Васильева и др. Москва: Мир; 1980).
- Fedotov V.A. Connection of morphological and anatomical characteristics of wheat grain with technological properties. *International Research Journal* 2017;12-5(66):175-178. [in Russian] (Федотов В.А. Связь морфолого-анатомических характеристик зерна пшеницы с технологическими свойствами. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017;12-5(66):175-178). DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.139
- Goncharenko A.A., Makarov A.V., Kuzmich M.A., Ermakov S.A., Semenova T.V., Tochilin V.N. et al. Comparative assessment of varieties of winter rye on groats forming ability. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;(1):3-10. [in Russian] (Гончаренко А.А., Макаров А.В., Кузьмич М.А., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Тоцилин В.Н. и др. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по крупобразующей способности. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(1):3-10). DOI: 10.31857/S2500-2627-2020-1-3-10
- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V., Lunegova I.V., Novikova S.P., Хлопчук М.С., Макаров В.И. Rye breeding for low-pentosans and possibility of its use in animal feeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(1):31-40. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Лунегова И.В., Новикова С.П., Хлопчук М.С., Макаров В.И. Создание низкопентозановой ржи и возможности ее использования на корм животным. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(1):31-40). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-31-40
- Kobylyanskii V.D., Solodukhina O.V. Timina M.A., Plekhanova L.V., Kolichenko A.A., Lomova T.G. New variety of winter rye 'Krasnoyarskaya Universalnaya'. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019a;33(7):13-16. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Тимина М.А., Плеханова Л.В., Количенко А.А., Ломова Т.Г. Новый сорт озимой ржи Красноярская универсальная. *Достижения науки и техники АПК*. 2019a;33(7):13-16). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10703
- Kobylyansky V.D. Rye. Genetic bases of breeding (Rozh. Geneticheskiye osnovy seleksii). Moscow: Kolos; 1982. [in Russian] (Кобылянский В.Д. Рожь. Генетические основы селекции. Москва: Колос; 1982).
- Kobylyansky V.D., Kuznetsova L.I., Solodukhina O.V., Lavrentyeva N.S., Timina M.A. Prospects of using low-pentosan grain fodder rye for baking purposes. *Russian Agricultural Sciences*. 2019b;45(1):1-4. DOI: 10.3103/S1068367419010063
- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. Bases of low pentosan rye breeding. *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding*. 2009;166:112-118. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Основы селекции малопентозановой ржи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:112-118).
- Korelina V.A., Batakova O.B., Zobnina I.V., Kobylyanskiy V.D., Solodukhina O.V. 'Bereginya' as the first winter rye variety for multiple use. *Fodder Production*. 2017;(3):22-25. [in Russian] (Корелина В.А., Батакова О.Б., Зобнина И.В., Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Берегиня – первый сорт озимой ржи универсального использования. *Кормопроизводство*. 2017;(3):22-25).
- Kretovich V.L., Petrova I.S. Rye grain mucus and its technological significance. (Slizi rzhanogo zerna i ikh tekhnologicheskoye znachenie). *Biokhimiya zerna = Grain Biochemistry*. 1951;13(1):145-159. [in Russian] (Кретович В.Л., Петрова И.С. Слизи ржаного зерна и их технологическое значение. *Биохимия зерна*. 1951;13(1):145-159).
- Lunegova I.V., Kobylyanskii V.D., Solodukhina O.V. Rye with low pentose – valuable concentrated feed for animal. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2014;(2):30-37. [in Russian] (Лунегова И.В., Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Низкопентозановое зерно ржи – ценный концентрированный корм для животных. *Международный вестник ветеринарии*. 2014;(2):30-37).
- Lyubarsky L.N. Rye (biological and technological grain properties) (Rozh [biologo-tekhnologicheskiye svoystva zerna]). Moscow: Khlebizdat; 1956. [in Russian] (Любарский Л.Н. Рожь (биолого-технологические свойства зерна). Москва: Хлебиздат; 1956).
- Popova E.P. Microstructure of grain and seeds (Mikrostruktura zerna i semyan). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Попова Е.П. Микроструктура зерна и семян. Москва: Колос; 1979).
- Stepanov S.A. Wheat morphogenesis: anatomical and physiological aspects (Morfogenez pshenitsy: anatomicheskiye i fiziologicheskiye aspekty). Saratov: Slovo; 2001. [in Russian] (Степанов С.А. Морфогенез пшеницы: анатомические и физиологические аспекты. Саратов: Слово; 2001).
- Takhtajan A.L. (ed.). Comparative anatomy of seeds (Srvnitelnaya anatomiya semyan). Vol. 1. Monocots (Odnodolnye). Leningrad: Nauka; 1985. [in Russian] (Сравнительная анатомия семян. Т. 1. Однодольные / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ленинград: Наука; 1985).

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Никонорова И.М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021; 182(2):123-130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130

Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V., Nikonorova I.M. Morphological features of rye grain with low pentosan content. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021; 182(2):123-130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130

**Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work**

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-123-130>

**Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer**

**Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript**

**Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest**

**ORCID**

Kobylyansky V.D. <https://orcid.org/0000-0003-2193-8105>

Solodukhina O.V. <https://orcid.org/0000-0003-3117-6693>

Nikonorova I.M. <https://orcid.org/0000-0001-6883-7593>

## Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

УДК 633.11 «321»:632.4:631.526.32(571.1) (574.2)

Поступление/Received: 17.05.2020

Принято/Accepted: 12.5.2021



В. С. ЮСОВ\*, М. Г. ЕВДОКИМОВ,  
Л. В. МЕШКОВА, Д. А. ГЛУШАКОВ

Омский аграрный научный центр,  
644012 Россия, г. Омск, пр. Королева, 26

\* ✉ vs\_ysov@rambler.ru

### Development of spring durum wheat cultivars resistant to stem rust in Western Siberia

V. S. YUSOV, M. G. EVDOKIMOV,  
L. V. MESHKOVA, D. A. GLUSHAKOV

Omsk Agrarian Scientific Center,  
26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia

\* ✉ vs\_ysov@rambler.ru

**Актуальность.** Стеблевая ржавчина пшеницы, вызываемая биотрофным грибом *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn., – опасное заболевание, наносящее серьезный экономический ущерб возделыванию твердой пшеницы.

**Материалы и методы.** Объектом исследований служили сорта и перспективный материал, созданный в лаборатории селекции яровой твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также линии, полученные по программам СИММИТ, КАСИБ, и образцы коллекции ВИР. Полевые опыты, фенологические наблюдения, оценку устойчивости к стеблевой ржавчине проводили на опытных полях института на протяжении 1990–2019 гг. по общепринятым методикам. Устойчивость к расе Ug99 оценивали на естественном инфекционном фоне на поле Института фитопатологии в Кении.

**Результаты.** Выделен перспективный исходный материал, который используется в селекционной программе лаборатории. Показано создание устойчивых сортов яровой твердой пшеницы для условий Западной Сибири. Предложена стратегия отбора генотипов в гибридных комбинациях, особенностью которой является: ранний отбор (начиная с F<sub>2</sub>) по устойчивости к болезням одновременным отбором по количественным признакам и макаронным качествам. Представлена характеристика и преимущества переданного в 2018 году на Государственное испытание сорта 'Омский коралл', сочетающего высокую продуктивность, адаптивность, устойчивость к местной популяции возбудителя стеблевой ржавчины и расе Ug99, с отличными макаронными свойствами.

**Заключение.** В результате этих исследований, на фоне сильного проявления стеблевой ржавчины в Западной Сибири во всех селекционных питомниках имеется материал, устойчивый к омской популяции *P. graminis*. Созданы сорта 'Омская янтарная', 'Омский изумруд', обладающие устойчивостью к омской популяции возбудителя стеблевой ржавчины.

**Ключевые слова:** *Triticum durum*, патоген, селекция, коллекция.

**Background.** Stem rust of wheat, caused by the biotrophic fungus *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn., is a dangerous disease that afflicts serious economic damage to the cultivation of durum wheat.

**Materials and methods.** Cultivars and promising materials developed at the Spring Durum Wheat Breeding Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center (OASC), lines obtained under the CIMMYT and KASIB programs, and accessions from the VIR collection were the objects of research. Field experiments, phenological observations, and assessment of stem rust resistance were carried out from 1990 through 2019 in the OASC experimental fields using conventional methods. Resistance to the Ug99 race was evaluated under natural infection pressure at the Kenya Agricultural and Livestock Research Organization (KALRO).

**Results.** Promising source material was identified and included in the Laboratory's breeding program. The ways were shown to develop stable cultivars of spring durum wheat for the environments of Western Siberia. A strategy was proposed for the selection of genotypes in hybrid combinations of spring durum wheat: it would include early selection (starting from F<sub>2</sub>) for disease resistance with simultaneous screening for quantitative traits and pasta-making qualities. The description and advantages of cv. 'Omsky korall', submitted to the State Variety Trials in 2018, are presented. This cultivar combines high yield, adaptability, resistance to the local population and the Ug99 race of the stem rust pathogen, and excellent pasta-making qualities.

**Conclusion.** As a result of these studies under heavy stem rust pressure in Western Siberia, all breeding nurseries obtained source material resistant to the Omsk population of *P. graminis*. The released cultivars 'Omskaya yantarnaya' and 'Omsky izumrud' demonstrate resistance to the Omsk population of the stem rust causative agent.

**Key words:** *Triticum durum*, pathogen, selection, collection.

## Введение

Зерно твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) – незаменимое сырье для производства высококачественных макарон, кондитерских изделий, круп, а также для получения ценного детского питания. Традиционно основными регионами производства высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в России являются Западная Сибирь, Алтайский Край, Южный Урал и Поволжье.

Основной ареал твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепная зоны. Это регион рискованного земледелия, с дефицитом осадков, с проявлением различных типов засухи. В отдельные годы существенный урон наносят болезни. Поэтому стабильность урожайности и качества зерна зависит во многом от складывающихся погодных условий, технологии возделывания, использования адаптивных, устойчивых к болезням сортов. В последние годы в Западной Сибири, наряду с традиционными болезнями твердой пшеницы (бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, твердая и пыльная головня и др.), наблюдаются эпифитотии стеблевой ржавчины (Meshkova 2006; Yusov et al., 2018a, 2018b; Gulyaeva et al., 2020). Наряду с этим существует опасность проникновения из стран Ближнего Востока и Средней Азии вредоносной расы стеблевой ржавчины Ug99 (Уганда 99), названной так по месту ее первого обнаружения на Африканском континенте (Shamanin et al., 2015; Shamanin et al., 2016; Rsaliyev A.S., Rsaliyev Sh.S., 2018). В 2015 г. в Омской области и соседних с ней районах Казахстана эпифитотия стеблевой ржавчины пшеницы охватила более 1 млн га пашни. Повторилась ситуация и в 2016 г., хотя и в несколько меньшем масштабе; патоген был обнаружен на всех обследованных полях Северо-Казахстанской области, вследствие чего отмечалось заметное снижение не только урожайности, но и качества зерна (Lapochkina et al., 2016; Rsaliyev et al., 2018).

*Цель данной работы* – показать создание устойчивых сортов яровой твердой пшеницы к стеблевой ржавчине для условий Западной Сибири.

## Материал и методы

Объектом исследований служили сорта и перспективный материал твердой пшеницы, созданный в лаборатории селекции твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также генофонд сортов и линий, полученный по программам СИММИТ, КАСИБ (Казахстанско-Сибирская сеть улучшения яровой пшеницы) и из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). За годы исследований (1990–2019 гг.) было изучено около 4 тысяч образцов из мирового генофонда. Фенологические наблюдения, оценка устойчивости к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn.) проводились на опытных полях института в полном соответствии с требованиями и рекомендациями (Fedin, 1985; Kovalenko et al., 2012).

Оценку развития стеблевой ржавчины делали по принятой в СИММИТ шкале, (Koishybayev, 2014). Учитывали тип поражения и степень поражения по модифицированной шкале (Stakman et al., 1962; Roelfs et al., 1992): 0 – иммунитет, уредопустулы не образуются; R (Resistant – высокая устойчивость), 5–10%; MR (Moderately resistant – средняя устойчивость), 10–25%; M (ретерогенный тип), пустулы различного размера, окруженные хлоротическими и некротическими пятнами или без них; MS (Moderately susceptible – средняя вос-

приимчивость), степень поражения 40–50%; S (Susceptible – восприимчивость), поражения более 60%. Общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС) рассчитывали по методикам V. G. Volf et al. (1980) и G. K. Dremlyuk, V. F. Gerasimenko (1992).

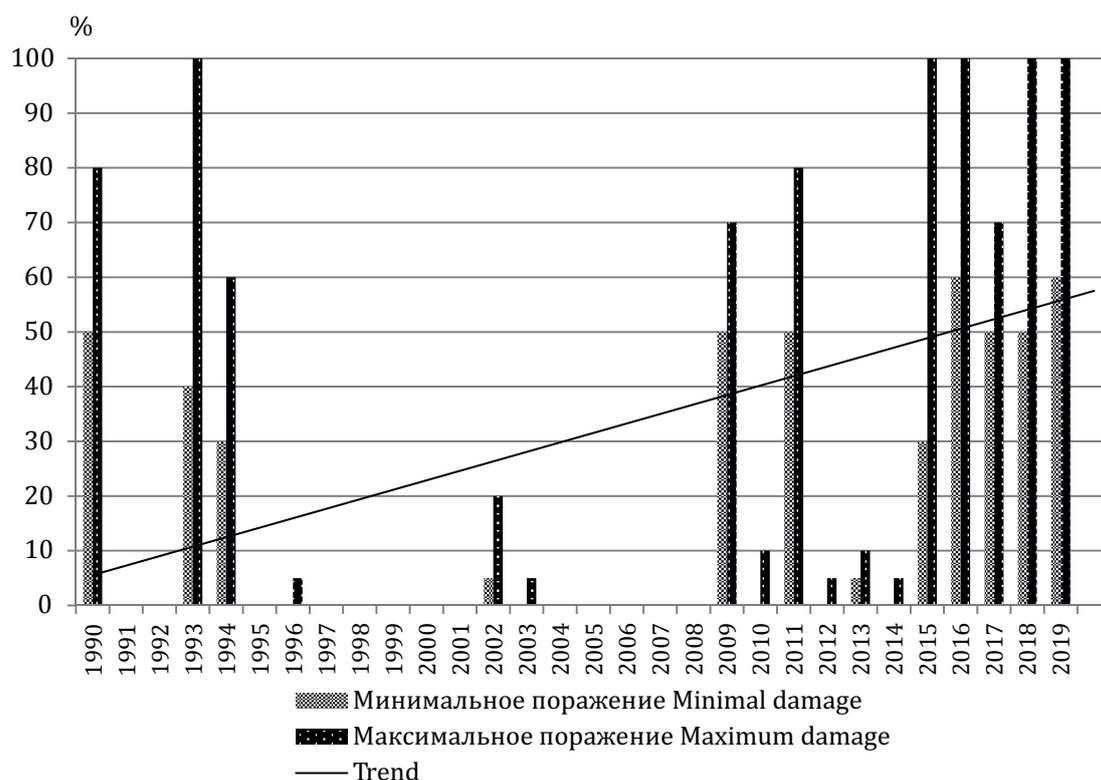
В системе полных топкроссов в качестве материнских форм использовались: 'Омская янтарная', 'Омский корунд', 'Жемчужина Сибири', Гордеиформе 95-139-3, Гордеиформе 98-96-3, 'Омский рубин'; отцовских – 'Омский кристалл', 'Омская степная', 'Безенчукская степная'. В системе неполных топкроссов были использованы в качестве материнских форм 'Жемчужина Сибири', 'Омская степная', 'Омский изумруд', Гордеиформе 01-115-5, 'Омская бирюза', а в качестве отцовских – 'Лавина', Гордеиформе 06-5-3, Гордеиформе 08-55-5, Гордеиформе 08-94-3, 'Триада', Леукурум 1560д18.

Неспецифическую устойчивость определяли в полевых условиях по скорости нарастания болезни, рассчитывая площадь кривой развития болезни (ПКРБ). На основе ПКРБ определяли индекс устойчивости (ИУ) сортов, который определяется как соотношение ПКРБ у тестируемого сорта и восприимчивого контроля ( $IУ = \frac{ПКРБ_c}{ПКРБ_r}$ ). На основании ИУ сорта разделяются на группы: высокоустойчивые ( $IУ = 0,10–0,35$ ), среднеустойчивые ( $IУ = 0,36–0,65$ ), с низкой устойчивостью ( $IУ = 0,66–0,80$ ) и с высокой восприимчивостью ( $IУ > 0,81$ ) (Wilcoxson et al., 1975; Makarov et al., 2003). Устойчивость селекционного материала к расе Ug99 (ТТКСК) оценивали на естественном инфекционном фоне Института фитопатологии в Кении (Kenya Agricultural and Livestock Research Organization).

## Результаты и обсуждение

В период с 1990 по 2009 год в полевых условиях наблюдалось периодическое поражение сортов твердой пшеницы стеблевой ржавчиной. Динамика поражения сортов твердой пшеницы стеблевой ржавчиной в Омской области представлена на рисунке. С 2009 года тренд поражения идет на увеличение, и в последние годы оно становится регулярным. Возрастает минимальное поражение, что косвенно подтверждает усиление вредоносности данного заболевания, обусловленное изменением популяционного состава патогена и формированием новых высоковирулентных биотипов.

Создание генотипов, устойчивых к болезням, было всегда одним из приоритетных направлений омской селекции. Проблему устойчивости к стеблевой ржавчине решали несколькими путями: в первую очередь использовали ранее найденные доноры и источники устойчивости, а также выявляли новые с эффективными генами и включали их в гибридизацию. Однако из большого разнообразия изученных генотипов лишь небольшая часть в наших условиях представляет селекционную ценность для использования в гибридизации. С 1990 по 2000 год были выделены устойчивые к стеблевой ржавчине образцы различных видов пшеницы из коллекции ВИР: к-537, к-859, к-5173, к-7529, к-43953, к-54208, к-54532, 'Агат' (Россия); к-7349 (Германия); к-10055 (Израиль); к-10946, к-16496 (Тунис); к-13895, к-18969, к-18971 (Эфиопия); к-14541 (Турция); к-46115 (Алжир); к-46520 (Чили); к-46744 (Франция); к-47117, к-56846, к-58720 (Мексика); к-44429, к-58715 (США) (Evdokimov, 2006). Включением в гибридизацию образца к-5173 (*T. dicoccon* (Schrank) Schuebl.) был создан сорт 'Омская янтарная', который в годы эпифито-



**Рисунок.** Динамика поражения твердой пшеницы возбудителем стеблевой ржавчины в условиях южной лесостепи Омской области (1990–2019 гг.)

**Figure.** Dynamics of durum wheat damage by stem rust in the southern forest-steppe of Omsk Province (1990–2019)

тий за счет скороспелости уходит от инфекционной нагрузки. Образец к-5173 также присутствует в родословной сортов 'Омская степная' и 'Омский изумруд'. С участием мексиканской линии твердой пшеницы к-47117 был создан сорт 'Омский корунд'. Однако в последние годы, в связи с изменением популяционного состава патогена, он поражается в сильной степени. В период 2000–2007 гг. были изучены линии и сорта *T. durum*, полученные в рамках сотрудничества с СИММИТ. Все изученные образцы значительно уступают по адаптивности отечественным сортам. Однако среди многообразия изученного материала выявлены формы, представляющие интерес по натуре зерна, макаронным свойствам, устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, твердой головне, мучнистой росе. За этот период изучено 1440 образцов, из которых по устойчивости выделены образцы со следующими родословными: Auk/Guil//Green; Dipper 2/Bushen 3; Rascon 37/Green 2; Wizza 23/Cona; Green 38/Bushen 4; Dack/Kiwi/Oste 3; Srn3/Ajata 15; Parva 2/Kitti 1; Lhuke/Rascon/Cona; Fulvous 1/Meowl 3; Rascon37//2\*Tarro 2; Sora 2/Plata 12; Plata 8/4/Garza/Afn//Cra//3gta/5/Rascon; Dipper\_2/Bush-ek 3; Dack/Kiwi//Oste/3/Chen84\_1/4/Mexi75/5; D86135/Ac08t//Porqn4; Boomer 24/Ajaia 9//Plata 3; Eth-LrwhA1-18tC74//3\*Altar 34; Pod11/Yazi1; Rascon37/Boomer20.

С 1999 г. и по настоящее время реализуется международная программа КАСИБ, основная цель которой – повышение эффективности селекции яровой пшеницы в Северном Казахстане и Сибири. За период существования программы было изучено 210 образцов. В качестве источников устойчивости к омской популяции возбудителя стеблевой ржавчины представляют интерес образцы Гордеиформе 03-20-18, 'Омская янтарная', 'Омский изумруд', Гордеиформе 04-85-4, Гордеиформе 05-42-12, Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5 (ФГБНУ

«Омский АНЦ»), Каргала 28, Каргала 303, Каргала 1412, Каргала 1514, Каргала 1516/06 (Актюбинская СХОС); 653д44, 688д-4, 'Триада', 1560д18 (Самарский НИИСХ); Дурум 49, Гордеиформе 69-08-5, Гордеиформе 178-05-2, Линия 250-06-14 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева); Линия № 9 (Карабалыкская СХОС). Оценка устойчивости к расе Ug99 в Кении показала, что основной набор генотипов восприимчив к стеблевой ржавчине споразием от 20 до 100% и типом поражения М, MSS и S. Относительной устойчивостью обладают 13 генотипов (табл. 1).

В последние годы, в связи с распространением агрессивной расы возбудителя стеблевой ржавчины Ug99, в рамках международного сотрудничества мы отправляем селекционный материал для оценки в Кении и этот же набор генотипов изучаем по устойчивости к местной популяции патогена (табл. 2).

Ученые GRRC определили, что расы *P. graminis* в Омской области имеют необычную вирулентность по сравнению с расами, распространенными в других азиатских и африканских странах. Расы Ug99 и ее биотипов в регионе не обнаружено, а раса ТТТТФ, выделенная из популяции 2016 года, отличается от «сицилийской» ТТТТФ (Novmøller, 2017). За период с 2016 по 2019 год выделено 12 образцов, устойчивых как к популяции Ug99, так и к местной популяции: Гордеиформе 09-66-1, 'Омский лазурит', Гордеиформе 09-73-1, Гордеиформе 10-32-1, Гордеиформе 10-32-3, Гордеиформе 10-35-2, Гордеиформе 10-63-1, Гордеиформе 11-45-13, Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 12-11-5, Гордеиформе 12-48-1, Гордеиформе 10-71-3.

Зачастую при скрещиваниях устойчивость к стеблевой ржавчине не всегда передается потомству, а также многие образцы имеют низкую адаптивность к условиям Западной Сибири. Поэтому перед включением генотипов

**Таблица 1. Перспективные образцы, устойчивые к расе Ug99 возбудителя стеблевой ржавчины**  
**Table 1. Promising accessions resistant to the Ug99 race of the stem rust pathogen**

Линия	Оригинатор	Поражение %, тип поражения
Омский изумруд	ФГБНУ «Омский АНЦ»	5R
Гордеиформе 05-42-12		20MS
Омский коралл		0-5R
Лавина	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	10M
Гордеиформе 69-08-2		5R
Гордеиформе 178-05-2		10M
Каргала 1514	Актюбинская СХОС	20M
P-1409		5R
Гордеиформе 2383,	Карабалыкская СХОС	15M
Гордеиформе 1790		5MR
Сеймур 17	КазНИИЗиР	5MR
Леукурум 1970д-5	Самарский НИИСХ	5R
Гордеиформе 748	ФАНЦА	5M

**Таблица 2. Количество перспективных образцов, устойчивых к стеблевой ржавчине**  
**Table 2. Number of promising accessions resistant to stem rust**

Годы	Число образцов, устойчивых к	
	расе Ug99	местной популяции
2016	6	2
2017	9	8
2018	7	11
2019	9	17

в гибридизацию необходимо изучить их по комплексу хозяйственно ценных признаков и в местных условиях выявить их донорские свойства.

Анализ комбинационной способности по устойчивости к стеблевой ржавчине показал: в годы с умеренным проявлением болезни вклад в изменчивость ОКС у гибридов преимущественно вносится аддитивными генами материнских форм, а в годы эпифитотий преимущество имеют аддитивные гены отцовских и материнских форм. Таким образом, устойчивость может передаваться как от материнской, так и отцовской формы (табл. 3). По результатам оценки эффектов ОКС в качестве доноров устойчивости к омской популяции *P. graminis* рекомендуются сорта: 'Триада', 'Лавина', Гордеиформе 08-94-3, Гордеиформе 01-115-5, 'Омский изумруд', а к расе Ug99 – 'Омская янтарная', 'Жемчужина Сибири', Гордеиформе 98-96-3, 'Безенчукская степная'.

Достаточно высокие коэффициенты наследуемости  $H^2 = 0,719-0,790$  и  $h^2 = 0,438-0,630$  позволяют проводить отбор на устойчивость при благоприятных условиях, начиная с  $F_2$ .

На основании ранее проведенных генетических исследований (Evdokimov, 2006; Yusov, 2008; Yusov, Evdokimov, 2008; Yusov et al., 2012) нами предложена стратегия

отбора генотипов в гибридных комбинациях яровой твердой пшеницы. В основу отбора заложен следующий принцип:

– ранний отбор (начиная с  $F_2$ ) по устойчивости к бурой, стеблевой ржавчине, пыльной и твердой головне, мучнистой росе в комбинациях с источниками и донорами устойчивости;

– по признакам, имеющим простое наследование (окраска колоса, остистость, окраска зерна), отбор проводится с учетом особенностей характера наследования: доминантного признака в  $F_1$  или более поздних поколений, рецессивного – в  $F_2$ . Ранний отбор ( $F_2$ ) – по количественным признакам: высота растений, длина верхнего междоузлия, длина колоса, длина остей, продуктивная кустистость (в засушливых условиях), количество колосков в колосе, масса 1000 зерен, содержание белка, качество клейковины, содержание каротиноидных пигментов, макаронные качества.

Такой принцип мы считаем реальным и правомочным при целенаправленных скрещиваниях, когда необходимо улучшить отдельный количественный признак. Как правило, в комбинациях предусматривается скрининг по совокупности признаков. В этом случае мы вынуждены прибегать к повторяющемуся отбору ( $F_3-F_4$ ) (по

**Таблица 3. Анализ комбинационной способности твердой пшеницы по устойчивости к стеблевой ржавчине**  
**Table 3. Analysis of the combining ability in durum wheat in the context of its resistance to stem rust**

Источник изменчивости	Ug99		Омская популяция <i>Puccinia graminis</i> / Omsk population of <i>Puccinia graminis</i>							
	2009 F <sub>1</sub>		2017 F <sub>1</sub>		2018 F <sub>2</sub>		2019 F <sub>2</sub>		2019 F <sub>3</sub>	
	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
ОКС ♀ GCA ♀	117,01	27,19	1,11	56,3	166	49,81	21,24	37,8	10,36	24
ОКС ♂ SCA ♂	233,68	54,30	0,26	12,5	115	30,85	28,73	51,15	26,8	56,32
СКС RE	76,60	17,80	0,55	26,1	48,8	13,14	1,74	6,7	6,82	14,33

Примечание: достоверно с 5-процентным уровнем значимости  
 Note: F-test level of significance is 5%

качественным и количественным признакам), а также если отбор идет по признакам с разной степенью наследуемости (красная окраска колоса, натура зерна). В позднем поколении (F<sub>5</sub>) – отбор по признакам: короткостебельность, продуктивная кустистость (во влажные годы), длина колоса (во влажные годы), длина остей (во влажные годы), число зерен в колосе, масса зерна в колосе, урожайность.

В селекционных питомниках проводится негативный отбор, который заключается в том, что менее урожайные, с проявлением болезней линии при полевой оценке выбраковываются. В ранних питомниках этот отбор более жесткий с тем, чтобы не переполнять излишним объемом последующие этапы селекции.

Все эти мероприятия привели к тому, что, начиная с 2017 года, увеличивается количество устойчивых линий в селекционных питомниках на 15–20%.

В 2018 году был передан на Государственное испытание сорт 'Омский коралл' (Гордеиформе 04-85-4), сочетающий в себе высокую продуктивность, адаптив-

ность, устойчивость к стеблевой ржавчине местной популяции и расе Ug99, с отличными макаронными свойствами. По результатам исследований ВИЗР в этом сорте идентифицирован ген *Sr28*, эффективный против расы Ug99. Сорт выведен внутривидовой гибридизацией и индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания сорта 'Омская янтарная' и линии, полученной по программе с СИММИТ, Pod11/Yazi 1. В полевых условиях 2017–2019 гг. наблюдалось сильное развитие стеблевой ржавчины. Сорт 'Омский коралл' в меньшей степени поражен *P. graminis* (от 10 до 30%), у сорта-стандарта 'Жемчужина Сибири' – от 70 до 90%, у сорта 'Саратовская 29' – от 90 до 100% (табл. 4). Одним из перспективных направлений защиты растений от ржавчинных болезней считается возделывание сортов, характеризующихся более медленным и слабым развитием болезни (slow rusting). Индекс устойчивости сорта 'Омский коралл' – от 0,054 до 0,166, что соответствует группе высокоустойчивых по сравнению со стандартами.

**Таблица 4. Поражение сортов твердой пшеницы омской популяцией *Puccinia graminis* на естественном инфекционном фоне (экологическое испытание 2017–2019 гг.)**  
**Table 4. Damage of durum wheat cultivars by the Omsk population of *Puccinia graminis* under natural infection pressure (environmental trials of 2017–2019)**

Сорт	2017 г.			2018 г.			2019 г.		
	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR
Омская янтарная	50MS	720	0,321	50MS	676	0,287	100S	2570	0,666
Жемчужина Сибири (стандарт)	90S	880	0,393	70S	1006	0,428	90S	1987	0,515
Омский коралл	5 R	120	0,054	10MR	137	0,058	30MR	640	0,166
Омская 38	30 MR	320	0,142	50MS	676	0,287	50MR	1360	0,352
Саратовская 29	90S	2240	1,000	100S	2350	1,000	100S	3855	1,000

Примечание: ПКРБ – площадь кривой развития болезни; ИУ – индекс устойчивости  
 Note: AUDPC – area under the disease progression curve; IR – index of resistance

### Заключение

Проблеме устойчивости к болезням и, в частности, к стеблевой ржавчине в селекционных программах СибНИИСХ (ныне Омский АНЦ) уделялось всегда особое внимание. Итогом этой деятельности является то, что в настоящее время на фоне сильного проявления стеблевой ржавчины во всех селекционных питомниках имеется материал, устойчивый к комской популяции *Puccinia graminis*, а начиная с СП-3 – и к расе Ug99. Созданы сорта 'Омская янтарная', 'Омский изумруд', обладающие устойчивостью комской популяции возбудителя стеблевой ржавчины. В 2018 году был передан на Государственное испытание сорт 'Омский коралл' (Гордеиформе 04-85-4), сочетающий в себе высокую продуктивность, адаптивность к климатическим условиям Западной Сибири, устойчивость к местной популяции *P. graminis* и Ug99, с отличными макаронными свойствами. Сорт выведен внутривидовой гибридизацией и индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания сорта 'Омская янтарная' и линии Pod11/Yazi 1, полученной по программе с СИММИТ.

Работа выполнена по заданию № 0797-2019-0008 «Создание новых сортов пшеницы озимой, яровой мягкой и твердой с улучшенными сложными, экономически значимыми свойствами (продуктивность и качество), повышенной устойчивостью к грибным болезням, биотическим и абиотическим факторам среды». Направление науки X 10.4. Растениеводство, н. 150 программы ФНИ Госакадемий на 2013–2020 гг.

The work was carried out under Assignment No. 0797-2019-0008 "Developing new cultivars of winter wheat, spring and durum wheat with improved complex and economically significant properties (productivity and quality), and higher resistance to fungal diseases, biotic and abiotic environmental factors". Research Direction X 10.4. Crop Production, n. 150 of the Federal Scientific Research Program for the State Academies for 2013–2020.

### References / Литература

Dremlyuk G.K., Gerasimenko V.F. Methods for the analysis of combining ability for occasional crossings (Priemy analiza kombinatsionnoy sposobnosti dlya neregulyarnykh skreshchivaniy). Moscow: Agropromizdat; 1992. [in Russian] (Дремлюк Г.К., Герасименко В.Ф. Приемы анализа комбинационной способности для нерегулярных скрещиваний. Москва: Агропромиздат; 1992).

Evdokimov M.G. Spring durum wheat breeding in the south of Western Siberia (Seleksiya yarovoy tverdoy pshenitsy v usloviyakh yuga Zapadnoy Sibiri) [dissertation]. Omsk; 2006. [in Russian] (Евдокимов М.Г. Селекция яровой твердой пшеницы в условиях юга Западной Сибири: дис. ... докт. с.-х. наук. Омск; 2006).

Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. Issue 1: General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk 1: Obshchaya chast). Moscow; 1985. [in Russian] (Федин М.А. и др. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть / под ред. М.А. Федина. Москва; 1985).

Gulyaeva, E., Yusov V., Rosova M., Mal'chikov P., Shaydayuk E., Kovalenko N. et al. Evaluation of resistance of spring durum wheat germplasm from Russia and Kazakhstan to fungal foliar pathogens. *Cereal Research Communications*. 2020;48(2):71-79. DOI: 10.1007/s42976-019-00009

Hovmøller M.S. GRRC report: Samples of stem rust infected wheat from Russia. Aarhus: Aarhus University; 2017. 01/2017. Available from: [https://agro.au.dk/fileadmin/Country\\_report\\_Russia\\_-\\_August2017.pdf](https://agro.au.dk/fileadmin/Country_report_Russia_-_August2017.pdf) [accessed July 14, 2020].

Koishybayev M. Wheat diseases. Ankara: FAO; 2018. [in Russian] (Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: ФАО; 2018). URL: <http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042659.pdf> [дата обращения: 07.07.2020].

Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina A.I., Smirnova L.A., Shcherbik A.A. Methods for evaluation and selection of source material while developing wheat cultivars resistant to brown rust: Guidelines of the All-Russian Research Institute of Phytopathology (Metody otsenki i otbora iskhodnogo materiala pri sozdanii sortov pshenitsy, ustoychivyykh k buroy rzhavchine: metodicheskiye rekomendatsii VNIIF). Moscow; 2012. [in Russian] (Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. Москва; 2012).

Lapochkina I.F., Baranova O.A., Shamanin V.P., Volkova G.V., Gainullin N.R., Anisimova A.V. et al. The development of initial material of spring common wheat for breeding for resistance to stem rust (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), including race Ug99, in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(3):320-328. [in Russian] (Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Шаманин В.П., Волкова Г.В., Гайнуллин Н.Р., Анисимова А.В. и др. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе Ug99, в России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(3):320-328). DOI: 10.18699/VJ16.167

Makarov A.A., Kovalenko E.D., Solomatin D.A., Matorina N.M. Methods of field and laboratory assessment of non-specific plant resistance to diseases (Metody polevoy i laboratornoy otsenki nespetsificheskoy ustoychivosti rasteniy k boleznyam). In: *Types of Disease Resistance in Plants. Proceedings of the Scientific Workshop (Tipy ustoychivosti rasteniy k boleznyam. Materialy nauchnogo seminara)*. St. Petersburg; 2003. p.17-24. [in Russian] (Макаров А.А., Коваленко Е.Д., Соломатин Д.А., Маторина Н.М. Методы полевой и лабораторной оценки неспецифической устойчивости растений к болезням. В кн. *Типы устойчивости растений к болезням. Материалы научного семинара*. Санкт-Петербург; 2003. С.17-24).

Meshkova L.V. Strategy for developing cereal crop cultivars resistant to fungal pathogens (Strategiya sozdaniya sortov zernovykh kultur, ustoychivyykh k gribnym patogenam). In: *Plant Breeding for Resistance to Biotic and Abiotic Environmental Factors: Proceedings of the Scientific and Methodological Conference (Krasnoyarsk, July 12–13, 2005) (Seleksiya na ustoychivost rasteniy k bioticheskim i abioticheskim faktoram sredy: materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii (Krasnoyarsk,*

- 12–13 iyulya 2005 g.). Novosibirsk; 2006. p.82-98. [in Russian] (Мешкова Л.В. Стратегия создания сортов зерновых культур, устойчивых к грибным патогенам. В кн.: *Селекция на устойчивость растений к биотическим и абиотическим факторам среды: материалы научно-методической конференции. (Красноярск, 12–13 июля 2005 г.)*. Новосибирск; 2006. С.82-98).
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1153/38487.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [accessed Aug. 6, 2020].
- Rsaliev A.S., Rsaliev Sh.S. Principal approaches and achievements in studying race composition of wheat stem rust. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(8):967-977. DOI: 10.18699/VJ18.439
- Shamanin V.P., Morgunov A.I., Petukhovskiy S.L., Likhenko I.E., Levshunov M.A., Salina E.A., Pototskaya I.V., Trushchenko A.Yu. Spring soft wheat breeding for resistance to stem rust in Western Siberia: a monograph (Seleksiya yarovoy myagkoy pshenitsy na ustoychivost k stebel'voy rzhavchine v Zapadnoy Sibiri: monografiya). Omsk; 2015. [in Russian] (Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л., Лихенко И.Е., Левшунов М.А., Салина Е.А., Потоцкая И.В., Трущенко А.Ю. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в Западной Сибири: монография. Омск; 2015).
- Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Y., Olivera P., Morgounov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. *Euphytica*. 2016;212(2):287-296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0
- Stakman E.C., Steward D.M., Loegering W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Washington, DC: USDA-ARS; 1962.
- Volf V.G., Litun P.P., Khaveleva A.V., Kuzmenko R.I. Methodological recommendations for the use of mathematical methods for the analysis of experimental data in the study of combining ability (Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimentalnykh dannykh pri izuchenii kombinatsionnoy sposobnosti). Kharkov; 1980. [in Russian] (Вольф В.Г., Литун П.П., Хавелова А.В., Кузьменко Р.И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных при изучении комбинационной способности. Харьков; 1980).
- Wilcoxson R.D., Skovmand B., Atif A.H., Evaluation of wheat cultivars ability to retard development of stem rust. *Annals of Applied Biology*. 1975;80(3):275-281. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1975.tb01633.x
- Yusov V.S. Combining ability in durum wheat by the color of the pasta in the conditions of Western Siberia (Kombinatsionnaya sposobnost sortov tverдой pshenitsy po tsvetu makaron v usloviyakh Zapadnoy Sibiri). In: *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference for Young Scientists (Trudy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh)*. Kemerovo; 2008. p.151-153. [in Russian] (Юсов В.С. Комбинационная способность сортов твердой пшеницы по цвету макарон в условиях Западной Сибири. В кн.: *Труды III Международной научно-практической конференции молодых ученых*. Кемерово; 2008. С.151-153).
- Yusov V.S., Evdokimov M.G. Combining ability of durum wheat varieties for lodging resistance traits under West Siberian conditions. *Russian Agricultural Sciences*. 2008;34(4):215-218. DOI: 10.3103/S1068367408040022
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V. Sources of durum wheat disease resistance in Western Siberia. In: *Improvement of Crop Farming Systems: Plant Breeding and Seed Production, Adaptive and Landscaping Approach, Modern Agricultural Technologies. Proceedings of the Scientific and Practical Conference, August 1–3, 2018, Krasnoyarsk (Sovershenstvovaniye sistem zemledeliya: seleksiya i semenovodstvo, adaptivno-landshaftny podkhod, sovremennyye agrotekhnologii. Materialy Nauchno-prakticheskoy konferentsii-seminara, 1–3 avgusta 2018 g., Krasnoyarsk)*. Krasnoyarsk; 2018a. p.94-101. [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В. Источники устойчивости твердой пшеницы к болезням в Западной Сибири. В кн.: *Совершенствование систем земледелия: селекция и семеноводство, адаптивно-ландшафтный подход, современные агротехнологии. Материалы научно-практической конференции-семинара, 1–3 августа 2018 г., Красноярск*. Красноярск; 2018a. С.94-101.)
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Kiryakova M.N., Glushakov D.A. Characterization of resistance in durum wheat accessions from the KASIB nurseries to the stem rust pathogen under the conditions of Western Siberia (Kharakteristika ustoychivosti obraztsov tverдой pshenitsy iz pitomnikov KASIB k vzbuditel'yu stebel'voy rzhavchiny v usloviyakh Zapadnoy Sibiri). *AgroEcoInfo*. 2018b;2(32). [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Кирьякова М.Н., Глушаков Д.А. Характеристика устойчивости образцов твердой пшеницы из питомников КАСИБ к возбудителю стеблевой ржавчины в условиях Западной Сибири. *АгроЭкоИнфо*. 2018b;2(32). URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/2018/st\\_264\\_annot.html](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/2018/st_264_annot.html) [дата обращения: 21.08.2020].
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Tatina B.M. Variability of combining ability in durum wheat depending on growth conditions. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(2):451-454. [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Татина Б.М. Изменчивость комбинационной способности твердой пшеницы в зависимости от условий выращивания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(2):451-454).

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Глушаков Д.А. Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):131-138. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Glushakov D.A. Development of spring durum wheat cultivars resistant to stem rust in Western Siberia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):131-138. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

**Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work**

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-131-138>

**Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer**

**Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript**

**Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest**

**ORCID**

Yusov V.S. <https://orcid.org/0000-0002-4159-3872>

Evdokimov M.G. <https://orcid.org/0000-0001-9919-2329>

Meshkova L.V. <https://orcid.org/0000-0003-0544-7664>

Glushakov D.A. <https://orcid.org/0000-0001-9192-5241>

# Сорные растения и сорная флора как основа фитосанитарного районирования (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-139-150

УДК: УДК:632.51

Поступление/Received: 19.12.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



Н. Н. ЛУНЕВА

*Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,  
196608 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин,  
ш. Подбельского, 3  
✉ natalja.luneva2010@yandex.ru*

## Weeds and weed flora as the basis for phytosanitary zoning (a review)

N. N. LUNEVA

*All-Russian Research Institute of Plant Protection,  
3 Podbelskogo Street, Pushkin,  
St. Petersburg 196608, Russia  
✉ natalja.luneva2010@yandex.ru*

Понятие «сорная флора» до сих пор связывается с сорными растениями агрофитоценозов, несмотря на то что еще в первой половине прошлого столетия обсуждалась приуроченность этой группы растений к более широкому спектру типов вторичных местообитаний с нарушенным растительным и почвенным покровом. Изучение этой характерной особенности сорных растений продолжено в настоящее время, что отражено в самом понятии «сорное растение», утвержденном в государственном стандарте.

Структура сорной флоры включает группировки видов сорных растений как антропогенно, так и естественно нарушенных местообитаний, поэтому понятия «сегетальная флора» и «синантропная флора» полностью не отражают состав сорной флоры. Формирование сорной флоры исторически связано с появлением и развитием культурных растений. Региональная сорная флора формируется из видов сорных растений, для которых данный регион подходит по условиям произрастания. В области земледелия и защиты растений элементарной сорной флорой является флора агроландшафта или агроэкосистемы как его составной части. Фитосанитарное районирование по комплексу видов сорных растений, приуроченных к определенной территории, осуществляется на макро-, мезо- и микроуровне. Критерием выделения уровней фитосанитарного районирования является сорная флора разных территориальных уровней.

**Ключевые слова:** вторичные местообитания, синантропная, сегетальная и парциальная флора, агроландшафт.

The concept of “the weed flora” is still associated with weedy plants within agricultural phytocenoses, despite the fact that its association with a wider range of secondary habitat types with disturbed vegetation and soil cover was discussed as early as in the first half of the last century. The study of this characteristic feature of weeds has been continued at the present time, which is reflected in the very concept of “the weed” adopted by the state standards.

The structure of the weed flora includes groups of weedy plant species within both naturally and anthropogenically disturbed habitats, so such notions as “the segetal flora” or “synanthropic flora” do not fully reflect the composition of the weed flora. The formation of the weed flora was historically linked with the emergence and development of cultivated plants. A regional weed flora is composed of weed plant species, for which this or that region is suitable in terms of growing conditions. In the context of agriculture and plant protection, the elementary weed flora is the flora of an agricultural landscape or an agricultural ecosystem, as its component. Phytosanitary zoning for a set of weed species confined to a specific territory is carried out at the macro-, meso-, and microlevels. The criterion for identifying the levels of phytosanitary zoning is the weed flora of different territorial levels.

**Key words:** secondary habitats, synanthropic, segetal and partial flora, agricultural landscape.

### Введение

Несмотря на то, что видовой состав сорных растений различных территорий давно изучается (Dorogostayskaya, 1972) и в публикациях по прикладной ботанике часто употребляются термины «сорная флора» (Alexandrova, Varabash, 1987), «сегетальная флора» (Kondratkov, Tretyakova, 2018), «сорно-полевая флора» (Ulyanova, 1976) или «рудеральная флора» (Vakhrusheva et al., 2017), до настоящего времени отсутствует их определение среди основных терминов и понятий, используемых при изучении синантропной флоры – «совокупности видов растений, произрастающих в нарушенных человеком местообита-

ниях» (Baranova et al., 2018, p. 13). Целью данного аналитического исследования является определение понятия «сорная флора».

Флора понимается как «совокупность видов растений, встречающихся в данной области (местности, стране), слагающих все типы местообитаний» (Tolmachev, 1974, p. 112) или как перечень видов растений на определенной территории (Mirkin, Naumova, 2014), другими словами – территориальная совокупность видов. При этом, наряду с полной территориальной совокупностью видов (Yurtsev, 1982), можно оперировать и неполными (частичными) выборками, формируемыми из всех представителей данной флоры по какому-то признаку (Yur-

tsev, Kamelin, 1991). Следовательно, сорная флора – это частичная выборка из пула видов региональной флоры по признаку, объединяющему целый ряд видов в категорию сорных растений. Поэтому *задача исследования* – дать четкое определение понятию «сорные растения» как основы понятия «сорная флора».

### Формирование понятия «сорное растение»

В земледелии, растениеводстве и защите культурных растений под термином «сорные растения» понимаются исключительно растения агрофитоценозов, снижающие величину и качество урожая (Roszkopf et al., 1999; Baranova et al., 2018). Признание сорными только растений, произрастающих на полях, способствовало формированию представления, что их распространение обусловлено и ограничено исключительно территорией пахотных земель. При этом неоднократно обсуждалось, что сорные растения – это гораздо более обширная группа дикорастущих растений, приуроченных к разнообразным вторичным местообитаниям, среди которых пашня – всего лишь их часть (Grossheim, 1948; Maltsev, 1962; Nikitin, 1983; Ulyanova, 1998; Luneva, 2018a).

#### Вторичные местообитания

Среди терминов, используемых при работе с синантропной флорой, существуют определения разных типов местообитаний. «Естественные местообитания с природными растительными сообществами, не подвергшимися существенному влиянию хозяйственной деятельности человека. Полуестественные (антропогенно трансформированные) местообитания – местообитания с природными растительными сообществами, частично преобразованные в результате хозяйственной деятельности. Антропогенные (синантропные) местообитания – местообитания, возникшие в результате хозяйственной деятельности», последние, в свою очередь, включают пасквальные, рудеральные, сегетальные, урбанизированные (сходящими в них селитебными) местообитания (Baranova et al., 2018, p. 15).

Отметим, что местообитания с природными растительными сообществами, нарушенными в результате действия не антропогенных, а природных факторов, в вышеприведенной публикации не рассматривались. Также в указанной публикации понятию «вторичные местообитания» не было дано определение, хотя в тексте приводимого документа эти местообитания неоднократно упоминаются: «это заносные виды, встречающиеся на вторичных местообитаниях <...> натурализовавшиеся чужеродные растения, распространенные по одному типу вторичных местообитаний» (Baranova et al., 2018, p. 8, 9). Термин «вторичные местообитания» часто приводится в научных публикациях без определения этого понятия (Ulyanova, 1998). В отдельных публикациях в качестве вторичных местообитаний понимаются залежи, пустыри, железные дороги (Sukhobukov, 2014), посеянные мусорные места (Nikitin, 1983), то есть – созданные человеком местообитания.

Однако существует четкое определение понятия «вторичные местообитания» (Veselova, 2013) – это нарушенные местообитания, разнообразие которых «обусловлено различными типами и степенью нарушений почвенно-растительного покрова». Из более поздней работы этого же автора следует, что вторичные местообитания

носят антропогенный характер и включают: сельскохозяйственные угодья (пастбища, посеянные, межи, залежи, сенокосы), техногенно нарушенные земли (строительные площадки, обочины дорог, откосы дамб, карьеры, железнодорожные полотна и насыпи, территории вокруг производственных объектов), селитебные зоны (сорные места, в том числе свалки бытового мусора, населенные пункты, огороды, сады, кладбища) (Veselova, 2017).

Основным отличительным качеством вторичных местообитаний от естественных (первичных) является нарушенность почвы и растительного сообщества. Подчеркнем, что вышеназванные авторы, обсуждая вторичные местообитания, к которым приурочены сорные растения, не имеют в виду местообитания, почвенно-растительный покров которых нарушен естественными, природными факторами, благодаря чему укрепляется позиция сорных растений как исключительно антропогенных (Mirkin, Naumova, 2014; Baranova et al., 2018).

#### *Сорные растения на естественно нарушенных вторичных местообитаниях*

Однако принципиально разные способы нарушения почвы и растительности (образования вторичных местообитаний) – естественный и антропогенный – были описаны еще на начальном этапе изучения сорных растений в нашей стране (Maltsev, 1962; Grossheim, 1948). Образование вторичных местообитаний естественным путем происходило задолго до начала формирования антропогенных местообитаний – путем нарушения почвенного и растительного покрова в местах обнажения почвы и выворачивания деревьев во время сильных бурь, при размывании оврагов, в процессе подмывания и обвала берегов, схода селей и т. п. Факторами, способствующими образованию вторичных местообитаний естественным путем, также является деятельность «животных, птиц, муравьев, когда возникают как бы естественные вторичные местообитания, на которых наблюдается более однородный состав растительности, чем в окружающих сложившихся ценозах» (Grossheim, 1948, p. 137), поскольку естественный растительный покров при этом нарушается.

Появляющиеся на данных естественно нарушенных местообитаниях растения, не свойственные типу естественной растительности, который существовал до нарушения условий, были названы «сорными растениями естественных растительных группировок» (Maltsev, 1962, p. 6).

Виды растений, которые формировали сообщества на нарушенных местообитаниях, обладали рядом свойств, обусловивших возможность их переселения из растительных сообществ ненарушенных местообитаний. В системе стратегии растений Л. Г. Раменского – Дж. Ф. Грайма эти виды, предпочитающие нестабильные местообитания, характеризующиеся подвижностью почвенного покрова, вызванного разными причинами, включены в группу «эксплерентов» или видов г-стратегии (Ramenskiy, 1935; Grime, 1974; Mirkin, Naumova, 2014). Такие виды обычно не играют существенной роли в растительных сообществах естественных ненарушенных местообитаний, бывают связаны с пионерными стадиями в сукцессионных рядах, характеризуются затратами на размножение и образование разновозрастных популяций (что является одной из характерных черт многих сорных растений) (Pianka, 1981).

В позднеледниковом периоде «открытые, нарушенные естественными факторами пространства заселялись пионерной растительностью, обладающей малой конкурентоспособностью и вследствие этого специализировавшейся в быстром заселении свободных территорий» (Guman, Khotinsky, 1981, p. 11). На следующем временном этапе резко сокращается роль пионерной растительности. «Некоторые ее компоненты исчезают окончательно, другие вытесняются лесной растительностью в убежища: на оползни, эрозионные участки, морские берега, пожарища, кротовины и т. д.» (Guman, Khotinsky, 1981, p. 13). Из сказанного следует, что «сорные виды возникли задолго до начала земледельческой деятельности человека, а может быть, и до появления человека вообще» (Vasilchenko, 1954, p. 855).

Естественными местообитаниями, из которых пионерные виды распространялись на нарушенные местообитания, также могли быть илистые берега водоемов, которые обнажались после спада воды, пойменные участки рек, покрываемые аллювием или берега морей с гниющими водорослями (Vasilevich, Motekaitite, 1988). Образование аналогичных вторичных местообитаний с изменением растительного покрова в результате лесных пожаров (Zlenko et al., 2015), роющей и иной деятельности животных (Vogonov, 1954) происходит и в настоящее время. Например, ежегодно в России регистрируется 9–35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до 3,5 млн га (Forest fires..., 2019), вследствие чего на огромных территориях нарушается естественный растительный покров.

Отдельные исследователи (Vasilevich, Motekaitite, 1988) называли растительные сообщества, сформировавшиеся на этих типах местообитаний, «естественными рудеральными сообществами». Однако, поскольку понятия «рудеральные местообитания» и «рудеральные растения» издавна широко и привычно используются в связи с антропогенной деятельностью (Baranova et al., 2018), целесообразно оставить за растительными группировками, формирующимися на «естественных вторичных местообитаниях» (Grossheim, 1948, p. 137), название – сорные растения естественно нарушенных местообитаний. Принятие того, что первоначально такие местообитания зарастали выходцами из окружающих естественных растительных сообществ (Grossheim, 1948; Maltsev, 1962; Vasilevich, Motekaitite, 1988), требует уточнения понятия «апофиты»: это «аборигенные виды, полностью или частично переселившиеся на антропогенные» (Baranova et al., 2018, p. 14), а также на естественным путем нарушенные местообитания.

Естественно нарушенные местообитания послужили связующим звеном между нетронутыми естественными и появившимися с течением времени антропогенно нарушенными местообитаниями (Grossheim, 1948), в связи с чем растительный покров естественно нарушенных местообитаний стал формироваться не только из апофитов, но также и из антропофитов – растений антропогенных местообитаний (Baranova et al., 2018).

#### *Сорные растения на антропогенно нарушенных вторичных местообитаниях*

Образование вторичных местообитаний антропогенным путем началось со времени обустройства первобытными людьми мест для жилья, сопровождающегося нарушением естественной растительности и одновременным удобрением почвы вокруг стоянок (Maltsev, 1962;

Ulyanova, 1998). На таких местообитаниях внутри и вокруг поселений формировались группировки видов, «не свойственные данной дикой растительности» (Maltsev, 1962, p. 7), которые впоследствии были названы мусорными или рудеральными растениями (Maltsev, 1962; Baranova et al., 2018). Вышеописанные местообитания являются «первичными для рудеральных растений, откуда они распространились на другие антропогенные местообитания» (Vasilevich, Motekaitite, 1988). И в настоящее время антропогенно нарушенный растительный покров восстанавливается за счет внедрения рудералов, которые первыми заселяют такие участки (Marsalkin et al., 2014).

Кроме того, в период «собираательства» человек невольно разбрасывал на территории около стоянок семена и плоды растений, используемых для пищевых, лекарственных или иных целей, которые, прорастая на удобренной почве, положительно реагировали на это увеличением размеров и массы (Ulyanova, 1998). Исследователями (Sinskaya, 1969) подчеркивалась чрезвычайно важная роль измененной человеком почвы вокруг первобытных стоянок, послужившей фоном для выявления улучшенных качеств используемых растений, которые впоследствии стали предками возделываемых (Kuptsov, 1971).

Таким образом, на впервые возникших антропогенно трансформированных (полуестественных) вторичных местообитаниях (Baranova et al., 2018) сосредоточивались растения, давшие начало как сорно-полевым (сегетальным), так и культурным растениям, объединенным общностью экологии местообитаний, которая впоследствии обусловила их совместное произрастание в агроценозах (Ulyanova, 1991), иллюстрируя тот факт, что сорно-полевые и культурные растения – «продукты земледелия» (Kuptsov, 1971, p. 63). Именно с этой группой растений, произрастающих в сообществах культурных растений помимо воли земледельца и снижающих урожай и качество продукции, изначально было связано название «сорные растения», и эта тенденция продолжилась до настоящего времени (GOST 16265-89..., 1991).

Отдельные исследователи считают, что сорные растения произрастают не на одном, а на трех разных типах вторичных местообитаний: сорно-полевые или сегетальные – на полях, рудеральные – на мусорных местах (Ulyanova, 1976, 1998), пастбищные – на пастбищах (Nikitin, 1983; Ulyanova, 1998; Baranova et al., 2018). По общему признаку – возникновению в результате хозяйственной деятельности человека – названные местообитания объединяются в группу антропогенных (синантропных) местообитаний (куда включены также урбанизированные и селитебные местообитания), а совокупность видов растений, произрастающих в нарушенных человеком местообитаниях (т. е. синантропных), представляет собой синантропную флору (Baranova et al., 2018).

При этом сорные растения, произрастающие на естественно нарушенных местообитаниях и потому не входящие в состав синантропной флоры, выпали из поля зрения исследователей сорных растений. После работ середины прошлого века (Maltsev, 1962; Grossheim, 1948; Vasilchenko, 1954), авторы которых называли эти растения сорными, к концу века только в отдельных работах (Ulyanova, 1991, 1998) содержится информация об отнесении растений естественно нарушенных местообитаний к группе сорных. С нашей точки зрения, не принимать во внимание естественно нарушенные местообитания при изучении сорной флоры

ры – неправомерно, поскольку именно они дали приют первым растениям, впоследствии сформировавшим группу сорных, а также потому что образование таких местообитаний и заселение их апофитами и антропофитами происходит постоянно и в настоящее время.

Поскольку огромное количество исследователей, занимающихся сорными растениями, работают в сфере прикладной ботаники и защиты растений, они имеют дело с сорными растениями преимущественно сеgetальных местообитаний. В этом случае сорная и сеgetальная флора выступают в качестве синонимов (Tretyakova et al., 2020), и при этом совершенно упускаются из виду сорные растения других вторичных местообитаний антропогенного и естественного происхождения.

*Распространенность сорных растений  
на разных типах местообитаний*

В системе защиты растений принято следующее определение сорного растения: «нежелательное для человека растение, обитающее на землях, используемых в качестве сельскохозяйственных угодий, для лесоразведения или отдыха» (GOST 21507-2013..., 2015). Каждая из названных категорий земель включает несколько типов местообитаний.

Сельскохозяйственное угодье – «земельное угодье, систематически используемое для получения сельскохозяйственной продукции» (GOST 16265-89..., 1991). Это земельные участки (массивы), планомерно и систематически используемые для производства растениеводческой или животноводческой продукции, в состав которых входят: пашни, многолетние насаждения, залежи, сенокосы и пастбища (Gorkin, 2006). В свою очередь, сельскохозяйственные угодья входят в состав земель сельскохозяйственного назначения, наряду с лесополосами, внутрихозяйственными дорогами, коммуникациями, зданиями, строениями и сооружениями, безусловно необходимыми для функционирования сельскохозяйственного предприятия, производящего указанную продукцию (Vogolyubov et al., 1997).

Другими словами, агроэкосистема неизбежно включает как сеgetальные и рудеральные растительные сообщества, так и фрагменты естественной растительности (Mirkin, Naumova, 2014) благодаря включению в ее состав лугов, лесов, болот и замкнутых водоемов в соответствии с территориальным планированием использования земель (Vogolyubov et al., 1997). На данных фрагментах территории земель сельскохозяйственного назначения регулярно образуются естественно нарушенные местообитания, зарастающие на первых этапах восстановления растениями из группы сорных (Grossheim, 1948; Maltsev, 1962).

Следовательно, на землях сельскохозяйственного назначения могут присутствовать три группы местообитаний: ненарушенные местообитания, а также естественно и антропогенно нарушенные вторичные местообитания. Некоторые авторы выделяют в структуре агроэкосистемы агроценозы как растительные сообщества на сеgetальных местообитаниях (в севооборотах) и фитоценозы, подразделяемые на синантропные (рудеральные растительные сообщества, сообщества молодых залежей и маловозрастных посевов многолетних кормовых трав) и синантропизированные (растительные сообщества пастбищ, старых залежей и старовозрастных посевов многолетних трав) (Mirkin et al., 2003). Следовательно, на землях сельскохозяйственного назначения наблюдается сложная структура местообитаний (табл. 1).

Такое сочетание разных типов местообитаний в пределах одного агроландшафта, а также проникновение видов сорных растений с одних на другие предписывает осуществлять контроль этих видов не только на полях, но на всех землях сельскохозяйственного назначения. А также не считать, что в состав сорной флоры входят только виды, зарегистрированные на полях.

Другой категорией земель, где обитают сорные растения (GOST 21507-2013..., 2015), являются земли, предназначенные для лесоразведения. Лесоразведение производится не только на землях лесного фонда, но также на землях иных категорий (землях сельскохозяйственного назначения, населенных пунктов, промышленности,

**Таблица 1. Типы местообитаний на землях сельскохозяйственного назначения**

**Table 1. Types of habitats on agricultural lands**

Земли сельскохозяйственного назначения						
Сельскохозяйственные угодья				Земли для обеспечения функционирования сельского хозяйства		Земли, включенные при территориальном планировании использования земель
Пашня	Маловозрастные многолетние посадки и молодые залежи	Старовозрастные многолетние посадки и залежи	Пастбища и выгоны	Лесополосы	Дороги	Территория вокруг строений, сооружений и коммуникаций, мусорные места
						Луга, леса, берега водоемов и болот
Антропогенно нарушенные местообитания						Местообитания: – естественно нарушенные; – ненарушенные; – антропогенно нарушенные (покосы)
Сеgetальные	Синантропные	Синантропизированные		Рудеральные		

энергетики, транспорта и землях иного специального назначения), на которых ранее не произрастали леса, и предусматривает механическую обработку почвы на землях, предназначенных для лесоразведения (Order of the Ministry..., 2019). На землях лесного фонда восстановление лесов может осуществляться также и на местах лесных пожаров, то есть на вторичных местообитаниях с естественно нарушенным растительным покровом. Следовательно, земли, предназначенные для лесоразведения – это территории вторичных местообитаний с естественно или антропогенно нарушенным растительным покровом, заселяемые помимо воли человека сорными растениями (Marich, 2014).

Третья категория земель, где обитают сорные растения, включает земли, предназначенные для отдыха населения (GOST 21507-2013..., 2015), то есть рекреационные земли, куда входят участки, используемые для организованного массового отдыха и туризма населения, в том числе в составе зеленой зоны за пределами населенных пунктов (Article 161..., 2007-2020). На территории этой категории земель также присутствуют участки с естественно или антропогенно нарушенным растительным покровом, заселяемые растениями из группы сорных.

Таким образом, отнесение к сорным растениям только растений агрофитоценозов основано на характеристике «по местонахождению». Рассмотрение же растений с точки зрения экологических условий произрастания приводит к характеристике «по местообитанию» и обуславливает следующую формулировку понятия «сорные растения».

Сорные растения – это дикорастущие растения вторичных местообитаний, как антропогенных – с регулярно нарушаемым естественным растительным и почвенным покровом (сегетальные местообитания) или с единично нарушенным (изредка нарушаемым) естественным растительным и почвенным покровом (синантропные, синантропизированные), – так и природных, естественным путем нарушенных местообитаний.

О связи видового состава растений естественных ненарушенных и вторичных нарушенных местообитаний свидетельствует присутствие на нарушенных местообитаниях многих прибрежных, прибрежно-опушечных, прибрежно-луговых, прибрежно-болотных, луговых, опушечно-луговых, болотно-луговых и других ви-

дов (Luneva, 2018), многие из которых относятся к группе апофитов. Связь комплексов сорных растений, произрастающих на естественно нарушенных и антропогенных местообитаниях, иллюстрируется определенным сходством их видового состава (Grossheim, 1948; Maltsev, 1962).

Сходство видового состава сорных растений на сегетальных и рудеральных местообитаниях отмечено давно и обсуждалось неоднократно (Nikitin, 1983; Ulyanova, 1998; Beketova, Starikova, 2016). Из вышесказанного следует, что общим свойством, объединяющим все сорные растения, является их приуроченность к вторичным местообитаниям с растительным покровом, нарушенным естественным или антропогенным путем.

### Формирование понятия «сорная флора»

Исходя из того, что данный тип местообитаний занимает всего лишь часть территории любого региона и экологически отличается от других экотопов – мест обитания растительных сообществ, здесь не могут произрастать все виды региональной флоры. Совокупность видов растений региональной флоры, приуроченных к вышеназванным местообитаниям, представляет собой неполную территориальную совокупность видов растений, выделенную по особенностям экологии местообитаний, или экологический элемент флоры (Yurtsev, Kamelin 1991). Исходя из принципиальных различий между естественными (ненарушенными) и вторичными (нарушенными) местообитаниями, экологический элемент флоры вторичных местообитаний с нарушенным растительным покровом целесообразно называть сорной флорой, включающей синантропную флору, приуроченную к нарушенным человеком местообитаниям, и сорную флору естественно нарушенных местообитаний (табл. 2).

Сорная флора, как и любая другая, характеризуется определенной структурой. Существует несколько уровней организации флористических подсистем, обусловленных «сочетаемостью популяций разных видов на различных уровнях естественной дифференциации географической среды» (Vynaeв, 1987, p. 28). Проблема выбора основных уровней изучения флористических подсистем при региональных флористических исследованиях актуальна и при изучении сорной флоры (Luneva, 2020).

**Таблица 2. Состав флоры вторичных местообитаний**  
**Table 2. Composition of the flora in secondary habitats**

Вторичные местообитания с нарушенным почвенно-растительным покровом				
Местообитания, нарушенные естественными (природными) факторами	Местообитания, нарушенные антропогенными факторами (антропогенные или синантропные)			
Обнажения почвы (при выворачивании деревьев, размывании оврагов, подмывании и обвале берегов, сходе селей и т. п.), нарушение растительного покрова от деятельности животных, природных лесных пожаров и т. п.	Пасквальные	Рудеральные	Сегетальные	Урбанизированные (в т. ч. селитебные)
<b>Сорная флора естественно нарушенных местообитаний</b>	<b>Антропогенная флора</b>			
<b>СОРНАЯ ФЛОРА</b>				

### *Элементарная сорная флора*

Поскольку флора – это географическое, а не топографическое (основанное на особенностях рельефа) или формационное (основанное на выделении растительных сообществ) понятие (Tolmachev, 1974), элементарной естественной флорой является флора ландшафта (Lukicheva, Saburov, 1969), где ландшафт – «основная единица комплексного природного районирования территории» (Vупаев, 1987, р. 29).

Здесь следует остановиться на том, что обсуждается объем сорных растений исходя из государственного стандарта по защите растений (ГОСТ 21507-2013..., 2015), где не рассматриваются растения урбанизированных (городских) местообитаний, каковыми являются «местообитания селитебные, рекреационные, промышленные, коммуникационные, гидротехнические и пр.» (Bаrаnоvа et al., 2018, р. 15), представляющие собой также вторичные местообитания с нарушенным растительным покровом. Сорные растения этих местообитаний также входят в состав сорной флоры определенной территории, являясь предметом специального изучения (Tretуаkоvа, 2016). Основываясь на результатах исследования, обусловленных потребностями земледелия, растениеводства, защиты растений и фитосанитарного районирования, а потому проведенных на землях сельскохозяйственного назначения, дальнейшие рассуждения касаются сорных растений агроландшафтов.

Агроландшафт – измененный сельскохозяйственным производством природный ландшафт с сохранением природных границ, включающий как обрабатываемые земли, так и земли для обеспечения деятельности по получению сельскохозяйственной продукции (Nikоlаev, 1999). Природная дифференциация ландшафтов и агроландшафтов обусловлена геолого-морфологическими и природно-климатическими определяющими факторами (Lаtуроvа, 2016), что соответствует выделению агроклиматических районов в пределах областей по особенностям почвенно-климатических условий (Zhurina, 2002). Видовой пул сорных растений отдельного агроклиматического района или агроландшафта представляет собой сорную флору этой территории, а элементарной сорной флорой является флора отдельной агроэкосистемы (Luneva, 2020) как составной части агроландшафта.

### *Структура сорной флоры*

Структура сорной флоры обусловлена структурой вторичных местообитаний. На внутриландшафтном уровне выделяются комплексы видов растений, формирующиеся на определенных экотопах, которые предложено называть «флористическими комплексами экотопов» (Yurtsev, 1975). В то же время совокупность видов растений определенного экотопа (Tolmachev, 1974), или полную территориальную совокупность видов растений любого экологически и флористически своеобразного подразделения ландшафта (Yurtsev, Kamelin, 1991), предложено называть флорой экотопа или парциальной флорой (Yurtsev, 1974).

Следовательно, сорные растения сегетальных или рудеральных местообитаний целесообразнее называть не сегетальными или рудеральными элементом сорной флоры, как это приводится в отдельных работах (Luneva, 2020), а парциальной флорой сегетальных и рудеральных местообитаний. То же относится к комплексам сорных растений, формирующихся на разных типах сеге-

тальных местообитаний, характеризующихся разными свойствами, обусловленными средообразующим влиянием культурных растений (Markov, 1972) и технологиями их возделывания: это парциальные флоры местообитаний под пропашными культурами и культурами сплошного сева, а также каждой из этих культур в отдельности. В пределах сорной флоры области или агроклиматического района мы можем говорить об объединении парциальных флор типов экотопов, как и во флоре в целом (Yurtsev, 1982). В пределах одной естественной конкретной (элементарной) флоры допускается варьирование состава видов на однотипных экотопах (Tolmachev, 1970), что наблюдается также и в пределах элементарной сорной флоры – на полях под одной культурой регистрируется неодинаковый набор видов сорных растений (Luneva, 2020).

### *Сорная флора – исторически сложившаяся совокупность видов*

Исследователи сходятся во мнении, что флорой является не просто комплекс видов растений, а исторически сложившаяся их совокупность. Подытоживая все вышесказанное, можно сделать вывод, что формирование сорной флоры как совокупности растений, заселяющих вторичные местообитания с нарушенным растительным покровом, началось еще до появления антропогенной деятельности, на естественно нарушенных местообитаниях (Maltsev, 1962; Grossheim, 1948).

Современные исследования показали возможность выработки у отдельных видов растений свойств, позволивших им впоследствии закрепиться на нарушаемых местообитаниях: во время оползней в речных долинах у растущих там вегетативно подвижных видов происходит разрыв корней и корневищ, увеличивающий их численность (Lebedev, 1993). Следующий исторический этап состоял в занесении таких растений на антропогенно нарушаемые местообитания. С переходом к оседлому образу жизни было положено начало образованию рудеральных местообитаний, на которых поселялись первобытные формы культурных и сорных растений (Maltsev, 1962; Sinskaya, 1969; Vasilevich, Motekaitite, 1988; Ulyanova, 1998). С усложнением антропогенной деятельности усложнялась структура вторичных местообитаний, усиливалась роль рудеральной растительности: уже в 80-е годы прошлого столетия «естественный растительный покров на 20–25% площади территории СССР (пастбищах, неиспользуемых угодьях, залежах, обочинах дорог, пустырях, гарях, вырубках и т. п.) деградирован и представлен, в основном, рудеральными сорняками» (Nikitin, 1983, р. 9).

Эта тенденция продолжается и в наше время. Давно изучена история появления, развития и распространения культурных растений (Sinskaya, 1969; Ulyanova, 1998). Исходя из этого, исторический характер сегетальной флоры, формирующейся совместно с развитием сообщества культурных растений, также не вызывает сомнений (Tuganaev, 1984; Ulyanova, 1998). Палеонтологические исследования на севере Западной Европы убедительно доказали существование во флоре позднеледникового периода видов растений, которые впоследствии стали называться сегетальными и рудеральными (Guman, Khotinsky, 1981).

О характере внедрения видов растений с естественных местообитаний на поля свидетельствуют результаты современных исследований, выявивших, что при распаивании территорий, занятых естественными расти-

тельными сообществами, на первом этапе на пашне регистрировались преимущественно апофиты – «аборигенные виды, полностью или частично переселившиеся на антропогенные местообитания» (Varanova et al., 2018, p. 14). Затем их доля уменьшалась, а увеличивалась доля сорных растений, попадающих на поля с других типов вторичных местообитаний антропогенного характера, а через 10–15 лет апофиты выпадали из состава агрофитоценоза (Parfenov, 1979). Эти исследования показывают не только пути внедрения сорных растений на поля, но также подтверждают, что присутствие на них большого количества видов из природных растительных сообществ свидетельствует как о молодом возрасте сеgetальной местообитания, так и о низком уровне технологических мероприятий по возделыванию культуры.

С появлением земледелия возделываемые растения всегда произрастали вместе с сорными (Ульянова, 1998). В период раннего средневековья посевы были сильно засорены большим количеством видов сорных растений (Туганов, 1984). Вместе с формированием сорной флоры происходила и эволюция сорных растений, положившая начало группам сорных растений, по-разному приспособившимся к жизни на пашне. Развитие одних пошло по пути приспособления к экологическим условиям пашни (высокая продуктивность семян, растянутый период прорастания семян, формирующий разновозрастные популяции, раннее созревание семян и осыпание их на поле), что позволило этим видам закрепиться на сеgetальных местообитаниях, пополняя год из года банк семян в почве (Ульянова, 1998). Развитие других видов сорных растений привело к сближению их с культурными по ряду признаков: укрупненные семена, приближенные по морфологическим признакам к семенам возделываемой культуры, дружное прорастание семян и созревание их вместе с семенами культуры, что обеспечивает их дальнейшее совместное распространение на другие территории (Kuptsov, 1971).

Несомненно, что одним из важных факторов формирования сорной флоры явилось развитие орудий земледелия (Марков, 1972; Туганов, 1984). Переход от заостренной палки к каменной, а впоследствии и бронзовой мотыге способствовал увеличению разнообразия видов на обработанной почве: к апофитам, внедрившимся из естественных ценозов, присоединились виды, предпочитавшие нарушенные местообитания – растения обрывов, размываемых берегов, нарушенных животными местообитаний, а также растения-эфемеры. С переходом к обработке плугом, сопровождающейся увеличением глубины и качества обработки почвы с оборотом пласта, на пашне, кроме многолетних апофитов, распространились малолетние, размножающиеся семенами апофиты, а также и малолетние антропохоры.

Современный этап развития сорной флоры характеризуется действиями, направленными на подавление сорных растений (Bochkarev et al., 2013). Все это относится к парциальной флоре сеgetальных местообитаний как исторически сложившейся совокупности видов сорных растений, которая жидется на длительной истории взаимоотношений культурных и сорных растений, что достаточно хорошо изучено (Марков, 1972). Вместе с тем группировки сорных растений на других типах вторичных местообитаний изучены гораздо меньше (Vasilevich, Motekaitite, 1988; Mусник et al., 2018), что не способствует пониманию сорной флоры во всем ее объеме.

Сорная флора отдельной территории имеет как черты сходства с сорными флорами других территорий, так

и отличительные черты. Наиболее подробно это изучено на примере сеgetальной флоры регионов (Luneva et al., 2017a). О том, что сорная флора формируется из видов, для которых изучаемая отдельная территория подходит по условиям произрастания, свидетельствует целый ряд исследований (Luneva et al., 2017b, и другие).

Таким образом, исходя из вышеизложенного понятия «сорные растения», сорная флора есть совокупность видов сорных растений, приуроченных к вторичным местообитаниям с естественно или антропогенно нарушенным растительным и почвенным покровом, свойственная каждой отдельной территории, имеющая структуру и сформировавшаяся на протяжении длительного исторического периода.

#### *Сорная флора как основа фитосанитарного районирования территории в отношении сорных растений*

Несмотря на то что разные типы вторичных местообитаний связаны между собой сорными растениями, переходящими с одних мест на другие, фитосанитарное районирование, преследующее цель контроля этих растений в агроэкосистемах для снижения их влияния на агрофитоценозы, относится только к антропогенно нарушенным местообитаниям агроландшафтов. Фитосанитарное районирование территорий в отношении сорных растений осуществляется на макро-, мезо- и микроуровне (Luneva, 2019). Критерием выделения уровней фитосанитарного районирования является сорная флора разных территориальных уровней (Luneva, 2020). Так, на макроуровне (уровне региона или области) исследователь выявляет виды сорной флоры, приуроченные к агроландшафтам этой территории, осуществляя таким образом районирование территории на макроуровне относительно комплекса сорных растений. Аналогичное районирование территории по комплексу вредных объектов проведено энтомологами (Grichanov, Ovsyannikova, 2013).

На региональном уровне чрезвычайно важны предварительные знания о видах, формирующих агрофитоценозы, для разработки стратегических направлений системы контроля этих видов в агроэкосистемах. На уровне области важна информация о видах, произрастающих на разных типах вторичных местообитаний, например на совокупности всех сеgetальных или всех рудеральных, то есть о парциальных флорах этих местообитаний. Эти знания необходимы для выработки представления о формировании сорных флор регионов, для организации межрегиональных исследований, направленных на изучение тенденций и закономерностей развития сорной флоры. В свою очередь, знание дифференциации видов региональной парциальной флоры сеgetальных местообитаний относительно территорий возделывания культур сплошного сева и пропашных позволяет разрабатывать региональные направления защиты возделываемых в области культурных растений.

Флористической подсистемой более низкого уровня, чем сорная флора области, является уровень, определяемый географической дифференциацией территории области, то есть уровень сорной флоры агроклиматических районов, выделяемых на основе почвенно-климатических различий (Zhurina, 2002; Luneva, 2019). Это мезоуровень фитосанитарного районирования, а изучение пространности видов сорных растений на разных типах местообитаний, а также на совокупности полей под

одним типом сельскохозяйственных культур в каждом агроклиматическом районе, способствуют формированию более детализированных направлений системы защиты растений, возделываемых в разнящихся условиях этих районов.

Микроуровень фитосанитарного районирования определяется конкретной (элементарной) сорной флорой, сформированной на территории отдельной агроэкосистемы. В свое время было показано, что не отдельное поле, а, по крайней мере, севооборот с прилегающими территориями вторичных местообитаний, является объектом оперирования на микроуровне (Zubkov, 2000; Luneva, 2020). Безусловно, фитосанитарный мониторинг осуществляется на каждом конкретном поле, для которого разрабатываются краткосрочный (на данный сезон) и долгосрочный (на год) прогнозы для конкретного сеgetального местообитания. Но фитосанитарное районирование на микроуровне – как некое обобщение с выявлением тенденций распространенности видов конкретной сорной флоры по совокупности разных типов вторичных местообитаний в посевах разных типов культур – возможно только на уровне всей агроэкосистемы.

### Заключение

Научный подход к сорным растениям как к растениям вторичных местообитаний с нарушенными растительным и почвенным покровами имеет в системе защиты растений принципиальное значение, поскольку обуславливает контроль этих видов не только на сеgetальных местообитаниях, но на всех типах вторичных местообитаний агроэкосистемы. Фитосанитарный мониторинг не только полей, но и всех нарушенных территорий агроэкосистемы обеспечивает своевременное выявление опасных заносных видов растений, а также является основой разработки превентивных мер, способствующих предотвращению заноса сорных растений с нарушенных местообитаний на поля.

Сформированное понятие сорной флоры с обоснованием ее структуры обуславливает фитосанитарное районирование территории в отношении сорных растений на трех уровнях и четко определяет приуроченность микроуровня к территории агроэкосистемы. Это также имеет принципиальное значение, поскольку не позволяет считать относящимися к микроуровню исследования по распределению сорных растений на территории конкретного поля в зависимости от микрорельефа, «мозаичности» почвы на поле и т. п.

На результатах изучения комплексов видов сорных растений на трех уровнях фитосанитарного районирования базируется трехуровневая система прогнозирования распространения сорных растений в регионе и распространенности в агроклиматических районах и агроэкосистемах, на разных типах местообитаний, сопряженных с разными типами сельскохозяйственных культур.

### References / Литература

- Aleksandrova K.I., Varabash G.I. Weed flora of the Don meadows (Sornaya flora donskikh lugov). In: *Vegetation cover of the Central Black Earth Region and its protection (Rastitelny pokrov Tsentralnogo Chernozemya i yego okhrana)*. Voronezh: Voronezh University; 1987. p.20-23. [in Russian] (Александрова К.И., Барабаш Г.И. Сорная флора донских лугов. В кн.: *Растительный покров Центрального Черноземья и его охрана*. Воронеж: Воронежский университет; 1987. С.20-23).
- Article 161. Lands for recreational purposes. ZonaZakona.Ru Legal Internet Portal (Statya 161. Zemli rekreatsionnogo naznasheniya. Yuridicheskiy internet-portal ZonaZakona.Ru). 2007-2021. [in Russian] (Статья 161. Земли рекреационного назначения. Юридический интернет-портал ЗонаЗакона.Ру. 2007-2021). URL: <https://www.zonazakona.ru/law/abro/art/47932/> [дата обращения: 22.01.2021].
- Baranova O.G., Shcherbakov A.V., Senator S.A., Panasenko N.N., Sagalaev V.A., Saksonov S.V. The main terms and concepts used in the study of alien and synanthropic flora. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2018;12(4):4-22. [in Russian] (Баранова О.Г., Щербаков А.В., Сенатор С.А., Панасенко Н.Н., Сагалаев В.А., Саксонов С.В. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры. *Фито-разнообразие Восточной Европы*. 2018;12(4):4-22). DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10031
- Beketova O.A., Starikova E.A. Analysis of the distribution of weed species on segetal and ruderal habitats. *The Bulletin of KrasGAU*. 2016;11(122):3-9. [in Russian] (Бекетова О.А., Старикова Е.А. Анализ распределения видов сорных растений на сеgetальных и рудеральных местообитаниях. *Вестник КрасГАУ*. 2016;11(122):3-9).
- Bochkarev D.V., Smolin N.V., Nikolskiy A.N. Weed dynamics in agrophytocenoses of the Republic of Mordovia. *Plant Protection News*. 2013;(3):51-60. [in Russian] (Бочкарев Д.В., Смолин Н.В., Никольский А.Н. Динамика сорного компонента агрофитоценозов Мордовии. *Вестник защиты растений*. 2013;(3):51-60).
- Bogolyubov S.A., Galinovskaya E.A., Emelyanova V.G., Zharikov Yu.G., Zaslavskaya L.A., Krayushkina E.G., Minina E.L., Pankratov I.F. Land and law. Manual for Russian landowners (Zemlya i pravo. Posobiye dlya rossiyskikh zemlevladel'tsev). S.A. Bogolyubov (ed.). Moscow: Norma; Infra-M; 1997. [in Russian] (Боголюбов С.А., Галиновская Е.А., Емельянова В.Г., Жариков Ю.Г., Заславская Л.А., Краюшкина Е.Г., Минина Е.Л., Панкратов И.Ф. Земля и право. Пособие для российских землевладельцев / под ред. С.А. Боголюбова. Москва: Норма; Инфра-М; 1997).
- Dorogostayskaya E.V. Weedy plants of the Far North of the USSR (Sornye rasteniya Kraynego Severa SSSR). B.A. Tikhomirov (ed.). Leningrad: Nauka; 1972. [in Russian] (Дорогостайская Е.В. Сорные растения Крайнего Севера СССР / под ред. Б.А. Тихомирова. Ленинград: Наука; 1972).
- Forest fires in Russia. Statistics and antirecords (Lesnye pozhary v Rossii. Statistika i antirekordy). TASS; 2019. [in Russian] (Лесные пожары в России. Статистика и антирекорды. ТАСС; 2019). URL: <https://tass.ru/info/6712527> [дата обращения: 22.01.2021].
- Gorkin A.P. (ed.). Geography. Modern illustrated encyclopedia (Geografiya. Sovremennaya illustrirovannaya entsiklopediya). Moscow: Rosman; 2006. [in Russian] (География. Современная иллюстрированная энциклопедия / под ред. А.П. Горкина. Москва: Росмэн; 2006).
- GOST 16265-89. Earth cultivation. Terms and definitions. Moscow; 1991. [in Russian] (ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения. Москва; 1991). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200022975> [дата обращения: 22.01.2021].

- GOST 21507-2013. Plant protection. Terms and definitions. Moscow; 2015. [in Russian] (ГОСТ 21507-2013. Защита растений. Термины и определения. 2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111134> [дата обращения: 22.01.2021].
- Grichanov I., Ovsyannikova E. Experience of phytosanitary zonation of Russia and neighboring countries by a complex of fruit crop pests using Axiovision program. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2013;22(4):65-80. [in Russian] (Гричанов И.Я., Овсянникова Е.И. Опыт фитосанитарного районирования России и соседних стран по комплексу вредителей плодовых культур с использованием программы Axiovision. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2013;22(4):65-80).
- Grime J.P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*. 1974;250(5461):26-31. DOI: 10.1038/250026a0
- Grossheim A.A. Vegetation of the Caucasus (Rastitelnyy pokrov Kavkaza). Moscow: Moscow Society of Naturalists; 1948. [in Russian] (Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа. Москва: Московское общество испытателей природы; 1948).
- Guman M.A., Khotinsky N.A. Anthropogenic changes in the center of the Russian Plain in the Holocene (Antropogennye izmeneniya tsentra Russkoy ravniny v golotsene). In: L.G. Dinesman (ed.). *Anthropogenic factors in the history of modern ecosystems (Antropogennye faktory v istorii razvitiya sovremennykh ekosistem)*. Moscow: Nauka; 1981. p.7-9. [in Russian] (Гуман М.А., Хотинский Н.А. Антропогенные изменения центра Русской равнины в голоцене. В кн.: *Антропогенные факторы в истории развития современных экосистем* / под ред. Л.Г. Динесмана. Москва: Наука. 1981. С.7-9).
- Kondratkov P.V., Tretyakova A.S. Taxonomical and biological structure of the segetal flora in Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018;3(170):29-36. [in Russian] (Кондратков П.В., Третьякова А.С. Таксономическая и биоэкологическая структура сегетальной флоры Свердловской области. *Аграрный вестник Урала*. 2018;3(170):29-36).
- Kuptsov A.I. Elements of general plant breeding (Elementy obschey selektsii rasteniy). Novosibirsk: Nauka; 1971. [in Russian] (Купцов А.И. Элементы общей селекции растений. Новосибирск: Наука; 1971).
- Latylova Z.B. Development of research methods in teaching soil science: organization of agrolandscape studies (a case study of the Republic of Bashkortostan). *Pedagogical Journal*. 2016;(3):184-194. [in Russian] (Латылова З.Б. Развитие исследовательских методов в преподавании почвоведения: организация агроландшафтных исследований (на примере Республики Башкортостан). *Педагогический журнал*. 2016;(3):184-194).
- Lebedev V.P. Structure of some vegetatively motile weed populations in ecotopically determined plant groups (Struktura polulyatsiy nekotorykh vegetativno podvizhnykh sornykh rasteniy v ekotopicheski obuslovlennykh rastitelnykh gruppировках). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1993;78(9):29-34. [in Russian] (Лебедев В.П. Структура популяций некоторых вегетативно подвижных сорных растений в экотопически обусловленных растительных группировках. *Ботанический журнал*. 1993;78(9):29-34).
- Lukicheva A.N., Saburov D.N. Specific flora and the flora of a landscape (Konkretnaya flora i flora landshafta). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*, 1969;54(12):1911-1920. [in Russian] (Лукичева А.Н., Сабу-
- ров Д.Н. Конкретная флора и флора ландшафта. *Ботанический журнал*. 1969;54(12):1911-1920).
- Luneva N.N. Allocation of levels of phytosanitary zoning of the territory concerning weeds using Leningrad region as an example. *Plant Protection News*. 2020;103(2):119-133. [in Russian] (Лунева Н.Н. Выделение уровней фитосанитарного районирования территории в отношении сорных растений на примере Ленинградской области. *Вестник защиты растений*. 2020;103(2):119-133). DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-2-13406
- Luneva N.N. Dynamics of the weed species composition over the territory of Leningrad Province at the macro-, meso- and microlevels (Dinamika vidovogo sostava sornykh rasteniy na territorii Leningradskoy oblasti na makro-, mezo- i mikrourovnyakh). In: *Scientific support to the development of the agroindustrial complex under the conditions of import substitution (Nauchnoye obespecheniye razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya)*. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 115th anniversary of St. Petersburg State Agrarian University*. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University; 2019. p.39-45. [in Russian] (Лунева Н.Н. Динамика видового состава сорных растений на территории Ленинградской области на макро-, мезо- и микроуровнях. В кн.: *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвящается 115-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. Санкт-Петербург: СПбГАУ; 2019. С.39-45). URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_38530581\\_73727242.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38530581_73727242.pdf) [дата обращения: 22.01.2021].
- Luneva N.N. Weeds: origin and composition. *Plant Protection News*. 2018a;1(95):26-32. [in Russian] (Лунева Н.Н. Сорные растения: происхождение и состав. *Вестник защиты растений*. 2018a;1(95):26-32).
- Luneva N.N., Bochkarev D.V., Nikolskiy A.N. Distribution of weed plants in regions (in Republic of Mordovia and Leningrad region as examples). *Plant Protection News*. 2017a;1(91):33-38. [in Russian] (Лунева Н.Н., Бочкарев Д.В., Никольский А.Н. Распространение сорных растений в регионах (на примере Республики Мордовия и Ленинградской области). *Вестник защиты растений*. 2017a;1(91):33-38).
- Luneva N.N., Mysnik E.N., Bochkarev D.V., Nikolskiy A.N., Kuzovatkin E.M. Ecological and geographical substantiation of formation of specific structure of weed plants in the territory of the Republic of Mordovia. *The Agrarian Scientific Journal*. 2017b;(6):25-30. [in Russian] (Лунева Н.Н., Мысник Е.Н., Бочкарев Д.В., Никольский А.Н., Кузоваткин Е.М. Эколого-географическое обоснование формирования видового состава сорных растений на территории Республики Мордовии. *Аграрный научный журнал*. 2017b;(6):25-30).
- Maltsev A.I. Weed vegetation of the USSR and measures to combat it (Sornaya rastitelnost SSSR i меры борьбы с ней). 4th ed. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1962. [in Russian] (Мальцев А.И. Сорная растительность СССР и меры борьбы с ней. 4-е изд. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1962).
- Marich S.N. Weed vegetation of forest nurseries in the southern taiga subzone: case study of Vologda Province (Sornaya rastitelnost lesnykh pitomnikov yuzhnoy podzony taygi: na primere Vologodskoy oblasti) [dissertation]. Arkhangelsk; 2014. [in Russian] (Марич С.Н. Сорная

- растительность лесных питомников южной подзоны тайги: на примере Вологодской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск; 2014). URL: <https://www.dissercat.com/content/sornaya-rastitelnost-lesnykh-pitomnikov-yuzhnoi-podzony-taigi-na-primere-ologodskoi-oblasti> [дата обращения: 22.01.2021].
- Markov M.V. Agricultural phytocenology: the science of field plant communities (Agrofitotsenologiya – nauka o polevykh rastitelnykh soobshchestvakh). Kazan: Kazan State University; 1972. [in Russian] (Марков М.В. Агрофитоценология – наука о полевых растительных сообществах. Казань: Казанский государственный университет; 1972).
- Marsalkin M.F., Lega S.N., Tikhonova I.N. The role of ruderal'nyh plants in restoring natural vegetation communities damaged by unauthorized landfill. *Fundamental Research*. 2014;(9-2):329-332. [in Russian] (Маршалкин М.Ф., Лега С.Н., Тихонова И.Н. Роль рудеральных растений в восстановлении природных растительных сообществ, нарушенных несанкционированными свалками мусора. *Фундаментальные исследования*. 2014;(9-2):329-332).
- Mirkin B.M., Naumova L.G. Concise encyclopedic dictionary of vegetation studies (Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar nauki o rastitelnosti). Ufa: Gilem; 2014. [in Russian] (Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Краткий энциклопедический словарь науки о растительности. Уфа: Гилем; 2014).
- Mirkin B.M., Naumova L.G., Khaziakhmetov R.M. About role of biological diversity for enhancing of adaptivity in agricultural ecosystems. *Agricultural Biology*. 2003;38(5):83-92. [in Russian] (Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Хазиахметов Р.М. О роли биологического разнообразия в повышении адаптивности сельскохозяйственных экосистем. *Сельскохозяйственная биология*. 2003;38(5):83-92).
- Mysnik E.N., Shchuchka R.V., Zakharov V.L., Sotnikov V.A., Kravchenko V.A. The ruderal component of weed flora of agroecosystems in the north-east of Lipetsk Oblast. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;2(57):28-34. [in Russian] (Мысник Е.Н., Щучка Р.В., Захаров В.Л., Сотников В.А., Кравченко В.А. Рудеральная составляющая сорной флоры агроэкосистем северо-восточной части Липецкой области. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018;2(57):28-34). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.28
- Nikitin V.V. Weedy species in the flora of the USSR (Sornye rasteniya flory SSSR). Leningrad: Nauka; 1983. [in Russian] (Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Ленинград: Наука; 1983).
- Nikolaev V.A. Adaptive space-time structure of the agricultural landscape. *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*. 1999;(1):22-26. [in Russian] (Николаев В.А. Адаптивная пространственно-временная структура агроландшафта. *Вестник МГУ. Сер. 5. География*. 1999;(1):22-26).
- Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation No. 700 dated December 28, 2018 "Concerning approval of the rules for afforestation, the composition of the afforestation project, and the procedure for its development" (Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 28.12.2018 № 700 "Ob utverzhdenii Pravil lesorazvedeniya, sostava proyekta lesorazvedeniya, poryadka yego razrabotki"). Moscow; 2019. [in Russian] (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28.12.2018 № 700 «Об утверждении Правил лесоразведения, состава проекта лесоразведения, порядка его разработки»). Москва; 2019).
- Parfenov V.I. Modern anthropogenic dynamics of the flora and vegetation in the Pripyat Polesie (Sovremennaya antropogennaya dinamika flory i rastitelnosti Pripyatskogo Polesya). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1979;64(10):1377-1389. [in Russian] (Парфенов В.И. Современная антропогенная динамика флоры и растительности Припятского Полесья. *Ботанический журнал*. 1979;64(10):1377-1389).
- Pianka E. Evolutionary ecology (Evolutsionnaya ekologiya). M.S. Gilyarov (ed.). Moscow: Mir; 1981. [in Russian] (Пианка Э. Эволюционная экология / под ред. М.С. Гилярова. Москва: Мир; 1981).
- Ramenskiy L.G. On basic principles, main concepts and terms of industrial land typology, geobotany and ecology (O printsipialnykh ustanovkakh, osnovnykh ponyatiyakh i terminakh proizvodstvennoy tipologii zemel, geobotaniki i ekologii). *Sovetskaya botanika = Soviet Botany*. 1935;(4):25-42. [in Russian] (Раменский Л.Г. О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии. *Советская ботаника*. 1935;(4):25-42).
- Roskopf E.N., Charudattan R., Kadir J.B. Use of plant pathogens in weed control. In: T.S. Bellows, T.W. Fisher (eds). *Handbook of Biological Control: Principles and Applications*. San Diego, CA: Academic Press; 1999. p.891-918.
- Sinskaya E.N. Historical geography of cultivated flora. (Istoricheskaya geografiya kulturnoy flory). Leningrad: Kolos; 1969. [in Russian] (Синская Е.Н. Историческая география культурной флоры. Ленинград: Колос; 1969).
- Sukhorukov A.P. The carpology of the Chenopodiaceae with reference to the phylogeny, systematics and diagnostics of its representatives. Tula: Grif and Co.; 2014. [in Russian] (Сухоруков А.П. Карпология семейства Chenopodiaceae в связи с проблемами филогении, систематики и диагностики его представителей. Тула: Гриф и К; 2014). URL: [https://istina.msu.ru/media/publications/book/678/03b/7056376/Book-final\\_version.pdf](https://istina.msu.ru/media/publications/book/678/03b/7056376/Book-final_version.pdf) [дата обращения: 25.02.2021].
- Tolmachev A.I. Introduction to plant geography (Vvedeniye v geografiyu rasteniy). Leningrad: Leningrad State University; 1974. [in Russian] (Толмачев А.И. Введение в географию растений. Ленинград: ЛГУ; 1974).
- Tolmachev A.I. Richness of the floras as an object of comparative study (Bogatstvo flor kak obyekt sravnitel'nogo izucheniya). *Vestnik LGU = Leningrad State University Bulletin*. 1970;(9):71-83. [in Russian] (Толмачев А.И. Богатство флор как объект сравнительного изучения. *Вестник ЛГУ*. 1970;(9):71-83).
- Tretyakova A.S. Characteristics of taxonomic structure of flora in the Middle Urals urban areas (Sverdlovsk region). *Samara Journal of Science*. 2016;1(14):66-71. [in Russian] (Третьякова А.С. Особенности таксономической структуры флоры урбанизированных территорий Среднего Урала (Свердловская область). *Самарский научный вестник*. 2016;1(14):66-71).
- Tretyakova A.S., Baranova O.G., Luneva N.N., Terekhina T.A., Yamalov S.M., Lebedeva M.V. et al. Segetal flora of some regions of Russia: characteristics of the taxonomic structure. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breed-*

- ing. 2020;181(2):123-133. [in Russian] (Третьякова А.С., Баранова О.Г., Лунева Н.Н., Терехина Т.А., Ямалов С.М., Лебедева М.В. и др. Сегетальная флора некоторых регионов России: характеристика таксономической структуры. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):123-133). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133
- Tuganayev V.V. Agrophytocoenoses of modern agriculture, and their history (Agrofitotsenozы sovremennoy zemledeliya i ikh istoriya). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] (Туганаев В.В. Агрофитоценозы современного земледелия и их история. Москва: Наука; 1984).
- Ulyanova T.N. Field weed flora of Kamchatka Province (Sorno-polevaya flora Kamchatskoy oblasti). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*, 1976;61(4):555-561. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сорно-полевая флора Камчатской области. *Ботанический журнал*. 1976;61(4):555-561).
- Ulyanova T.N. Weeds as a special ecological group of wild species (Sornye rasteniya kak osobaya ekologicheskaya grupa dikorastushchikh vidov). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1991;140:131-136. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сорные растения как особая экологическая группа дикорастущих видов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1991;140:131-136).
- Ulyanova T.N. Weeds in the flora of Russia and other CIS countries (Sornye rasteniya vo flore Rossii i drugikh stran SNG). St. Petersburg: VIR; 1998. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сорные растения во флоре России и других стран СНГ. Санкт-Петербург: ВИР; 1998).
- Vakhrusheva Ya.V., Khusainova S.A., Khusainov A.F. Systematic composition of the ruderal flora in the territory of the Salikhovo Social Educational Center (Chishminsky District, Republic of Bashkortostan) (Sistematicheskiy sostav ruderalnoy flory territorii SOOTs "Salikhovo" [Chishminsky rayon, Respublika Bashkortostan]). In: *Modern aspects of studying plant ecology: Proceedings of the V International Youth Distance Competition Conference (Sovremennye aspekty ekologii rasteniy: materialy V Mezhdunarodnoy molodezhnoy distantsionnoy konkurs-konferentsii)*. Ufa: Mir pechati; 2017. p.16-20. [in Russian] (Вахрушева Я.В., Хусайнова С.А., Хусайнов А.Ф. Систематический состав рудеральной флоры территории СООЦ «Салихово» (Чишминский район, республика Башкортостан). В кн.: *Современные аспекты изучения экологии растений: материалы V Международной молодежной дистанционной конкурс-конференции*. Уфа: Мир печати; 2017. С.16-20). URL: <http://distolimp.bsru.ru/data/txtRfiels/1/acc5d673ae564a7488e3f5df2381e897.pdf> [дата обращения: 17.03.2021].
- Vasilchenko I.T. To the question about the speed of speciation (K voprosu o skorosti vidoobrazovaniya). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1954;39(6):852-866. [in Russian] (Васильченко И.Т. К вопросу о скорости видообразования. *Ботанический журнал*. 1954;39(6):852-866).
- Vasilevich V.I., Motekaitite V.P. Ruderal communities as a special type of vegetation (Ruderalnye soobshchestva kak osoby tip rastitelnosti). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1988;73(12):1699-1707. [in Russian] (Василевич В.И., Мотекайтите В.П. Рудеральные сообщества как особый тип растительности. *Ботанический журнал*. 1988;73(12):1699-1707).
- Veselova P.V. Anthropophilous representatives of Brassicaceae Burnett of the Northern Turan (conspectus of species) *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(2):96-112. [in Russian] (Веселова П.В. Антропофильные Brassicaceae Burnett Северного Турана (конспект видов). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):96-112). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-96-112
- Veselova P.V. Phytocoenotic confinedness of Brassicaceae species under technogenic impact in the north-east Priscasian basin. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2013;49(3):360-370. [in Russian] (Веселова П.В. Особенности фитоценотической приуроченности видов сем. Brassicaceae в условиях техногенного влияния в северо-восточном Прикаспии. *Растительные ресурсы*. 2013;49(3):360-370).
- Voronov A.G. Influence of rodents on the vegetation cover of pastures and hayfields (Vliyaniye gryzunov na rastitelnyy pokrov pastbishch i senokosov). In: *Problems in improving the food supply in the steppe, semidesert and desert zones of the USSR (Voprosy uluchsheniya kormovoy bazy v stepnoy, polupustynnoy i pustynnoy zonakh SSSR)*. Moscow: USSR Academy of Sciences; 1954. p.341-352. [in Russian] (Воронов А.Г. Влияние грызунов на растительный покров пастбищ и сенокосов. В кн.: *Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР*. Москва: АН СССР; 1954. С.341-352).
- Vynaev G.V. On the concept of "flora" and the problems of flora science (O ponyatii "flora" i zadachakh nauki o florakh). In: *Theoretical and methodological problems of comparative floristics: Proceedings of the II meeting on comparative floristics (Teoreticheskiye i metodologicheskiye problemy sravnitelnoy floristiki: materialy II soveshchaniya po sravnitelnoy floristike)*. Leningrad; 1987. p.28-30. [in Russian] (Вынаев Г.В. О понятии «флора» и задачах науки о флорах. В сб.: *Теоретические и методологические проблемы сравнительной флористики материалы II совещания по сравнительной флористике*. Ленинград; 1987. С.28-30).
- Yurtsev B.A. Discussion on the topic "The method of specific floras in comparative floristics" (Diskussiya na temu "Metod konkretnykh flor v sravnitelnoy floristike"). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1974;59(9):1399-1407. [in Russian] (Юрцев Б.А. Дискуссия на тему «Метод конкретных флор в сравнительной флористике». *Ботанический журнал*. 1974;59(9):1399-1407).
- Yurtsev B.A. Flora as a natural system (Flora kak prirodnaia Sistema). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 1982;87(4):3-22. [in Russian] (Юрцев Б.А. Флора как природная система. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 1982;87(4):3-22).
- Yurtsev B.A. Some trends in the development of the method of specific floras (Nekotorye tendentsii razvitiya metoda konkretnykh flor). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1975;60(1):69-83. [in Russian] (Юрцев Б.А. Некоторые тенденции развития метода конкретных флор. *Ботанический журнал*. 1975;60(1):69-83).
- Yurtsev B.A., Kamelin R.V. Basic concepts and terms of floristics: A manual for a special course (Osnovnye ponyatiya i terminy floristiki: uchebnoye posobiye po spetskursu). Perm: Perm University; 1991. [in Russian] (Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики: учебное пособие по спецкурсу. Пермь: Пермский университет; 1991).
- Zhurina L.L. Methodological guidelines for preparing agroclimatic characteristics of a farm (district) for students

of agronomic specialties (Leningrad Province) (Metodicheskiye ukazaniya po sostavleniyu agroklimaticheskoy kharakteristiki khozyaystva [rayona] dlya studentov agronomicheskikh spetsialnostey [Leningradskaya oblast]). St. Petersburg: St Petersburg State Agrarian University; 2002. [in Russian] (Журина Л.Л. Методические указания по составлению агроклиматической характеристики хозяйства (района) для студентов агрономических специальностей (Ленинградская область). Санкт-Петербург: СПбГАУ; 2002).

Zlenko L.V., Koshurnikova N.N., Zhuykov A.V. Reforestation processes at felling and slash areas. *Modern*

*Problems of Science and Education*. 2015;(5):681. [in Russian] (Зленко Л.В., Кошурникова Н.Н., Жуйков А.В. Лесовосстановительные процессы на вырубках и гарях. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(5):681). URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22449> [дата обращения: 02.11.2020].

Zubkov A.F. Agricultural biocenology (Agrobiotsenologiya). St. Petersburg: Innovative Plant Protection Center; 2000. [in Russian] (Зубков А.Ф. Агробиоценология. Санкт-Петербург: ИЦЗР; 2000).

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Лулева Н.Н. Сорные растения и сорная флора как основа фитосанитарного районирования (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):139-150. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-139-150

Luneva N.N. Weeds and weed flora as the basis for phytosanitary zoning (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):139-150. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-139-150

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-139-150>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Luneva N.N. <https://orcid.org/0000-0001-7972-6362>

## Wartime activities of the Vavilov Institute

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-151-162

УДК 631.523: 631.527

Поступление/Received: 16.01.2021

Принято/Accepted: 12.05.2021



Деятельность ВИР им. Н.И. Вавилова  
в годы войны

I. G. LOSKUTOV

И. Г. ЛОСКУТОВ

*N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources,  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia*  
✉ i.loskutov@vir.nw.ru

*Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44*  
✉ i.loskutov@vir.nw.ru

Among the chronicles relating the heroism of the besieged Leningrad, there are pages dedicated to the deeds performed by the staff of the world-famous All-Union Research Institute of Plant Industry (VIR, now the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources). With the beginning of the war, even before the city was surrounded by the Nazi troops, the government decided to evacuate a number of factories and institutes from Leningrad, including VIR, but the plan failed. Only in winter did the Institute start partial evacuation, although preparations had been going on for a long time. The largest and most important part of the collection was left behind in the besieged city. The remaining employees were forced to work under the hardest conditions of the siege, in unheated premises. In the harsh reality of the winter in 1941–1942, the daily bread rationing was cut down, and hunger raged in the city, killing tens of thousands of city residents, including VIR employees who kept the stored seeds and tubers untouched. The most difficult part was preserving the potato collection. In the spring of 1942, preparations were made for sowing to restore the viability of seeds and tubers in the fields of Leningrad's suburban area under the fire from the enemy artillery. Only the heroic efforts of VIR's staff helped to save the collection from destruction and loss of germination. This heroism cost more than 20 experts and scientists their lives. So, the most dangerous period for the Institute was overcome at such price. Immediately after the siege was lifted, a group of experts was sent to Leningrad from Krasnoufimsk to help with selecting seed accessions for urgent reproduction. Working under extreme physical exhaustion in frozen premises, without water or electricity, under continuous shelling, they saved, many at the cost of their own lives, the collection of cultivated plants and their wild relatives, the herbarium, and the scientific library for future generations.

**Key words:** collection, VIR, siege, hunger, exhaustion, shelling, preservation, evacuation.

В летописи подвига блокадного Ленинграда мы не должны забывать о подвиге сотрудников известного на весь мир Всесоюзного НИИ растениеводства (ВИР, ныне Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова). С началом войны, еще до окружения города немецкими войсками, правительство приняло решение об эвакуации из Ленинграда ряда заводов и институтов, среди которых был и ВИР, но осуществить этот план не удалось. Только зимой институт начал частичную эвакуацию, хотя подготовка к ней велась в течение долгого времени. Самая большая и наиболее важная часть коллекции была оставлена в осажденном городе. Оставшиеся сотрудники были вынуждены работать в тяжелых условиях блокады, в неотопляемых помещениях. В жестоких условиях блокадной зимы 1941–1942 гг. дневная норма выдачи хлеба по карточкам была сокращена, в городе свирепствовал голод, убивая десятки тысяч жителей города, в том числе сотрудников ВИР, хранивших нетронутыми коллекционные семена и клубни. Самым тяжелым было сохранение коллекции картофеля. С весны 1942 г. стали готовиться к посевной с целью возобновления жизнеспособности семян и клубней в хозяйствах пригородной зоны Ленинграда под обстрелом немецкой артиллерии. Только благодаря героическим усилиям персонала ВИР коллекция была сохранена от уничтожения и потери всхожести. Этот героизм стоил жизни более 20 специалистам и ученым. Благодаря этому наиболее опасный для института период был преодолен. Сразу же после снятия блокады в Ленинград из Красноуфимска были командированы сотрудники в помощь ленинградской группе для отбора образцов коллекции для срочного пересева. Работая при крайнем физическом истощении в промерзших помещениях института, без воды, электричества, под непрерывным артобстрелом, они сохранили, многие ценой собственной жизни, для будущих поколений мировую коллекцию культурных растений и их диких родичей, гербарий, научную библиотеку.

**Ключевые слова:** коллекция, ВИР, блокада, голод, истощение, обстрелы, сохранение, эвакуация.

From the beginning of the Nazi invasion on June 22, 1941, the work of the All-Union Institute of Plant Industry (VIR) was focused on strengthening direct aid to the national food production through increasing food resources and stocks of agricultural raw materials in the country. Many employees were drafted into the ranks of the Red Army, but a significant part of the staff of the Institute and its branches were sent to

collective and state farms with the mission of agronomic assistance in sowing and harvesting operations (Loskutov, 2009).

In the following studies and practical utilization of the global crop genetic resources collections, the main attention was paid to the seed production of the best zoned or promising cultivars, bred or isolated by the Institute from its hold-

ings, as well as such elite varieties whose cultivation was committed to the Institute by the USSR People's Commissariat for Agriculture.

The course of military events dramatically changed the work of the Institute's headquarters and its experimental fields in Leningrad Province, as the latter in September 1941 found themselves in the zone of direct hostilities. Beginning from July, the overwhelming majority of physically capable employees of the Institute were directly involved in the construction of defense structures on the approaches to Leningrad and in the city itself, while some of the staff members switched to the research work that had straight significance for defense (Scientific report..., 1945).

Already on July 7, 1941, the Institute issued Order No. 182 (Fig. 1), obliging everyone to go to work for the needs of the city; for failure to appear or being late for work, the guilty were brought to justice under the wartime law. From July 10, orders started to be issued to regulate the redundancy and dismissal of employees – due to the reduction in the volume of works and topics irrelevant for wartime, evacuation, and transition to defense enterprises. Besides, in July, not only employees, including typists with typewriters, but also cars, horses, carts, etc. were mobilized into the Workers' and Peasants' Red Army (RKKa). Beginning from July 15, orders concerning reinforcement of the Institute's security system were adopted (the front entrance was blocked, 24-hour guarding posts were organized, and strict access control was introduced) (VIR Archives..., 1962; Orders and directives..., 1945).

While some scientists and technical support workers were sent to the front, most of the Institute's staff labored in the defense works around Leningrad. A small number of employees out of those who remained at VIR started preparing the collection for evacuation to Krasnoufimsk in the Urals (Krasnoufimsk Experiment Station, not far from the city of Sverdlovsk, now Yekaterinburg).

In August 1940, Acad. Johan Gansovich Eichfeld, the Institute's director, who held this position after N. I. Vavilov's arrest, wrote in his report to the Lenin All-Russian Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL): "The work at the Institute never came to a halt, even in the hardest months of the siege, when water supply and electricity were blocked, and the temperature in the laboratories dropped to  $-15$ – $-20^{\circ}\text{C}$ . It was at that time that a lot of work was done to prepare the most valuable part of the global collection for shipment to the rear, and the remaining part for long-term storage." (VIR Archives..., 1962, unpagged)

Beginning from the earliest August, VIR issued a number of orders, regulating the Institute's activities in wartime conditions: Order No. 215 on recruiting a firefighting group for the building (at 42 Herzen Street), providing the Forest Aviation Trust with a room for permanent stationing of their fire team, completing the blackout of windows, and removing combustible materials (archives, herbarium, reagents, etc.) from the premises; Order No. 216 on recruiting a firefighting team for the building (at 44 Herzen Street); Order No. 230 about the transfer of A. G. Gael, Y. F. Katz and P. F. Medvedev, the staff members who worked with rubber plants, to VIR's experiment stations due to the curtailed scope of work; and Order No. 256 (Fig. 2), appointing Ya. Ya. Virs as the manager of the Leningrad and Pushkin units, and the Krasny Pakhar facilities (Orders and directives..., 1945).

When the Government decreed evacuation of the Institute's staff (100 employees with their families), the Oktyabrskaya Railway allocated two standard cars and one open freight car for the collection of seeds. The plan was to evacuate the Institute's collection in two batches. The first consign-

ment was assigned to the hand luggage of the staff members evacuated to Krasnoufimsk (Sverdlovsk Province) and included about 20,000 accessions from the collection: 100 grains for a cereal crop accession, and from 50 to 200 seeds for each of the other crops. They were packed in 100 soft parcels, 2 kg each. The second consignment consisted of over 100,000 accessions, 20–50 g each; they were packed in 300 double-wall containers with a total weight of 5 metric tons. Valuable equipment, the library, and scientific publications were also packed. The cargo prepared for evacuation was to be handed over to the shipment unit under the charge of the Institute's superintendent M. S. Belyaeva and senior researcher O. A. Voskresenskaya (Orders and directives..., 1945).

The evacuation of the Institute's staff and collections was scheduled for August 25, 1941. Already on August 26, 1941 the last passenger train set off from Leningrad to the east, and on August 27 the Nazi cut off the last railroad and Leningrad was isolated from the country. On September 5 the ring of the siege was tightened and fortified by the enemy, and on September 8, 1941, the ring was completely closed, so on September 8, 1941, the staff of the Institute with their families returned to the city. The open freight car, where the Institute's seed collection had been loaded for evacuation, remained on a sidetrack of the railway (Orders and directives..., 1945).

In this difficult time for the country, VASKhNIL sent to Leningrad a special commissioner to act as the curator of agricultural institutes, including VIR – Isai Izraelevich Prezent, who was expected to organize and monitor the evacuation of employees and equipment, but he left Leningrad at the first opportunity. He did not take any part in saving the seeds of VIR's invaluable collection.

After the failed evacuation, the returned containers with the collection were divided into 2 lots and kept in different parts of the Institute's building (44 Herzen Street) to avoid destruction during bombing. A team of 10–12 people daily removed up to 3,000–4,000 boxes from the racks, tying them together into 400–500 packs. The packs were stacked tightly between the shelves whereon the collection was previously stored. Wheat accessions were the first to be handled – over 20,000 boxes, followed by rye, oat and barley; then it was the turn of maize, millet, sorghum, buckwheat, peas and other legumes. All in all, up to 100,000 boxes with seeds of those crops were tied together. The last to be tied up were the boxes with vegetable, industrial and forage crop seeds. The unhandled containers with seeds were sorted, and the seeds were packed into 2,500 empty boxes. Over 3,000 boxes from 40 rooms in the entire building were moved to 16 rooms on the second floor, away from cold and burglars. The collections of maize (306 boxes), flax (1,334) and legumes (1,582) were also brought there. When the relocation was completed, an inventory was made and a layout of the new storage premises was drawn (Orders and directives..., 1945).

The collections maintained in Pavlovsk and Pushkin were urgently evacuated under fire to Leningrad in the end of August; among them there were collections of potato, rye and other crops. The rye expert V. F. Antropova moved the precious rye seed collection from Pushkin to Leningrad; the collection of cucurbits was also evacuated. The pea and lupine collections were transported by N. R. Ivanov. The agricultural meteorologist V. K. Omelchenko continued his work at the Meteorological Station (Orders and directives..., 1945).

The evacuation of potato accessions faced many problems. In 1941, most of them (6,000) were planted in the fields of Pavlovsk Experiment Station of VIR, 30 km from Leningrad. The period of their ripening coincided with the outbreak of hostilities near Pavlovsk. The town was all in flames from nu-

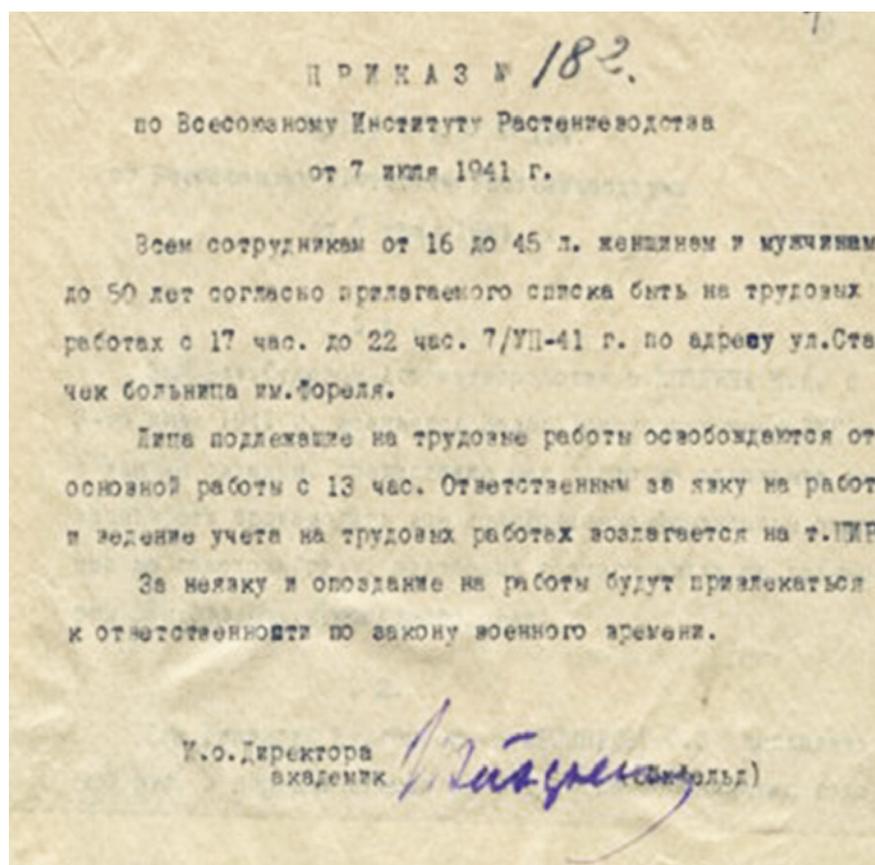


Fig. 1. Order No. 182 for the All-Russian Institute of Plant Industry, dated July 7, 1941 (VIR Archives)

Рис. 1. Приказ № 182 по Всесоюзному Институту Растениеводства от 7 июля 1941 г. (Архив ВИР)

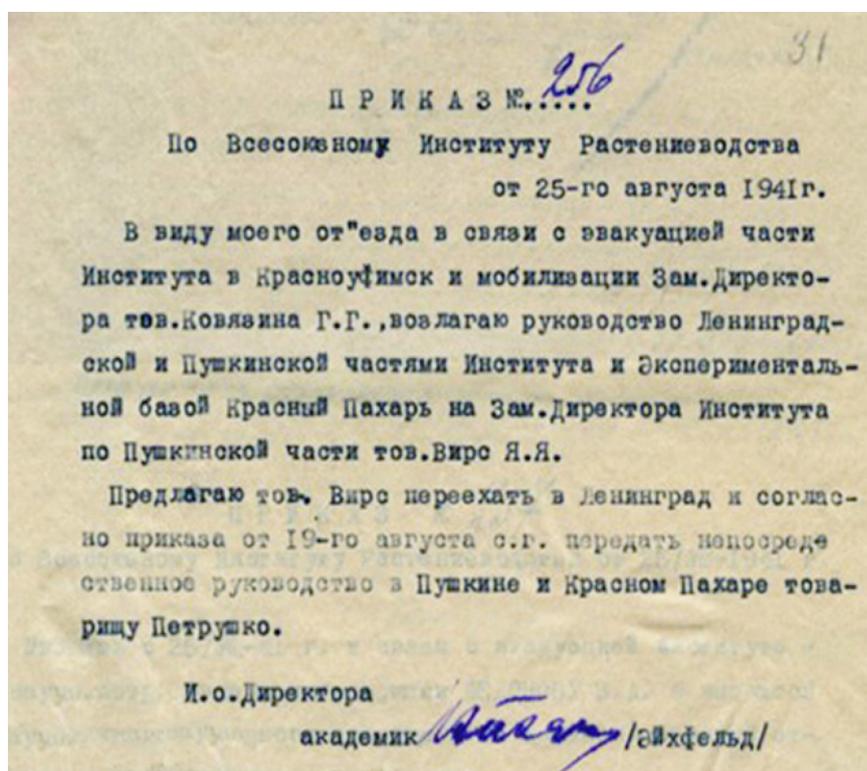


Fig. 2. Order No. 256 for the All-Russian Institute of Plant Industry, dated August 25, 1941 (VIR Archives)

Рис. 2. Приказ № 256 по Всесоюзному Институту Растениеводства от 25 августа 1941 г. (Архив ВИР)

merous bombings by the Nazi aircraft, and the potato fields were constantly under fire from the enemy's artillery. It was clear that under such conditions the potatoes would have to be harvested unripe. The Institute's researchers A. Ya. Kameraz and O. A. Voskresenskaya organized potato harvesting in as short time as possible, so that each accession was harvested separately. They managed to collect 1–2 bushes of each accession out of 6,000 planted ones; in addition, one bush per each of 500 promising hybrids was dug out, along with nearly a hundred accessions from the unique South American collection gathered in the pre-war period – those that yielded tubers (N.R. Ivanov's documents, 1945).

To transfer the boxes with harvested potatoes from the field to the Institute, A. Ya. Kameraz resorted to the support of the military. Under such difficult circumstances, the Red Army men, realizing the importance of the Institute's mission, allocated transport to send the potato collection to the Institute's headquarters on St. Isaac's Square. This work was completed a few days before the complete occupation of Pavlovsk (Alexanyan, Krivchenko, 1991; Loskutov, 1999).

The first massive air raid on Leningrad befell on September 8, 1941. Over 6,000 incendiary bombs were dropped on the city, and fires started. During the first months of the war, several dozens of firebombs were thrown down from the Institute's roof; all of them were rendered harmless in the courtyard. A number of new orders were issued. Order No. 283 regulated the process of putting and keeping the Institute's buildings, laboratories, storage rooms and bomb shelters in order. By Order No. 287, D. S. Ivanov was appointed chief of staff, N. N. Likhvonen was put at the head of the self-defense group, and Ya. Ya. Virs became the chief officer of the facility. Order No. 289 established the following units within the self-defense group: the observation and communication unit, medical and sanitary unit, firefighting unit, degassing unit, revolutionary order maintenance unit, bomb shelter unit, and repair and reconstruction team (Orders and directives..., 1945).

A special room was arranged for the Institute's on-duty overseer; it was on the second floor of 44 Herzen Street (at present, it is part of the Department of Oat, Rye and Barley Genetic Resources, room No. 12). In the duty room there was a cast-iron stove, a table, a loudspeaker, and a city telephone (in the post-war period it was turned into the Institute's switchboard). Behind a screen there were two folding beds, a sofa, and ten chairs. The person on duty kept a record on the state of 16 rooms where the collection was locked under a wax seal. The log contained records of the time of alarm and all-clear signals, close hits of high-explosive bombs, and bursts of shells. The on-duty overseer deployed 5–8 employees and workers to the places of operational work and regulated the rather complicated life of the collection curators (N. R. Ivanov's documents, 1945; Orders and directives..., 1945).

A separate order regulated the access to the collections. The rooms where the accessions were stored were sealed. Groups of 3–4 people were allowed to enter and work there. The keys were kept in a safe by the superintendent K. A. Panteleyeva. A 24-hour watch was established, and an additional post was organized in the basement, near the potato storage vault. Once a week, on-duty overseers, in the presence of the chief keeper R. Ya. Kordon, opened the doors of the rooms and the basement and checked the condition of the boxes.

The leaders appointed for the Leningrad group of the Institute's employees, who were responsible for preserving the collection of VIR and its property, were R. Ya. Kordon, K. A. Panteleyeva and G. N. Reiter.

Rudolf Yanovich Kordon graduated in 1926 from Leningrad State University, where he had been majoring in botany, and from September 1926 worked at the Institute. During the siege, he was deputy head of the Leningrad group, senior curator of the seed collections of all crops. He was the author of the apple cultivar 'Kordonovka' and a number of publications. In the post-war years, he was one of the active participants in the project aimed at creating a ring of fruit and berry plantations around Leningrad on the Pulkovo–Gatchina highway (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Klavdiya Afanasyevna Panteleyeva graduated from Leningrad Agricultural Institute in 1925 with a degree in agronomy and plant breeding. She worked at VIR as the head of special themes from October 1940 to February 1942, then as the head of the Leningrad part of the Institute until May 1945. During all 900 days of the siege, under the pressure of terrible circumstances, she organized preservation of the global crop seed collections, scientific materials, and equipment (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Georgy Nikolaevich Reiter from 1919 to 1939 served in the border troops of the State Political Directorate (OGPU) under the People's Commissariat for Internal Affairs (NKVD). Beginning from July 1939, he worked at the Institute as the head of the Human Resources Department and Special Unit. In the harsh years of the 900-day siege, he was the secretary of the Communist Party organization in the Institute's Leningrad group and, as such, was responsible for the safety of the seed collections, equipment and property of the Institute (Fig. 3). He was directly involved in the implementation of urgent measures in Oktyabrsky District of Leningrad, supervised the evacuation of people from Leningrad, and was in charge of the organization of subsidiary farms in the difficult years of the siege (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

In October 1941, two more orders were adopted: No. 327 on inventorying the assets in Pushkin and the Krasny Pakhar facilities (Fig. 4), and No. 334 on inventorying the property and real assets of the Institute as of November 1, 1941 (Fig. 5) (Orders and directives..., 1945).

Despite the difficulties, scientific activities at the Institute did not stop. In the fall of 1941, the employees worked out a thematic plan of scientific research for 1942. It included, in addition to the theoretical trends of studying the accessions, purely practical developments. The Institute's staff developed measures to move the production of staple crops to the Urals and Siberia. Seven memoranda were drawn up on that topic for various groups of crops, and all documents were submitted to the Government of the USSR. The Institute regularly held meetings of VIR's Scientific Council, but most often, due to shelling, they took place in the basement (bomb shelter). Some of the departments and laboratories of VIR were involved in research work of direct defense significance (Loskutov, 2020; Scientific report..., 1945).

The chemical laboratory of the Institute developed methods for obtaining pharmaceutical tannin from extracts and leaves of smoke tree, which found wide application in the treatment of wounds in military hospitals. At one of the factories in Leningrad, where five employees of the Institute were constantly working, the production of medical tannin was organized for the first time in the USSR, and its production was brought to a scale that fully met the needs of the Leningrad Front. Following a special assignment from the military department, the laboratory developed methods for dyeing fabrics in the khaki color with local plant dyes, which were introduced into industrial production and found widespread use already in 1941. Since the besieged city was facing difficulties

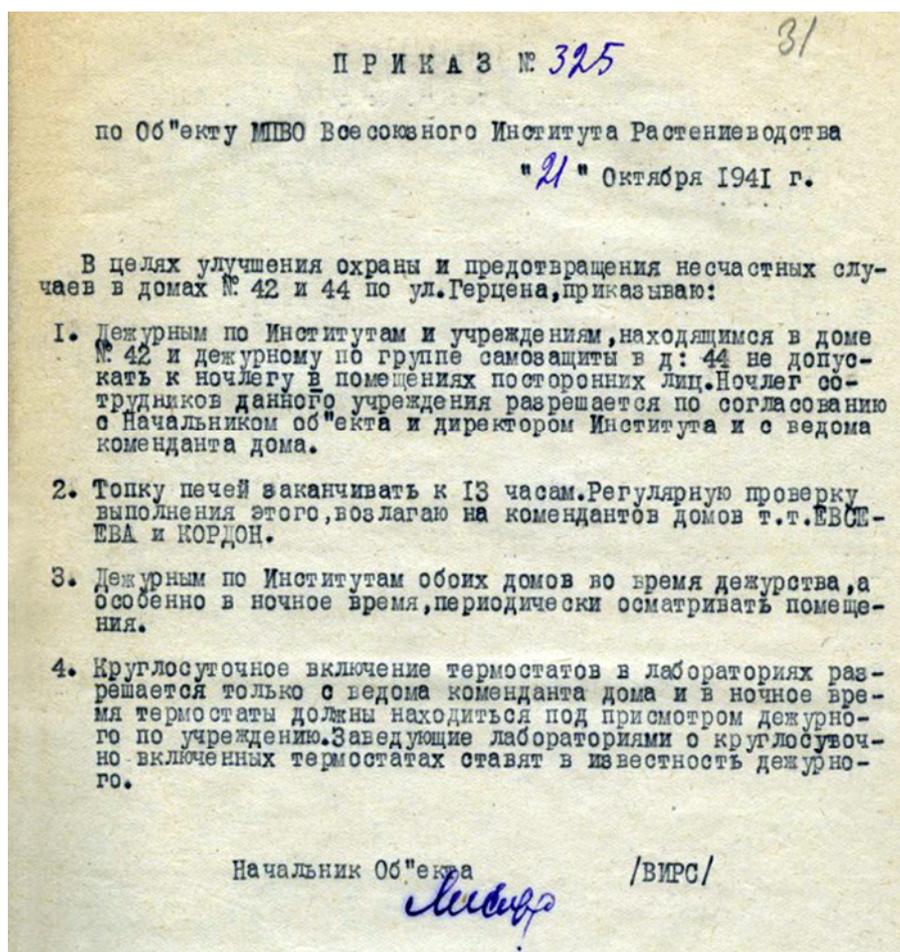


Fig. 3. Order No. 325 for the Local Air Defense Force Object the All-Russian Institute of Plant Industry, dated October 21, 1941 (VIR Archives)

Рис. 3. Приказ № 325 по Объекту МПВО Всесоюзного Института Растениеводства от 21 октября 1941 г. (Архив ВИР)

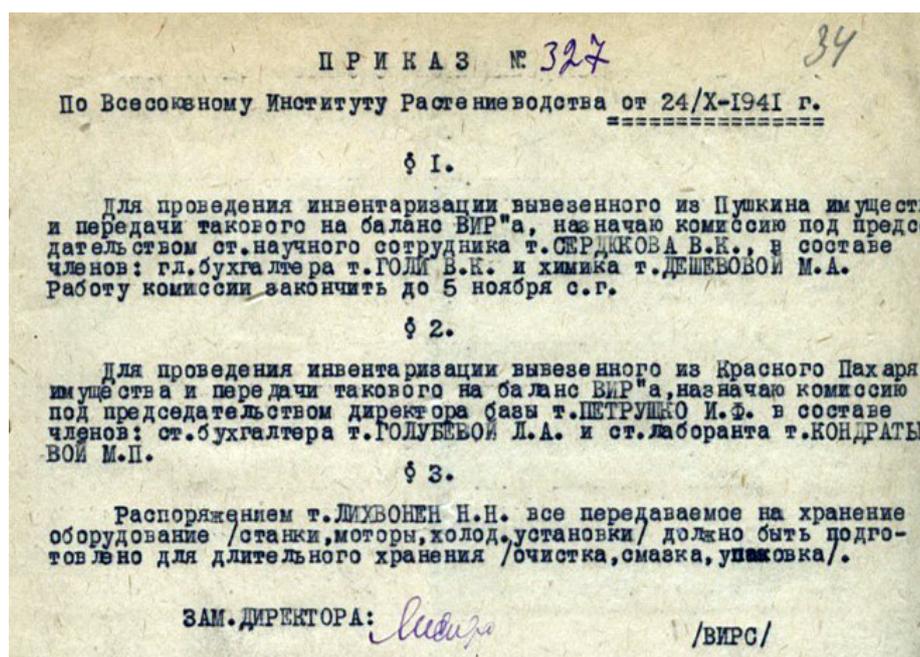
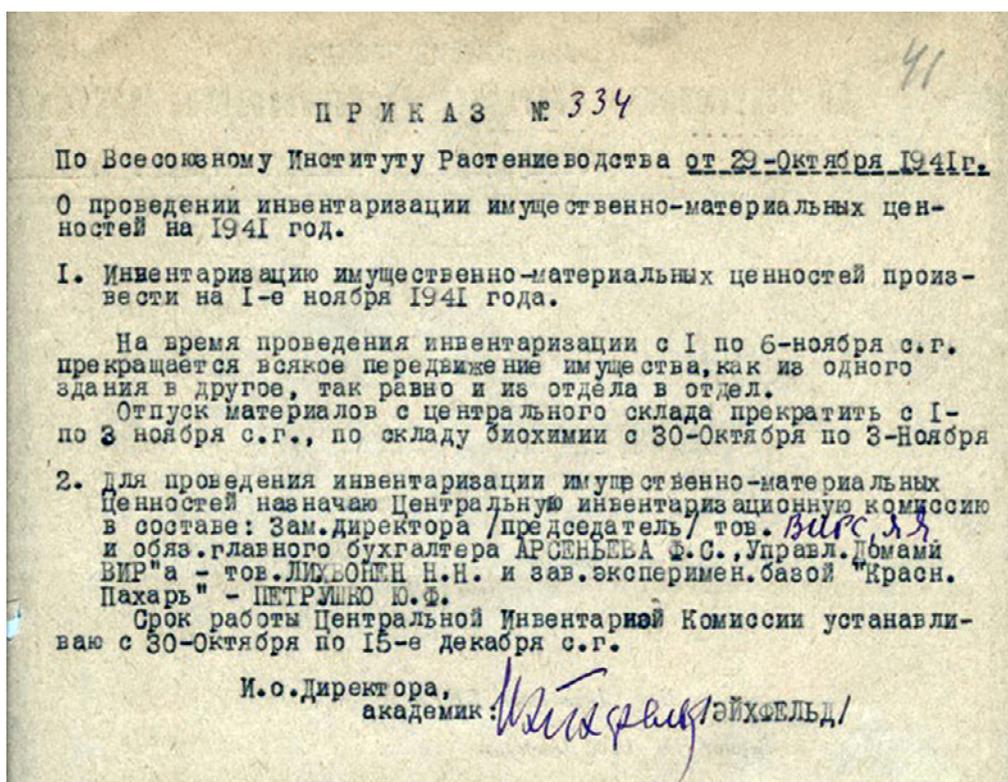


Fig. 4. Order No. 327 for the All-Russian Institute of Plant Industry, dated October 24, 1941 (VIR Archives)

Рис. 4. Приказ № 327 по Всесоюзному Институту Растениеводства от 24 октября 1941 г. (Архив ВИР)



**Fig. 5.** Order No. 334 for the All-Russian Institute of Plant Industry, dated October 29, 1941 (VIR Archives)

**Рис. 5.** Приказ № 334 по Всесоюзному Институту Растениеводства от 29 октября 1941 г. (Архив ВИР)

with food supplies, M. I. Knyaginichev with the staff of the technological assessment laboratory carried out research on the content of nutrients valuable for the human organism in some food and industry waste products and developed methods for their extraction. Following the instructions of military organizations, the employees of the Agrometeorology Department of VIR made a number of proposals directly related to the conduct of hostilities and the operation of transport under various weather and soil conditions. G. T. Selyaninov contributed to the clarification of agroclimatic possibilities for expanding the areas under main industrial and food plants in the Asian part of the USSR and participated in the development of other materials (Scientific report..., 1945).

In November 1941, Grigory Ilyich Golenishchev, the Institute's janitor, became the first victim of the unceasing shelling of the city. He was one of the active fighters of the self-defense group; at one time he was the chief of the so-called revolutionary order guards and took part in the elimination of hot spots that arose from thermite bombs on the Institute's buildings. In November, the famine started in the city, and its first victims were VIR's employees. On November 11, 1941, Pavel Pavlovich Gusev, an adviser at VIR and former personal secretary of N. I. Vavilov, died of exhaustion. He had been a good editor and an irreplaceable assistant to Vavilov. Everyone who had met him at work remembered him with a kind word. The Institute's scientific library was not spared either. Maria Parfinievna Dmitricheva, a bibliographer and a qualified librarian, who had been deputy superintendent of the gas shelter in the self-defense group within the Local Air Defense Force (LADF), died of emaciation on November 11, 1941. Later, on November 23, the same cause took the life of Elizaveta Nikolaevna Voyko, deputy head of the VIR Library, who had been responsible for the storage of book funds and participated in the firefighting unit (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

In November, S. M. Bukasov, Doctor of Agricultural and Biological Sciences, was sent to Sverdlovsk and Krasnoufimsk to prepare the deployment of the Institute and organize research work of VIR during its evacuation. On November 5, 1941, he was evacuated by plane with a part of the potato collection to Krasnoufimsk. Besides, V. A. Koroleva-Pavlova was able to relocate with a load of *Taraxacum kok-saghyz* seeds in the same direction (Orders and directives..., 1945).

In the very first fall of the siege, the Institute lost more than 30 researchers: some died from bombing, some from dystrophy, or perished at the front. Throughout the autumn and until deep winter, VIR's employees, mostly women, prepared the collection for evacuation. Only at the onset of the winter did the Institute begin a partial evacuation, although preparations for it had been going on for a long time. The Institute continued its work, despite the harsh conditions of the early severe winter of 1941/42. January and February were the most difficult months of the winter under the siege, when temperatures dropped to record levels – 36–40°C (In the besieged Leningrad..., 1969).

In the hardest winter of 1941/42, the daily ration (for dependents and employees) per card reached only 125 g of bread mixed in half with bran. In the dark, in the frozen building of the Institute, the remaining employees were strenuously preparing the collection for preservation under the siege. While they were dividing the collection into separate batches to preserve it in different parts of the Institute, bombs and shells fell around, damaging the nearby St. Isaac's Cathedral. Fortunately, the main building of VIR was not damaged by the bombing, since it was located opposite the building of the German Embassy (41 Herzen Street) and across the square from the Astoria Hotel (39 Herzen Street), where Hitler, according to unconfirmed reports, planned to celebrate the occupation of Leningrad, therefore these two buildings were not bombed.

On December 21, 1941, during an artillery bombardment of the city, Professor Evgenii Vladimirovich Wulff, head of the Herbarium Department, a prominent botanist and expert in essential oil crops, died from a shell fragment in full bloom of his creative energy (Nikolai Ivanovich..., 2017).

In the winter of 1942, hordes of mice and rats gathered in the Institute's building at 44 Herzen Street. All protective measures against rodents did not save the day. Rats began to enter the premises, throw off the metal boxes with seed accessions from the shelves, and eat the grain and seeds. In this grave situation, the weakened employees decided to remove the remaining boxes from the shelves, tie them into bundles and install the bundles between the shelves. The work on tying the boxes and stacking the packs proceeded in the frozen rooms of the Institute under the scanty light of kerosene lamps, since the windows were boarded up with plywood instead of glass broken by shelling, which additionally served for greater safety of the collection. All rooms were sealed, and the staff checked the seals daily, opened each room every month and examined its internal state. Three to five employees were on duty 24 hours every day. In the spring of 1942, there were several thefts of seeds. Thieves broke into the rooms through the boarded windows, but the losses were insignificant. The windows were immediately sealed, and the seed material moved to a more secure location (In the besieged Leningrad..., 1969).

"The daily passage of the commission registered the integrity of the seals and the locked entrance doors. On damp frosty days, the columns of St. Isaac's Cathedral gleamed beautifully from hoarfrost; on those days the metal boxes were covered with frost, giving light to the rooms in which the collection was kept. Such a picture could be observed on cold and humid days during the three winters of the siege of Leningrad. The germination of seeds in the collection reduced from dampness...

The Institute's headquarters faced a strategic route with one side of its façade (44 Herzen Street). It meant the liability to carry out a very thorough cleaning of this street and part of St. Isaac's Square. Snow or any other garbage could not be left here for long, meltwater had to be absorbed by wells, which required daily cleaning, and it was necessary to throw off the snow from the roof of the building weekly, so that it could not fall in the icy form on the traffic area and pedestrian part of the street. Piles of snow had to be transported by hand sledges or carts to the Moika River. It was a very difficult task for dystrophic people, especially chopping ice in the street and the square and throwing snow from the roof." (N. R. Ivanov's documents, 1945, unpagged)

Hunger raged in the besieged city, killing tens of thousands of residents, and among them the Institute's employees.

On December 27, 1941, Aleksandr Gavrilovich Shchukin, an associate researcher of the collection of industrial and forage crops, a peanut expert, died of emaciation at his writing desk. Until 1938, he had worked in the State Variety Trials, and he was the author of several publications. He was a personification of the wonderful concept of a hard worker. He is remembered as an efficient, honest, polite man, demanding of himself and others. During the siege, he took part in the work of the LADF (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

In the winter of 1942, starvation and cold did not spare the staff of the Institute. On January 5, Nikolai Petrovich Leontievsky, PhD (Agric. Sci.), a senior researcher at the Agrometeorology Department, died of emaciation. His work had been connected with defense issues. He was a fighter of the LADF firefighting group at 42 Herzen Street and was responsible for

storing materials of the Agrometeorology Department (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

On January 9, 1942, Dmitry Sergeevich Ivanov, a senior researcher and the head of the rice section, died of exhaustion in his office. He had worked at VIR since 1938. He proved himself to be a conscientious worker who knew his job well, and a capable organizer of scientific research. In the past, he had been a warrant officer in the engineering troops of the Russian Army. During the Civil War, he served in the Red Army as a divisional engineer. For his engineering qualifications, forcing the Berezina River in July 1919 and assistance in the development of the offensive, D. S. Ivanov was awarded the Order of the Red Banner by the Revolutionary Military Council of the Republic. In 1941, in the first months of the war, he was one of the leading on-duty overseers at the Institute, chief of staff in the LADF for 44 Herzen Street. Under his leadership, fires in the attics caused by thermite bombs were eliminated. He was also a military instructor for the LADF units. After his death, an inventory was made in his office, and several thousand packages with rice seeds were found – dying from starvation, he had saved them at the cost of his own life (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

On January 12, 1942, Georgy Karlovich Kreyer, PhD (Agric. Sci.), died from hunger in his office. The head of the section of medicinal plants, he had been a famous botanist, had published more than 48 publications on medicinal plants, and had been a fighter of the firefighting team (Personal files..., 1942; Nikolai Ivanovich..., 2017).

On the same day, Aleksandr Yakovlevich Moliboga, a biologist and agronomist, senior researcher at the Agrometeorology Department, died of exhaustion. In the 1930s, he had become a victim of repressions, but after rehabilitation he had retained his usual optimism and great working capacity. He was the author of more than 30 publications, and a member of the firefighting team (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

On January 16, 1942, Georgy Viktorovich Heintz, head of the VIR Library, died of hunger. He was one of the founders and originators of the library. He had developed and introduced into practice a subject catalogue at the Institute, which later began to be used in other libraries of the country. In the self-defense group of the LADF he was the permanent superintendent of the bomb shelter (Personal files..., 1942; Nikolai Ivanovich..., 2017).

In January, Lydia Mikhailovna Rodina, an associate researcher and keeper of the oat collection, died of hunger in the room where the oat collection was stored (In the besieged Leningrad..., 1969).

At the beginning of 1942, Georgy Vladimirovich Kovalovsky, PhD (Agric. Sci.), the Institute's oldest expert, who worked on the agricultural development of highlands, died of exhaustion. A talented researcher, he studied the history and geography of cultivated plants, and was the author of over 50 publications. In the first months of the war, he had been transferred to the Agrometeorology Department to work on special topics (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Around the same time, Nikolai Nikolaevich Likhvonen, a member of the Communist Party since 1928, died of hunger. He had participated in the civil war in Ukraine. At the Institute he worked as a procurement agent. During the siege, he acted as the head of the supply division and took an active part in the work of the LADF self-defense groups at 44 Herzen Street (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

At the beginning of 1942, Anisiya Ivanovna Malgina, a member of the Communist Party since 1927, died of exhaustion. She had been the head of the Institute's archives. A par-

ticipant of the Civil War, she had worked in evacuation and field hospitals. During her work at the Institute, she had repeatedly won awards “for good performance in production work”. In the first months of the war, she had been responsible for preserving the archives of the Institute and had been a fighter in the LADF firefighting team (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Around the same time, Prof. Samuil Abramovich Egiz, Doctor of Biological Sciences, head of the tobacco and tea group, author of more than 50 publications on genetics and tobacco breeding, died of hunger (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Exhaustion was the cause of the death of Andrey Ivanovich Baikov, the Institute’s driver and mechanic. He had been a constant companion to N. I. Vavilov in his expeditions to Transcaucasia and other republics of the USSR in 1935, 1936, and 1937. In the besieged Leningrad, he had been a fighter in the repair and reconstruction unit of the LADF at 44 Herzen Street (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942).

Many other employees (M. Shcheglov, A. Korzun and others) also starved to death at their workplaces. They were slowly dying of starvation, but did not use the grain and seeds of rice, pea, maize and wheat accessions to mitigate their hunger. They chose torment and death, aspiring to preserve Vavilov’s invaluable collection for the wellbeing of people (Alexanyan, Krivchenko, 1991; Loskutov, 1999).

The evacuation of the Institute’s staff and collections was scheduled for February 17, 1942. Nadya Katkova, a laboratory assistant at the Department of Cereals, visited all the Institute’s employees and announced the departure. In total, 300 people were evacuated from the institutes of the VASKhNIL system, including the employees of VIR. The evacuees traveled for three days by railway in frozen carriages to Lake Ladoga, getting to Borisova Griva Railway Station, walked 7 km to Osinovets, and then moved by trucks along the Road of Life to Kabona and to Voybokalo Railway Station, where their long and difficult journey to Krasnoufimsk began in heated goods vans, called *tjeplushki*. The rescued people were very weak, and three VIR’s employees died on the way, having in their meager luggage packages with seeds from the invaluable collection, which they had taken out to the “mainland”. Vavilov’s associate, wheat expert M. M. Yakubtsiner, was removed from the train for a suspected lethal condition, but he recovered and continued on his way to the east with a small bag of unique wheat accessions from the VIR collection saved on his chest (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

During the evacuation, on April 14, 1942, Grigory Aleksandrovich Rubtsov, senior researcher of the Department of Fruit Crops, died of hunger and exhaustion on his way to the “mainland”. On his chest a small bag was found: it contained seeds carefully carried through the hungry and cold days of the siege period. Rubtsov had graduated from two universities. An erudite botanist and agronomist, a tireless traveler, he described several new species of fruit plants in Central Asia. He was a prominent expert in the genus *Pyrus* L. (pear). From the beginning of the war until February 1942, he was a firefighter (VIR Archives..., 1962; Personal files..., 1942; Nikolai Ivanovich..., 2017).

For more than six months the open freight car loaded with the Institute’s collection was driven from place to place along the railway sidings due to the intensified bombing of the tracks. After that, when sending the car from the besieged city had become a completely hopeless venture, the management of the Oktyabrskaya Railway demanded that the Institute take 300 containers back. By that time, the Institute had already been evacuated. The employees and workers who remained

to protect the collection and property were not able to transport 5 tons of cargo to the Institute on their own, so a military unit helped them in this. The containers were delivered to VIR’s building at 44 Herzen Street. People were unable to lift such a load above the first floor, and for four years it was left in the entrance hall of the Institute (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

But the hardest part was preserving the collection of potatoes. V. S. Lekhnovich, curator of the potato collection under the siege, in the book *In the Besieged Leningrad* (In the besieged Leningrad..., 1969) recalled: “The task turned out to be very difficult. We had to protect the tubers from rats, frosts, and starving people. For greater safety, I began to seal the basement and close it with three different locks. I bound the door with iron. However, petty thefts could not be avoided... Twice a day, despite severe exhaustion, I made my way from my home on Nekrasova Street, where I lived, to St. Isaac’s Square, where the collection was kept, and each one-way trip took about an hour and a half..

The winter of 1941/42 was distinguished for its exceptional severity. Frost penetrated from everywhere to the basement with the potato collection. We had to heat the stove every day. I got firewood wherever I could. Once a week, the superintendent of VIR, M. S. Belyaeva, supplied me with a bundle of firewood. Sometimes the hospital soldiers who warmed themselves in the courtyard by the fire gave me a drawer from some table or sideboard. In any case, the temperature in the premises never dropped below zero.” (In the besieged Leningrad..., 1969, p. 133-134)

In spring, the time came to plant potatoes. The preserved potato collection was planted in the fields of a suburban state farm; throughout the summer and autumn, it was protected from robbers. This was repeated in each of the three years of the siege. Thus, the collection was saved and partially reproduced. Resowing and reproduction of cereal crops began in the still besieged city in 1942. N. R. Ivanov recalls it: “The work was carried out at the Predportovoy State Farm, under the gunfire of the Germans. About 200 varieties were sown on the area of 250 m<sup>2</sup>.” (In the besieged Leningrad..., 1969, p. 132)

Under the hardest conditions of the siege, VIR’s employees preserved the unique collection of 6,000 potato accessions, which weighed about 2 metric tons. Only one cultivar, “Tesma”, was lost. Storing the collection in two places within the same basement gave good results, although not without losses. Some accessions from subtropical countries and highland areas lost their germination, but generally the collection remained viable. Several immature Chilean varieties with late tuberization were lost, along with several accessions of wild potato species, which were later revived in the Urals upon requesting them from other stations of the Institute and by sowing seeds from the fully preserved seed repository of VIR (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

In 1942, a lot of work was done to preserve the Institute’s library: the books were dried and placed in separate cabinets with appropriate labels. Fire prevention and rat extermination measures were taken in the library.

In March 1942, one more attempt was made to evacuate the collection by plane. With extreme urgency, about 40,000 seed packages, weighing half a ton, and a full duplicate set of potato accessions were selected. This valuable cargo was taken to Krasnoufimsk by Yan Yanovich Virs, who departed from Leningrad a few weeks after the evacuation of scientific researchers. Preparation of the shipment went on ceaselessly, almost on a 24-hour schedule, under the feeble light of cold-blast kerosene lanterns. Around two dozens of them

were in the storehouse, with about 300 liters of kerosene kept in a special depot (N. R. Ivanov's documents, 1945).

J. G. Eichfeld, director of VIR, wrote in a telegram sent from Krasnoufimsk to K. A. Panteleyeva and G. N. Reiter: "Spare nothing to support people." (N. R. Ivanov's documents..., 1945)

After the departure of the main personnel, the Institute turned into a "minor" institution. Its local labor union committee was elected in March. For about 1000 days N. R. Ivanov served as its chairman, and O. A. Voskresenskaya was his assistant. In addition to other responsibilities, the chairman of the committee was charged with the duty to monitor the health of the employees and the task of death prevention. Any death was regarded as an emergency event.

The life of the employees who remained in the besieged city was difficult. In order not to get sick with scurvy, every day the researchers and workers received "vitamin-containing" pea sprouts. For that purpose, about 40 kg of seeds was set aside from the reproductions of several pea varieties. Pea seeds were germinated on metal trays taken from the seed control laboratory in calcined sand, and on the 5th–8th day the seedlings were ready for consumption. The only warm area was room No. 12 of the on-duty overseer, located on the second floor of the Institute's building at 44 Herzen Street. A "potbelly" stove, fed with random wood, was smoking there for 24 hours, and the only working telephone switch was available in the room. The temperature there was from +10 to +16°C, which proved quite enough for pea germination. The daily consumption was 30 sprouted peas per person (N. R. Ivanov's documents, 1945).

Nevertheless, hunger did not release the emaciated employees from its grip. On March 15, 1942, the Institute's accountant E. I. Dmitrieva died; on March 22, the researcher M. N. Lavrova; on April 14, the associate researcher Serafima Arsenyevna Shchavinskaya (N. R. Ivanov's documents, 1945).

In the spring of 1942, the researchers and other staff were divided into three groups. The most difficult job was to replant potato accessions. Potato tubers required annual reproductions, so two sites were chosen to ensure safety duplication of the reproduction procedure: Lesnoye State Farm, where all the work was carried out by V. S. Lekhnovich, and the state farm of the Greenery Trust on the Vyborg Side, where O. A. Voskresenskaya was responsible for the work, with organizational support from the agronomist K. Lavua. Potato accessions were planted on those sites for three seasons (N. R. Ivanov's documents, 1945).

The small second group, headed by K. A. Panteleyeva and the researcher R. Ya. Kordon, remained in Leningrad. The task of this group was to protect the part of the collection that remained in the Institute's headquarters from looting. Great help in this matter was provided by the superintendent of the building, M. S. Belyaeva, who for many days in a row was on duty at night under the gates in the unheated entrance.

The third group, led by Vasily Vasilyevich Ivanov and Nikolai Rodionovich Ivanov, was sent to Peri Railway Station to assist the subsidiary farms of Oktyabrsky District and individual household plots of Leningraders with advice and practical aid (N. R. Ivanov's documents, 1945).

The director of the Lesnoye State Farm, A. T. Vorobyev, made arrangements for VIR's employees to eat in the farm's canteen. Here, without any cards, they received linseed cake porridge and stewed saltbush. The chief agronomist V. M. Kalinin earmarked cabbage seedlings and turnip seeds, the harvest of which was used to enhance the nutrition of the Institute's staff. The farm helped to transport the planting material to the field. Together with V. S. Lekhnovich, the potato collec-

tion was planted in the field of the Lesnoye State Farm by K. T. Chernyanskaya, G. A. Lebedeva, and the worker A. I. Ivanov. The State Farm's blacksmith built a marker for planting potato accessions. The plot was plowed for a whole week. The entire collection, except for A. Ya. Kameraz's hybrids, was planted in two parallel series. The planting of potatoes was finished only on June 22, but the tubers sprouted well. Saltbush sprouted concurrently with the tubers. The employees let it grow a little, harvested, and handed over to the state suppliers, thus earning 800 rubles. In the fall, the issue of protecting the field arose. In September and October, V. S. Lekhnovich was on duty at the site for 38 nights. Fortunately, everything turned out well. The collected harvest was transported to the State Farm's cellars (N. R. Ivanov's documents, 1945).

Andrey Fedorovich Nikitin, director of Vyborgsky Flower Enterprise, could not believe for a long time that potatoes had been stored in the besieged Leningrad all winter: "And you didn't touch it, didn't eat it, did you?" He allocated the best field for the collection. Olga Aleksandrovna Voskresenskaya, Praskovya Nikolaevna Petrova, the janitor Anna Pavlovna Andreyeva, and Nikolai Rodionovich Ivanov worked there. That area was better fertilized, so the harvest was more generous. A. F. Nikitin set aside a small greenhouse for the most valuable South American varieties. But in August, a German shell broke the glass roof, so not all the plants managed to produce tubers (N. R. Ivanov's documents, 1945).

In addition to rescuing the collection, the Institute's staff worked according to the thematic research plan adopted in the fall of 1941. Johan Karlovich Murri, Senior Researcher, PhD (Chem. Sci.), carried out the work on the biochemical characterization of crop species and varietal diversity, mainly in the context of vitamin content, and on studying the effect of growing, storage and processing patterns on vitamin accumulation and preservation in plant raw materials. He developed a technique to produce highly active anticorbent vitamin concentrates from fruit and berry juices for the vitamin industry as well as a fluorometric method for determining vitamin B and a rapid and simple method for colorimetric determination of provitamin A for the food industry (Scientific report..., 1945).

At the same time, the Institute's team developed materials and plans for moving eastwards and expanding the crops of *Taraxacum kok-saghyz*, fiber flax, potato, medicinal plants, vegetables for canning, cucurbits and grain legumes, whose main areas of cultivation were in the lands by that time captured by the enemy. The materials on the movement of food and industrial crops to the east were submitted for further use to the Central Committee of the Communist Party, the State Planning Committee, and the People's Commissariat for Agriculture as early as in December 1941. The work on the implementation of the proposals was carried out in summer in Sverdlovsk Province and at the Central Asian Experiment Station. The hostilities in the extreme northwest of the USSR, the movement of industry to the east, and the congestion of transport arteries with military traffic were the factors that prioritized the issues of developing own food and feed production bases in the Far North and in the arid and desert regions of Kazakhstan and Turkmenistan. The personnel of the Polar, Maikop, Kuban, Aral and Turkmen Experiment Stations, and Derbent Substation worked to resolve all those issues (Scientific report..., 1945).

Since the spring of 1942, VIR's employees evacuated from Leningrad had been working in the Urals at Krasnoufimsk Experiment Station, Sverdlovsk Province. During the war, following the recommendations of the Institute's staff, the areas

under many crops were significantly expanded in the Urals, because since the beginning of the war the population and the need for agricultural products in the region had increased sharply as a result of the enhancement of local industry and the transfer of a large number of factories to the Urals from other regions. In view of this, the basic work of the Ural group from VIR under wartime conditions included scientific development of measures for rapid expansion of crop areas and raising the yield of potatoes and vegetables in the Urals; development of vegetable seed production and increasing the yield of red clover seeds and hay; and studying the conditions for the development of fruit and berry farming in Sverdlovsk Province. This work was carried out by the staff of the Institute in cooperation with the Commission of the USSR Academy of Sciences for mobilizing the resources of the Urals for defense needs, and with local experimental institutions (Loskutov, 2020; Scientific report..., 1945).

The Institute's agricultural meteorologists, led by Prof. G. T. Selyaninov, worked on extensive materials to make a description of the climate resources in the Urals and built an agroclimatic map of the region. Surveying by expeditions helped to find solutions to such problems as the development of heat-loving vegetable cultivation in the Middle Urals in the context of microclimate features in individual areas, and the supply of vegetable crops with moisture. The Institute's plant scientists studied in detail the conditions for the cultivation of vegetables and potatoes in the southwestern areas of the Cis-Urals, verifying the recommended basic techniques and measures to increase yields in collective farms. Research itineraries covered the central mining areas. At the end of 1942, a memorandum was drawn up on the main measures for the development of crop areas and an increase in the yield of vegetables and potatoes in the mining zone of the Middle Urals in wartime. In 1942, in order to facilitate rapid restoration of vegetable seed production disturbed by the war in Leningrad Province, adjacent regions and republics, VIR's staff started multiplying vegetable crop cultivars bred at VIR and Leningrad Zonal Vegetable Experiment Station; the work was done in Krasnoufimsk District, Sverdlovsk Province. In the fall, the Institute deposited for storage 61,750 seeds of cabbage, rutabaga, carrot, beet and other crops (Scientific report..., 1945).

Materials were prepared for the development of horticulture in Sverdlovsk Province; they were used by regional agencies in special decrees that envisaged planning and scientific guidance for setting up a ring of berry plantations around Sverdlovsk. Scientists of the Ural group developed measures for preservation and accelerated reproduction of canker-resistant potato cultivars, reproduction of *T. kok-saghyz* cultivars developed at VIR, and a search for new sources of tannin in plant raw materials. Materials were submitted to the USSR People's Commissariat for Agriculture, proposing measures for preservation and multiplication of canker-resistant potato cultivars needed for restoring the barrier along the western border of the USSR. A search was made for the presence of canker-resistant potato varieties in the regions and republics of the USSR, and measures were developed for their accelerated reproduction (Dr. S. M. Bukasov). VIR's employees performed forced multiplication of a set of the most valuable cultivars at the Polar Experiment Station, in Sverdlovsk Province, and in the suburban state farms of Leningrad (Scientific report..., 1945).

The Institute's biochemistry laboratory developed methods for simultaneous quantitative and qualitative assessment of rubber in the roots of *T. kok-saghyz* and for ex-

tracting rubber from their roots. Studies of wild vegetation in the Urals were carried out to identify new sources of tannins. VIR's scientists identified a whole set of plants that contained significant tannin amounts. Of greatest practical interest were the rhizomes of knotweed, from the Polygonaceae family. Methods were developed for upgrading knotweed rhizomes, conditions were calculated for preparing tan liquors from them, and half-way trials were started to verify the use of tanning extracts in the tannery industry (Scientific report..., 1945).

The Institute's employees rendered agronomic services to five districts of Sverdlovsk Province, mainly in the cultivation of vegetable crops and potatoes and in the organization of seed production. Besides, training courses and workshops for agronomists, foremen and workteam leaders were organized in Sverdlovsk Province to improve the qualifications of agronomic personnel and collective farm workers. In addition, the Institute's staff took part in briefings held by regional and district agencies. They prepared for publication a number of guidelines on seed production, agricultural practices, and plant protection against pests (Scientific report..., 1945).

The hardest periods in the siege of Leningrad were the winters of 1941/42 and 1942/43. When the last one was over, with the onset of warmth in the spring of 1943, the Institute's staff lived with a sole concern – the sowing campaign. The storage life of the seeds of many vegetables, cereals, legumes and other crops expired, since the aging process of seeds that had endured cold and especially high humidity went on quicker. It was necessary to update the reproductions of the collection. For the regeneration of cereal, vegetable and other crop accessions, an area of about 3.5 hectares was allotted in Pargolovo District, 3 km from Peri Railway Station, and a plot of 250 m<sup>2</sup> in the Predportovy State Farm. Field operations started on May 17. In the absence of draft power, the employees had to cultivate the entire land with shovels. Under gunfire, they started replanting 200 early-ripening varieties of various crops from the collection. The work was supervised by Nikolai Rodionovich Ivanov and the associate researcher P. N. Petrova (N. R. Ivanov's documents, 1945).

The Leningrad group of the Institute's employees carried out a great deal of work to preserve the collections of the world's cultivated plants under the difficult conditions of the frontline city and to provide agronomic services to suburban farms. All the collections of the Institute were in a satisfactory condition, while the potato collection and a set of canker-resistant varieties were planted by VIR's staff on an area of about 2 hectares in two suburban farms of Leningrad and to a large extent reproduced. Following a suggestion of Leningrad agencies, the Institute organized an agricultural plot in the suburban area as a base for rendering agronomic services to the production enterprise where about 400,000 seedlings were grown for subsidiary farms. The Institute's staff arranged courses and workshops for foremen of vegetable-growing teams and classes for directors of subsidiary farms. Certain farms were assigned under the care of VIR's scientists and profited from the Institute's systematic agronomic assistance. For their achievements, Leningrad City Council awarded some of those farms with Certificates of Merit and the Challenge Red Banner (Scientific report..., 1945).

When the siege was broken, before the Institute's staff arrived, R. Ya. Kordon was the first to beat a path in the snow that led to the Krasny Pakhar experimental base, and the work began. Afterwards, he wrote: "All work was car-

ried out under the slogan of preserving the collection. The rest of the issues were considered secondary.” (N. R. Ivanov’s documents..., 1945)

In February 1944, the first group of the Institute’s employees arrived from Krasnoufimsk to Leningrad. They came to the Institute in order to prepare the first batches of seeds for shipment to VIR’s stations for reproduction, because every year the accessions in need of fresh seeds had been increasing in number. And so, little by little, the activities of the Institute began to revive. In 1946, immediately after the war, the Institute’s staff thoroughly checked the state of the collection and made a plan for emergency regeneration for the accessions with critically low viability. All the Institute’s experiment stations and breeding centers of the country were involved in this work. That program of reproduction and preservation of Vavilov’s global collection was implemented to the fullest (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

During the siege of Leningrad (1942–1944), the employees of VIR who worked at Krasnoufimsk Experiment Station exerted themselves in saving the most valuable part of the global crop collection, evacuated from the besieged city in the amount of over 100,000 accessions. Together with the Institute’s director J. G. Eichfeld, this painstaking work was done by S. M. Bukasov, V. A. Koroleva-Pavlova, E. F. Palmova, T. V. Lizgunova, M. A. Shebolina, L. V. Bek, V. T. Krasochkin, T. L. Krasochkina, A. Kustushina, N. L. Boronova, K. M. Mal'tseva, I. A. Babichev, A. M. Sofinsky, J. K. Murri, E. I. Yakusheva, A. V. Koyanovich, V. F. Antropova, A. M. Evert, A. F. Evert, M. Mukhmatullina, M. V. Alpatieva, A. M. Alpatiev, M. P. Shevchikova, N. G. Khoroshailov, and others. All of them left a notable mark on the development of plant breeding and, more widely, agricultural science in the Middle Urals (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

In the tragic times of the Great Patriotic War (1941–1945) of the Soviet Union against the German Nazi invaders, the All-Union Institute of Plant Industry significantly intensified its work aimed at providing practical assistance to the country’s agriculture, and expanded the base of this work by including new regions and setting new tasks (Scientific report..., 1945).

D. V. Pavlov, the authorized commissioner of the State Defense Committee for food supplies to the troops of the Leningrad Front and the population of Leningrad, wrote: “In the whirlpool of unexpected events, when death soared all around, houses collapsed, material values perished, the Institute of Plant Industry (and not only it) was lost in the commotion of the wartime days. At that time, the authorities were not up to it. The employees of the Institute were aware of that, so they could have disposed of the collection at their own discretion, and no one would have make them responsible if the seed accessions had died, since the authorities knew the situation. But the Institute’s staff, although many employees were missing in their ranks, continued to work with due regard to specific circumstances.” (Pavlov, 1967, p. 153)

Summing up the results of wartime losses according to the data of the Extraordinary State Commission, the Institute lost about 40,000 accessions of the collection. The buildings, property, archive, and herbarium of VIR were seriously damaged. The total losses of VIR in Leningrad alone amounted to 14.4 million rubles. The retreating Nazi troops captured the main collections at Detskoye Selo (Pushkin): 10,000 accessions of wheat, barley, oat, vegetable crops, T. kok-saghyz, lupine, etc., as well as scientific equipment, the library, and the priceless collection of 66,000 flower

plants were carried off. In Pavlovsk, the collection of apple trees was half lost, and the collection of creeping southern varieties was lost completely. The pear collection and the valuable collection of original stone-fruit hybrids were also lost. In addition, the losses included half of the worldwide gooseberry collection, the entire collections of strawberries, raspberries, and perennial ornamental plants. There is no information in the archival documents whether those collections were destroyed or taken away by the Nazi, but the total damage was estimated at 4.5 million rubles. (N. R. Ivanov’s documents, 1945).

During the war, some stations of VIR were occupied by the enemy troops and the collections maintained there were requisitioned. Such a situation was faced by Pushkin Laboratories and Pavlovsk Experiment Station of VIR, near Leningrad, and Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory. As evidenced by E. I. Nikolaenko, an employee of Pushkin Laboratories, the collections were moved from Leningrad to the Baltic States (Nikolai Ivanovich..., 2017). Even if other collections had been carried away to Germany, their traces were lost. This is confirmed by numerous investigations carried out by German researchers in Germany itself and also in the USSR. Searches for the material were also undertaken in the late 1940s at the German Genebank in Gatersleben which had been organized by that time. Part of the wartime evidence collected by German researchers was submitted to VIR for studying, but no traces of the VIR collection were found there. Most likely, all the seized seed collections were irrevocably lost, since the plant material (seeds) under improper storage conditions (with changing temperature and humidity patterns) would have quickly lost its viability. On the other hand, collection material without well-documented detailed passport information about its composition would lose its uniqueness and value.

After its re-evacuation from the Urals, the Institute, due to the lack of specialists, stopped working with essential oils, medicinal plants, tobacco, tea, and novel crops. The collections of the above-listed groups of cultivated plants consisted of about 30,000 accessions. Those collections were handed over to other sectoral institutes, but lacking the skills to restore and preserve the collections, they quickly lost the original stock.

Thus, the heroic efforts of the scientific and technical personnel of VIR saved the Institute’s unique collection from destruction and loss of viability. The price of such heroism was the lives of many employees, and the suffering and deprivation of those who survived under those dreadful conditions. Nevertheless, that terrible period in the Institute’s history was overcome.

The staff of VIR, showing incredible perseverance, sometimes at the cost of their own lives and health, preserved the unique global collection of cultivated plants and their wild relatives, collected by N. I. Vavilov and his associates, and continued their work in the postwar period.

---

*The author expresses his sincere gratitude to N. P. Loskutova for making available the materials from the VIR Archives.*

*This publication was prepared within the framework of VIR’s state budget project No. 0662-2019-0006.*

*Автор выражает благодарность за предоставленные материалы из архива ВИР Н. П. Лоскутовой.*

*Статья подготовлена в рамках государственного бюджетного проекта ВИР № 0662-2019-0006.*

---

**References / Литература**

- Alexanyan S.M., Krivchenko V.I. Vavilov Institute scientists heroically preserve world plant genetic resources collections during World War II siege of Leningrad. *Diversity*. 1991;7(4):10-13.
- In the besieged Leningrad (V osazhdennom Leningrade). Leningrad: Lenizdat; 1969. [in Russian] (В осажденном Ленинграде. Ленинград: Лениздат; 1969).
- Loskutov I.G. From the Bureau on applied botany to the Institute for plant genetic resources (commemorating the 125th Anniversary of VIR). *Vavilovia*. 2020;3(1):42-59. [in Russian] (Лоскутов И.Г. От Бюро по прикладной ботанике до института по генетическим ресурсам растений (в ознаменовании 125-летия ВИР). *Vavilovia*. 2020;3(1):42-59). DOI: 10.30901/2658-3860-2020-1-42-59
- Loskutov I.G. The history of the world collection of plant genetic resources in Russia. St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Loskutov I.G. Vavilov and his Institute. A history of the world collection of plant resources in Russia. Rome: IPGRI; 1999.
- N. R. Ivanov's documents (Dokumenty N. R. Ivanova). VIR Archives; 1945. [in Russian] (Документы Н. Р. Иванова. Архив ВИР; 1945). [the material was found, sorted out and examined by N. P. Loskutova]
- Nikolai Ivanovich Vavilov's associates: plant genetic diversity researchers (anniversary edition). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Соратники Николая Ивановича Вавилова: исследователи генофонда растений (юбилейное издание). Санкт-Петербург: ВИР.; 2017).
- Orders and directives of 1941-1945 (Prikazy i rasporyazheniya 1941-1945 gg.). VIR Archives; 1945. Arkhiv VIR) [in Russian] (Приказы и распоряжения 1941-1945 гг. Архив ВИР; 1945). [the material was found, sorted out and examined by N. P. Loskutova]
- Pavlov D.V. Leningrad in the siege. (Leningrad v blocade). 3rd ed. Moscow: Military Publishers of the USSR Ministry of Defense; 1967. [in Russian] (Павлов Д.В. Ленинград в блокаде. 3-е изд. Москва: Военное издательство МО СССР; 1967).
- Personal files of employees (Lichnye dela sotrudnikov). VIR Archives; 1942. [in Russian] (Личные дела сотрудников. Архив ВИР; 1942). [the material was found, sorted out and examined by N. P. Loskutova]
- Scientific report of the All-Union Institute of Plant Industry (Nauchny otchet Vsesoyuznogo instituta rasteniyevodstva). Moscow: Selkhozgiz; 1945. [in Russian] (Научный отчет Всесоюзного института растениеводства. Москва: Сельхозгиз; 1945). [the material was found, sorted out and examined by N. P. Loskutova]
- VIR Archives. No. 194. Case No. 9. Historical reference to Inventory No. 1 of May 14, 1962 (Arkhiv VIR. № 194. Delo № 9. Istoricheskaya spravka k opisi № 1 ot 14 maya 1962 g.). [in Russian] (Архив ВИР. № 194. Дело № 9. Историческая справка к описи № 1 от 14 мая 1962 г.). [the material was found, sorted out and examined by N. P. Loskutova]

**Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities**

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

**Для цитирования / How to cite this article**

Лоскутов И. Г. Деятельность ВИР им. Н.И. Вавилова в годы войны. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):151-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-151-162

Loskutov I.G. Wartime activities of the Vavilov Institute. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):151-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-151-162

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

**Дополнительная информация / Additional information**

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-151-162>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

**ORCID**

Loskutov I.G. <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

## Порфирий Афанасьевич Диброва – у истоков научного плодоводства Урала

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-163-172



УДК 634.1(092)

Поступление/Received: 10.09.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021

Т. Н. СЛЕПНЕВА<sup>1</sup>, А. В. ШЛЯВАС<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А  
✉ tatyana\_slepneva@mail.ru

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44  
\* ✉ ann2668@yandex.ru

## Porfiry Afanasyevich Dibrova: at the origins of scientific pomiculture in the Urals

T. N. SLEPNEVA<sup>1</sup>, A. V. SHLYAVAS<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia  
✉ tatyana\_slepneva@mail.ru

<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia  
\* ✉ ann2668@yandex.ru

Порфирий Афанасьевич Диброва – один из первых ученых-селекционеров, стоявших у истоков научного плодоводства Урала, автор 23 сортов яблони, шести сортов груши, одного сорта вишни и черной смородины. В 40-х годах прошлого столетия под его руководством проведены экспедиционные обследования по изучению местного сортимента плодовых и ягодных культур в 50 районах Свердловской, Молотовской (Пермской) областей и Удмуртской АССР. Диброва один из авторов первого стандартного сортимента плодовых и ягодных культур для данных областей. Порфирием Афанасьевичем изучены закономерности наследования ценных хозяйственно-биологических признаков плодовых культур, выделены перспективные исходные селекционные формы яблони и груши. Им заданы основные направления селекции на Среднем Урале, по которым работают современные селекционеры: создание высоко зимостойких скороплодных сортов яблони и груши, со стабильной урожайностью, отличным качеством и улучшенным биохимическим составом плодов.

**Ключевые слова:** история садоводства, селекция, яблоня, груша, вишня, смородина черная, генетические ресурсы яблони ВИР, Средний Урал.

Porfiry Afanasyevich Dibrova was one of the first scientists and breeders standing at the origins of scientific pomiculture in the Urals. He was the author of 23 cultivars of apple, six of pear, one of sour cherry, and one of black currant. In the 1940s, he was the leader of collecting missions exploring the local assortment of fruit and berry crops in 50 districts of Sverdlovsk and Molotov (Perm) Provinces, and the Udmurt Republic. P.A. Dibrova was one of the authors of the first standard set of fruit and berry cultivars for the above-mentioned areas. He studied regularities in the inheritance of valuable agronomic and biological traits of fruit crops and identified promising sources for apple and pear breeding. He launched the main plant breeding trends in the Middle Urals, now followed by contemporary breeders: the development of highly winter-hardy cultivars of apple and pear with fruiting precocity, stable yields, excellent fruit quality, and improved biochemical composition in fruits.

**Key words:** history of horticulture, plant breeding, apple, pear, cherry, black currant, apple genetic resources at VIR, the Middle Urals.

Садоводство на Урале начало зарождаться еще в XIX столетии, когда появились первые приусадебные сады. Дикорастущие плодовые и ягодные культуры, которые в них росли, имели плоды очень низкого качества. Отдельные садоводы пытались завезти ценные садовые растения из центральных губерний и адаптировать их к суровым уральским условиям, но эти попытки оканчивались неудачей (Salnikov et al., 1956). Садоводства как отрасли на Урале в то время не существовало.

Научный путь развития садоводства был указан И. В. Мичуриным. Отвечая на письма уральских любителей садоводства, в 1928 г. он писал: «...категорически утверждаю полную возможность основания и ведения промышленного садоводства на Урале, при условии выведения своих местных сортов плодовых растений из семян...» (Michurin, 1948, p. 171). Эти рекомендации И. В. Мичури-

на послужили основой научной работы уральских селекционеров.

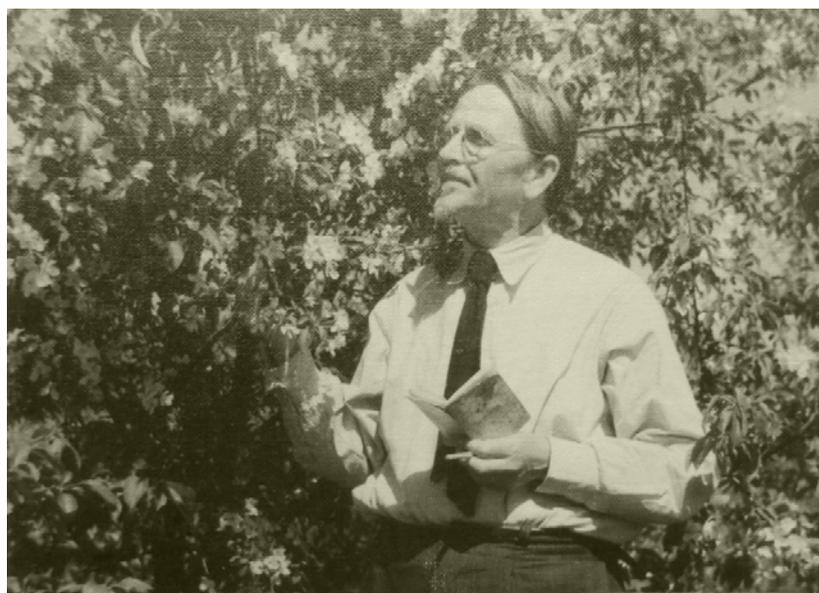
В начале 1930-х годов, в период коллективизации, началась закладка колхозных садов, росло количество любительских садов. Посадочный материал плодовых растений, завезенный из Средней России и Поволжья, вымерзал в первую же суровую зиму. Саженьцы из Сибири представляли собой малосъедобные ранетки. Это подтверждало идеи Мичурина, что плодоводство на Урале может развиваться только на основе новых местных сортов и разработки агротехники их возделывания (Salnikov et al., 1952; Levitin et al., 1953).

В 1934 году на территории Свердловской области был организован расширенный опорный пункт садоводства, коллектив которого начал обширную работу по обследованию ягодных дикорастущих массивов, садов лю-

бителей-опытников с целью выявления растений с хозяйственно ценными признаками для дальнейшего изучения и использования в садоводстве и селекции. Предстояла огромная и трудная работа по созданию сортамента плодовых и ягодных культур для северного садоводства.

Учитывая важность развития отрасли садоводства в промышленных зонах Урала, исполком Свердловского областного Совета депутатов трудящихся 8 июня 1935 г. принял решение об организации Свердловского опорного пункта Научно-исследовательского института плодородства им. И. В. Мичурина. Постановлением Государственного комитета обороны опорный пункт в 1944 г. был реорганизован в Свердловскую плодово-ягодную опытную станцию им. И. В. Мичурина (Bogdanova et al., 2010). В 2018 г. опытная станция стала структурным подразделением ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН» как Свердловская селекционная станция садоводства.

Много талантливых ученых и селекционеров работало и продолжает трудиться на Свердловской станции. Одним из тех, кто стоял у истоков уральского научного плодородства, был Порфирий Афанасьевич Диброва (рис. 1).



**Рис. 1. Порфирий Афанасьевич Диброва, б. г.**  
(архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 1. Porfiry Afanasyevich Dibrova, undated**  
(archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

Родился Порфирий Афанасьевич 23 февраля 1883 г. в с. Харьковцы Лохвицкого уезда Полтавской губернии в семье казаков Афанасия Васильевича и Марии Яковлевны Диброва. В 1900 г. окончил трехклассную приходскую школу в Харьковцах, а в 1905 г. – Харьковецкую учительскую школу (Kotov, 2005). В 1907 г. поступил в лучшее в то время учебное заведение в области садоводства – Уманское училище земледелия и садоводства – на отделение садоводства, но был исключен из-за участия в студенческих волнениях. В 1915 г. П. А. Диброва окончил Московскую земледельческую школу Московского общества сельского хозяйства. Параллельно, с 1911 по 1915 г., работал агрономом-секретарем в сельскохозяйственных кооперативах: сначала Саксаганского в Днепропетров-

ской области, затем Харьковецкого в Полтавской области.

В 1920–1923 гг. заведовал селекционной станцией «Главсахара» в г. Лубны Полтавской области. С 1926 г. работал уполномоченным по семеноводству Народного комиссариата УССР на Правобережье, преподавателем сельскохозяйственного техникума и агрономом Свеклосахартреста. С 1934 г. Диброва работал научным сотрудником в научно-исследовательских учреждениях по садоводству – сначала в Таджикском ВНИИП, затем два года на Саратовской и Сталинградской опытных станциях (Sedov, 2016).

В 1938 г. Порфирий Афанасьевич пришел на Свердловскую станцию старшим научным сотрудником, где проработал 27 лет, заведя отделом селекции (рис. 2).

Одной из первоочередных задач, поставленных руководством Свердловской станции перед Порфирием Афанасьевичем, было создание сортамента плодовых культур, адаптированного для условий среднеуральского региона.

На первом этапе работы под руководством Диброва сотрудниками станции в 1938–1943 гг. были проведены экспедиционные обследования любительских садов Свердловской, Молотовской (Пермской) областей и Удмуртской АССР. Участники экспедиций выявляли лучшие

местные сорта и переносили в опытный сад Свердловской станции для испытания (Bogdanova et al., 2010). Например, только в 1941 г. сотрудники станции обследовали 25 районов Свердловской, Молотовской областей, Удмуртии и выявили 427 местных сортов плодовых и ягодных культур. Лично Порфирием Афанасьевичем были обследованы окрестности г. Свердловска и восемь районов Молотовской области, подготовлены описания 135 сортов яблони и два терносливы, для которых художниками М. А. Мизеровой и Г. В. Петровой были сделаны акварельные помологические зарисовки плодов (Dibrova, 1942).

Ряд сортов яблони, выделившихся по итогам продолжительного периода изучения, был рекомендован



**Рис. 2.** Сотрудники отдела селекции Свердловской селекционной станции садоводства им. И.В. Мичурина (слева направо): М. А. Кузнецова, Е. И. Чамовских, Н. И. Гвоздюкова, П. А. Диброва, А. Сурганова, б. г. (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 2.** The staff of the plant breeding department at the I.V. Michurin Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, undated (from left to right): M. A. Kuznetsova, E. I. Chamovskikh, N. I. Gvozdyukova, P. A. Dibrova, A. Surganova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

к выращиванию в условиях Среднего Урала: 'Боровинка Превосходная', 'Крымка Зигулева', 'Французская Хорошавка', 'Красавица', 'Уральское Большое', 'Кунгурское Ананасное', 'Кунгурское Расписное', 'Камское', 'Луковка' и другие (Dibrova et al., 1947). В 1949 и 1959 г. некоторые из лучших сортов яблони были переданы в коллекцию генетических ресурсов яблони ВИР, где сохраняются в живом виде до настоящего времени: 'Крымка Зигулева' (к-858), 'Корнева' (к-809), 'Камышловка' (к-14451), 'Уральское Большое' (к-14450), 'Кунгурское Ананасное' (к-14447), 'Комлевское' (к-14438).

По результатам экспедиционных обследований был составлен первый стандартный сортимент для среднеуральской зоны. Порфирий Афанасьевич уделял большое внимание помологическим описаниям выявленных семян и, составляя их производственно-биологическую характеристику, считал, что знание сортов, пригодных для возделывания на Урале, является первым и непременным условием для успешного развития уральского садоводства.

В 1947 г. под редакцией П. А. Диброва вышла первая монография «Плоды и ягоды Урала», подготовленная к печати еще в 1944 г. совместно с сотрудниками станции Ниной Ивановной Гвоздюковой (косточковые культуры) и Антониной Федоровной Тамаровой (ягодные культуры). Это был первый печатный труд, представивший лучшие сорта плодовых и ягодных культур Среднего Урала на тот период. Порфирием Афанасьевичем были написаны разделы книги – «Естественно-исторические условия развития садоводства Свердловской области» и «Стандартный сортимент плодово-ягодных культур для Свердловской и Молотовской областей и Удмуртской АССР», а также дана производственно-биологическая характеристика лучших сортов яблони и груши (Dibrova et al., 1947).

В 1952 г. сотрудниками Свердловской станции опубликован фундаментальный труд «Садоводство Свердловской области», обобщающий знания о плодоводстве Среднего Урала. Данная книга претерпела четыре

переиздания, последний раз в 1968 г. под названием «Садоводство Среднего Урала». Для каждого издания Диброва готовил разделы, рассказывающие о выведении новых улучшенных уральских сортов, о районированном сортименте плодовых и ягодных культур Свердловской области, о помологической характеристике стандартных и лучших сортов яблони и груши (Salnikov et al., 1952; Salnikov et al., 1956; Biryukov et al., 1960; Biryukov et al., 1968).

Второй и основной частью работы П. А. Диброва по созданию адаптивного сортимента была непосредственно селекция. При создании новых сортов яблони и груши на Среднем Урале Порфирий Афанасьевич руководствовался следующими требованиями: высокая зимостойкость, скороплодность, стабильная урожайность, хорошее качество плодов (Dibrova, 1940).

Первые посадки яблони на участках коллекционного и первичного сортоизучения были заложены в 1937 г., груши – в 1939 г. В основном производилась посадка интродуцированными сортами в количестве трех деревьев каждого сорта, местные сорта яблони высаживали единичными растениями. В дальнейшем закладку садов проводили лучшими гибридами собственной селекции.

На основе аналитической селекции от посева среднерусских, мичуринских, иностранных и лучших местных сортов Порфирию Афанасьевичу удалось вырастить несколько поколений семян и выделить из них самые зимостойкие – 'Солнцедар', 'Аврора', 'Коммунарка', 'Янтарь', 'Спорт 45' (Dibrova, 1940), которые в дальнейшем послужили родительскими формами для современных сортов.

На первом этапе гибридизации яблони в качестве материнских растений были взяты адаптивные, урожайные, скороплодные, с качественными и крупными плодами сибирские сорта: 'Любимец Никифорова', 'Желтое Наливное Крутовова', 'Анисик Омский', 'Восковка', 'Китайка Розовая', 'Ранетка Пурпуровая'.

В качестве отцовских растений использовались преимущественно мичуринские сорта: 'Пепин Шафранный', 'Славянка', 'Бельфлер-китайка', 'Шафран-китайка' и др.;

средне- и северорусские сорта: 'Пепин Литовский', 'Папировка', 'Апорт Алма-Атинский', 'Боровинка', 'Анис Алый', а также наиболее высококачественные и крупноплодные местные сорта: 'Боровинка Превосходная', 'Уральское Большое', 'Крымка Зигулева', 'Красавица' и др. (Dibrova, 1960).

В селекции на скороплодность и ежегодную урожайность были получены и районированы сорта 'Радуга', 'Анис Пурпуровый', 'Снегурочка', 'Малютка'. Сверхскорплодный сорт яблони 'Малютка', сыгравший заметную роль в пропаганде уральского садоводства, начинал плодоносить уже в питомнике (рис. 3).



**Рис. 3.** П. А. Диброва с двухлетним саженцем яблони сорта 'Малютка', цветущим в питомнике, 1953 г. (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 3.** P. A. Dibrova with a flowering two-year-old apple-tree seedling of cv. 'Malyutka' in the nursery, 1953 (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

В 1959 г. в районированном сортименте Свердловской области было уже 12 сортов селекции Порфирия Афанасьевича ('Солнцедар', 'Щедрая', 'Заря' и другие), которые на протяжении 20 лет были актуальны и востребованы (Viryukov et al., 1960). Все они отличались высокой урожайностью, хорошими вкусовыми качествами по сравнению с полукультурками и выделялись высоким содержанием витамина С. Начиная с 1956 г. П. А. Диброва работал совместно с Леонидом Ивановичем Вигоровым – сотрудником лаборатории химии плодово-ягодных растений при Уральском лесотехническом институте в г. Свердловске. Работа велась над созданием сортов яблони с повышенным содержанием биологически активных веществ и витамина С (Vigogov, 1960). При суточной норме витамина С для здорового человека 50 мг повышенная С-витаминность порядка 20 мг% была у сортов 'Аврора', 'Ударница', 'Щедрая' (Vigogov, 1971). Данное направление в селекции актуально и в настоящее время.

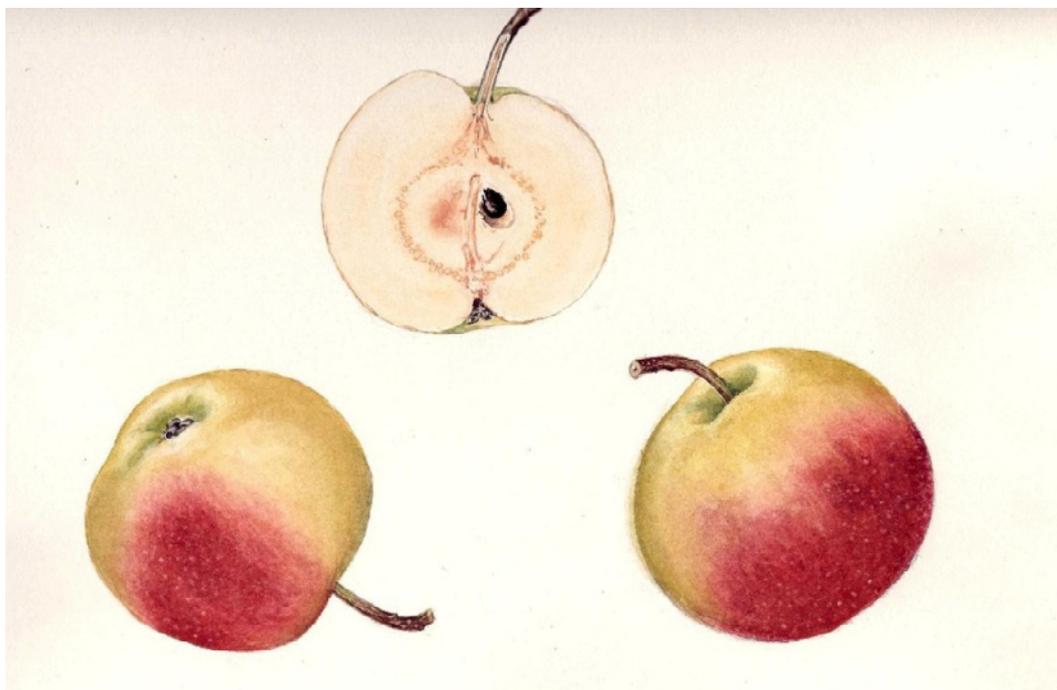
'Самоцвет' (к-14440), 'Солнцедар' (к-14441), 'Спорт 45' (к-11687), 'Щедрая' (к-14443), 'Малютка' (к-14444), 'Анис Пурпуровый' (к-14445), 'Персиковое' (к-14446), 'Память Зигулева' (к-14449), 'Снегурочка' (к-14452), 'Грушовка Диброва' (к-11685).

До определенного времени груша на Урале не росла. Вымерзали не только культурные сорта, но и груша лесная (*Pyrus communis* L.), завозимая из средней России. После многочисленных попыток садоводов-любителей выращивать грушу удалось закрепить в культуре только два сорта селекции хабаровского садовода-мичуринца Артемия Максимовича Лукашова – 'Тема' и 'Поля'. Эти посредственные по вкусу сорта он получил от скрещивания груши уссурийской (*Pyrus ussuriensis* Maxim.) с 'Финляндской Желтой Ранней'. (Salnikov et al., 1956; Viryukov et al., 1968). В «Зеленстрое» города Свердловска с декоративной целью начали размножать грушу уссурийскую, завезенную с Дальнего Востока, как самый зимостойкий вид груши.

Вот на этих деревьях в «Зеленстрое» П. А. Диброва и начал проводить скрещивания со своим верным помощником и супругой Киной Ивановной. В результате были выведены первые сорта груши – ‘Альфа’, ‘Бета’, ‘Гамма’, ‘Дельта’, ‘Исетская’, ‘Арабка’ (рис. 4), превосходящие по качеству плодов сорта А. М. Лукашова (Kotov, 2005).

Наряду с селекцией семечковых культур Порфирий Афанасьевич уделил внимание косточковым культу-

рам, среди которых была вишня степная. От посева в 1939 г. косточек ‘Шпанки Казанцевской’ был создан сорт ‘Гриот Победа’ (рис. 5). Плоды массой 2,5–3,0 г, с снежной, кисло-сладкой мякотью отличного вкуса. Основные достоинства сорта: высокая зимостойкость, ежегодная урожайность, десертный вкус плодов. Средняя урожайность 10-летних кустов составляла от 9 до 14 кг (Dibrova et al., 1947).



**Рис. 4.** Груша, сорт ‘Арабка’, рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 4.** Pear cultivar ‘Arabka’, artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)



**Рис. 5.** Вишня, сорт ‘Гриот Победа’, рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 5.** Sour cherry cultivar ‘Griot Pobeda’, artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

В 1941 г. из гибридного фонда Е. А. Лаптевой Порфирием Афанасьевичем был выделен сорт смородины черной 'Уральский Великан' (рис. 6). Сорт среднераннего срока созревания. Ягоды массой до 1,5–1,7 г, отдельные ягоды достигали массы 2,5 г, отличного десертного вкуса. Плодовые кисти короткие, 2,5–3,0 см, густо заполненные. Сорт продолжительное время был рекомендован к выращиванию в Свердловской области (Dibrova et al., 1947).

Как большой знаток сортов плодовых и ягодных культур и особенностей их выращивания в суровых условиях Урала, Порфирий Афанасьевич вел занятия в «Школе практического садоводства», организованной Свердловской станцией в 1945 г. Школа готовила массовые

кадры по садоводству, ежегодно выпуская 80–100 садоводов (Bogdanova et al., 2010). Кроме того, читал лекции и вел практические занятия на курсах апробации, организуемых станцией (рис. 7).

В 1945 г. Порфирий Афанасьевич был награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». В 1956 г. получил «Малую золотую медаль», в 1957 г. – «Большую серебряную медаль» Всесоюзной сельскохозяйственной выставки. За достигнутые результаты в выведении зимостойких, улучшенного качества уральских сортов и по совокупности опубликованных работ П. А. Диброва в 1959 г. была присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук (Sedov, 2016).



**Рис. 6.** Смородина черная, сорт 'Уральский Великан', рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 6.** Black currant cultivar 'Uralsky Velikan', artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)



**Рис. 7.** П. А. Диброва со слушателями курсов апробации, 1961 г. (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 7.** P. A. Dibrova with students of approbation courses, 1961 (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

Скончался Порфирий Афанасьевич Диброва в 1966 г., похоронен на Нижне-Исетском кладбище Екатеринбурга.

Ниже мы приводим краткую характеристику некоторых сортов яблони селекции П. А. Диброва, продолжительное время рекомендованных к выращиванию на Среднем Урале.

**'Малютка'** (рис. 8). Сеянец сорта 'Славянка' от свободного опыления. Был в районированном сортименте по Свердловской области в 1950–1960 гг. Сорт скороплодный. Плоды массой до 100 г правильной усеченно-конической формы. Съемной зрелости достигают в середине сентября и пригодны для потребления в свежем виде уже при съеме; могут храниться до января – февраля. Урожайность высокая и регулярная. В саду в уплотнен-

ных посадках 4 × 3 м урожай – до 230–270 ц/га ежегодно. Устойчив к парше (Salnikov et al., 1956; Viryukov et al., 1960). В настоящее время деревья этого сорта, посаженные в 1962 г. в коллекционном саду яблони научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург), продолжают стабильно плодоносить.

**'Солнцедар'** (рис. 9). Сеянец 'Аниса Алого Воробьевского' от свободного опыления. Сорт зимостоек, не имеет выраженной периодичности плодоношения. Плоды массой 50–100 г, правильно-усеченной или широкоовальной усеченной формы. Плоды созревают в первой половине августа. К парше устойчив средне. После съема плоды могут храниться 1,5–2 месяца (Viryukov et al., 1960).



**Рис. 8.** Яблоня, сорт 'Малютка', рисунок А. М. Мизеровой, 1947 г. (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 8.** Apple cultivar 'Malyutka', artwork by A. M. Mizerova, 1947 (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

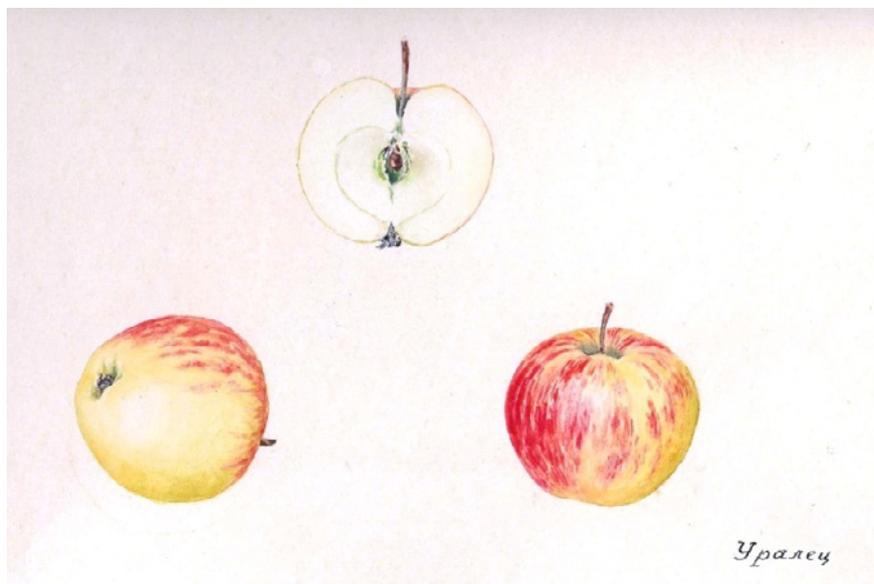


**Рис. 9.** Яблоня, сорт 'Солнцедар', рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 9.** Apple cultivar 'Solntsedar', artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

**‘Уралец’** (рис. 10). Осенний сорт, получен от опыления китайки ‘Восковка’ смесью пыльцы ‘Аниса Розово-полосатого’ и ‘Украинки Саратовской’. Плодоносит с 4–5 лет регулярно во всех частях кроны. Плоды массой 40–50 г, округлой и усеченно-конической формы. Мякоть нежная, очень сочная, хорошего винно-сладкого вкуса. Плоды созревают в первой половине сентября, могут храниться до октября – ноября. Устойчив к парше, самобесплодный (Salnikov et al., 1956).

**‘Янтарь’** (рис. 11). Сеянец от свободного опыления мичуринского сорта, воспитанный П. А. Диброва с помощью многократных пересадок в первые годы жизни и двукратной срезки на обратный рост. Плоды округлые, с широкими ребрами, массой 30–60 г, янтарно-зеленоватой окраски. Мякоть нежная, плотная, сочная, отличного ранетного винного вкуса. В лежке хорошо хранятся до февраля – марта (Salnikov et al., 1956).



**Рис. 10.** Яблоня, сорт ‘Уралец’, рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 10.** Apple cultivar ‘Uralets’, artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)



**Рис. 11.** Яблоня, сорт ‘Янтарь’, рисунок А. М. Мизеровой (архив Свердловской селекционной станции садоводства)

**Fig. 11.** Apple cultivar ‘Yantar’, artwork by A. M. Mizerova (archives of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station)

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ УрФАНИЦ УРО РАН направления 150 Программы ФНИ государственных академий наук на 2021–2030 гг.

и в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0004 «Коллекция вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей ВИР – изучение и рациональное использование».

The research was performed in the framework of the State Task for the Ural Federal Agricultural Research Center, UB RAS, under Guideline 150 of the Federal Scientific Research Program of the State Academies of Sciences for 2021–2030,

and within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0004 "Collections of vegetatively propagated crops (potato, fruit, berry and ornamental crops, grapes) and their wild relatives at VIR: studying and sustainable utilization".

### References / Литература

- Biryukov M.P., Bocharov V.M., Nashchekina A.S., Chistyakova L.A. (eds). Horticulture in the Middle Urals (Sadovodstvo Srednego Urala). 5th ed. Sverdlovsk: Middle Ural Book Publishers; 1968. [in Russian] (Садоводство Среднего Урала / под ред. М.П. Бирюкова, В.М. Бочарова, А.С. Нащечиной, Л.А. Чистяковой. 5-е изд. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство; 1968).
- Biryukov M.P., Dibrov P.A., Levitin H.Z., Salnikov V.V. (eds). Horticulture in the Middle Urals (Sadovodstvo Srednego Urala). 3rd ed. Sverdlovsk: Sverdlovsk Book Publishers; 1960. [in Russian] (Садоводство Среднего Урала / под ред. М.П. Бирюкова, П.А. Диброва, Х.З. Левитина, В.В. Сальникова. 3-е изд. Свердловск: Свердловское книжное издательство; 1960).
- Bogdanova I.I., Demin N.S., Nashchekina A.S. A summary of activities by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station for 75 years and prospects of its development (Itogi deyatelnosti Sverdlovskoy selektsionnoy stantsii sadovodstva za 75 let i perspektivy razvitiya). In: *Scientific support of adaptive horticulture in the Ural Region (Nauchnoye obespecheniye adaptivnogo sadovodstva Uralskogo regiona)*. Yekaterinburg; 2010. p.4-28. [in Russian] (Богданова И.И., Демин Н.С., Нащечкина А.С. Итоги деятельности Свердловской селекционной станции садоводства за 75 лет и перспективы развития. В кн.: *Научное обеспечение адаптивного садоводства Уральского региона*. Екатеринбург; 2010. С.4-28).
- Dibrova P.A. Lists of local varieties identified by the station in the gardens of Sverdlovsk and Molotov Provinces and in the Udmurt ASSR by the end of 1941 (Spiski mestnykh sortov vyyavlenykh stantsiyey v sadakh Sverdlovskoy i Molotovskoy oblastey i Udmurtskoy ASSR na konets 1941 goda). Nizhneiset'sk; 1942. [in Russian] (Диброва П.А. Списки местных сортов, выявленных станцией в садах Свердловской и Молотовской областей и Удмуртской АССР на конец 1941 года. Нижнеисетск; 1942).
- Dibrova P.A. New cultivars of apple trees in the Northern Urals (Novye sorta yabloni Severnogo Urala). Moscow: Selkhozgiz; 1940. [in Russian] (Диброва П.А. Новые сорта яблони северного Урала. Москва: Сельхозгиз; 1940).
- Dibrova P.A. On the question of the ways and methods of apple breeding for winter hardiness, early maturity, annual yield, and quality of fruits in the conditions of the Middle Urals (K voprosu o putyakh i metodakh selektsii yabloni na zimostoykost, skoroplodnost, yezhegodnyuyu urozhaynost i kachestvo plodov v usloviyakh Srednego Urala). In: *Collection of articles on the horticulture in the Middle Urals (Sbornik statey po sadovodstvu v usloviyakh Srednego Urala)*. Sverdlovsk; 1960. p.12-19. [in Russian] (Диброва П.А. К вопросу о путях и методах селекции яблони на зимостойкость, скороплодность, ежегодную урожайность и качество плодов в условиях Среднего Урала. В кн.: *Сборник статей по садоводству Среднего Урала*. Свердловск; 1960. С.12-19).
- Dibrova P.A., Gvozdyukova N.I., Tamarova A.F. Fruits and berries of the Urals. The best varieties of fruit and berry crops in Sverdlovsk and Molotov Provinces and in the Udmurt ASSR (Plody i yagody Urala. Luchshiyeh sorta plodovo-yagodnykh kultur Sverdlovskoy, Molotovskoy oblastey i Udmurtskoy ASSR). P.A. Dibrova (ed.). Sverdlovsk: Sverdlovsk Regional State Publishers; 1947. [in Russian] (Диброва П.А., Гвоздюкова Н.И., Тамарова А.Ф. Плоды и ягоды Урала. Лучшие сорта плодово-ягодных культур Свердловской, Молотовской областей и Удмуртской АССР / под ред. П.А. Диброва. Свердловск: Свердловское областное государственное издательство; 1947).
- Kotov L.A. In memory of Porfiry Afanasyevich Dibrova (Pamyati Dibrova Porfiriya Afanasyevicha). In: *Prospects for northern horticulture at the present stage: A collection of scientific papers (Perspektivy severnogo sadovodstva na sovremennom etape: sbornik nauchnykh trudov)*. Yekaterinburg; 2005; p.39-47. [in Russian] (Котов Л.А. Памяти Диброва Порфирия Афанасьевича. В кн.: *Перспективы северного садоводства на современном этапе: сборник научных трудов*. Екатеринбург; 2005; С.39-47).
- Levitin H.Z. (ed.). Ural gardens (Uralskiye sady). Sverdlovsk: Sverdlovsk Book Publishers; 1953. [in Russian] (Уральские сады / под ред. Х.З. Левитина. Свердловск: Свердловское книжное издательство; 1953).
- Michurin I.V. How to grow fruit trees in the Urals. (Kak vyrashchivat na Urale plodovye derevya). In: *I. V. Michurin. Collected works. Vol. 4. Compilation*. 2nd ed. Moscow: Selkhozgiz; 1948. p.171-176. [in Russian] (Мичурин И.В. Как выращивать на Урале плодовые деревья. В кн.: *Сочинения. Т. 4: Сборный*. 2-е изд. Москва: Сельхозгиз; 1948. С.171-176).
- Salnikov V.V. (ed.). Horticulture in Sverdlovsk Province (Sadovodstvo Sverdlovskoy oblasti). 2nd ed. Sverdlovsk: Sverdlovsk Book Publishers; 1956. [in Russian] (Садоводство Свердловской области / под ред. В.В. Сальникова. 2-е изд. Свердловск: Свердловское книжное издательство; 1956).
- Salnikov V.V., Levitin H.Z., Dibrova P.A. (eds). Horticulture in Sverdlovsk Province (Sadovodstvo Sverdlovskoy oblasti). Sverdlovsk: Sverdlovsk Regional State Publishers; 1952. [in Russian] (Садоводство Свердловской области / под ред. В.В. Сальникова, Х.З. Левитина, П.А. Диброва. Свердловск: Свердловское областное государственное издательство; 1952).
- Sedov E.N. (ed.). Horticultural scientists of Russia. Brief biographical reference. (Sadovody-uchenye Rossii. Kratkiy biograficheskiy spravochnik). 2nd ed. Orel: VNIISPK;

2016. [in Russian] (Садоводы-ученые России. Краткий биографический справочник / под ред. Е.Н. Седова. 2-е изд. Орел: ВНИИСПК; 2016).
- Telezhinskiy D.D., Kotov L.A., Makarenko S.A., Tarasova G.N. Sverdlovchanin: a new apple cultivar for the Middle Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):93-96. [in Russian] (Тележинский Д.Д., Котов Л.А., Макаренко С.А., Тарасова Г.Н. Свердловчанин – новый сорт яблоки для Среднего Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):93-96). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-93-96
- Vigorov L.I. Funds of high-vitamin apples and their use for breeding. (Fondy vysokovitaminnykh yablock i ikh ispolzovaniye dlya seleksii). In: *Works on vitamins from natural raw materials (Trudy po vitaminam iz prirodnogo syrya)*. Ufa: Bashkir Book Publishers; 1971. p.134-140. [in Russian] (Вигоров Л.И. Фонды высоковитаминных яблок и их использование для селекции. В кн.: *Труды по витаминам из природного сырья*. Уфа: Башкирское книжное издательство; 1971. С.134-140).
- Vigorov L.I. Vitamin characteristics of new apple cultivars in the Middle-Ural assortment (Vitaminnaya kharakteristika novykh sortov yablock sredneuralskogo sortimenta). In: *Collection of articles on the horticulture in the Middle Urals (Sbornik statey po sadovodstvu v usloviyakh Srednego Urala)*. Sverdlovsk; 1960. p.20-29. [in Russian] (Вигоров Л.И. Витаминная характеристика новых сортов яблок среднеуральского сортимента. В кн.: *Сборник статей по садоводству Среднего Урала*. Свердловск; 1960. С.20-29).

#### Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

#### Для цитирования / How to cite this article

Слепнева Т.Н., Шлявас А.В. Порфирий Афанасьевич Диброва – у истоков научного плодородства Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):163-172. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-163-172

Slepneva T.N., Shlyavas A.V. Porfiry Afanasyevich Dibrova: at the origins of scientific pomiculture in the Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):163-172. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-163-172

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-163-172>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

#### ORCID

Slepneva T.N. <https://orcid.org/0000-0002-0065-9644>

Shlyavas A.V. <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

Научное издание:

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,  
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, ТОМ 182, ВЫПУСК 2**

Научный редактор: *Е. А. Соколова*

Корректор: *А. Г. Крылов*

Компьютерная верстка: *А. В. Иванов*

---

Подписано в печать 17.06.2021. Формат бумаги 70×100<sup>1/8</sup>

Бумага офсетная. Печать офсетная

Печ. л. 21,75. Тираж 300 экз. Зак. 0621

Сектор редакционно-издательской деятельности ВИР  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 42, 44

---

ООО «Р – КОПИ»

Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 6Б

