

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

---

**ТРУДЫ  
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,  
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 185  
выпуск 2**

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

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2024**

---

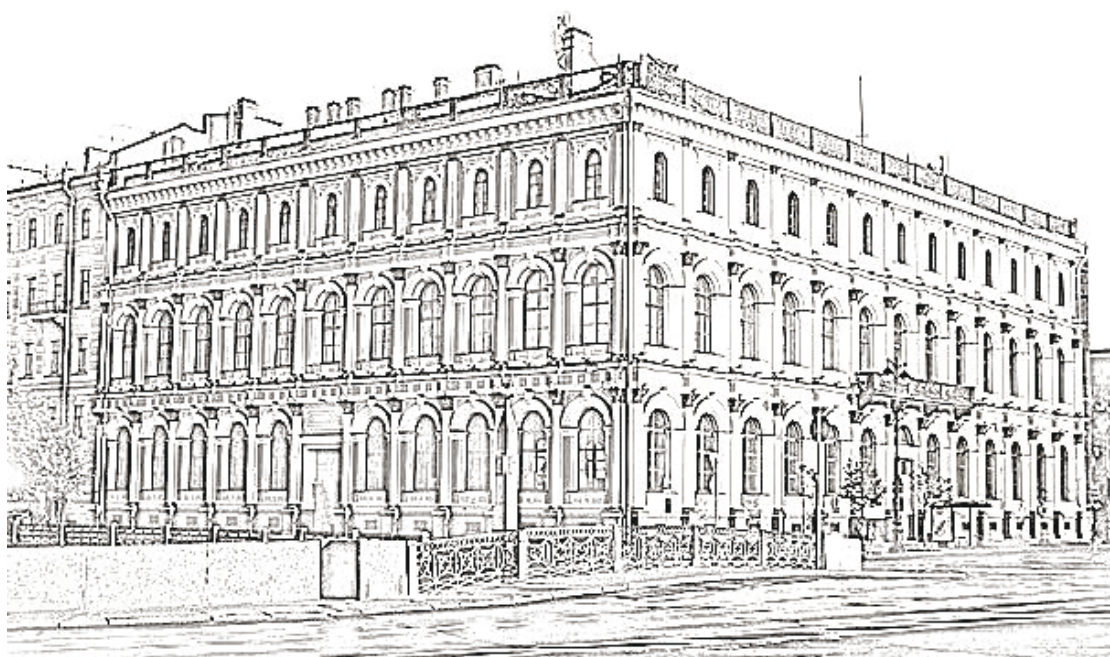
**PROCEEDINGS  
ON APPLIED BOTANY, GENETICS  
AND BREEDING, vol. 185  
issue 2**

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

**ST. PETERSBURG  
2024**

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

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal Research Center  
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)





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

**Главный редактор**

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

**Заместители главного редактора**

Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)

Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)

Митрофанова Ольга Павловна, д-р биол. наук (Россия)

**Ответственный секретарь**

Шипилина Лилия Юрьевна, канд. биол. наук (Россия)

**Редакционная коллегия**

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

**Редакционный совет**

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

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding

2024 Volume 185 issue 2

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2  
<https://elpub.vir.nw.ru>

Scientific Peer-Reviewed Journal  
Founded in 1908



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

**Editor-in-chief**

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

**Deputy editor-in-chief**

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

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

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

**Executive secretary**

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

**Editorial board**

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

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

*Marina O. Burlyaeva*, Cand. Sci. (Biology), Russia

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

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

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

*Elena V. Dumacheva*, Dr. Sci. (Biology), Russia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Elizaveta A. Porokhovina*, Dr. Sci. (Biology), Russia

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

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

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

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

*Diana V. Sokolova*, Cand. Sci. (Biology), Russia

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

*Nadezhda G. Tikhonova*, Cand. Sci. (Biology), Russia

*Kirill G. Tkachenko*, Dr. Sci. (Biology), Russia

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

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

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

*Evgeny V. Zuev*, Cand. Sci. (Agriculture), Russia

**Editorial council**

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

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

*Andre Jean Berville*, Dr., France

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

*Andreas Börner*, Dr., Germany

*Axel Diederichsen*, Dr., Canada

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

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

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

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

*Karl Hammer*, Dr., Professor, Germany

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

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

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

*Alexey I. Morgounov*, Dr., Turkey

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

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

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

**Ответственные редакторы выпуска**

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

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

**Редактор-переводчик**

Крылов Антон Георгиевич (Россия)

Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции / Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2024. Т. 185, вып. 2. 230 с.

Обсуждаются местные сорта твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в коллекции ВИР. Исследован нутриентный состав ягод перспективных сортов и элитных сеянцев представителей рода *Ribes* L. Изучены регенерантные линии сои по хозяйственно ценным и биохимическим характеристикам. Проведен сравнительный анализ применения комбинированных удобрений для улучшения роста, урожайности и эфирномасличного состава базилика (*Ocimum basilicum* L.). Показаны анатомические, морфологические и физиологические особенности флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* Zhuk. Обсуждается реакция генотипов винограда на абиотический стресс. Выделен перспективный исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна. Проанализирована ювенильная устойчивость озимых и яровых сортов мягкой пшеницы к *Pyrenophora tritici-repentis*. Приведены селекционные и цитологические характеристики межвидовых гибридов сливы уссурийской с тернсливой. Дана характеристика форм черешни, полученных с использованием метода эмбриокультуры, в степном Крыму. Проведена оценка кормовой продуктивности и энергетической питательности селекционных образцов овса посевного (*Avena sativa* L.) в условиях Северного Зауралья. Установлено влияние локусов *Ant25*, *Ant26*, *Ant27*, контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя (*Hordeum vulgare* L.), на рост и развитие растений. Рассмотрены побеговые комплексы верхушечной части кроны генеративных деревьев *Fraxinus excelsior* L. Обсуждаются особенности адаптации инвазивных видов *Berberis aquifolium* Pursh и *Daphne laureola* L. в лесных сообществах Южного берега Крыма. Для некоторых видов рода *Valeriana* L. приведена сравнительная характеристика морфологических признаков плодов. Описаны сорные растения поселка Угольные Копи (Анадырский район Чукотского автономного округа). Оформлены номенклатурные стандарты сортов земляники с использованием *Fragaria orientalis* Losinsk. Определена устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans* и устойчивость сливы домашней к грибным болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи. Прослежен вклад Владимира Александровича Кошкина в развитие физиологии растений ВИР.

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

ISSN 2227-8834 (Print)

ISSN 2619-0982 (Online)

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

**Editors in charge of this issue**

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

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

**Editor/Translator**

Anton G. Krylov, Russia

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding / N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. St. Petersburg : VIR, 2024. Vol. 185, iss. 2. 230 p.

Landraces of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) maintained in the VIR collection are discussed. Nutrient composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of *Ribes* L. has been analyzed. Regenerated soybean lines have been studied for their useful agronomic and biochemical characteristics. A comparative analysis of combined fertilizers has been made to clarify their effect on the growth, yield and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). Anatomical, morphological and physiological features of the flag leaf are shown in introgressive bread wheat lines containing *Aegilops columnaris* Zhuk. genetic material. Responses of grapevine genotypes to abiotic stress are considered. Promising source material has been selected for breeding spring barley cultivars with high grain quality. Seedling resistance of winter and spring bread wheat cultivars to *Pyrenophora tritici-repentis* is analyzed. Breeding properties and cytological characteristics of interspecific hybrids between the Ussuri plum and bullace are presented. Sweet cherry forms obtained with embryo culture techniques have been studied in the Crimean steppe environments. Oat (*Avena sativa* L.) cultivars and breeding lines have been assessed for their fodder productivity and digestible energy value under the conditions of the Northern Trans-Urals. The *Ant25*, *Ant26* and *Ant27* loci controlling proanthocyanidin synthesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) grain have been tested for their effect on plant growth and development. Shoot complexes on the apical part of the crown of generative *Fraxinus excelsior* L. trees have been studied. Adaptation features of the invasive species *Berberis aquifolium* L. and *Daphne laureola* L. in forest communities on the Southern Coast of Crimea are reported. A comparative description of fruit morphology is given for some species of *Valeriana* L. Weedy plants at Ugolnye Kopi Village, Anadyrsky District, Chukotka Autonomous Area, are characterized. Nomenclatural standards have been formalized for strawberry cultivars with *Fragaria orientalis* Losinsk. in their pedigrees. Resistance mechanisms of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans* and European plum to fungal diseases in the foothill zone of Adygea have been investigated. A tribute is paid to the contribution of Dr. Vladimir A. Koshkin to the development of plant physiology at VIR.

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

ISSN 2227-8834 (Print)

ISSN 2619-0982 (Online)

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

## СОДЕРЖАНИЕ

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

Ляпунова О.А. Местные сорта твердой пшеницы ( <i>Triticum durum</i> Desf.) в коллекции ВИР .....	9
---	---

### ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Жидехина Т.В., Миронов А.М., Родюкова О.С. Нутриентный состав ягод перспективных сортов и элитных семян представителей рода <i>Ribes</i> L. ....	25
Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Ефремова О.С. Изучение регенерантных линий сои по хозяйственно ценным и биохимическим характеристикам .....	38
Гианг Т.В., Хуен Ч.Т., Хай Н.Х. Применение комбинированных удобрений для улучшения роста, урожайности и эфирномасличного состава базилика ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) .....	50
Даштоян Ю.В., Калинина А.В. Некоторые анатомические, морфологические и физиологические особенности флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом <i>Aegilops columnaris</i> Zhuk. ....	60
Нилов Н.Г., Рыфф И.И., Березовская С.П., Стаматиди В.Ю., Попова М.С., Волынкин В.А., Лиховской В. В. Реакция генотипов винограда на абиотический стресс .....	69

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

Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Лисицын Е.М. Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна .....	82
Мироненко Н.В., Коваленко Н.М., Баранова О.А., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Ювенильная устойчивость озимых и яровых сортов мягкой пшеницы к <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> .....	95

### ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Гарапов Д.С., Мочалова О.В. Селекционные и цитологические характеристики межвидовых гибридов сливы уссурийской с терносливой .....	106
Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагин Н.А., Брагина М.В. Кормовая продуктивность и энергетическая питательность селекционных образцов овса посевного ( <i>Avena sativa</i> L.) в условиях Северного Зауралья .....	116
Черненко Л.А., Лукичева Л.А. Изучение форм черешни, полученных с использованием метода эмбриокультуры, в степном Крыму .....	128

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

Тоцкий И.В., Ли Ж., Шоева О.Ю. Влияние локусов <i>Ant25</i> , <i>Ant26</i> , <i>Ant27</i> , контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя ( <i>Hordeum vulgare</i> L.), на рост и развитие растений .....	138
---	-----

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

Антонова И.С., Телевинова М.С. Побеговые комплексы верхушечной части кроны генеративных деревьев <i>Fraxinus excelsior</i> L. ....	147
Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д. Особенности адаптации инвазионных видов <i>Berberis aquifolium</i> Pursh и <i>Daphne laureola</i> L. в лесных сообществах Южного берега Крыма .....	157
Ишмуратова М.М., Ишбирдин А.Р., Сулейманова Э.Н., Барышникова Н.И. Сравнительная характеристика морфологических признаков плодов некоторых видов рода <i>Valeriana</i> L. ....	167

<b>Николин Е.Г.</b>	
Сорные растения поселка Угольные Копи (Анадырский район Чукотского автономного округа) .....	182
<b>Харченко А.А., Белевцова В.И., Чухина И.Г.</b>	
Сорта земляники с использованием <i>Fragaria orientalis</i> Losinsk. ....	189

---

### ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

---

<b>Зотеева Н.М., Косарева О.С., Рогозина Е.В., Чалая Н.А.</b>	
Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции <i>Phytophthora infestans</i> .....	201
<b>Шерстобитов В.В., Колесова М.А.</b>	
Устойчивость сливы домашней к грибным болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи .....	210

---

### ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

---

<b>Ригин Б.В., Лоскутов И.Г., Матвиенко И.И., Щедрина З.А., Абдуллаев Р.А., Зуев Е.В., Радченко Е.Е.</b>	
Вклад Владимира Александровича Кошкина в развитие физиологии растений ВИР .....	219

## CONTENTS

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

---

<b>Lyapunova O.A.</b> Landraces of durum wheat ( <i>Triticum durum</i> Desf.) in the VIR collection .....	9
--	---

### STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

---

<b>Akimov M.Yu., Zhibanova E.V., Zhidekhina T.V., Mironov A.M., Rodyukova O.S.</b> Nutrient composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of <i>Ribes</i> L. ....	25
<b>Butovets E.S., Lukyanchuk L.M., Kodirova G.A., Kubankova G.V., Efremova O.S.</b> Studying regenerated soybean lines for their useful agronomic and biochemical characteristics .....	38
<b>Giang T.V., Huyen T.T., Hai N.H.</b> Application of combined fertilizers to improve growth, yield and essential oil composition of basil ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) .....	50
<b>Dashtoian I.V., Kalinina A.V.</b> Some anatomical, morphological and physiological features of the flag leaf in introgressive bread wheat lines with <i>Aegilops columnaris</i> Zhuk. genetic material .....	60
<b>Nilov N.G., Ryff I.I., Berezovskaya S.P., Stamatidi V.Yu., Popova M.S., Volynkin V.A., Likhovskoi V.V.</b> Responses of grapevine genotypes to abiotic stress .....	69

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

---

<b>Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Lisitsyn E.M.</b> Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality .....	82
<b>Mironenko N.V., Kovalenko N.M., Baranova O.A., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P.</b> Seedling resistance of winter and spring bread wheat cultivars to <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> .....	95

### DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

---

<b>Garapov D.S., Mochalova O.V.</b> Breeding properties and cytological characteristics of interspecific hybrids between the Ussuri plum and bullace .....	106
<b>Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragin N.A., Bragina M.V.</b> Fodder productivity and digestible energy value of oat ( <i>Avena sativa</i> L.) cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals .....	116
<b>Chernenkiy L.A., Lukicheva L.A.</b> Sweet cherry forms obtained with embryo culture techniques and their study in the Crimean steppe .....	128

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

---

<b>Totsky I.V., Li R., Shoeva O.Yu.</b> The effect of the <i>Ant25</i> , <i>Ant26</i> and <i>Ant27</i> loci controlling proanthocyanidin synthesis in barley ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) grain on plant growth and development .....	138
---	-----

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

---

<b>Antonova I.S., Televinova M.S.</b> Shoot complexes on the apical part of the crown of generative <i>Fraxinus excelsior</i> L. trees .....	147
<b>Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D.</b> Adaptation features of the invasive species <i>Berberis aquifolium</i> Pursh and <i>Daphne laureola</i> L. in forest communities on the Southern Coast of Crimea .....	157
<b>Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R., Suleymanova E.N., Baryshnikova N.I.</b> Some species of <i>Valeriana</i> L.: comparative description of fruit morphology .....	167

<b>Nikolin E.G.</b> Weedy plants at Ugolnye Kopi Village, Anadyrsky District, Chukotka Autonomous Area .....	182
<b>Kharchenko A.A., Belevtsova V.I., Chukhina I.G.</b> Strawberry cultivars with <i>Fragaria orientalis</i> Losinsk. in their pedigrees .....	189

---

### IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

---

<b>Zoteyeva N.M., Kosareva O.S., Rogozina E.V., Chalaya N.A.</b> Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of <i>Phytophthora infestans</i> .....	201
<b>Sherstobitov V.V., Kolesova M.A.</b> Resistance of European plum to fungal diseases in the foothill zone of Adygea .....	210

---

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

---

<b>Rigin B.V., Loskutov I.G., Matvienko I.I., Shchedrina Z.A., Abdullaev R.A., Zuev E.V., Radchenko E.E.</b> Contribution of Dr. Vladimir A. Koshkin to the development of plant physiology at VIR .....	219
---	-----

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

Научная статья

УДК 57.063.7:633.112.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-9-24



## Местные сорта твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в коллекции ВИР

О. А. Ляпунова

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

Автор, ответственный за переписку: Ольга Александровна Ляпунова, o.liapounova@vir.nw.ru

В коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) сохраняются 3633 образца местных сортов твердой пшеницы из 49 стран мира. Это уникальный материал, который в настоящее время не выращивается в местах своего происхождения и практически не встречается ни в одной коллекции мира. Рассмотрена история создания данной части коллекции пшеницы, ее структура, разнообразный состав сортов, приведены описания местных сортов различных стран, примеры успешного использования их в селекции. Особое внимание уделено коллекции российских сортов. Сегодня актуальными являются вопросы использования местных сортов в свете уменьшения разнообразия современных сортов и генетической эрозии исходного материала для селекции. Инновационные методы, основанные на применении молекулярных маркеров, показывают новые направления изучения и использования местных сортов в различных регионах.

**Ключевые слова:** разновидности *Triticum durum*, создание коллекции, географическое разнообразие, использование в селекции

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Ляпунова О.А. Местные сорта твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):9-24. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-9-24

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-9-24

### Landraces of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the VIR collection

Olga A. Lyapunova

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

**Corresponding author:** Olga A. Lyapunova, o.liapounova@vir.nw.ru

The collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) harbors 3,633 accessions of durum wheat landraces from 49 countries. This is a unique heritage, currently neither cultivated in the places of its origin nor found in any collection over the world. This review explores the history of the collection of landraces, its structure, and diversity of the preserved genotypes. Descriptions of landraces from different countries and examples of their successful utilization in breeding practice are presented. Special attention is paid to the collection of Russian landraces. Today, the problem of utilizing obsolete local cultivars is relevant in the context of the shrinking diversity of modern cultivars and genetic erosion of the source material for breeding. Innovative methods based on the use of molecular markers demonstrate new trends in the study and utilization of landraces in different regions.

**Keywords:** *Triticum durum* varieties, collection establishment, geographic diversity, utilization in breeding

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

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

**For citation:** Lyapunova O.A. Landraces of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):9-24. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-9-24

### История создания коллекции твердой пшеницы

Начало создания коллекции пшеницы (*Triticum* L.), в том числе и твердой пшеницы, относится к началу деятельности Бюро по прикладной ботанике, созданного в 1894 г. Первые зарубежные образцы были интродуцированы из коллекций эрфуртской семенной торговой фирмы Naage & Schmidt (г. Эрфурт, Германия) в 1902 г. В 1922 г. британский ботаник Джон Персиваль (John Percival), профессор сельскохозяйственной ботаники Реддингского университетского колледжа (University College, Reading, UK), известный своими исследованиями родов *Triticum* и *Aegilops* L., а также таксономией пшеницы, передал в коллекцию Бюро по прикладной ботанике местные сорта твердой пшеницы из Египта, Испании, Португалии и Турции. В том же году поступили первые образцы твердой пшеницы из Бюро растениеводства Департамента сельского хозяйства США (USDA Bureau of Plant Industry) от Дмитрия Николаевича Бородина, зарубежного сотрудника Н. И. Вавилова, а в 1937 г. – от Виктора Викторовича Таланова, ученого-растениевода, селекционера, специалиста по пшенице и кукурузе. Образцы поступали также из сельскохозяйственных организаций и ботанических садов Великобритании и США (1902–1922 гг.).

Отечественные местные сорта и популяции поступали в Бюро по прикладной ботанике с сельскохозяйственных выставок, из ботанических садов и от агрономов. Активное пополнение местным сортиментом твердой пшеницы шло благодаря сотрудникам Алтайской, Безенчукской, Краснокутской, Северо-Донецкой опытных станций и экспедициям Дагестанской опытной станции. В 1924 г. Александр Алексеевич Орлов, в то время сотрудник Саратовского отделения Бюро по прикладной ботанике, передал в коллекцию образцы пшеницы, в том числе и твердой, из Волгоградской, Курской, Оренбургской, Ростовской, Самарской и Саратовской областей, Алтайского, Краснодарского и Ставропольского краев, Автономной Республики Дагестан, представленные на Всероссийской сельскохозяйственной выставке 1923 г. Это первые образцы местных российских сортов твердой пшеницы в коллекции ВИР. Следует отметить, что большая часть образцов стран бывшего СССР была собрана сотрудниками ВИР.

В 1920–1930-х годах Н. И. Вавилов организовал большую серию экспедиций по сбору образцов растений как в СССР, так и за рубежом. Экспедиции Н. И. Вавилова (Испания, Португалия, Италия, Греция, Алжир, Тунис, Марокко, Кипр, Крит, Сицилия, Сардиния, Сирия, Палестина, Трансиордания, Египет, 1925–1927 гг.), Е. И. Барулиной (Армения, 1925 г.), М. А. Выдриной (Палестина, 1925 г.), П. Е. Гребенникова (Донской округ Северо-Кавказского края, 1925 г.), П. М. Жуковского (Грузия, 1923, 1925 г.; Турция, 1925–1927 г.), В. К. Кобелева (Казахстан, Киргизия, Туркмения, Узбекистан, 1928 г.), Н. Н. Кулешова (Азербайджан, 1926 г.), В. В. Марковича (Палестина, 1926 г.; Индия, Пакистан, 1927–1928 г.), Е. Н. Столетовой (Армения, 1925–1926 гг.), К. А. Фляксбергера (Дагестан, 1925 г.) значительно обогатили коллекцию твердой пшеницы новыми образцами. К настоящему времени в коллекции сохранилось более трех тысяч жизнеспособных образцов, собранных в довоенное время. В послевоенные годы, начиная с 1949 г. и до 1980-х годов, тритикологи ВИР продолжили экспедиционные исследования и сбор генетических ресурсов пшеницы на территории Кавказа

(М. М. Якубцинер, 1949 г.; Е. Н. Синская, 1950 г.; В. Ф. Дорофеев, 1961–1964 гг.), Средней Азии (Т. К. Лепин, 1948 г.; М. И. Руденко, 1957 г.; Р. А. Удачин, 1965–1974 гг.), Ирана (Г. Н. Шлыков, 1947 г.), Китая (А. М. Горский, 1957 г.), Чили (П. М. Жуковский, 1958 г.), Индии и Турции (В. Ф. Дорофеев, 1967, 1969 г.), Афганистана (В. М. Кожевников, 1969 г.), Алжира (К. З. Будин, В. Л. Витковский, 1969 г.). Академик ВАСХНИЛ Д. А. Долгушин в 1948 г. передал образцы твердой пшеницы Греции, острова Крит, Испании, Пакистана, Турции, горных районов Балканского полуострова.

Большой вклад в создание коллекции внесли сотрудники Среднеазиатского филиала ВИР (г. Ташкент), проводившие экспедиционные сборы в своем регионе. Донорами образцов коллекции пшеницы являются крупные зарубежные генетические банки семян, научно-исследовательские институты и университеты, а также отечественные селекционные учреждения и профильные НИУ.

### Образцы местных сортов твердой пшеницы в коллекции ВИР

Коллекция генетических ресурсов пшеницы ВИР насчитывает 3633 образца местных сортов твердой пшеницы, в том числе 3325 зарубежных из 48 стран мира и 308 отечественных, собранных в 26 регионах России (табл. 1, 2).

### Местные сорта твердой пшеницы, собранные на территории бывшего СССР

В коллекции твердой пшеницы ВИР сохраняется 1146 образцов местных сортов, собранных на территории России, Азербайджана, Армении, Грузии, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана, Украины.

Местные сорта не отличаются разнообразием сортовых названий, и у большей части отсутствует какое-либо название. Четыре самых распространенных являются, по мнению авторов нескольких словарей, синонимами. Это Арнаутка, Белотурка, Гарновка и Кубанка. Существует несколько версий определения этих названий, приведенных в различных источниках.

Толковый словарь русского языка под редакцией Д. Н. Ушакова (Ushakov, 1935–1940) дает описание Арнаутки как сорта пшеницы с белым и твердым зерном, название которого происходит от имени «арнаут», «арнаутка» – турецкого названия жителей Албании ([https://enc.biblioclub.ru/Termin/1121816\\_ARNAUTKA](https://enc.biblioclub.ru/Termin/1121816_ARNAUTKA)). Толковый словарь В. И. Даля (Dal, 1863–1866a) так описывает Арнаутку: «...белотурка, вост. белая пшеница, чернотурка, ледянка, кубанка; порода пшеницы жесткой зерном, прочной и потому вывозимой за границу; пониже ее в продаже гирка или красная, еще ниже гарновка. Название, вероятно, дано от народа арнаут (албанцы), как называют в Турции также особый род войск, стражи из христиан...» (<https://slovardalja.net/word.php?wordid=514>).

В Энциклопедическом словаре Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона (Brockhaus, Efron, 1890–1907a, b) дается описание двух сортов: Белотурка – «...одна из разновидностей пшеницы арнаутки, известной на Волге, вместе с другой разновидностью, кубанкой, под общим названием перерода» (<https://rus-brokgauz-efron.slovaronline.com/13220-Белотурка>); Гарновка – «...желтоватая, беловатая, беловатая с черными усами или черноусая арнаутка – твердая пшеница, значительно превосходящая по своим

**Таблица 1. Географическое разнообразие и число зарубежных образцов местных сортов твердой пшеницы в коллекции ВИР****Table 1. Geographical diversity and number of foreign accessions of durum wheat landraces in the VIR collection**

Происхождение / Origin	ISO	Число образцов / Number of accessions	Происхождение / Origin	ISO	Число образцов / Number of accessions
<b>Европа / Europe</b>		<b>521, в т. ч.:</b>	<b>Ближний Восток / West Asia</b>		<b>1343, в т. ч.:</b>
Албания	ALB	15	Египет	EGY	29
Балканы	–	13	Йемен	YEM	5
Болгария	BGR	60	Израиль (Палестина)	ISR	229
Босния и Герцеговина	BIH	3	Иордания	JOR	31
Германия	DNK	13	Ирак	IRQ	2
Греция	GRC	55	Кипр	CYP	78
Греция, Крит (обл.)	GRC	7	Ливан	LBN	7
Греция, Родос (обл.)	GRC	14	Саудовская Аравия	SAU	1
Испания	ESP	71	Сирия	SYR	114
Италия	ITA	18	Турция	TUR	847
Италия, Сардиния	ITA	48	<b>Азия / Asia</b>		<b>463, в т. ч.:</b>
Италия, Сицилия	ITA	38	Афганистан	AFG	37
Мальта	MLT	3	Бирма	BIR	1
Молдова	MDA	41	Индия	IND	56
Португалия	PRT	70	Иран	IRN	110
Северная Македония	MKD	11	Казахстан	KAZ	151
Сербия	SRB	1	Китай	CHN	23
Украина	UKR	40	Кыргызстан	KIR	22
<b>Закавказье / Transcaucasia</b>		<b>549, в т. ч.:</b>	Монголия	MON	2
Азербайджан	AZE	489	Пакистан	PAK	26
Армения	ARM	25	Таджикистан	TJK	15
Грузия	GEO	35	Туркменистан	TKM	4
<b>Африка / Africa</b>		<b>441, в т. ч.:</b>	Узбекистан	UZB	16
Северная Африка	–	14	<b>Южная Америка / South America</b>		<b>8, в т. ч.:</b>
Алжир	DZA	203	Аргентина	ARG	1
Марокко	MAR	139	Боливия	BOL	2
Судан	SDN	2	Перу	PER	4
Тунис	TUN	71	Чили	CHL	1
Эфиопия	ETH	10			
ЮАР	ZAF	2			
<b>Всего / Total: 3325 образцов</b>					

**Таблица 2. Географическое разнообразие и число российских образцов местных сортов твердой пшеницы в коллекции ВИР**

**Table 2. Geographical diversity and number of Russian accessions of durum wheat landraces in the VIR collection**

Регион – донор / Donor region	Число образцов / Number of accessions	Регион – донор / Donor region	Число образцов / Number of accessions
Россия (Европейская часть)	16	Россия, Новосибирская обл.	2
Россия, Алтайский край	48	Россия, Омская обл.	1
Россия, Астраханская обл.	6	Россия, Оренбургская обл.	2
Россия, Бурятия	1	Россия, Приморский край	2
Россия, Волгоградская обл.	5	Россия, Ростовская обл.	26
Россия, Вологодская обл.	1	Россия, Самарская обл.	2
Россия, Воронежская обл.	1	Россия, Саратовская обл.	48
Россия, Дагестан	109	Россия, Ставропольский край	9
Россия, Краснодарский край	7	Россия, Татарстан	1
Россия, Красноярский край	3	Россия, Томская обл.	7
Россия, Курганская обл.	2	Россия, Челябинская обл.	1
Россия, Курская обл.	2	Россия, Чечня	1
Россия, Ленинградская обл.	1	Россия, Чувашия	1
Россия, Нижегородская обл.	1	<b>Всего / Total: 308 образцов</b>	

хозяйственным достоинствам мягкие сорта, созревает медленно, постепенно и потому не страдает от высыпания» (<https://rus-brokgauz-efron.slovaronline.com/31622-Гарновка>).

Кубанка – сорт твердой пшеницы, наиболее распространенный на территории Северного Кавказа. В Толковом словаре В. И. Даля (Dal, 1863-1866b) дано описание Кубанки: «...пшеница бело(черно)турка; арнаутка или ледянка» (<https://slovardalja.net/word.php?wordid=14269>). Сельскохозяйственный словарь-справочник (Geister, 1934) характеризует Кубанку как местный сорт яровой твердой пшеницы, который имеет желтый или светло-красный четырехгранный колос и такого же цвета ости. От Арнаутки отличается более длинным и рыхлым колосом. Зерно светло-желтое, длинное, стекловидное. Созревает позднее арнаутки, чаще подвергается запалу, что иногда снижает урожай (<https://rus-country-directory.slovaronline.com/1553-КУБАНКА>).

Определения названий этих сортов, приведенные в различных словарях, не дают какого-либо четкого различия между ними. Получается, что это действительно синонимы, отличающиеся только лексической окраской. По составу разновидностей они также малоразнообразны – преобладают формы с красным цветом колоса и белым (var. *hordeiforme* (Host) Koern.) или красным (var. *murciense* Koern.) цветом зерновок, встречаются черноколосые формы (var. *caerulescens* (Bayle-Barelle) Koern.).

В этом контексте представляет интерес идентификация одноименных сортов и сравнение всех четырех сортов-синонимов между собой. Нами была проведена дифференциация маркеров генотипов сортов с использованием электрофоретических спектров глинадина. Регистрация спектров в виде «белковых формул» позволяет оценивать полиморфизм каждого образца и разнообразие в пределах коллекции (Peneva, Lyapunova, 2021). В це-

лом показано, что старые местные сорта твердой пшеницы Арнаутка, Белотурка, Гарновка и Кубанка отличаются значительным генетическим разнообразием и представляют собой полиморфную группу образцов, которая включает как отдельные образцы с четко выраженной генетической структурой, обладающие ценными хозяйственными признаками и приспособленные к конкретным условиям, так и популяции с различным составом биотипов.

В таком случае для выделения наиболее ценных образцов из ряда сортов с одинаковым названием значение имеет не название сорта, а результаты агробиологического изучения.

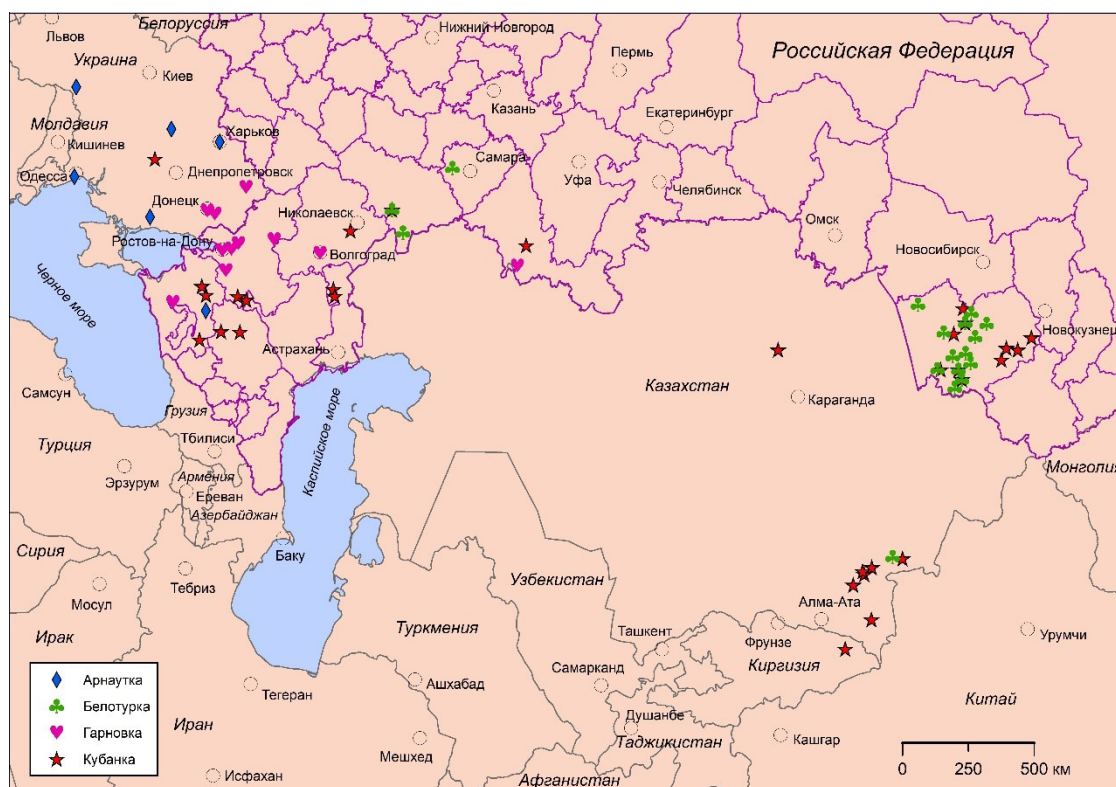
В коллекции твердой пшеницы ВИР зарегистрировано 95 образцов с такими названиями, собранных сотрудниками ВИР в 20–30-е годы прошлого века в различных регионах (рис. 1), в том числе:

- 7 образцов, имеющих название Арнаутка, собранных в Краснодарском крае, в Винницкой, Запорожской, Одесской, Полтавской и Харьковской областях Украины, поступивших из Бюро растениеводства Департамента сельского хозяйства США (USDA Bureau of Plant Industry), и Арнаутка Таганрогская, образец которой был передан в коллекцию в 1929 г. из музея Главного ботанического сада Ленинграда;

- 27 образцов сорта Белотурка, собранных в Алтайском крае, Самарской и Саратовской областях России и в Казахстане;

- 18 образцов сорта Гарновка, собранных в Волгоградской, Оренбургской, Ростовской и Саратовской областях России и на Украине;

- 37 образцов сорта Кубанка и 6 образцов с добавлением определения – Кубанка Черноколоска, Кубанка Черная, Кубанка Белая и Кубанка Ак-бидай (с казахского – белая пшеница), собранных в Алтайском, Краснодар-



**Рис. 1. Географическое распространение образцов местных сортов твердой пшеницы, собранных экспедициями ВИР на территории бывшего СССР**

**Fig. 1. Geographical distribution of durum wheat landraces collected by VIR's collecting missions across the ex-USSR territory**

ском и Ставропольском краях, Астраханской, Волгоградской, Новосибирской, Саратовской областях России, а также в Южном Казахстане и Киргизии.

Помимо этих названий, на территории России единично встречаются такие, как Гирка, Желтоколоска, Желтая Айдарка, Желтуха, Красотка Перерод, Русак, Синеколоска, Синеуска, Усатка, Черноколоска, Черноуска, Янтарка.

На территории Северного Кавказа, Закавказья, Центральной Азии пшеница имеет названия Ак-бугда (белая пшеница), Кара-бугда (кара – темный, черный), Каракылчик (кылчик – ость), Сары-бугда (желтая пшеница), Чал-будай (серая, седая пшеница – с кумыкского языка).

#### **Селекционная ценность российских местных сортов твердой пшеницы**

В начале XX века местные сорта твердой пшеницы были основными в производстве и обеспечении зерном российского юга и ряда зарубежных стран.

Большинство коммерческих сортов твердой пшеницы южно-российских фирм, продаваемых за границу в то время, носили название Арнаутка. Большая часть продукции из европейской части России экспортировалась через порт Таганрог на Азовском море в Италию и Францию. Таганрогская пшеница, фактически представляющая собой смесь различных местных сортов Дона и Приазовья, славилась своими макаронными качествами за рубежом, была самой дорогой на мировом рынке. Сорт получил название Арнаутка Таганрогская, или пшеница Таганрог. Паста из этой пшеницы экспортировалась из Италии через порты в Лигурийском море в Нью-Йорк как паста высочайшего качества (Pasta Taganrog).

Использование местных сортов в селекции в России и в ряде зарубежных стран началось с 20-х годов прошлого века и продолжалось до 70-х годов.

Сорта Арнаутка, Кубанка, Черноколоска, Гарновка и Белoturка с Кавказа и из Поволжья в основном возделывали в четырех регионах (с запада на восток): Нижний Дон, Среднее Поволжье, Южный Урал, Алтайский край.

Сорт Кубанка входит в родословные селекционных сортов, созданных на Кубанской опытной станции (Краснодарский край РФ) и Краснокутской селекционно-опытной станции (Саратовская обл. РФ), в Казахстане, Австралии, Польше, Франции и США (<http://www.wheatpedigree.net>). Наиболее перспективными из них были сорта Казахстана – 'Акмолинка 2' (к-39351, Шортандинская ГСС) и 'Уральская 16' (к-45171), Франции – 'Mon-dur' (к-56634) и 'Randur' (к-58246), США – 'Kubanka-8', 'Kubanka-75', 'Nodak' (к-25540), 'Acme' (к-6513).

#### **Местные сорта твердой пшеницы, собранные на территории Средиземноморских стран – основных производителей зерна культуры**

Твердую пшеницу выращивают в различных регионах мира, но основное ее производство сосредоточено в странах Средиземноморского бассейна – Италии, Алжире, Марокко, Тунисе, Сирии, Турции. Помимо них, основными производителями твердой пшеницы являются Канада и США. Эти страны обеспечивают около 2/3 мирового урожая культуры.

В Канаде и США нет местных сортов твердой пшеницы. Все сорта, выращиваемые в этих странах, получены с использованием исходного материала, импортирован-

ного из других частей мира, в том числе и из России (Арнautка, Кубанка) в 20-30-х годах прошлого века.

Местные сорта твердой пшеницы из стран Средиземноморья, сохраняемые в коллекции ВИР, были собраны Н. И. Вавиловым (1925–1926 гг.) или выписаны позже из National Small Grains Collection (NSGC) США посредством информационной сети генетических ресурсов (Germplasm Resources Information Network – GRIN), созданной в США в 1990-е годы. Среди них есть сорта, использованные местными селекционерами как генетически разнообразный исходный материал для создания новых сортов, направленных на увеличение производства и улучшение качества твердой пшеницы.

### Италия

В коллекции ВИР сохраняется 104 образца местных сортов твердой пшеницы из Италии, собранных Н. И. Вавиловым в 1926–1927 гг. в семи регионах страны и на островах Сицилия и Сардиния. Всего страна поделена на 20 автономных областей, включая эти острова (рис. 2). Маршрут экспедиции охватывал все регионы Италии с севера на юг, горные области и прибрежные зоны. Твердая пшеница была собрана в области Валле-д'Аоста (Valle d'Aosta), расположенной у подножия высшей точки Альп – Монблана (4810 м н. у. м.), в областях Тоскана (Toscana), Умбрия (Umbria), Марке (Marche), Базиликата (Basilicata), Калабрия (Calabria), Апулия (Puglia).

Всего встречается 22 сортовых названия: Acereale (к-20038), Biancuccia (к-27818), Bianco (к-19934), Calbigia (к-19935), Cannizzara (к-18544), Canu Bascia (к-20088), Carlantino (к-19332), Castel Sardo Siciliano (к-20102), Ceimilia (к-19339), Gentil Rosso Toscano (к-19328), Decimomanna (к-20148), Farro Corto (к-26244), Martinella (к-20052), Murru (к-20129), Murru Bascum (к-19936), Realforte (к-19330), Rosso (к-20154), Russello (к-21807), Saragolla (к-

18540), Stornara (к-25832), Timilia (к-26243), Trigu Canu (к-20100).

### Сицилия

Большой вклад в использование и сохранение местных сортов внесли ученые Италии, в особенности Сицилии, где твердая пшеница является приоритетной зерновой культурой для исследования и создания новых сортов. Среди местных твердых пшениц Италии наибольшее внимание заслуживают четыре сорта из Сицилии, которые были включены в родословные первых успешных коммерческих сортов твердой пшеницы (рис. 3).

**Timilia**, или Tumminia, – сорт твердой пшеницы, которому более 2500 лет, очень ценный сорт, типичен для региона Энны (Enna). Timilia, или “grano marzuolo” (мартовская пшеница), ранее называвшаяся Tuminia Nigra. Эта пшеница уже в греческие времена на Сицилии была известна как тримения (τρεῖς μηναιός) – трехмесячная. Vegetационный период этого сорта составляет всего три месяца, что позволяло использовать его в дождливые годы при позднем посеве. Timilia и сегодня ценится за высокую урожайность и силу муки, но из-за очень темного цвета муки ее коммерческая ценность мала. Однако из нее делают черный хлеб – круглый каравай, называемый в Сицилии “vastedda”. Традиционно к крупке из твердой пшеницы добавляют часть муки «тимилии», что обуславливает более длительный срок хранения хлеба.

Путем отбора из него были созданы два сорта с красным цветом зерновок: ‘Timilia S.G.1’ a reste nere – с черными остями (var. *reichenbachii* Koern.), ‘Timilia S.G.2’ a reste bianche – с белыми (var. *affine* Koern.) (De Cillis, 1964). Оба сорта есть в коллекции ВИР под номерами к-44754 и к-44755 соответственно.

Timilia и три других сорта (Biancuccia, Trentino и Russello) использовались при создании новых сортов твер-



Рис. 2. Области Италии

Fig. 2. Regions of Italy



TIMILIA

BIANCUCCIA

TRENTINO

RUSSELLO

**Рис. 3. Старые местные итальянские сорта, вошедшие в родословные современных сортов****Fig. 3. Italian landraces that participated in the pedigrees of modern cultivars**

дой пшеницы на протяжении более 70 лет начиная с 1930-х годов. Их созданием занимались селекционеры Экспериментальной станции зерновых культур на Сицилии (Катания) (La Stazione Sperimentale di Granicoltura per la Sicilia) во главе с директором станции профессором Уго Де Чиллис (Ugo De Cillis). Его монография «Пшеницы Сицилии» (De Cillis, 1942) рассказывает о работах станции, направленных на сохранение ценных растительных ресурсов – наследия Сицилии и «всего человечества». Он отмечал, что местные сорта – это не только генетическая, но и историческая, культурная и социальная ценность. Они должны быть идентифицированы, оценены, сохранены и использованы.

В естественной сицилийской популяции сотрудники станции выполнили отборы многих чистых линий, которые использовали для скрещиваний как лучшие родительские формы (табл. 3).

В результате на станции в разные годы были созданы следующие сорта твердой пшеницы: в 1930-е годы – ‘Russello SG7’ (к-44746), ‘Timilia SG1’ и ‘Timilia SG2’ (внутрипопуляционная селекция); в 1940-е – ‘Timilia SG3’ и ‘Duro SG3’ (к-44760) (VL Biancuccia × Timilia); в 1960-е – ‘Casale 92’ (к-44723), ‘Vera 63’ (к-44722), ‘Galatea 9’ (к-45283), ‘Patrizio 6’ (к-44758), ‘Capeiti 8’ (к-44757) и ‘Ciclope 66’ (к-45284); в 1980-е – ‘Simeto’ (к-66535), ‘Alcantara’ и ‘Platani’ (к-66589); в 2000-е – ‘Tumminia SG3’ и ‘Russello SG8’ (внутрипопуляционная селекция).

Все эти сорта входят в состав 27 древних сицилийских сортов, зарегистрированных в национальном реестре охраняемых сортов Италии (Registro Nazionale delle Varietà Protette d'Italia). Они также включены в каталог 32 сортов твердой пшеницы, которые в 1973 г. были собраны со всей территории Сицилии с целью сохранения ценного сицилийского ресурса (Perrino, Hammer, 1983). Большинство из них является частью коллекции твердой пшеницы ВИР.

Следует отметить, что в Италии древними (grani antichi) называют все сорта пшеницы, которые выращивались до того, как селекционеры начали создавать сорта для промышленных целей, начиная примерно с 1970-х годов. Сегодня итальянские потребители считают, что у современных сортов вкус и аромат практически исчезли из критериев отбора в связи с использованием очень рафинированной муки, что современные сорта несут ответственность за распространение целиакии и непереносимости пшеницы, и ценят старые местные сорта за то, что они раздражают кишечник меньше, чем современные (Lusiani, 2020).

В настоящее время Экспериментальная станция зерновых культур расположена в небольшой деревне Санто-Пьетро вблизи Кальтаджироне (Santo Pietro fraz. di Caltagirone).

Сегодня, когда актуальным является вопрос сохранения и использования старых местных сортов, нужно упо-

**Таблица 3. Список скрещиваний с использованием чистых линий твердой пшеницы, отобранных на Экспериментальной станции зерновых культур на Сицилии****Table 3. List of crosses with pure lines of durum wheat selected at the Cereal Experimental Station in Sicily**

Скрещивание / Cross		
Timilia × Regina	Eiti 6 × Timilia	Sueda × Biancuccia
Timilia × Biancuccia	Bidi × Timilia	Bidi × Trentino
Timilia × Urria	Bidi × Biancuccia	Russello × Eiti 6
		Russello × Bidi

Примечание: Bidi – тунисский местный сорт; Eiti (Eti) – местный сорт из Палестины

Note: Bidi is a Tunisian landrace; Eiti (Eti) is a landrace from Palestine

мануть о значительной работе сотрудников станции – книге «Древние сицилийские зерна», ставшей первым техническим руководством по распознаванию местных сортов сицилийской пшеницы. В ней сделана попытка построить мост между традициями прошлого и вызовами будущего (Venora, Blangiforti, 2017).

Несколько слов нужно также сказать о самом известном в истории селекции Италии сорте твердой пшеницы 'Senatore Cappelli' (к-18510), созданном в 1915 г. выдающимся итальянским генетиком Назарено Стрампелли (Nazareno Strampelli). Сорт, полученный генеалогическим отбором из местного тунисского сорта Jenah Rhetifah, с хорошими адаптивными свойствами, пригодный для приготовления макарон, был выпущен в производство в 1923 г. 'Senatore Cappelli' имел успех среди итальянских фермеров благодаря своей широкой адаптивности, неприхотливости к бедным глинистым почвам, отличным питательным качествам и высокой белковой ценности. В Апулии эти характеристики обеспечили сорту прозвище «мясо бедных» (carne dei poveri). В Национальном реестре культивируемых видов и сортов Италии 'Senatore Cappelli' был еще в 1981 г., спустя почти 70 лет после начала его выращивания, и возделывался на протяжении 90 лет (Deidda et al., 2001; Bressanini, 2010).

#### Северная Африка

Заметный вклад в создание коммерческих сортов в средиземноморских европейских странах внесли местные сорта Северной Африки – Алжира, Туниса и Марокко (рис. 4). Некоторые названия сортов встречаются в Алжире и в Тунисе, тогда как в Марокко они отсутствуют.

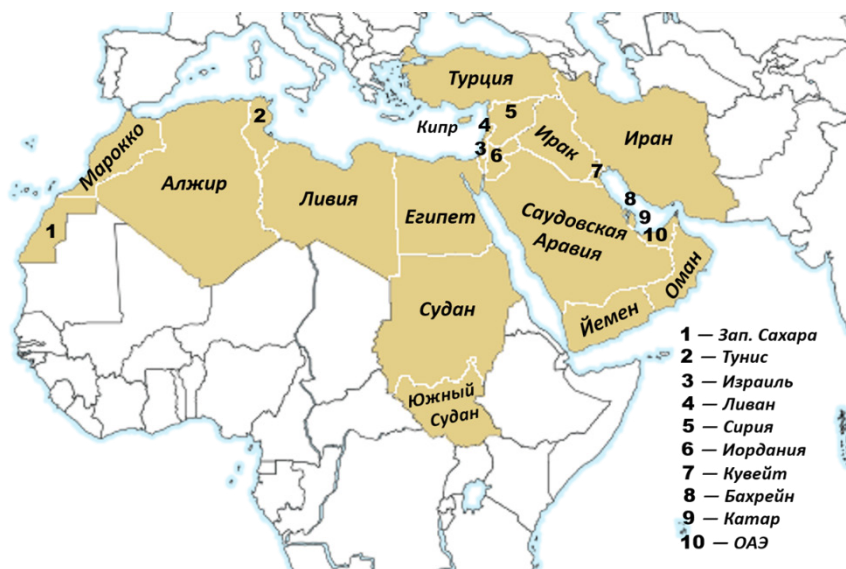


Рис. 4. Карта Северной Африки и Ближнего Востока

Fig. 4. Map of North Africa and West Asia

#### Алжир

В коллекции ВИР насчитывается 203 образца местных сортов твердой пшеницы из Алжира, собранных в 12 провинциях страны. Всего территория Алжира делится на 48 провинций (вилайев). Из 35 названий, встречающихся среди образцов коллекции ВИР, наиболее известны местные сорта Achad (к-16293), Adjini (к-16236), Azizi (к-16290), Beloui (к-5411), Erdzen (к-16238), Hedba (к-16127), Namra (к-16289), Mahmoudi (к-5312), Mahon (к-16160), Merouani (к-16301), Medeah (к-1635), Rieti (к-

16311), Setif (к-16150), Zedouni (к-16355). Они были использованы для создания селекционных линий во Франции на станции в Монпелье (Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier, Ecole Nationale d'Agriculture). Алжир входит в число основных производителей твердой пшеницы в мире. В Оране (Oran), городе-порте на средиземноморском побережье Алжира, находится одна из крупных мировых компаний – производителей и поставщиков изделий из твердой пшеницы – BELKADI TOUFIK.

Разновидностный состав очень разнообразный. Большая часть разновидностей *Triticum durum* Desf. var. *durum* – бело- и краснозерные, с неопушенными и опушенными колосковыми чешуями белого и красного цвета, бело-, красно- и черноостые, безостые, встречаются компактные и фалькатные разновидности. Познакомиться с внутривидовым разнообразием твердой пшеницы можно в одноименной монографии (Lyapunova, 2022).

#### Тунис

В Тунисе твердая пшеница занимает более полумиллиона гектаров, что составляет 87% пшеничных угодий в стране.

Тунис, являющийся частью вторичного центра разнообразия твердой пшеницы, богат местными сортами. Здесь до сих пор возделывают староместные сорта широкого генетического разнообразия, что позволяет использовать этот потенциал при решении возникающих проблем при выращивании твердой пшеницы. Сегодня одной из таких проблем в Тунисе является распространение желтой пятнистости – пиренофороза (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler, при эпифитотийном раз-

витии которой высок риск потери урожайности до 50%. Качество зерна ухудшается из-за образования красных или розовых пятен, особенно у твердой пшеницы. Этому способствовало широкое применение в 1970-х годах способа нулевой обработки почвы, когда сохраняется стерня, являющаяся переносчиком патогенных грибов.

Возросшая распространенность болезни побудила ученых Туниса, совместно с коллегами из Мексики, к поискам новых источников устойчивости у местных сортов, которые представляют собой важную группу генетиче-

ских ресурсов для улучшения коммерчески ценных признаков. Несколько исследований с использованием морфологических, физиологических и агрономических признаков показали, что генетически разнообразная местная гермоплазма, хорошо адаптированная к условиям окружающей среды, может рассматриваться как важный резервуар полезных генов для использования в программах селекции пшеницы, в том числе на устойчивость к пириенфорозу. Соответственно, идентификация генотипов местной пшеницы, которые имеют новые гены устойчивости и дают хорошие урожаи в широком диапазоне климатических условий, имеет большое значение (Robbana et al., 2019).

В коллекции ВИР насчитывается 71 образец местных сортов твердой пшеницы, собранных в пяти провинциях Туниса. Всего в Тунисе 24 провинции, разделенные в свою очередь на 264 округа. Среди них есть сорта с тем же названием, что и в Алжире (Adjini, Azizi, Mahmoudi), и сорта с названиями, характерными только для Туниса – Bidì (к-5336), Biskri (к-16306), Derbessi (к-53165), Hmira (к-53817), Jenah Retifah (к-16543), Karim (к-62689), Medeah (к-5426), Mekki (к-53153), Sourì (к-53170). Как мы уже отмечали, местный тунисский сорт Jenah Retifah (к-16543), привезенный в 1926 г. Н. И. Вавиловым из El-Ariana Service Botanique de Tunisie, является родоначальником известного итальянского сорта 'Senatore Cappelli' с хорошими адаптивными свойствами. Среди разновидностей преимущественно встречаются тунисские сорта с неопушенными и опушенными колосковыми чешуями белого, красного и черного цвета с черными осями: var. *alboprovinciale* Flaksb., var. *apulicum* Koern., var. *caerulescens*, var. *erythromelan* Koern., var. *leucomelan* (Alef.) Koern., var. *melanopus* (Alef.) Koern.

### Марокко

В последние годы ученые Марокко, как и ученые других стран, озабочены проблемой генетической эрозии исходного материала и с большим вниманием рассматривают вопрос использования местных сортов. Они обратились к традиционным агросистемам, управляемым мелкими фермерами, которые являются результатом исторических и современных процессов, взаимодействующих на различных территориях. В селекционных целях они начали исследовать сложности этих процессов вместо простого описания разнообразия. Так, исследователи института агрономии и ветеринарии в Рабате (Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II) провели эксперименты по фенотипированию и генотипированию большого набора местных сортов двух традиционных агросистем Марокко – регионов Прериф и Атласских гор. Результаты показали высокую фенотипическую изменчивость по признакам, указывающим на таксономическое положение и селекционный статус, и относительно ограниченное генетическое разнообразие, оцененное с использованием 14 микросателлитных маркеров. Основной вывод данной работы – необходимы дальнейшие междисциплинарные исследования в различных регионах страны, чтобы лучше понять и использовать эти сложные агросистемы, имеющие неопределимое значение для продовольственной безопасности страны (Sarhi et al., 2014).

В коллекции ВИР насчитывается 139 образцов местных сортов твердой пшеницы, собранных в 17 прибрежных и горных провинциях Марокко. Всего в стране 14 областей, разделенных на 52 административных единицы – префектуры и провинции (вилайеты). Среди образ-

цов встречается всего 8 сортовых названий – Fetz (к-53846), H'mat (к-53848), Korifla (к-53849), Maizza (к-53851), Metna (к-53855), Saada (к-53856), Tafardest (к-53858), Zreah (к-53864). Названия остальных неизвестны. Однако велико разнообразие местных твердых пшениц Марокко, которое Н. И. Вавилов назвал «царством средиземноморских твердых пшениц» (Vavilov, 1987). Встречаются разновидности основной группы *T. durum* со var. *durum* преимущественно с опушенными колосковыми чешуями белого и красного цвета с черными осями (var. *apulicum*, var. *melanopus* и большое разнообразие разновидностей с серповидным (фалькатным) зерном – var. *falcatafricanum* Dorof. et A. Filat., var. *falcataerulescens* Lyapun., var. *falcatileucomelan* Dorof. et A. Filat., var. *falcatilemelanopus* Jakubcz. et A. Filat.).

### Ближний Восток

Ближним Востоком называют территории на юго-западе Азии и северо-востоке Африки. Там расположены Египет, Судан, Бахрейн, Израиль, Иордания, Ирак, Йемен, Катар, Кипр, Кувейт, Ливан, ОАЭ, Оман, Саудовская Аравия, Сирия, Турция, Палестинская национальная автономия (см. рис. 4). В коллекции ВИР сохраняется 1343 образца твердой пшеницы, собранные на территории ряда стран Ближнего Востока (см. табл. 1).

Самым распространенным видом пшеницы на всем Ближнем Востоке изначально была пшеница эммер (полба, культурная двузернянка) (Zohary, Hopf, 2000), так как она хорошо росла в теплом климате и была устойчива к грибковым болезням. Это высокоурожайная пшеница, с крупными зернами и относительно большим количеством глютена, что делает хлеб, приготовленный из ее муки, довольно легким по текстуре. Однако эммер требовал длительной обработки, поскольку его зерновки покрыты пленками, плотно их обхватывающими. В железный век (IX–VII века до н. э. – I век н. э.) твердая пшеница постепенно заменила эммер и стала излюбленным зерном для приготовления муки высшего сорта. Она хорошо росла на богатой почве больших долин центральных и северных районов современного Израиля, где количество осадков превышало 225 миллиметров в год, была более урожайной, чем эммер, и имела легкий обмолот (Borowski, 1987). Но и тут были проблемы с трудоемким измельчением слишком твердого зерна (с латинского «durum» – твердый) с помощью ранних ручных жерновов, и твердую пшеницу использовали как крупу для каш. Для выпечки хлеба продолжали пользоваться ячменной мукой (зерно ячменя было самым значимым еще с библейских времен), а затем и распространившейся в греко-римский период мягкой пшеницей (*T. aestivum* L.) (Ancient Israelite cuisine..., 2021).

Сегодня твердая пшеница – преобладающая пшеница на Ближнем Востоке. В коллекции ВИР сохраняются местные сорта твердой пшеницы (1019 образцов) из таких стран этого региона, как Израиль (Палестина), Иордания, Ирак, Йемен, Кипр, Ливан, Сирия и Турция. Возделыванием твердой пшеницы в производственных масштабах занимались Сирия и Турция, входившие в число стран, обеспечивающих около 2/3 мирового урожая твердой пшеницы (Belaid, 2000).

### Сирия

Сирия до 2011 г., когда в стране началась гражданская война, была одним из самых крупных сельскохозяйственных источников твердой пшеницы в мире. Италия, известная своими макаронными изделиями, десятилетия-



## Турция

Турция всегда входила в тройку мировых лидеров по площади посевов твердой пшеницы, превышающей 2 млн га, и занимала первое место в течение нескольких сезонов 1970-х годов. В 1980-х годах площадь посевов сократилась до 1,5 млн га, а в настоящее время она колеблется от 1,1 до 1,2 млн га, что составляет около 16% от общей площади пшеницы в стране и почти 10% посевных площадей твердой пшеницы в мире. Для Турции всегда было характерным большое разнообразие местных сортов твердой пшеницы, что связано с длительной историей их использования местными фермерами, которая продолжается и в настоящее время. Например, сорт *Sorgül* (к-46470), известный как древнейшая твердая пшеница Месопотамии, попал в проект ФАО под названием «От почвы к тарелке; живая почва, местные семена» (From Soil to Plate; Living Soil, Local Seed) и выращивается на равнине провинции Мардин (Mardin) (Domestic wheat 'Sorgül'..., 2018). Название «Sorgül» означает «красная роза» и происходит от янтарно-красного цвета колоса, а сам колос имеет компактную форму (*var. pseudohordeiforme* Flaksb.).

Турция делится на 81 провинцию (иль), каждый иль подразделяется на районы (ильче), всего насчитывается 923 района. Неофициально, в статистических целях или сгруппированы в семь географических регионов (что не является административным делением): Эгейский регион (Ege Bölgesi), Черноморский регион (Karadeniz Bölgesi), регион Центральная Анатолия (İç Anadolu Bölgesi), регион Восточная Анатолия (Doğu Anadolu Bölgesi), Мраморноморский регион (Marmara Bölgesi), Средиземноморский регион (Akdeniz Bölgesi), регион Юго-Восточная Анатолия (Güney Doğu Anadolu Bölgesi) (рис. 6).

Твердая пшеница выращивается преимущественно в Центральной Анатолии. Благодаря высокому содержанию протеина и глютена она идеально подходит для приготовления макарон и ароматного хлеба. Из нее готовят манты (турецкие пельмени), кысыр (салат из булгура и пшеницы) и пиде (турецкие лепешки). Пшеница (мягкая и твердая) является одним из самых ценных сельскохозяйственных экспортных товаров страны. Используя силу своих плодородных земель, Турция

зарекомендовала себя как ключевой игрок на мировом рынке пшеницы.

В коллекции ВИР насчитывается 847 образцов местных сортов твердой пшеницы, собранных в Турции. Первые образцы местных турецких сортов включены в коллекцию в 1927 г. Это были экспедиционные сборы П. М. Жуковского в 1925–1927 гг. на территории всех 57 провинций, на которые была разделена Турция в то время. Сегодня в коллекции сохраняется 286 образцов этих сборов. Среди них встречается всего 13 сортовых названий: Ак-башак (к-21153), Буруса (к-20890), Еры-бугдай (к-20911), Зерун-бугдай (к-21015), Кара-бугдай (к-20903), Кара-кылчик (к-21103), Махлюд (к-21138), Сары-бугдай (к-16082), Секиль-бугдай (к-16066), Угумет (к-21102), Ходжа-бугдай (к-21108), Чол-бугдай (к-21077), Яйля-бугдай (к-16067), где «бугдай» (*buğday*) означает «пшеничный» (бугда – пшеница), а основное название – чаще всего определение того или иного признака. Так, например, мы уже отмечали, что «ак» – белый, «кара» – черный, «кылчик» – ость (остистый). В 1967 г. заведующий отделом пшеницы ВИР, профессор В. Ф. Дорофеев привез три местных сорта твердой пшеницы, переданные ему сотрудниками Университета Анкары (Ankara Üniversitesi) – *Sorgül* (к-46470), *Rus Bugdayı* (к-46546), *Karakilcik* (к-46560). В 1968 г. профессор Р. А. Удачин привез из Австралийской коллекции озимых зерновых (Australian Winter Cereals Collection, Tamworth) 220 образцов турецких местных сортов твердой пшеницы, имеющих около 120 названий. Интересно отметить, что в названиях некоторых сортов отражены особенности муки из твердой пшеницы: *Sari Bugday* (к-50366) – желтая пшеничная, *Sert Bugday* (к-49990) – упругая пшеничная. Сведений о том, кем, когда и в каких провинциях Турции были собраны эти образцы твердой пшеницы, нет.

Разновидностный состав не очень разнообразен, в основном это неопушенные белозерные разновидности с белым и красным цветом колосковой чешуи и, соответственно, белыми и красными остями (*var. leucurum* (Alef.) Koern. и *var. hordeiforme*). Встречаются краснозерные разновидности (*var. affine*, *var. reichenbachii*) и разновидности с опушенными колосковыми чешуями (*var. libycum* Koern., *var. melanopus*).



Рис. 6. Карта географических регионов Турции, 2023 г.

Fig. 6. Map of geographical regions in Turkey, 2023

### Израиль (Палестина)

Местные сорта твердой пшеницы, считающиеся сегодня сортами израильского происхождения, были собраны экспедициями Н. И. Вавилова и В. В. Марковича в 1926 г. в Подмандатной Палестине – административно-территориальной единице, созданной на территории исторической Палестины (Филастин – арабский, Филистия – иврит) и находившейся в 1922–1948 гг. под управлением Великобритании в рамках мандата Лиги Наций. Границы области примерно охватывали территорию современных сектора Газа, Израиля, Голанских высот, Западного берега реки Иордан, части Ливана и Сирии на побережье Средиземного моря (рис. 7).

subsp. *horanicum*) – var. *horanaffine*, var. *horanoleucurum*, var. *horanomelanopus*.

Благодаря разнообразию земель и климата Израиль может выращивать широкий спектр сельскохозяйственной продукции. Зерновые культуры, культивируемые в стране, включают мягкую и твердую пшеницу. Но по объему производства Израиль не входит в число крупных производителей этих культур.

Сборы экспедиций Н. И. Вавилова 1926–1927 гг. показывают наличие местных сортов твердой пшеницы в **Иордании** и на **Кипре**. Сельское хозяйство в обеих странах являлось традиционным сектором экономики.



Рис. 7. Карта Палестины до 1947 г.

Fig. 7. Map of Palestine before 1947

Маршруты экспедиций проходили практически по всей территории Палестины. В коллекции сохраняется 229 образцов местных сортов твердой пшеницы, собранных самими экспедициями и переданных сотрудниками опытных станций в Яффе и Тель-Кераме (Tel Keram, Samaria). Сорта достаточно разнообразны по названию, всего их 50. Часто встречающиеся в разных местах сбора названия – Abou-Fachi (к-17316), Eiti (к-17334), Naurani (к-17338), Kalif (к-17349), Maghrabi (к-17350), Mrari (к-17351), Mughari (к-17354), Nursi (к-17360), Rieti (к-17377).

Разновидностный состав включает практически все основные разновидности *T. durum* convar. *durum*: неопушенные белозерные (var. *leucurum*, var. *leucomelan*, var. *erythromelan*, var. *provinciale* (Alef.) Koern.) и разновидности с красным зерном (var. *affine*, var. *reichenbachii*, var. *murciense*); разновидности с опушенной колосковой чешуей – белозерные (var. *melanopus*, var. *apulicum*, var. *caerulescens*) и краснозерные (var. *africanum* Koern., var. *niloticum* Koern.). Встречаются разновидности с серповидным зерном – var. *falcatafricanum*, var. *falcatimelanopus* – и разновидности хоранского подвида (*T. durum*

Зерновые культуры составляли значительную часть производства. Но сегодня оно не удовлетворяет потребностей страны в продовольствии и нет сведений о том, есть ли в посевах этих стран твердая пшеница. Тем не менее надо сказать о вкладе этих территорий в разнообразие местных сортов твердой пшеницы.

### Иордания

Местные сорта Иордании собраны Н. И. Вавиловым в 1926–1927 гг. В то время существовал Эмират Транс-иордания, который был британским протекторатом, созданным в 1921 г. и оставался таковым до достижения формальной независимости в 1946 г., когда его официальным названием стало «Иорданское Хашимитское Королевство».

В коллекции ВИР сохраняется 31 образец местных сортов твердой пшеницы, собранных в шести из 12 провинций (мухафаз) Иордании – Аммане (Amman), Джараше (Jerash), Ирбиде (Irbid), Мадабае (Madaba), Эз-Заркае (Zarqa), Эль-Караке (Kerak) (рис. 8).

Разновидностный состав малоразнообразный, в основном это белозерные белоколосые (var. *horanoleucu-*

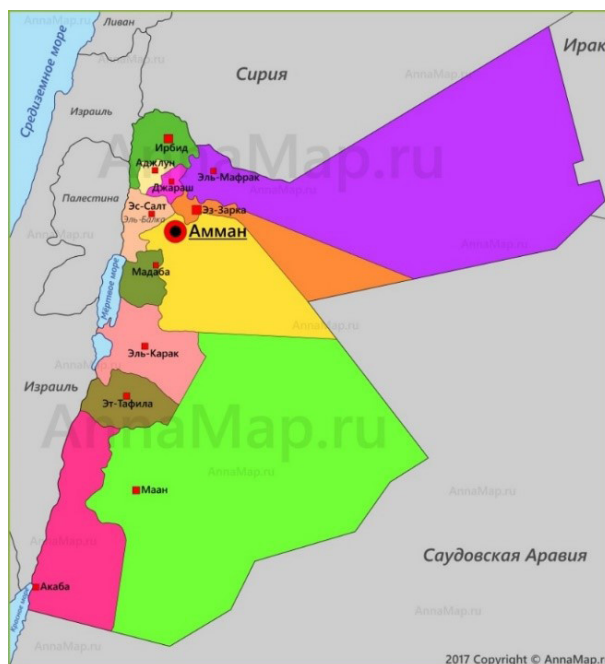


Рис. 8. Провинции Иордании

Fig. 8. Governorates of Jordan

rum) и красноколосые (var. *horanohordeiforme*) сорта хоранского подвида. И только сорта, собранные на восточном берегу Мертвого моря, в самой низкой точке земного шара (400 м ниже уровня моря), имеют черные остии и сильно опушенный белый колос (var. *melanopus*). Названия иорданских сортов не приведены в регистрационных книгах.

### Кипр

Местные сорта Кипра также были собраны Н. И. Вавиловым в 1926–1927 гг. В то время Кипр был королевской колонией Великобритании, которая в 1925 г. провозгласила Британский Кипр. Это название сохранялось до 1960 г. В 1983 г. территория, контролируемая киприотами-турками с 1974 г., провозгласила себя Турецкой Республикой Северного Кипра, признанной только Турцией (рис. 9).

В коллекции сохраняется 78 образцов местных сортов твердой пшеницы Кипра, переданных Департаментом сельского хозяйства в Никосии (Department of Agriculture, Nicosia) и собранных в районах (епархиях) на всей территории острова. Большая часть из них собрана на плодородных землях долины Месаория (Mesaoria), расположенной в северной части острова, в нынешних районах Фамагуста и Никосия, а также на юго-востоке в районе Ларнака и юго-западе в районе Пафос. Несколько сортов (к-17859, к-17860, к-17861) с названием Курегунда с опушенным белым колосом с черными остиями (var. *melanopus*) было собрано в горном Кипре в районе Лимассол около знаменитой деревни Киперунда, построенной у подножья горной вершины Мадари, являющейся частью горного хребта Троодос. Киперунда расположена на высоте 1140 м н. у. м. Она была основана в византийский период и получила свое название от расте-



Рис. 9. Карта острова Кипр, 2023

Fig. 9. Map of Cyprus, 2023

ния *Cyperus rotundus* L. (сыть круглая). К этому хребту относится самая высокая точка Кипра – гора Олимп (1952 м н. у. м.).

Среди местных сортов твердой пшеницы, собранных на Кипре, насчитывается 17 названий – Кипрос-бугдай (к-21117), Ashia (к-17897), Asprotheri (к-21348), Akathiotiko (к-21349), Griniotico (к-17884), Kambouriko (к-17776), Kyperounda (к-17775), Macro-konkior Macri (к-17851), Mavrokoutzoulo (к-17769), Mavrotheri (к-17778), Mavrovroullos (к-17769), Panaitico (к-17770), Pellositaro (к-17770), Psathas (к-17772), Sitchan (к-17773), Tripolitico (к-17865), Vroullos (к-17841). Разновидностный состав очень разнообразный. Помимо разновидностей основной группы *T. durum* convar. *durum* – неопушенные белозерные (var. *leucurum*, var. *leucomelan*, var. *hordeiforme*, var. *erythromelan*) и краснозерные (var. *affine*, var. *reichenbachii*, var. *murciense*), опушенные белозерные (var. *melanopus*, var. *boeufii* Flaksb.) с колосковыми чешуями белого и красного цвета, бело-, красно- и черноостые, встречаются компактные (var. *alexandrinum* Koern., var. *aydiniense* (Haciz.), Gökg., var. *pseudohordeiforme*, var. *pseudoalbiprovinciale* Flaksb. et Schreib., var. *pseudomelanopus* Flaksb.), фалькатные (var. *falcatafricanum*) и безлигульные (var. *aglossicon* Flaksb.) разновидности.

### Заключение

Данный обзор местных сортов твердой пшеницы, произрастающих на территориях стран с подходящими для этой требовательной культуры условиями, показывает их большое разнообразие и несомненный вклад в создание коммерческих сортов как на региональном, так и на межрегиональном уровнях. Сегодня возрастает потребность ряда стран в возобновлении его изучения и использования.

Проведенные на полях исследовательской станции Тель-Хадья Международного центра сельскохозяйственных исследований в засушливых регионах (ICARDA, Сирия) в полевых сезонах 1999–2000 и 2000–2001 гг. агробиологические и морфологические изучения местных сортов твердой пшеницы Средиземноморья из коллекции ВИР показывают их большое разнообразие по морфологическим признакам и несомненную ценность отдельных сортов, обладающих теми или иными важными хозяйственными признаками (Lyapunova, 2018). Это еще раз подтверждает уникальность местных сортов и необходимость вернуться к их использованию в селекции в связи с генетической эрозией исходного материала для селекции, неполной реализацией их ценных признаков, но с привлечением новых инновационных методов.

### References / Литература

- Ancient Israelite cuisine. Wikipedia, the free encyclopedia: [website]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ancient\\_Israelite\\_cuisine](https://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Israelite_cuisine) [accessed Jan. 11, 2024].
- Belaid A. Durum wheat in WANA: Production, trade, and gains from technological change. In: C. Royo, M. Nachit, N. Di Fonzo, J.L. Araus (eds). *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Vol. 40*. Zaragoza: CIHEAM; 2000. p.35-49.
- Borowski O. Agriculture in Iron Age Israel: the evidence from archaeology and the Bible, XXII. Winona Lake, IN: Eisenbrauns; 1987.
- Bressanini D. Il Senatore Cappelli e gli altri grani di Nazareno Strampelli. Le Scienze; 2010. [in Italian] Available

- from: <https://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2010/03/22/il-senatore-cappelli-e-gli-altri-grani-di-nazareno-strampelli/> [accessed Dec. 02, 2019].
- Brockhaus F.A., Efron I.A. Encyclopedic dictionary (Entsiklopedicheskiy slovar). St. Petersburg: Semenovskaya Tipolitografiya; 1890-1907a. [in Russian] (Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. Санкт-Петербург: Семеновская Типолитография; 1890-1907a). URL: <https://rus-brokgauz-efron.slovaronline.com/13220-Белотурка> [дата обращения: 17.05.2023].
- Brockhaus F.A., Efron I.A. Encyclopedic dictionary (Entsiklopedicheskiy slovar). St. Petersburg: Semenovskaya Tipolitografiya; 1890-1907b. [in Russian] (Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. Санкт-Петербург: Семеновская Типолитография; 1890-1907b). URL: <https://rus-brokgauz-efron.slovaronline.com/31622-Гарновка> [дата обращения: 17.05.2023].
- Dal V.I. Glossary of the live Great Russian language by Vladimir Dal (Tolkovy slovar zhivogo velikorusskogo yazyka Vladimira Dala). St. Petersburg; Moscow; 1863-1866a. [in Russian] (Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка Владимира Даля. Санкт-Петербург; Москва; 1863-1866a). URL: <https://slovardalja.net/word.php?wordid=514> [дата обращения: 17.05.2023].
- Dal V.I. Glossary of the live Great Russian language by Vladimir Dal (Tolkovy slovar zhivogo velikorusskogo yazyka Vladimira Dala). St. Petersburg; Moscow; 1863-1866b. [in Russian] (Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка Владимира Даля. Санкт-Петербург; Москва; 1863-1866b). URL: <https://slovardalja.net/word.php?wordid=14269> [дата обращения: 17.05.2023].
- De Cillis U. I frumenti siciliani. Catania: Stazione Sperimentale di Granicoltura per la Sicilia; 1942. [in Italian] Available from: <https://storiaduepuntozero.wordpress.com/2011/09/20/i-frumenti-siciliani/> [accessed Sept. 23, 2019].
- Deidda M., Motzo R., Giunta F., Fois S. Evoluzione varietale e qualità in frumento duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*): dalle vecchie popolazioni alle attuali cultivar. Sassari: Università degli Studi di Sassari; 2001. [in Italian]
- Domestic wheat 'sorgül' meets the soil in Mardin. MILLER Refereed: World Milling and Pulses Technologies Refereed Magazine; 2018. Available from: <https://millermagazine.com/blog/domestic-wheat-sorgul-meets-the-soil-in-mardin-2581> [accessed Dec. 11, 2023].
- Geister A.I. (ed.). Agricultural glossary and reference directory (Selskokhozyaystvenny slovar-spravochnik). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1934. [in Russian] (Сельскохозяйственный словарь-справочник / под ред. А.И. Гайстера. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1934). URL: <https://rus-country-directory.slovaronline.com/1553-КУБАНКА> [дата обращения: 17.05.2023].
- GRIS. Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale: [website]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net> [accessed Sept. 23, 2019].
- Lusiani M. Che cosa sono i grani antichi. AmoreTerra Magazine; 2020. [in Italian] Available from: <https://www.amoretterra.com/magazine/it-IT/articolo/grani-antichi-che-cosa-sono> [accessed Jan. 19, 2024].
- Lyapunova O.A. Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). St. Petersburg: VIR; 2022. [in Russian] (Ляпунова О.А. Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). Санкт-Петербург: ВИР; 2022). DOI: 10.30901/978-5-907145-81-8
- Lyapunova O.A. Mediterranean landraces of durum wheat preserved in the Vavilov collection (VIR). *Proceedings on*

- Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):68-84. [in Russian] (Ляпунова О.А. Средиземноморские староместные сорта твердой пшеницы, сохраняемые в коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):68-84). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-68-84
- Peneva T.I., Lyapunova O.A. Electrophoretic patterns of gliadin as markers of genotypes in the analysis of the durum wheat landrace Kubanka. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):127-135. [in Russian] (Пенева Т.И., Ляпунова О.А. Электрофоретические спектры глиаина как маркеры генотипов в анализе староместного сорта твердой пшеницы Кубанка. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):127-135). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-127-135
- Perrino P., Hammer K. Sicilian wheat varieties. *Die Kulturpflanze*. 1983;31:227-279. DOI: 10.1007/BF02019893
- Robbana C., Kehel Z., Ben Naceur M., Sansaloni C., Bassi F., Amri A. Genome-wide genetic diversity and population structure of Tunisian durum wheat landraces based on DArTseq technology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(6):1352. DOI: 10.3390/ijms20061352
- Sarhi A., Chentoufi L., Arbaoui M., Ardisson M., Belqadi L., Birouk A. et al. Towards a comprehensive characterization of durum wheat landraces in Moroccan traditional agrosystems: analysing genetic diversity in the light of geography, farmers' taxonomy and tetraploid wheat domestication history. *BMC Evolutionary Biology*. 2014;14:264. DOI: 10.1186/s12862-014-0264-2
- Ushakov D.N. (ed.). Glossary of the Russian language (Tolkovy slovar russkogo yazyka). Moscow; 1935-1940. [in Russian] (Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушакова. Москва; 1935-1940). URL: [https://enc.biblioclub.ru/Termin/1121816\\_ARNAUTKA](https://enc.biblioclub.ru/Termin/1121816_ARNAUTKA) [дата обращения: 17.05.2023].
- Vavilov N.I. Five continents (Pyat kontinentov). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Пять континентов. Ленинград: Наука; 1987).
- Venora G., Blangiforti S. I grani antichi siciliani: manuale tecnico per il riconoscimento delle varietà locali dei frumenti siciliani. Ragusa: Le Fate; 2017. [in Italian]
- Wheat fields in Syria, burnt by climate, feed animals, not humans (Pshenichnye polya Sirii, vyzhzhennyye klimatom, kormyat zhivotnykh, a ne lyudey). Android-Robot. Technology and Science News; 2022. [in Russian] (Пшеничные поля Сирии, выжженные климатом, кормят животных, а не людей. Android-Robot. Новости технологий и науки; 2022). URL: <https://android-robot.com/pshenichnye-polya-sirii-vyzhzhennyye-klimatom-kormyat-zhivotnykh-a-ne-lyudej/> [дата обращения: 18.12.2023].
- Zohary D., Hopf M. Domestication of plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley. Oxford: Oxford University Press; 2000.

### Информация об авторе

**Ольга Александровна Ляпунова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.liapounova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2164-4510>

### Information about the author

**Olga A. Lyapunova**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 19000 Russia, o.liapounova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2164-4510>

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; одобрена после рецензирования 19.03.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 12.02.2024; approved after reviewing on 19.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 634.72:631.526:581.192

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-25-37



### Нутриентный состав ягод перспективных сортов и элитных сеянцев представителей рода *Ribes* L.

М. Ю. Акимов, Е. В. Жбанова, Т. В. Жидехина, А. М. Миронов, О. С. Родюкова

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Викторовна Жбанова, shbanovak@yandex.ru

**Актуальность.** Ягоды смородины черной и красной – высоковитаминный диетический продукт, а также ценное сырье для производства продуктов здорового питания.

**Материалы и методы.** Исследовали ягоды перспективных сортов, элитных сеянцев (эл. с.) смородины черной и красной генетической коллекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина. Изучение химического состава и суммарного содержания антиоксидантов проводилось в период 2017–2022 гг. на приборно-аналитической базе лаборатории биохимии и пищевых технологий согласно стандартным методам.

**Результаты и выводы.** Ягоды изученных генотипов смородины черной накапливали 16,3% Brix растворимых сухих веществ, 10,0% сахаров, 2,47% органических кислот, 117,3 мг/100 г витамина С, 201,4 мг/100 г антоцианов. Сорт черной смородины 'Аксинья' отличался наилучшими показателями химического состава (среднее многолетнее содержание сахаров – 13,3%, органических кислот – 1,97%, витамина С – 156,7 мг/100 г, антоцианов – 257,4 мг/100 г) и высокой антиоксидантной ценностью ягод (92,4 мг/100 г галловой кислоты). Ягоды смородины красной содержали 12,0% Brix растворимых сухих веществ, 7,7% сахаров, 1,69% органических кислот, 34,0 мг/100 г витамина С, 57,3 мг/100 г антоцианов. Среди изученных генотипов красной смородины представляют интерес сорт 'Газель' и эл. с. 30-7-58, содержащие в ягодах более 40 мг/100 г витамина С, а также эл. с. 27-13-42, содержащий более 100 мг/100 г антоцианов и отличающийся высокой антиоксидантной активностью (45,7 мг/100 г галловой кислоты). Выделенные источники рекомендуются для свежего потребления, производства продуктов функционального назначения и дальнейшей селекционной работы.

**Ключевые слова:** смородина черная, смородина красная, генетическая коллекция, химический состав, биологически активные вещества, аскорбиновая кислота, антоцианы, антиоксидантная активность

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерства науки и образования России «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по соглашению № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021 г.

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

**Для цитирования:** Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Жидехина Т.В., Миронов А.М., Родюкова О.С. Нутриентный состав ягод перспективных сортов и элитных сеянцев представителей рода *Ribes* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):25-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-25-37

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-25-37

### Nutrient composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of *Ribes* L.

Mikhail Yu. Akimov, Ekaterina V. Zhbanova, Tatiana V. Zhidekhina, Aleksey M. Mironov, Olga S. Rodyukova

*I.V. Michurin Federal Science Center, Michurinsk, Russia*

**Corresponding author:** Ekaterina V. Zhbanova, [shbanovak@yandex.ru](mailto:shbanovak@yandex.ru)

**Background.** Black and red currant berries are high-vitamin dietary products and important raw materials for healthy food production.

**Materials and methods.** Berries collected from promising cultivars and elite seedlings of black and red currant from the genetic collection of the I.V. Michurin Federal Science Center were analyzed. Chemical composition and total antioxidants were assessed in 2017–2022 with analytical instruments at the Biochemistry and Food Technology Laboratory according to standard techniques.

**Results and discussion.** Berries of the studied black currant genotypes accumulated 16.3% Brix of soluble solids, 10.0% of sugars, 2.47% of organic acids, 117.3 mg/100 g of vitamin C, and 201.4 mg/100 g of anthocyanins. Black currant cv. 'Aksinya' was the best in chemical composition (the long-term average sugar content was 13.3%, organic acids amounted to 1.97%, vitamin C to 156.7 mg/100 g, and anthocyanins to 257.4 mg/100 g) and manifested high antioxidant properties (92.4 mg/100 g of gallic acid). Red currant berries contained 12.0% Brix of soluble solids, 7.7% of sugars, 1.69% of organic acids, 34.0 mg/100 g of vitamin C, and 57.3 mg/100 g of anthocyanins. Red currant cv. 'Gazel' and elite seedling 30-7-58 were identified for more than 40 mg/100 g of vitamin C in their berries, while elite seedling 27-13-42 had the highest amount of anthocyanins (above 100 mg/100 g) and high antioxidant properties (45.7 mg/100 g of gallic acid). The identified sources are recommended for fresh consumption, functional food production, and further breeding efforts.

**Keywords:** black currant, red currant, genetic collection, chemical composition, bioactive compounds, ascorbic acid; anthocyanins, antioxidant activity

**Acknowledgements:** this work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the project entitled "National network collection of plant genetic resources for effective scientific and technological development of the Russian Federation in the sphere of genetic technologies", Agreement No. 075-15-2021-1050 dated Sept. 28, 2021.

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

**For citation:** Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Zhidekhina T.V., Mironov A.M., Rodyukova O.S. Nutrient composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of *Ribes* L. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):25-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-25-37

## Введение

В настоящее время у населения РФ наблюдается повышенный интерес к плодовым и ягодным культурам, богатым биологически активными соединениями (Zhbanova et al., 2021; Akimov et al., 2022). Среди ягодных культур представители рода *Ribes* L. (смородина черная и смородина красная) занимают второе место в предпочтениях потребителей после садовой земляники (Djordjević et al., 2014). Мировой сортимент смородины черной насчитывает около 1200 сортов, смородины красной – более 200 сортов (Sedov, 2009). В 2022 г. в России в Госреестр селекционных достижений включены и допущены к возделыванию 218 сортов смородины черной и 42 сорта смородины красной (State Register..., 2022).

В модели современного сорта смородины черной учтены требования по химическому составу: содержание растворимых сухих веществ – более 20%, сахаров – более 10%, органических кислот – менее 3%, аскорбиновой кислоты – (в зависимости от массы ягоды) от 150 (2,0 г) до 200 мг/100 г (1,5 г) и выше, Р-активных веществ – более 700 мг/100 г. По смородине красной поставлена задача выведения сортов с плодами, содержащими растворимых сухих веществ более 12%, органических кислот – в пределах 2,5%, Р-активных веществ – более 500 мг/100 г, аскорбиновой кислоты – более 60 мг/100 г (Makarkina, Yanchuk, 2014).

Исследования химического состава ягод смородины черной и красной проводятся в различных регионах РФ. На юге России (Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Краснодар) выделены ценные источники высокого содержания: витамина С – сорта 'Муравушка', 'Нара' (смородина черная), 'Вика', 'Дар Орла' (смородина красная); антоцианов – 'Муравушка', 'Перун' (смородина черная), 'Ася', 'Вика' (смородина красная) (Prichko et al., 2017). Проведенные в Белгородской области (Shaposhnik et al., 2011) исследования антоцианового комплекса смородины черной показали, что для российских сортов средний уровень их содержания в плодах составляет 182 мг/100 г при довольно большом разбросе по сортам. Изучение биофлавоноидного состава плодов смородины черной в условиях Северо-Запада России (Tikhonova, Shelenga, 2019) также выявило у всех исследованных сортов высокое содержание антоцианов (выше 200 мг/100 г). Во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур (г. Орел) выделены генотипы смородины красной с высоким содержанием витамина С (более 60 мг/100 г) – 'Мармеладница', 'Нива', 'Подарок Победителям', 'Селяночка', 'Устина' (Makarkina, Golyaeva, 2020). В условиях Приобья (Sorokopudov et al., 2021) в качестве генетических доноров и источников для дальнейшей селекционной работы выделены сорта смородины красной по следующим показателям: высокое содержание сахаров – 'Гранатовый браслет', 'Снежная Королева', 'Стройная Краса', 'Услада', витамина С – 'Ведерная'. В условиях лесостепной зоны Алтайского края (г. Барнаул) выделены сорта смородины черной – источники высокого содержания витамина С: 'Садко', 'Лентяй', 'Дачница', 'Любимица Бакчара', 'Черный Аист'; биофлавоноидов – 'Забава', 'Агата', 'Лама', 'Сокровище', 'Гармония'; комплекса биологически активных соединений – 'Лама', 'Любимица Бакчара', 'Агата', 'Гармония', 'Софья' (Ershova, 2019). Высокой С-витаминностью плодов (выше 200 мг/100 г) характеризуются сорта смородины черной селекции Якутского НИИСХ: 'Якутская', 'Эркээни', 'Хара Кыталык', 'Марючаана'

(Sorokopudov et al., 2018). Проведенные в ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады» (г. Самара) исследования позволили выделить лучшие по химическому составу генотипы смородины черной: 'Брянский Агат', 'Лентяй'. Лучший результат по антиоксидантной активности, измеренной методом DPPH<sup>1</sup>, показал сорт 'Черная Вуаль' (9,5 Ес50, мг/мл); по методу FRAP<sup>2</sup> – 'Мрия' (19,44 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг) (Makarova et al., 2015b). В ягодах смородины красной сорта 'Газель' накапливалось антоцианов 32,4 мг Cyd-3-glu на 100 г. Антиоксидантная активность, измеренная методом DPPH, составила 41,0 Ес50, мг/мл; методом FRAP – 13,68 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг (Makarova et al., 2015a). В ходе изучения метаболомного профиля смородины черной в условиях Северо-Запада РФ (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР») выделены ценные по нутриентному составу сорта: 'Маленький Принц', 'Добрый Джинн', 'Tisel', 'Орловский Вальс', 'Алеандр' (Shelenga et al., 2022).

По сообщению зарубежных исследователей (Borges et al., 2010), основные фенольные соединения, обнаруженные у *Ribes* spp., включают антоцианы, флавонолы, гликозиды флавонолов и фенольные кислоты. В работе Y. Tian с соавторами (Tian et al., 2019) наиболее высокие значения аскорбиновой кислоты (выше 200 мг/100 г) отмечены у сортов 'Tisel', 'Joninia', 'Ben Tirran'. Финскими исследователями (Mattila et al., 2016) высокое содержание антоцианов обнаружено у сортов смородины черной 'Stella 2', 'Hietala', 'Osma lan Musta'; смородины красной – 'Ri 241', 'Rubina'. По данным венгерских исследователей (Lugasi et al., 2011), содержание антоцианов в ягодах смородины черной у различных сортов изменялось в пределах 154–581 мг/100 г и составляло от 39 до 99% от общего количества полифенолов (в большинстве случаев – выше 60%). Ягоды смородины красной содержали от 31,4 до 51,5 мг/100 г антоцианов, что составляло от 17 до 44% от общего количества полифенолов.

По сравнению с другими ягодными культурами, смородина черная занимает лидирующие позиции по антиоксидантной активности, несколько уступая аронии, превосходя клюкву, чернику, калину, бруснику, малину, крыжовник, землянику, облепиху. Смородина черная и красная входят в список 100 продуктов с наибольшей антиоксидантной активностью (Yashin et al., 2019; Kowalski, Gonzalez de Mejia, 2021). Значения антиоксидантной активности их ягод, измеренные методом ORAC<sup>3</sup>, составили 7960 мкмоль ТЕ/100 г и 3387 мкмоль ТЕ/100 г соответственно. Как отмечают английские исследователи (Borges et al., 2010), вклад витамина С, антоцианов и других фенольных соединений в общую антиоксидантную способность смородины черной и красной заметно различается (табл. 1).

Одним из важнейших направлений селекции смородины в Федеральном научном центре (ФНЦ) имени И.В. Мичурина является выведение сортов с высоким качеством плодов, богатых биологически активными соединениями, пригодных для создания продукции функциональной направленности.

<sup>1</sup> DPPH – метод оценки антиоксидантной активности образцов по их способности восстанавливать стабильный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил.

<sup>2</sup> FRAP (ferric reducing antioxidant power) – фотометрический метод определения антиоксидантов, основанный на восстановлении трипиридилтриазинового комплекса Fe (III) в Fe (II) комплекс.

<sup>3</sup> ORAC – oxygen radical absorbance capacity (способность поглощения радикалов кислорода). Метод основан на измерении интенсивности флуоресценции определенного соединения и ее изменении от времени протекания реакции.

**Таблица 1.** Вклад (%) в антиоксидантную активность витамина С и различных групп фенолов, обнаруженных в плодах смородины черной и красной (по: Borges et al., 2010)**Table 1.** Contribution (%) of vitamin C and various phenolic groups found in black and red currant berries to their antioxidant activity (from Borges et al., 2010)

Культура / Сорт	Компонент, вклад (%) в антиоксидантную активность / Component, contribution (%) to the antioxidant activity				
	витамин С / vitamin C	антоцианы / anthocyanins	хлорогеновая кислота / chlorogenic acid	флавонолы / flavonols	неидентифи- цированные компоненты / unidentified components
Смородина черная	18	73	1	5	3
Смородина красная	47	21	5	4	23

Цель исследования состояла в комплексной оценке перспективных сортов и элитных сеянцев смородины черной и красной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина по нутриентному составу и антиоксидантной ценности плодов для выявления лучших высоковитаминных форм.

#### Материалы и методы

Объектами исследования служили ягоды сортов и элитных сеянцев смородины черной и красной генетической коллекции ягодных культур ФНЦ имени И.В. Ми-

чурина (табл. 2). Для исследования были взяты новые сорта и элитные сеянцы (эл. с.) смородины черной ('Аксинья', 'Амирани', 'Деметра', эл. с. 19-2-16, эл. с. 23-2-42) и красной (эл. с. 27-13-42, эл. с. 34-4-30, эл. с. 30-7-58) селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина в сравнении с ранее выведенными сортами, получившими широкое распространение: 'Зеленая Дымка', 'Тамерлан', 'Шалунья' (смородина черная), 'Баяна', 'Газель' (смородина красная).

Изучение химического состава проводили в период 2017–2022 гг. на приборно-аналитической базе лаборатории биохимии и пищевых технологий центра. Содер-

**Таблица 2.** Анализируемые сорта и элитные сеянцы (эл. с.) смородины черной и красной генетической коллекции ФНЦ имени И.В. Мичурина**Table 2.** The analyzed black and red currant cultivars and elite seedlings from the genetic collection of the I.V. Michurin Federal Science Center

Сорт, элитный сеянец / Cultivar, elite seedling	Генетическое происхождение / Genetic origin		Оригинатор / Originator
смородина черная			
‘Аксинья’	‘Фея Ночи’, св. оп.	ЕСД*	ФНЦ имени И.В. Мичурина
‘Амирани’	‘Titania’ × 974-35-4	ЕСЕ <sub>СК</sub> У <sub>с</sub> К <sub>л</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
‘Деметра’	‘Любава’ × ‘Диковинка’	ЕСДЕ <sub>СК</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
‘Зеленая Дымка’	‘Минай Шмырев’ × ‘Brødrtorp’	ЕСДЕ <sub>СК</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
‘Тамерлан’	‘Öjebun’ × ‘Черный Жемчуг’	ЕСДЕ <sub>СК</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
‘Шалунья’	‘Детскосельская’ × ‘Диковинка’	ЕСД	ФНЦ имени И.В. Мичурина
эл. с. 19-2-16	‘Titania’ × 22-43-75	ЕСДЕ <sub>СК</sub> У <sub>с</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
эл. с. 23-2-42	‘Маленький Принц’ × ‘Зе- леная Дымка’	ЕСДЕ <sub>СК</sub>	ФНЦ имени И.В. Мичурина
смородина красная			
‘Баяна’	‘Rote Spatlese’ × ‘Red Lake’		ВНИИСПК
‘Газель’	‘Чулковская’ × ‘Maarses Prominent’		ВНИИСПК
эл. с. 27-13-42	‘Jonker van Tets’, св. оп.		ФНЦ имени И.В. Мичурина
эл. с. 34-4-30	‘Дарница’, св. оп.		ФНЦ имени И.В. Мичурина
эл. с. 30-7-58	‘Виксне’, св. оп.		ФНЦ имени И.В. Мичурина

Примечание / Note: \*Е – *Ribes nigrum* subsp. *europaeum* Jancz.; С – *R. nigrum* subsp. *sibiricum* Wulf.; Д – *R. dikuscha* Fisch.; Е<sub>СК</sub> – *R. nigrum* subsp. *scandinavicum* (nom. nud.); У<sub>с</sub> – *R. ussuriensis* Jancz.; К<sub>л</sub> – *R. glutinosum* Benth.

жание растворимых сухих веществ оценивали рефрактометрическим методом (рефрактометр RX-5000i, Atago, Япония) (GOST ISO 2173-2013..., 2013); сахаров – по методу Бертрана (GOST 8756.13-87..., 1987). Титруемую кислотность определяли титрованием 0,1N-раствором NaOH с пересчетом на яблочную кислоту (коэффициент пересчета – 0,0067 г/см<sup>3</sup>) (GOST ISO 750-2013..., 2013). Аскорбиновую кислоту (йодометрический метод) экстрагировали с использованием 1% щавелевой и 1% соляной кислот, далее проводили титрование йодатом калия (KJO<sub>3</sub>) в кислой среде в присутствии йодида калия (KI) (Golubkina et al., 2020). Титрование образцов осуществлялось с применением автоматического титратора G20S серии Titration Compact (Mettler Toledo, Швейцария). Суммарное содержание антоцианов определяли методом pH-дифференциальной спектрофотометрии (СФ Genesys 10S Uv-Vis, США). В расчетах использовался молярный коэффициент экстинкции (ε) Сyд-3-glu, равный 26900 дм<sup>3</sup> моль<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>, и его молекулярная масса – 449,2 г/моль (R 4.1.1672-03..., 2004). Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) определяли амперометриче-

ским методом (жидкостный хроматограф «Цвет-Яуза 01-АА», «Химавтоматика», РФ), пересчет по галловой кислоте (GOST R 54037-2010..., 2010). Образцы плодов отбирались в период массового созревания. Все данные приведены из расчета на сырой вес плодов. Полученные результаты обработаны статистическими методами с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2010.

## Результаты и обсуждение

### Смородина черная

Значения описательного статистического анализа для каждого из биохимических признаков приведены в таблице 3. Плоды изученных генотипов смородины черной накапливали в среднем 16,3 ± 0,8% Brix растворимых сухих веществ, 10,0 ± 0,6% суммы сахаров, 2,47 ± 0,13% органических кислот, 117,3 ± 11,5 мг/100 г аскорбиновой кислоты, 201,4 ± 11,6 мг/100 г антоцианов. Средняя арифметическая величина (M) по содержанию сахаров совпадала с медианой (Md). По остальным биохимическим показателям различия между средним значением и медианой были незначительными.

**Таблица 3. Статистические параметры показателей химического состава плодов смородины черной и красной (2017–2022 гг., Мичуринск)**

**Table 3. Statistical parameters of the chemical composition indicators for black currant and red currant berries (2017–2022, Michurinsk)**

Показатель / Indicator	Описательная статистика / Descriptive statistics						
	среднее, M / mean, M	стандартная ошибка, m / standard error, m	минимум / minimum	максимум / maximum	амплитуда, Am / amplitude, A	медиана, Md / median, Md	стандартное отклонение, Sd / standard deviation, Sd
<b>смородина черная</b>							
растворимые сухие вещества, % Brix	16,3	0,8	13,1	19,9	6,8	16,2	2,2
сумма сахаров, %	10,0	0,6	7,4	13,3	5,9	10,0	1,8
титруемая кислотность, %	2,47	0,13	1,97	3,22	1,25	2,45	0,37
сахар/кислота	4,3	0,5	2,7	7,1	4,4	4,1	1,9
pH	2,74	0,04	2,60	2,96	0,36	2,72	0,11
витамин С, мг/100 г	117,3	11,5	63,6	160,7	97,1	120,4	32,5
антоцианы, мг/100 г	201,4	11,6	149,2	257,4	108,2	198,3	32,9
<b>смородина красная</b>							
растворимые сухие вещества, % Brix	12,0	0,3	11,2	12,8	1,6	12,0	0,7
сумма сахаров, %	7,7	0,3	6,7	8,4	1,7	7,9	0,6
титруемая кислотность, %	1,69	0,19	1,15	2,19	1,04	1,73	0,42
сахар/кислота	4,9	0,8	3,3	7,4	4,1	4,4	1,7
pH	2,85	0,05	2,68	2,94	0,26	2,86	0,11
витамин С, мг/100 г	34,0	4,8	19,4	46,5	27,1	33,7	10,7
антоцианы, мг/100 г	57,3	26,6	22,4	109,6	87,2	40,0	46,1

мическим признакам медиана близка к средней арифметической величине, что указывает на нормальное распределение.

Содержание растворимых сухих веществ в ягодах смородины черной заметно изменялось в зависимости от сортообразца (табл. 4). Самый высокий уровень был определен у сорта 'Аксинья' (среднее многолетнее – 19,9% Brix), самый низкий – у эл. с. 23-2-42 (13,1% Brix). В 2022 г. у сорта 'Деметра' уровень содержания растворимых сухих веществ поднимался до 20,3% Brix; в 2021 г. у эл. с. 23-2-42 опускался до 11,0%. Наибольшим содержанием сахаров характеризовались сорта 'Аксинья' (среднее многолетнее – 13,3%), 'Зеленая Дымка' (11,1%), 'Деметра' (10,6%), 'Шалунья' (10,1%). Эти сорта соответствовали модельным параметрам (> 10%) по данному признаку.

Максимальное за годы исследования количество сахаров отмечено у сорта 'Аксинья' в 2022 г. (15,8%), минимальное – у эл. с. 23-2-42 в 2021 г. (6,2%).

Показатель pH важен при общей биохимической характеристике плодов исследуемых генотипов, а также для контроля над происходящими изменениями в сырье в процессе переработки. Показатель pH сока из пульпы плодов смородины черной варьировал в небольших пределах: наиболее высокое значение отмечено у сорта 'Аксинья' (2,96), низкое – у эл. с. 19-2-16 (2,60).

Черная смородина – культура, характеризующаяся, как правило, высоким содержанием органических кислот. Заданным параметрам модели по кислотности плодов (< 3%) соответствовали семь из восьми исследованных образцов. Довольно высоким (выше 3,0% по средним многолетним данным) содержанием кислот отличался сорт 'Амирани'. Сорта 'Аксинья', 'Зеленая Дымка' и 'Шалунья' выделялись наименьшей кислотностью плодов (1,97%; 2,22%; 2,24% соответственно). У этих сортов отмечался и наибольший сахарокислотный индекс.

Ягоды смородины черной могут вносить существенный вклад в обеспечение организма человека витаминами С и Р (биофлавоноидами). С-витаминность плодов у исследованных образцов варьировала по средним многолетним данным в пределах 63,6–160,7 мг/100 г, амплитуда – 97,1 мг/100 г. Минимальное содержание витамина С отмечено в 2020 г. у эл. с. 19-2-16 (56,3 мг/100 г), максимальное – в 2021 г. у сорта 'Зеленая Дымка' (216,0 мг/100 г). В качестве лучшего по содержанию аскорбиновой кислоты выделен сорт 'Зеленая Дымка'. Сорта 'Аксинья' и 'Зеленая Дымка' соответствовали параметрам модели по содержанию витамина С (> 150 мг/100 г).

Вегетационный период (апрель – июль) 2022 г. характеризовался большим количеством осадков ( $\Sigma$  осадков – 233,5 мм), высокой температурой воздуха ( $\Sigma t \geq 10^\circ\text{C}$  – 1834,6 $^\circ\text{C}$ ) и довольно высоким ГТК (1,3) (рис. 1, 2). Обращает внимание, что погодные-климатические условия 2022 г. способствовали более позднему созреванию ягод на 10–14 дней. В 2020 г. суммарное количество выпавших осадков за вегетационный период (апрель – июль) было ниже и составило 159,6 мм, сумма активных температур (+10 $^\circ\text{C}$  и выше) – 1467,12 $^\circ\text{C}$ , ГТК – 1,0.

На рисунке 3 показана изменчивость содержания витамина С в плодах смородины черной и красной в течение шести лет исследования. Отмечено более низкое накопление витамина С в 2019 и 2020 г., высокое – в 2022 г.

Исходя из рекомендуемой в Российской Федерации суточной нормы потребления витамина С, равной 100 мг

(Porova et al., 2021), и расчетного среднего значения содержания витамина в исследуемых образцах, составившего 117,3 мг/100 г, употребление 100 г плодов смородины черной способно обеспечить организм человека в данном биоактивном соединении на 117,3%.

В группе исследованных образцов наблюдалось значительное разнообразие по содержанию антоцианов: от 149,2 мг/100 г ('Шалунья') до 257,4 мг/100 г ('Аксинья'), амплитуда – 108,2 мг/100 г. Анализ полученных данных по годам исследования выявил варьирование содержания антоцианов от 129,1 мг/100 г (эл. с. 19-2-16) до 325,3 мг/100 г ('Тамерлан'). Выше 200 мг/100 г антоцианов по средним многолетним данным накапливали плоды сортов 'Аксинья', 'Амирани', 'Тамерлан', 'Зеленая Дымка'.

Исходя из адекватного уровня потребления антоцианов – 50 мг/сут. (Porova et al., 2021) и расчетных средних значений их накопления (201,4 мг/100 г), всего 25 г плодов смородины черной позволяют обеспечить суточную потребность в данных соединениях. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в плодах исследованных сортов смородины черной варьировало от 58,3 до 97,2 мг/100 г галловой кислоты (рис. 4). В качестве лучших по суммарной антиоксидантной активности выделены сорта 'Аксинья', 'Маленький Принц'.

### **Смородина красная**

Ягоды смородины красной в среднем содержат 12,0  $\pm$  0,3% Brix растворимых сухих веществ, 7,7  $\pm$  0,3% суммы сахаров, 1,69  $\pm$  0,19% титруемых кислот, 34,0  $\pm$  4,8 мг/100 г аскорбиновой кислоты, 57,3  $\pm$  26,6 мг/100 г антоцианов (табл. 4). Средняя арифметическая величина (М) содержания растворимых сухих веществ совпадает с медианой (Md). Остальные показатели химического состава также отражают нормальное распределение и имеют сходную тенденцию с результатами описательной статистики по смородине черной.

Оптимальным уровнем содержания растворимых сухих веществ (> 12% Brix) характеризовался сорт 'Баяна' и элитные сеянцы 27-13-42 и 34-4-30 (табл. 5). Наибольшее накопление в плодах растворимых сухих веществ и сахаров выявлено у сорта 'Баяна' (среднее многолетнее – 12,7% Brix и 8,4% соответственно). Данный сорт также выделялся заметно низкой для культуры смородины красной кислотностью плодов (1,15% по средним многолетним данным) и, соответственно, наибольшим сахарокислотным индексом (7,4). Элитный сеянец 27-13-42 также отличался повышенным содержанием растворимых сухих веществ и суммы сахаров, однако и более высокой кислотностью плодов. Наименьшее за годы исследований содержание растворимых сухих веществ отмечено у эл. с. 30-7-58 (10,5% Brix), наибольшее – у сорта 'Баяна' (14,0% Brix) и эл. с. 27-13-42 (14,0% Brix). Все исследованные генотипы соответствовали оптимальным параметрам кислотности плодов (менее 2,5%). Кислотность ягод у смородины красной ниже (1,15–2,19%), чем у смородины черной (1,97–3,22%). Исследованные сорта не показали существенных различий в отношении pH сока, значения которого колебались от 2,68 (эл. с. 30-7-58) до 2,94 ('Баяна', эл. с. 27-13-42).

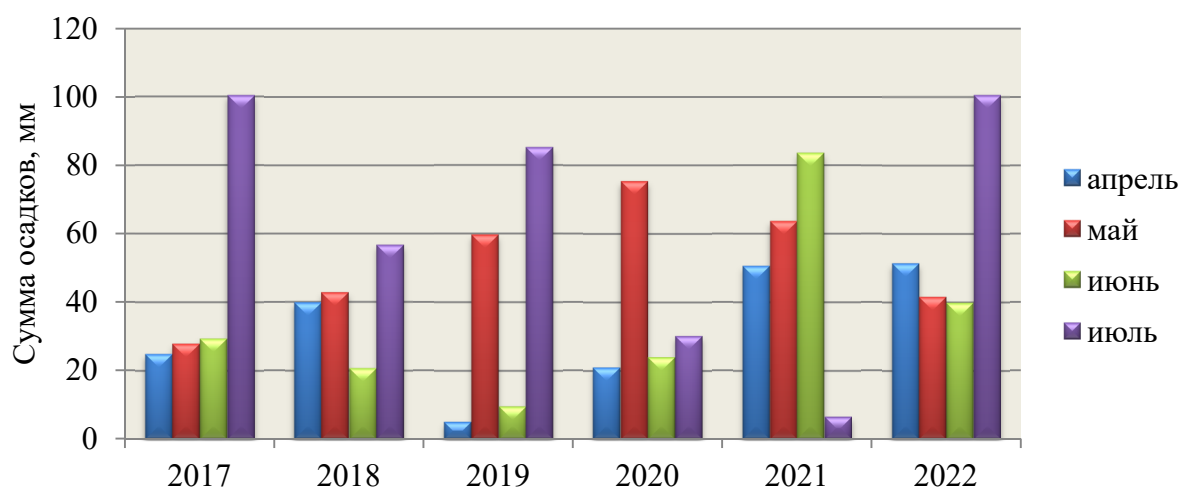
Смородина красная уступает по С-витаминности плодов смородине черной. Минимальный за годы исследования уровень содержания аскорбиновой кислоты отмечен в 2018 г. у сорта 'Баяна' (18,9 мг/100 г), максимальный – в 2017 г. у эл. с. 30-7-58 (53,2 мг/100 г). В 2017 г. период вегетации (апрель – июль) можно охарактери-

**Таблица 4.** Химический состав плодов перспективных сортов и элитных сеянцев смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина (2017–2022 гг., Мичуринск)

**Table 4.** Chemical composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of black currant released by the I.V. Michurin Federal Science Center (2017–2022, Michurinsk)

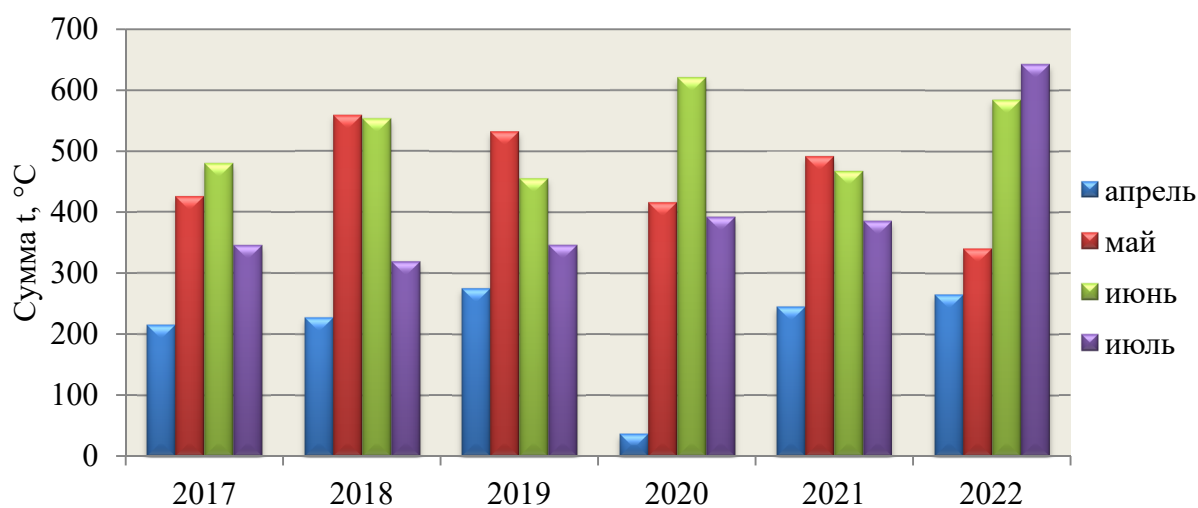
Сорт, элитный сеянец / Cultivar, elite seedling	Растворимые сухие вещества, % Brix / Soluble solids, % Brix	Сахара, % / Sugars, %	Органические кислоты, % / Organic acids, %	Сахар/кислота / Sugar/acid	pH / pH	Витамин С, мг/100 г / Vitamin C, mg/100 g	Антицианы, мг/100 г / Anthocyanins, mg/100 g
‘Аксинья’	$\frac{19,9 \pm 1,0^*}{16,9-20,2}$	$\frac{13,3 \pm 1,5}{10,7-15,8}$	$\frac{1,97 \pm 0,28}{1,41-2,28}$	$\frac{7,1 \pm 1,4}{4,7-9,5}$	$\frac{2,96 \pm 0,08}{2,80-3,05}$	$\frac{156,7 \pm 9,7}{137,3-167,9}$	$\frac{257,4 \pm 24,0}{224,8-304,0}$
‘Амирани’	$\frac{16,0 \pm 0,5}{14,9-16,7}$	$\frac{9,4 \pm 1,0}{7,6-11,0}$	$\frac{3,22 \pm 0,37}{2,54-3,80}$	$\frac{3,0 \pm 0,5}{2,0-3,8}$	$\frac{2,63 \pm 0,04}{2,57-2,72}$	$\frac{124,8 \pm 1,5}{122,3-127,4}$	$\frac{207,8 \pm 10,6}{195,1-228,8}$
‘Деметра’	$\frac{18,3 \pm 1,5}{15,4-20,3}$	$\frac{10,6 \pm 1,5}{8,2-13,5}$	$\frac{2,56 \pm 0,11}{2,39-2,76}$	$\frac{4,2 \pm 0,7}{3,0-5,6}$	$\frac{2,83 \pm 0,03}{2,80-2,89}$	$\frac{121,1 \pm 13,9}{93,3-136,4}$	$\frac{188,1 \pm 27,3}{141,5-236,1}$
‘Зеленая Дымка’	$\frac{17,0 \pm 0,2}{16,3-17,8}$	$\frac{11,1 \pm 0,4}{9,9-12,1}$	$\frac{2,22 \pm 0,13}{1,90-2,81}$	$\frac{5,1 \pm 0,4}{3,5-6,4}$	$\frac{2,74 \pm 0,04}{2,60-2,83}$	$\frac{160,7 \pm 12,5}{132,0-216,0}$	$\frac{212,4 \pm 15,7}{170,3-258,0}$
‘Тамерлан’	$\frac{16,3 \pm 1,7}{13,4-20,3}$	$\frac{9,9 \pm 1,4}{7,2-13,2}$	$\frac{2,52 \pm 0,22}{1,98-2,97}$	$\frac{4,1 \pm 0,8}{2,4-5,6}$	$\frac{2,69 \pm 0,08}{2,49-2,89}$	$\frac{119,8 \pm 6,3}{106,0-133,6}$	$\frac{228,2 \pm 35,5}{162,1-325,3}$
‘Шалунья’	$\frac{16,0 \pm 0,7}{14,8-17,1}$	$\frac{10,1 \pm 0,5}{9,1-10,7}$	$\frac{2,24 \pm 0,10}{2,06-2,40}$	$\frac{4,6 \pm 0,4}{3,8-5,1}$	$\frac{2,74 \pm 0,04}{2,70-2,82}$	$\frac{100,7 \pm 14,2}{72,9-119,2}$	$\frac{149,2 \pm 12,5}{129,5-172,3}$
эл. с. 19-2-16	$\frac{14,0 \pm 0,4}{13,6-14,8}$	$\frac{8,3 \pm 0,5}{7,5-9,3}$	$\frac{2,39 \pm 0,04}{2,33-2,48}$	$\frac{3,5 \pm 0,3}{3,0-4,0}$	$\frac{2,71 \pm 0,04}{2,64-2,79}$	$\frac{63,6 \pm 3,8}{56,3-69,4}$	$\frac{178,9 \pm 28,0}{128,1-224,8}$
эл. с. 23-2-42	$\frac{13,1 \pm 1,3}{11,0-15,5}$	$\frac{7,4 \pm 1,0}{6,2-9,3}$	$\frac{2,68 \pm 0,11}{2,56-2,90}$	$\frac{2,7 \pm 0,2}{2,4-3,2}$	$\frac{2,60 \pm 0,003}{2,60-2,61}$	$\frac{90,7 \pm 6,7}{81,4-103,7}$	$\frac{188,9 \pm 37,8}{143,8-263,9}$

Примечание: \* в числителе – средняя арифметическая величина (M) и стандартная ошибка (m); в знаменателе – пределы варьирования (min – max)  
 Note: \* the numerator contains the mean value by years (M) and standard error (m); the denominator presents the limits of variation (min – max)



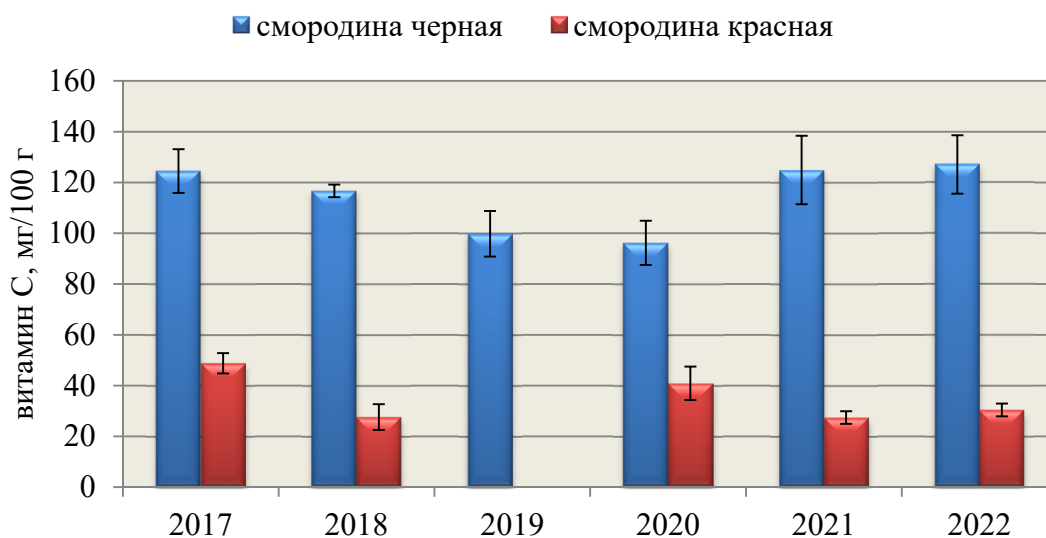
**Рис. 1.** Суммы осадков по месяцам за 2017–2022 гг., Мичуринск  
(по данным Мичуринской агрометеостанции)

**Fig. 1.** Precipitation amounts by months for 2017–2022 in Michurinsk  
(data of Michurinsk Agricultural Weather Station)



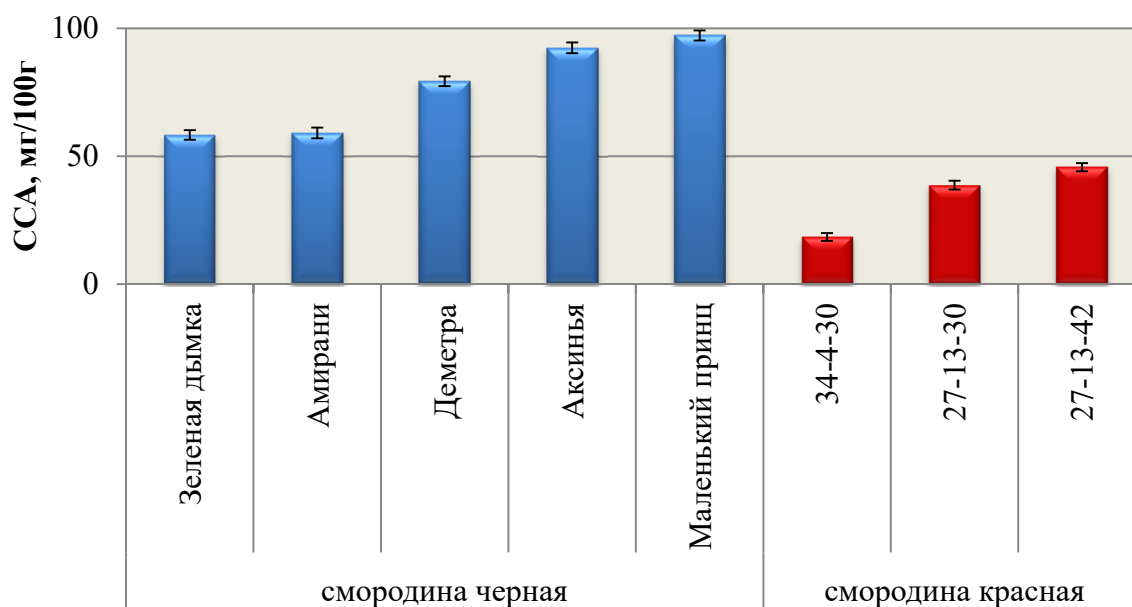
**Рис. 2.** Суммы температур по месяцам за 2017–2022 гг., Мичуринск  
(по данным Мичуринской агрометеостанции)

**Fig. 2.** The sums of temperatures by months for 2017–2022 in Michurinsk  
(data of Michurinsk Agricultural Weather Station)



**Рис. 3.** Содержание витамина С в ягодах смородины черной и красной в различные годы исследования (Мичуринск)

**Fig. 3.** Vitamin C content in black and red currant berries in different years of the research (Michurinsk)



**Рис. 4.** Суммарное содержание антиоксидантов в ягодах смородины черной и красной (2017–2022, Мичуринск)

**Fig. 4.** Total antioxidant content in black and red currant berries (2017–2022, Michurinsk)

**Таблица 5. Химический состав плодов перспективных сортов и элитных сеянцев смородины красной (2017–2022 гг., Мичуринск)****Table 5. Chemical composition in berries of promising cultivars and elite seedlings of red currant (2017–2022, Michurinsk)**

Сорт, элитный сеянец / Cultivar, elite seedling	Растворимые сухие вещества, % Brix / Soluble solids, % Brix	Сахара, % / Sugars, %	Органические кислоты, % / Organic acids, %	Сахар/кислота / Sugar/acid	pH / pH	Витамин С, мг/100 г / Vitamin C, mg/100 g	Антоцианы, мг/100 г / Anthocyanins, mg/100 g
‘Баяна’	$12,7 \pm 1,0^*$ 10,9–14,5	$8,4 \pm 1,1$ 6,1–9,7	$1,15 \pm 0,02$ 1,11–1,18	$7,4 \pm 1,1$ 5,2–8,5	$2,94 \pm 0,07$ 2,80–3,03	$19,4 \pm 0,3$ 18,9–19,8	–
‘Газель’	$11,5 \pm 0,1$ 11,3–11,7	$7,5 \pm 0,5$ 6,6–8,4	$1,73 \pm 0,06$ 1,62–1,80	$4,4 \pm 0,2$ 4,1–4,7	$2,82 \pm 0,01$ 2,79–2,85	$46,5 \pm 0,5$ 45,6–47,5	$22,4 \pm 3,2$ 16,8–27,9
эл. с. 27-13-42	$12,8 \pm 0,9$ 11,6–14,5	$8,0 \pm 1,3$ 6,1–10,4	$2,19 \pm 0,02$ 2,14–2,22	$3,3 \pm 0,7$ 2,4–4,7	$2,94 \pm 0,23$ 2,64–3,40	$33,7 \pm 8,1$ 23,3–49,3	$109,6 \pm 6,1$ 99,1–120,1
эл. с. 34-4-30	$12,0 \pm 0,3$ 11,3–12,4	$7,9 \pm 0,4$ 7,2–8,6	$1,41 \pm 0,17$ 1,07–1,63	$5,8 \pm 1,1$ 4,4–8,0	$2,86 \pm 0,03$ 2,80–2,90	$28,7 \pm 2,9$ 24,5–34,3	–
эл. с. 30-7-58	$11,2 \pm 0,4$ 10,5–11,8	$6,7 \pm 0,3$ 6,1–7,2	$1,98 \pm 0,11$ 1,78–2,17	$3,4 \pm 0,3$ 3,1–4,0	$2,68 \pm 0,05$ 2,60–2,76	$41,8 \pm 5,8$ 34,3–53,2	$40,0 \pm 12,7$ 24,0–65,1

Примечание: \* в числителе – средняя арифметическая величина (М) и стандартная ошибка (m); в знаменателе – пределы варьирования (min – max)

Note: \* the numerator contains the mean value by years (M) and standard error (m); the denominator presents the limits of variation (min – max)

зовать как довольно прохладный и влажный ( $\Sigma$  осадков – 182,6 мм;  $\Sigma t \geq 10^\circ\text{C}$  – 1466 $^\circ\text{C}$ ; ГТК – 1,3). Наибольшим содержанием витамина С отличались сорт ‘Газель’ (среднее многолетнее – 46,5 мг/100 г) и эл. с. 30-7-58 (41,8 мг/100 г). Повышенное накопление витамина С в ягодах смородины красной отмечено в 2017 и 2020 г. (см. рис. 2).

Исходя из расчетного среднего содержания аскорбиновой кислоты в плодах смородины красной, равного 34,0 мг/100 г, и рекомендуемой потребности в данном витамине, составляющей 100 мг/сутки (Ророва et al., 2021), употребление порции плодов (100 г) покрывает суточную потребность в аскорбиновой кислоте на 34%. Темной окраской ягод и, соответственно, высоким содержанием антоцианов выделялся эл. с. 27-13-42 (среднее многолетнее – 109,6 мг/100 г, максимальное – 120,1 мг/100 г), что значительно выше, чем у сорта ‘Газель’ (среднее многолетнее – 22,4 мг/100 г, максимальное – 27,9 мг/100 г). Суммарная антиоксидантная активность ягод смородины красной заметно ниже, чем у смородины черной. Более высокая суммарная антиоксидантная активность выявлена у богатого антоцианами элитного сеянца 27-13-42 (45,7 мг/100 г галловой кислоты).

### Заключение

В работе представлена подробная информация по ключевым показателям нутриентного профиля плодов новых перспективных сортов и элитных сеянцев смородины черной и красной относительно селекционных требований, а также современных норм потребления

биологически активных компонентов. При селекции подбираются сорта в первую очередь с позиций хозяйственно ценных признаков (продуктивность, устойчивость к болезням и вредителям и т. д.). В последующем оценивается качество и химический состав плодов и отдается приоритет лучшим генотипам. Сорт смородины черной ‘Аксинья’ отличался высокими показателями химического состава (среднее многолетнее содержание сахаров – 13,3%, органических кислот – 1,97%, витамина С – 156,7 мг/100 г, антоцианов – 257,4 мг/100 г) и высокой антиоксидантной активностью ягод (92,4 мг/100 г галловой кислоты). Среди изученных генотипов смородины красной представляют интерес сорт ‘Газель’ и эл. с. 30-7-58, содержащие в плодах более 40 мг/100 г витамина С, а также эл. с. 27-13-42, содержащий более 100 мг/100 г антоцианов и отличающийся высокой антиоксидантной активностью (45,7 мг/100 г галловой кислоты). Полученные данные необходимы при составлении рекомендаций для потребления высоковитаминной продукции в свежем виде, в пищевой промышленности при производстве продуктов здорового питания, а также в дальнейшей селекционной работе на улучшенный химический состав.

### References / Литература

Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Zhidekhina T.V., Lukyanchuk I.V., Gur'eva I.V., Lyzhin A.S., Dubrovskaya O.Yu. Polymorphism of the genetic collection of berry crops of the Rosaceae family according to the nutrient composition of fruits. *Achievements of Science and Technology of AIC*.

- 2022;36(10):43-48. [in Russian] (Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Жидехина Т.В., Лукьянчук И.В., Гурьева И.В., Лыжин А.С., Дубровская О.Ю. Полиморфизм генетической коллекции ягодных культур семейства Rosaceae по нутриентному составу плодов. *Достижения науки и техники АПК*. 2022;36(10):43-48). DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_10\_43
- Borges G., Degeneve A., Mullen W., Crozier A. Identification of flavonoid and phenolic antioxidants in black currants, blueberries, raspberries, red currants, and cranberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(7):3901-3909. DOI: 10.1021/jf902263n
- Djordjević B., Rakonjac V., Fotirić Akšić M., Šavikin K., Vulić T. Pomological and biochemical characterization of European currant berry (*Ribes* sp.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2014;165:156-162. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.11.014
- Ershova I.V. Varieties of blackcurrant as sources of a high content of biologically active compounds. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019;33(11):60-62. [in Russian] (Ершова И.В. Сорта смородины черной как источники высокого содержания биологически активных соединений. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(11):60-62). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-11113
- Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods of their definition: monograph. Moscow: INFRA-M; 2020. [in Russian] (Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежкин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения: монография. Москва: ИНФРА-М; 2020). DOI: 10.12737/1045420
- GOST 8756.13-87. Interstate standard. Fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars. Official edition. Moscow: Standartinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ 8756.13-87. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2010). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294821/4294821427.pdf> [дата обращения: 15.11.2022].
- GOST ISO 2173-2013. Interstate standard. Fruit and vegetable products. Refractometric method for determination of soluble solids content. Official edition. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ ISO 2173-2013. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293773/4293773726.pdf> [дата обращения: 15.11.2022].
- GOST ISO 750-2013. Interstate standard. Fruit and vegetable products. Determination of titratable acidity. Official edition. Moscow: Standartinform; 2018. [in Russian] (ГОСТ ISO 750-2013. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2018). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293773/4293773999.pdf> [дата обращения: 15.11.2022].
- GOST R 54037-2010. National standard of the Russian Federation. Foodstuffs. Determination of the content of water-soluble antioxidants content by amperometric method in vegetables, fruits, products of their processing, alcoholic and soft drinks. Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ Р 54037-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом в овощах, фруктах, продуктах их переработки, алкогольных и безалкогольных напитках. Москва: Стандартинформ; 2011). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084226> [дата обращения: 15.11.2022].
- Kowalski R., Gonzalez de Mejia E. Phenolic composition, antioxidant capacity and physical characterization of ten black currant (*Ribes nigrum*) cultivars, their juices, and the inhibition of type 2 diabetes and inflammation biochemical markers. *Food Chemistry*. 2021;359:129889. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129889
- Lugasi A., Hóvári J., Kádár G., Dénes F. Phenolics in raspberry, blackberry and currant cultivars grown in Hungary. *Acta Alimentaria*. 2011;40(1):52-64. DOI: 10.1556/aalim.40.2011.1.8
- Makarkina M.A., Golyaeva O.D. Biochemical evaluation of berries of new red currant varieties for their further use in breeding to improve chemical fruit composition. *Horticulture and Viticulture*. 2020;(2):28-33. [in Russian] (Макаркина М.А., Голяева О.А. Биохимическая оценка ягод новых сортов смородины красной для дальнейшего их использования в селекции на улучшенный химический состав плодов. *Садоводство и виноградарство*. 2020;(2):28-33). DOI: 10.31676/0235-2591-2020-2-28-33
- Makarkina M.A., Yanchuk T.V. Estimation of red currant and black currant initial material for breeding for berry biochemical composition improvement. *Fruit-Growing*. 2014;26(1):357-364. [in Russian] (Макаркина М.А., Янчук Т.В. Оценка исходного материала смородины красной и смородины черной для селекции на улучшение биохимического состава ягод. *Плодоводство*. 2014;26(1):357-364).
- Makarova N.V., Barkova O.R., Ereemeeva N.B., Demidova A.V., Azarov O.I., Demenina L.G. et al. Red currant berries and raspberries 2014 harvest by the collection SBE "Zhigulevsk Gardens" how effective antioxidant. *Food Industry*. 2015a;(3):27-30. [in Russian] (Макарова Н.В., Баркова О.Р., Еремеева Н.Б., Демидова А.В., Азаров О.И., Деменина Л.Г. и др. Ягоды красной смородины и малины урожая 2014 г. из коллекции ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады» как эффективные антиоксиданты. *Пищевая промышленность*. 2015a;(3):27-30).
- Makarova N.V., Ereemeeva N.B., Barkova O.R., Demidova A.V., Azarov O.I., Demenina L.G. et al. The study of the chemical composition and antioxidant properties of black currant crop in 2014 from the collection of Scientific-Research Institute "Zhigulevskie Sady". *Food Industry*. 2015b;(4):35-37. [in Russian] (Макарова Н.В., Еремеева Н.Б., Баркова О.Р., Демидова А.В., Азаров О.И., Деменина Л.Г. и др. Изучение химического состава и антиоксидантных свойств черной смородины урожая 2014 г. из коллекции ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады». *Пищевая промышленность*. 2015b;(4):35-37).
- Mattila P.H., Hellström J., Karhu S., Pihlava J.M., Veteläinen M. High variability in flavonoid contents and composition between different North-European currant (*Ribes* spp.) varieties. *Food Chemistry*. 2016;204:14-20. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.056
- Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Problems of Nutrition*. 2021;90(4):6-19. [in Russian] (Попова А.Ю., Тутьельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп

- населения Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2021;90(4):6-19. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19
- Prichko T., Yakovenko V., Germanova M. Biochemical indicators of currant berries quality according to variety peculiarities. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2017;45(3):105-113. [in Russian] (Причко Т.Г., Яковенко В.В. Биохимические показатели качества ягод смородины с учетом сортовых особенностей. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2017;45(3):105-113).
- R 4.1.1672-03 Guide on methods of quality control and safety of biologically active additives in food (Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskikh aktivnykh dobavok k pishche). Moscow: Federal Center for State Epidemiological Supervision of the Russian Ministry of Health; 2004). [in Russian] (Р 4.1.1672-03 Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034795> [дата обращения: 16.11.2022].
- Sedov E.N. (ed.). Pomology: In 5 volumes. Vol. IV. Currants. Gooseberries (Pomologiya: v 5-tomakh. T. IV. Smorodina. Kryzhovnik). Orel: VNIISPK; 2009. [in Russian] (Помология: В 5-ти томах. Т. IV. Смородина. Крыжовник / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2009).
- Shaposhnik E.I., Deineka L.A., Sorokopudov V.N., Deineka V.I., Burmenko J.V., Kartushinskiy V.V. et al. Biologically active substances of *Ribes* L. fruits. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2011;15-2(104):239-249. [in Russian] (Шапошник Е.И., Дейнека Л.А., Сорокопудов В.Н., Дейнека В.И., Бурменко Ю.В., Картушинский В.В. и др. Биологически активные вещества плодов *Ribes* L. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2011;15-2(104):239-249).
- Shelenga T.V., Popov V.S., Konarev A.V., Tikhonova N.G., Tikhonova O.A., Kerv Yu.A. et al. Metabolomic profiles of *Ribes nigrum* L. and *Lonicera caerulea* L. from the collection of the N.I. Vavilov Institute in the setting of Northwest Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):630-636. DOI: 10.18699/VJGB-22-77
- Sorokopudov V.N., Nazaryuk N.I., Gabysheva N.S. Improvement of the assortment of black currant in the Asian part of Russia. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2018;(7):23-28. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Назарюк Н.И., Габышева Н.С. Совершенствование сортамента смородины черной в азиатской части России. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(7):23-28).
- Sorokopudov V.N., Nigmatzyanov R.A., Nazaryuk N.I., Sorokopudova O.A. The red currant breeding results in the Ob region forest-steppe. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;(11):85-92. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Назарюк Н.И., Нigmatzyanov Р.А., Сорокопудова О.А. Итоги селекции смородины красной в лесостепи Приобья. *Вестник КрасГАУ*. 2021;(11):85-92). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-11-85-92
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotech; 2022. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2022). URL: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> [дата обращения: 17.03.2022].
- Tian Y., Laaksonen O., Haikonen H., Vanag A., Ejaz H., Linderborg K. et al. Compositional diversity among blackcurrant (*Ribes nigrum*) cultivars originating from European countries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(19):5621-5633. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b00033
- Tikhonova O.A., Shelenga T.V. Bioactive substances of black currant berries in the conditions of Northwestern Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):50-58. [in Russian] (Тихонова О.А., Шеленга Т.В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):50-58). DOI:10.30901/2227-8834-2019-3-50-58
- Yashin A.Ya., Vedenin A.N., Yashin Ya.I., Nemzer B.V. Berries: chemical composition, antioxidant activity, impact of consumption of berries on health of the person. *Analytics*. 2019;9(3):222-230. [in Russian] (Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека. *Аналитика*. 2019;9(3):222-230). DOI: 10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230
- Zhbanova E.V., Zhidekhina T.V., Akimov M.Yu., Rodyukova O.S., Khromov N.V., Irina V.G. The fruits varieties of berry-like and nontraditional horticultural crops grown in Black Soil Zone are the valuable sources of indispensable micronutrients. *Food Industry*. 2021;(3):8-11. [in Russian] (Жбанова Е.В., Жидехина Т.В., Акимов М.Ю., Родюкова О.С., Хромов Н.В., Гурьева И.В. Плоды сортов ягодных и нетрадиционных садовых культур, выращенных в Черноземье, – ценные источники незаменимых микронутриентов. *Пищевая промышленность*. 2021;(3):8-11). DOI: 10.24412/0235-2486-2021-3-0020

### Информация об авторах

**Михаил Юрьевич Акимов**, доктор сельскохозяйственных наук, директор, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

**Екатерина Викторовна Жбанова**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, [shbanovak@yandex.ru](mailto:shbanovak@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

**Татьяна Владимировна Жидехина**, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по науке, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, [berrys-m@mail.ru](mailto:berrys-m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

**Алексей Михайлович Миронов**, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, [sigurd32@gmail.com](mailto:sigurd32@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8530-7535>

**Ольга Сергеевна Родюкова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, rodyukova.o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5139-3225>

#### Information about the authors

**Mikhail Yu. Akimov**, Dr. Sci. (Agriculture), Director, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

**Ekaterina V. Zhbanova**, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, [shbanovak@yandex.ru](mailto:shbanovak@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

**Tatiana V. Zhidekhina**, Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Director for Science, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, [berrys-m@mail.ru](mailto:berrys-m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

**Aleksey M. Mironov**, Associate Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, [sigurd32@gmail.com](mailto:sigurd32@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8530-7535>

**Olga S. Rodyukova**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, [rodyukova.o@mail.ru](mailto:rodyukova.o@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5139-3225>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 12.03.2023; одобрена после рецензирования 19.04.2024; принята к публикации 05.06.2024.

The article was submitted on 12.03.2023; approved after reviewing on 19.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья  
УДК 631.523:633.852.53:631.524.84  
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-38-49



### Изучение регенерантных линий сои по хозяйственно ценным и биохимическим характеристикам

Е. С. Бутовец<sup>1</sup>, Л. М. Лукьянчук<sup>1</sup>, Г. А. Кодирова<sup>2</sup>, Г. В. Кубанкова<sup>2</sup>, О. С. Ефремова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральный научный центр агrobiотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия

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

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Сергеевна Бутовец, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru)

**Актуальность.** Ионы тяжелых металлов могут быть причиной стресса у растений, приводящего к генетическим изменениям. В ряде исследований показана возможность их применения в качестве мутагенного фактора при работе *in vitro*. Изучение влияния ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  на показатели хозяйственно ценных признаков, качества семян, устойчивости к болезням регенерантных линий сои представляет интерес для селекции культуры.

**Материалы и методы.** Тестирование генетически измененных регенерантных линий сои проводилось в лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии и лаборатории селекции сои Федерального научного центра агrobiотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки, лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции Всероссийского научно-исследовательского института сои. Объект исследования: 15 регенерантных линий сои и исходные сорта ('Приморская 13', 'Приморская 301', 'Приморская 81', 'Ходсон').

**Результаты.** В итоге были отобраны образцы, перспективные для селекционных целей, с высокими показателями хозяйственно значимых признаков, качественных характеристик семян и устойчивости к грибным заболеваниям, превышающие по изученным признакам исходные формы. Наибольшая урожайность отмечена у линий R 1490 (0,41 кг/м<sup>2</sup>) и R 1606 (0,38 кг/м<sup>2</sup>), крупносемянность – у R 1568 (масса 1000 семян – 200,0 г) и R 1609 (190,2 г). Комплексную устойчивость к грибным болезням на естественном фоне развития патогенов проявили R 1584, R 1568, R 1606, на искусственном – R 1490. Линии сорта 'Ходсон' выделялись повышенным содержанием белка, гистидина, валина, метионина + цистина, масла – R 1605, R 1609. У всех линий выявлены изменения в соотношении ненасыщенных жирных кислот  $\text{C}_{18:2}/\text{C}_{18:1}$ .

**Ключевые слова:** соя, регенеранты, тяжелые металлы, грибные болезни, содержание белка и масла, аминокислоты

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 гг. (грант № 0812-2018-0024).

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

**Для цитирования:** Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Ефремова О.С. Изучение регенерантных линий сои по хозяйственно ценным и биохимическим характеристикам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-38-49

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-38-49

### Studying regenerated soybean lines for their useful agronomic and biochemical characteristics

Ekaterina S. Butovets<sup>1</sup>, Lyudmila M. Lukyanchuk<sup>1</sup>, Galina A. Kodirova<sup>2</sup>, Galina V. Kubankova<sup>2</sup>, Olga S. Efremova<sup>3</sup><sup>1</sup> Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia<sup>3</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Ekaterina S. Butovets, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru)

**Background.** The effect of heavy metal ions can cause ionic stress in plants – the problem of significant interest among researchers. This study was dedicated to the evaluation of genetically modified regenerated soybean lines obtained on nutrient media with heavy metal ions as a mutagenic factor.

**Materials and methods.** Genetically modified regenerated soybean lines were tested at the Agricultural Biotechnology Laboratory and Soybean Breeding Laboratory, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, and at the Agricultural Product Processing Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean. Fifteen regenerated soybean lines and source cultivars ('Primorskaya 13', 'Primorskaya 301', 'Primorskaya 81', and 'Hodson') served as the research material.

**Results.** Soybean accessions promising for further breeding were selected on the basis of their useful agronomic traits, grain quality, and resistance to fungal diseases. Accessions R 1490 (0.41 kg/m<sup>2</sup>) and R 1606 (0.38 kg/m<sup>2</sup>) were identified for having the highest yield in the experiment. Accessions R 1568 (1000 seed weight was 200.0 g) and R 1609 (190.2 g) had the largest seeds. Accessions R 1584, R 1568 and R 1606 manifested complex resistance to fungal diseases under natural conditions, while accession R 1490 was the most resistant under artificial infection pressure. The experiment resulted in selecting a group of lines regenerated from cv. 'Hodson' with high content of protein, histidine, valine, methionine, and cysteine. Accessions R 1605 and R 1609 demonstrated the highest oil content. The study revealed changes in the proportions of unsaturated fatty acids C<sub>18:2</sub>/C<sub>18:1</sub> in all regenerant groups.

**Keywords:** soybean, heavy metals, fungal diseases, protein and oil content, amino acids

**Acknowledgements:** this work was financially supported by the Fundamental Scientific Research Program "Far East" of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences for 2018–2020 (Grant No. 0812-2018-0024).

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

**For citation:** Butovets E.S., Lukyanchuk L.M., Kodirova G.A., Kubankova G.V., Efremova O.S. Studying regenerated soybean lines for their useful agronomic and biochemical characteristics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-38-49

## Введение

В настоящее время соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одной из самых распространенных и востребованных в мире сельскохозяйственных культур. Она отличается уникальным биохимическим составом, создающим широкие возможности для многоцелевого промышленного использования. Главное достоинство сои – высокое содержание полноценного растительного белка (36–47%). Белки семян сои обладают высокой биологической ценностью благодаря сбалансированности аминокислотного состава. В соевом белке содержатся в достаточном количестве почти все незаменимые аминокислоты и в первую очередь лимитирующие, которыми бедны зерновые культуры, а по содержанию лизина белок сои не уступает сухому молоку и куриному яйцу (Petibskaya, 2012; Kipshakbayeva et al., 2022; Shahova et al., 2023).

Семена сои является источником не только белка, но и масла (15–27%). Соевое масло занимает ведущее место в мировом производстве растительных масел, а его качество определяется содержанием ненасыщенных жирных кислот, при этом на их долю приходится 85–87% от суммы всех жирных кислот (Buchanan et al., 2015; Tessari et al., 2016; Assefa et al., 2018). Биологические свойства масел определяются не только качественным составом жирных кислот, но и их соотношением. Для организма человека соотношение полиненасыщенных жирных кислот (линолевой/линоленовой) в растительных маслах должно составлять (1–10) : 1; более высокое соотношение способствуют развитию многих заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых, воспалительных и аутоиммунных. В рационе здорового человека оптимальным соотношением считается 4 : 1. Согласно литературным данным, у сортов сои зарубежной селекции это соотношение составляло 9 : 1, а в сортах, выведенных в европейской части России – (4,8–8,6) : 1 (Petibskaya, 2012).

В связи с этим одним из значимых направлений в селекции сои, помимо создания сортов с высокой продуктивностью и адаптивностью, является селекция на улучшение пищевых и функциональных качеств семян, основанных на благоприятном для потребления балансе аминокислот в белках и жирных кислот в масле (Rozhanskaya et al., 2016; Li et al., 2020).

Как и многие абиотические факторы, ионы тяжелых металлов могут вызвать стресс у растений (Koshkin, 2010; Korotchenko, 2011; Reutova, 2017). Накопление металлов в молекулах нуклеиновых кислот провоцирует нарушение функционирования клеток, что может привести к генетическим изменениям (Tsyganov et al., 2008; Belimov, Tihonovich, 2011; Kulaeva, Tsyganov, 2011). Ограниченный ряд исследований по сое в данном направлении подтверждает актуальность проведения опытов по использованию тяжелых металлов в качестве мутагенного фактора при работе *in vitro*.

Тяжелые металлы, находящиеся в почве в дозе 2 ПДК, являются мутагенами для сои, вызывая многосемянность в бобах и формирование более крупного семени, которые наследуются в последующих поколениях (Dyomin et al., 2007; Tsmokalyuk, Sudakov, 2008). Учитывая мутагенные свойства ионов тяжелых металлов, одной из наших задач стало их применение для расширения генетического разнообразия регенерантных линий сои.

Климат Приморского края благоприятен для развития патогенной микобиоты. Существенный вред оказывают листовые формы грибных болезней сои, которые снижают ассимиляционную поверхность растений (Dega

et al., 2022). Поэтому возникает необходимость поиска генотипов сои, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью к грибным патогенам, что является в настоящее время одним из важных направлений в растениеводстве и селекции растений (Butovets et al., 2020).

Целью настоящего исследования была оценка регенерантных линий сои, полученных на средах с ионами тяжелых металлов в качестве мутагенного фактора ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ), по основным селекционным ценным признакам для дальнейшего их использования в селекционном процессе.

Для выполнения поставленной цели изучали следующие характеристики регенерантных линий и исходных форм сои: урожайность, массу 1000 семян, продолжительность периода вегетации растений и качественные характеристики семян (содержание белка, сбалансированность белка по аминокислотам, содержание масла, жирнокислотный состав масла). Также провели оценку степени устойчивости изучаемых сортов и регенерантных линий к местным популяциям патогенов на фоне естественного и искусственного развития заболеваний.

## Материалы и методы

В качестве исходных форм для создания регенерантов взяли четыре сорта сои из семенной коллекции Федерального научного центра агrobiотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки (ФНЦ агrobiотехнологий): американский сорт 'Ходсон', российские сорта 'Приморская 81', 'Приморская 13', 'Приморская 301', а также ранее полученные от них регенеранты R 1 (исходная форма (и. ф.) 'Приморская 301'), R 86 (и. ф. 'Ходсон') и R 565 (и. ф. 'Ходсон') (Vashchenko et al., 2014).

Получение регенерантных линий сои осуществляли в лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии ФНЦ агrobiотехнологий в 2015–2018 гг. (Efremova, Fisenko, 2017).

Процесс регенерации осуществляли в ламинар-боксе (БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2): стерильные семена помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (Murashige, Scoog, 1962) с половинным составом макро- и микросолей и добавлением цитокинина 6-бензиламинопурина (БАП) – среда А (контроль) и растворами солей тяжелых металлов как мутагенного фактора в перерасчете на ионы металлов:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (2 мг/л);  $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  (5 мг/л, 10 мг/л) – среда А+ТМ (тяжелые металлы).

Через 14 дней у проростков в стерильном боксе эксплантировали семядольные узлы посредством удаления центрального побега, эпикотили, гипокотили и части семядолей. В таком виде экспланты, имеющие размер 1 см с частями семядолей 2–3 мм, помещали на свежую питательную среду.

Через две недели после посадки первичные экспланты на среде с ТМ образовали первые боковые побеги, которые были сняты и помещены на среды микроклонирования, а экспланты пересажены на свежую питательную среду с тем же содержанием ТМ, но уменьшенной концентрацией БАП (среда Б+ТМ). Этот процесс продолжали до полного прекращения морфогенеза стебля или регенерации боковых побегов из семядольного узла как в эксперименте, так и на контроле.

Пробиручный материал для дальнейшего развития помещали в климатическую камеру Sanyo (MLE-352H, Япония). Полученные побеги для укоренения культивировали на среде 1/2 MS с добавлением мутагенного фактора в тех же концентрациях.

Микрорастения с хорошо развитой корневой системой пересаживали по одному растению в сосуд с почвенным грунтом (0,5 л), простерилизованном в паровом стерилизаторе (БК-75, Россия). Дальнейшее развитие растения получали в условиях световой комнаты при освещении 3,5–4,0 тыс. люкс,  $t = +25^{\circ}\text{C}$  и 16-часовом фотопериоде.

Изучение регенерантных линий проводили в полевых условиях. Испытания регенерантных линий и исходных сортов сои проходили в 2019–2021 гг. на полях лаборатории селекции сои ФНЦ агробиотехнологий в г. Уссурийске, который расположен в 90 км к северу от Владивостока (43°48' с. ш., 131°58' в. д.).

Суммарное значение активных температур (выше  $10^{\circ}\text{C}$ ) варьировало в районе проведения исследований в пределах 2400–2600 $^{\circ}\text{C}$ . Данные о температуре воздуха и осадках за период вегетации культуры (2019–2021 гг.) и среднеголетние значения (за последние 30 лет) были предоставлены агрометеорологической станцией «Тимирязевский» (Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Температурные условия были благоприятны для развития и роста сои. Среднеголетнее количество осадков (за период с температурами  $> 10^{\circ}\text{C}$ ) для места выращивания культуры в среднем в месяц составляет 74,7 мм; среднемесячное значение за периоды вегетации составило: 2019 г. – 73,3 мм (7,0–226,5 мм), 2020 г. – 96,3 мм (10,9–193,5 мм) и 2021 г. – 41,6 мм (7,8–79,7 мм).

Почва в месте проведения опытов лугово-бурая отбеленная, тяжелого механического состава.

Для изучения высевали семена сортов (исходные формы) сои – 'Приморская 13', 'Приморская 301', 'Приморская 81', 'Ходсон' и 15 регенерантных линий. Опыт организован согласно методике полевого опыта (Dospekhov, 2012). Выращивание культуры проводилось в соответствии с агротехникой, адаптированной для Приморского края. В течение трех лет высев семян сои производился урожайем предыдущего года с нормой 500 тыс. шт./га на делянке площадью 1,8 м<sup>2</sup>. Повторность опыта трехкратная, расположение делянок систематическое. Посевные и уборочные мероприятия осуществляли вручную. Анализ структуры урожая сои выполняли по 20 растениям каждого образца. В качестве стандарта для анализа линий сои использовали исходные сорта. Сохранность растений от всходов до уборки (число растений перед уборкой на 1 м<sup>2</sup>) вычисляли по пособию Тверской ГСХА (Usanova, 2017).

Изучение устойчивости сортов и регенерантных линий сои к наиболее вредоносным грибным патогенам Приморского края проводилось на естественном инфекционном фоне и при искусственном заражении. За период изучения естественный инфекционный фон не достигал экономического порога по вредоносности болезней сои. Искусственное заражение растений проводилось суспензией патогенов сои – *Septoria glycines* Hemmi, *Cercospora sojae* Naga и *Peronospora manshurica* (Naum.) Syd. – на отдельных изолированных друг от друга участках. Культуры грибов *Septoria glycines* и *Cercospora sojae* определены и выделены в лаборатории селекции сои ФНЦ агробиотехнологий.

Экстрагирование грибной инфекции проводилось с пораженного растительного материала сои, собранного на полях учреждения. Для пересадки использовали культуральную среду – картофельно-глюкозный агар (КГА); в чашках Петри чистую культуру патогена выращивали при температуре  $+24...+26^{\circ}\text{C}$  в термостате фир-

мы Binder (Германия) в течение 6–7 дней до появления конидий. Приготовление суспензий, содержащих споры грибов, выполнялось смывом выросших на КГА конидий стерильной дистиллированной водой. Так как *Peronospora manshurica* является паразитом, который развивается только на тканях живых растений, делали смыв спор с инфицированных зеленых листьев сои. Суспензии разбавляли для получения требуемой концентрации конидий в количестве 10 шт. (септориоз), 3 шт. (церкоспороз) и 30 шт. (пероноспороз) в поле зрения микроскопа. Плотность суспензий определялась под микроскопом Motik Microscores 1.3 MP при 80-кратном увеличении просмотром не менее 10 капель. Обработка образцов суспензиями осуществлялась в фазу образования трех-четырех тройчатых листьев растений при помощи ранцевого опрыскивателя с расходом жидкости 45 мл на м<sup>2</sup>. Визуальную оценку и учет степени поражения (вычисленные значения по площади поражения) листовой пластинки грибными болезнями (септориоз, церкоспороз, пероноспороз) проводили на стадии развития – формирования семени в бобе (полного налива бобов). Работа выполнялась на основе методических указаний (Korsakov et al., 1979).

Биохимический состав семенного материала определяли в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института сои (ВНИИ сои) многомерным методом БИК-анализа с использованием анализатора FOSS NIRSystems 5000 (G.R.A.S. Sound & Vibration A/S, Дания). Принцип анализа основан на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и сопоставлении связи между спектральными и референтными значениями. Обработку спектров и расчет белка и масла в семенах проводили по базовым градуировочным моделям с помощью программного обеспечения Vision 3.1. Расчет значений состава жирных кислот – пальмитиновой ( $\text{C}_{16}$ ), стеариновой ( $\text{C}_{18}$ ), олеиновой ( $\text{C}_{18:1}$ ), линолевой ( $\text{C}_{18:2}$ ), линоленовой ( $\text{C}_{18:3}$ ) – и аминокислот (аргинин, лизин, тирозин, фенилаланин, гистидин, лейцин, изолейцин, метионин + цистин, валин, пролин, треонин, серин, аланин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты) выполняли по градуировочным моделям, разработанных в 2009 г. в аналитической группе ВНИИ сои (Nizkii et al., 2020).

Для определения жирнокислотного состава в качестве эталонов применяли образцы семян, референтные показатели которых были получены методом газожидкостной хроматографии на приборе Sigma 2 (Perkin Elmer, США) с использованием металлической колонки размером 2 × 200 мм. Детектор пламенно-ионизационный, режим изотермический, температура –  $187^{\circ}\text{C}$ , газ-носитель – азот, скорость потока – 10–15 мм/мин. Аминокислотный состав белка в градуировочных образцах определяли на жидкостном хроматографе (автоматический анализатор аминокислот фирмы LKB, Швеция) с использованием метода добавки: в ранее проанализированные пробы добавляли известное количество той или иной химически чистой аминокислоты, и ее содержание определяли по пропорциональности прироста площади пика на хроматограмме. Обработку результатов химического анализа осуществляли на основе подсчета средних значений показателей по данным трех параллельных определений.

Статистическую обработку данных выполняли по «Методике полевого опыта» (Dospekhov, 2012) в программе Excel for Windows. Существенность различий между выборками определяли с помощью НСР (наимень-

шая существенная разница), оценку достоверности различий проводили по t-критерию Стьюдента. Силу связей между признаками рассчитывали применяя парный корреляционный анализ с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel, Statistica 10.0 при уровне значимости  $p < 0,05$ .

### Результаты

В результате работы по регенерации от 15 фертильных растений было получено 15 регенерантных линий сои (табл. 1).

пу клеток полевицы побегоносной (*Agrostis stolonifera* L.) (Gladkov, 2008). В связи с этим для оценки регенерационной способности семядольных узлов сои нами были взяты две концентрации ионов кадмия (5 мг/л и 10 мг/л).

Дальнейшее тестирование регенерантных линий сои продолжали в естественных природно-климатических условиях. Изучали показатели хозяйственно ценных признаков, выживаемости («сохранность растений к моменту уборки») и накопления запасных питательных элементов в семенах.

За трехлетний период изучения (2019–2021 гг.) в полевых условиях отмечена наибольшая урожайность у ли-

**Таблица 1. Регенерантные линии сои, полученные с применением в питательных средах ионов тяжелых металлов как мутагенного фактора**

**Table 1. Regenerated soybean lines obtained through the use of heavy metal ions in nutrient media as a mutagenic factor**

Регенерантные линии / Regenerated lines	Исходная форма / Original form	Ионы тяжелых металлов / Heavy metal ions	Концентрация ионов тяжелых металлов, мг/л / Concentration of heavy metal ions, mg/L
R 1	‘Приморская 301’	–	–
R 1485	R1 (и. ф. ‘Приморская 301’)	Cu <sup>2+</sup>	2
R 1490		Cu <sup>2+</sup>	2
R 1584		Cd <sup>2+</sup>	5
R 1568		Cd <sup>2+</sup>	10
R 86	‘Ходсон’	–	–
R 1585	R 86 (и. ф. ‘Ходсон’)	Cd <sup>2+</sup>	5
R 1567		Cd <sup>2+</sup>	10
R 1357	‘Ходсон’	Cu <sup>2+</sup>	2
R 1606		Cd <sup>2+</sup>	5
R 1583	R 565 (и. ф. ‘Ходсон’)	Cd <sup>2+</sup>	5
R 1590		Cd <sup>2+</sup>	5
R 1605	‘Приморская 81’	Cd <sup>2+</sup>	5
R 1609		Cd <sup>2+</sup>	5
R 1576	‘Приморская 13’	Cd <sup>2+</sup>	10

Эффективность регенерации оценивали исходя из числа регенерирующих эксплантов (семядольных узлов), то есть отношения между числом семядольных узлов, отозвавшихся на регенерацию, и общим числом семядольных узлов исходной формы; и регенерационной способности семядольных узлов (среднее число побегов на один узел). Данные показатели в вариантах питательных сред с ионами меди по отношению к контролю практически не имели изменений. В ранее полученных данных небольшая изменчивость показателей отмечена лишь в пределах исходных форм (Efremova, Fisenko, 2017).

Как известно, кадмий в питательной среде находится в более доступном состоянии, чем в почве. В работах Е. А. Гладкова концентрация кадмия 5 мг/л (в перерасчете на ионы) оказала ингибирующее действие на культу-

ний R 1490 (0,41 кг/м<sup>2</sup>) и R 1606 (0,38 кг/м<sup>2</sup>). По сравнению с исходными формами показатель первого образца был выше R 1 на 13,9%, второго – превышал ‘Ходсон’ на 35,7%. Образцы R 1584, R 1568, R 1590, полученные от исходных форм R 1 и R 565, характеризовались низким процентом сохранности растений к моменту уборки: показатель варьировал от 35 до 45%, что негативно отразилось на уровне урожайности (табл. 2). Показатель выживаемости «сохранность растений к моменту уборки» определяет адаптационную способность культуры при возделывании в конкретных погодных и эдафических условиях. Следует предположить, что для ряда тестируемых образцов условия были недостаточно благоприятными, о чем говорит относительно низкая сохранность растений во всех повторностях, которая в среднем за три года изучения у пяти регенерантных линий не превысила

**Таблица 2. Хозяйственно значимые признаки регенерантных линий и исходных форм сои (среднее за 2019–2021 гг.), Приморский край****Table 2. Useful agronomic traits in regenerated soybean lines (average for 2019–2021), Primorsky Territory**

Исходная форма, линия / Original form, line	Исходная форма / Original form	Урожайность, кг/м² / Yield, kg/m²	Масса 1000 семян, г / 1000 seed weight, g	Период веге- тации, дни / Growing sea- son, days	Сохранность растений к моменту уборки, % / Plant integrity by the time of harvesting, %
‘Приморская 81’	–	0,41	180,8	119	88
R 1605	‘Приморская 81’	0,33	145,9	115	94
R 1609		0,22	190,2	120	85
‘Приморская 301’	–	0,27	145,0	119	63
R 1	‘Приморская 301’	0,36	187,3	116	73
R 1485	R1 (и. ф. ‘При- морская 301’)	0,32	170,6	120	63
R 1490		0,41	150,5	113	86
R 1584		0,18	176,6	118	35
R 1568		0,18	200,0	117	40
‘Приморская 13’	–	0,30	180,1	114	63
R 1576	‘Приморская 13’	0,25	162,3	115	94
‘Ходсон’	–	0,28	155,0	114	67
R 86	‘Ходсон’	0,22	175,0	114	54
R 1585	R 86 (и. ф. ‘Ходсон’)	0,27	146,2	115	86
R 1567		0,23	146,3	114	71
R 1357	‘Ходсон’	0,29	150,9	115	71
R 1606		0,38	140,8	113	76
R 1583	R 565 (и. ф. ‘Ходсон’)	0,25	160,6	114	69
R 1590		0,19	170,0	113	45
НСР <sub>0,95</sub>		0,10	19,9	2,7	22,1

Примечание: НСР<sub>0,95</sub> – наименьшая существенная разностьNote: НСР<sub>0,95</sub> – the least significant difference

63,0%. Некоторые линии характеризовались более высоким процентом сохранности растений к моменту уборки в сравнении с их исходными формами.

Семена относительно крупного размера сформировались у регенерантных линий R 1568 (масса 1000 семян – 200,0 г) и R 1609 (190,2 г), превысивших значение своих исходных форм: R 1 на 12,7 г, ‘Приморская 81’ на 9,4 г. По периоду вегетации линии были близки к исходным формам. Некоторые образцы (R 1605, R 1, R 1490) сократили период созревания семян на четыре дня; продолжительность вегетационного периода растений составила 113–116 дней.

В опыте наблюдалась высокая чувствительность растений к инфицированию грибными патогенами (табл. 3). При воздействии возбудителя болезни *Septoria glycines* степень поражения листовой пластинки увеличилась на 51% в сравнении с ЕИФ (естественным инфекционным фоном) развития патогена. Меньшая степень поражения присутствовала у образцов R 1490 и R 1567 как в есте-

ственных условиях развития патогена (18% и 20%), так и искусственных (60%).

Согласно шкале для определения устойчивости сои к болезням (Korsakov et al., 1979), все регенерантные линии на естественном фоне развития *Cercospora sojina* проявили среднюю устойчивость к заболеванию. При принудительном инфицировании степень их поражения увеличилась примерно на 40%.

При анализе устойчивости к *Peronospora manshurica* в естественных условиях развития грибной инфекции поражение не превышало 35%, в искусственных оно было более 80%. При высокой инфекционной нагрузке образец R 1609 не смог в полной мере противостоять дополнительному прессингу патогена, степень поражения увеличилась от 20% (естественный фон) до 80% (искусственный). Среднеустойчивый образец R 1490 в меньшей степени поразился при инокуляции растений суспензией пероноспороза, поражение не превысило 50% (см. табл. 3).

**Таблица 3.** Степень поражения (%) листьев регенерантных линий сои и исходных форм грибными патогенами на фоне естественного инфекционного и искусственного заражения болезнью (среднее за 2019–2021 гг.), Приморский край

**Table 3.** The degree of damage (%) on the leaves of regenerated soybean lines and original forms, inflicted by fungal pathogens under natural and artificial infection pressure (average for 2019–2021), Primorsky Territory

Исходная форма, линия / Original form, line	Степень поражения грибными патогенами / Degrees of the damage inflicted by fungal pathogens					
	<i>Septoria glycines</i> Hemmi		<i>Cercospora sojina</i> Hara		<i>Peronospora manshurica</i> (Naum.) Syd.	
	ЕИФ / NIP	ИИФ / AIP	ЕИФ / NIP	ИИФ / AIP	ЕИФ / NIP	ИИФ / AIP
‘Приморская 81’	25	66	20	55	26	60
R 1605	30	70	23	58	33	63
R 1609	26	65	30	62	20	80
‘Приморская 301’	18	63	30	54	30	49
R 1	32	70	26	65	31	55
R 1485	20	70	25	54	35	56
R 1490	18	60	30	56	30	50
R 1584	23	60	23	63	20	65
R 1568	20	71	25	60	25	70
‘Приморская 13’	28	63	29	69	29	60
R 1576	26	60	21	55	23	59
‘Ходсон’	24	70	20	53	28	66
R 86	21	72	27	59	25	60
R 1585	23	63	26	66	20	59
R 1567	20	60	30	62	22	53
R 1357	25	62	33	50	26	60
R 1606	22	66	23	51	21	55
R 1583	19	68	28	60	22	70
R 1590	23	70	26	61	30	82
НСР <sub>0,95</sub>	5,6	4,5	4,9	6,7	5,7	12,1

Примечание: ЕИФ – естественный инфекционный фон; ИИФ – искусственный инфекционный фон

Note: NIP – natural infection pressure; AIP – artificial infection pressure

Комплексную устойчивость ко всем грибным болезням на естественном фоне проявили линии R 1584, R 1568, R 1606, степень поражения не превышала 25%. На искусственном фоне заражения растений более низкой степенью восприимчивости к тестируемым патогенам характеризовалась линия R 1490.

При анализе химического состава семян в группе, полученной от сорта ‘Ходсон’, линии R 1590, R 1583 на 7,3–10,8% достоверно превосходили исходную форму по содержанию белка (табл. 4). Линия R 1583 за весь период исследований отличалась устойчиво высоким содержанием белка в семенах, с колебаниями по годам от 40,1 до 42,2%, что отмечалось нами в ранее полученных результатах (Kodirova et al., 2018).

В результате исследования комплекса аминокислот были определены заменимые, в том числе условно заменимые (гистидин и аргинин), и незаменимые аминокислоты. Сравнительный анализ показал слабую изменчивость ( $C_v < 10,5\%$ ) процентного содержания аминокислот от суммы аминокислот для большинства из них, в том числе заменимых, средние значения которых в белке регенерантных линий не превышали уровень исходных форм и составляли: аргинин – 4,4%, тирозин – 4,1%, аланин – 4,5%, пролин – 5,8%, серин – 5,3%, глутаминовая кислота – 14,7%, аспарагиновая кислота – 11,6%. Средней степенью изменчивости характеризовались гистидин и валин, коэффициент вариации по этим показателям составил 16,3% и 13,4% соответственно.

**Таблица 4. Характеристика регенерантных линий сои по содержанию белка и незаменимых аминокислот (среднее за 2019–2021 гг.), Амурская область****Table 4. Protein content and essential amino acids in regenerated soybean lines (average for 2019–2021), Amur Province**

Исходная форма, линия / Original form, line	Белок, % / Protein, %	Аминокислоты, % от суммы аминокислот / Individual amino acids, % of the total amino acid content							
		гистидин / histidine	валин / valine	лизин / lysine	лейцин / leucine	изолейцин / isoleucine	треонин / threonine	фенилаланин / phenylalanine	метионин + цистин / methionine + cystine
‘Приморская 81’	40,0	7,9	7,3	6,2	7,9	5,6	3,6	4,3	1,8
R 1605	39,0	8,2	7,1	6,2	8,0	5,7	3,5	4,4	1,8
R 1609	38,7	7,0	7,0	6,2	8,0	5,6	3,6	4,2	1,7
‘Приморская 301’	39,3	9,0	7,9	6,2	8,0	5,7	3,5	4,0	1,8
R 1	39,5	5,7	6,2	6,2	7,9	5,4	3,5	4,2	1,8
R 1485	38,3	7,2	7,1	6,2	8,0	5,6	3,5	4,4	1,8
R 1490	39,5	8,0	7,3	6,2	7,9	5,3	3,6	4,5	1,9
R 1584	38,8	7,5	7,3	6,2	8,0	5,6	3,6	4,4	1,8
R 1568	39,6	7,4	7,2	6,2	8,0	5,6	3,6	4,3	1,8
‘Приморская 13’	39,9	7,4	6,2	6,1	7,6	5,6	3,5	4,2	1,5
R 1576	40,6	5,6	7,2	6,2	8,0	5,6	3,6	4,2	1,6
‘Ходсон’	37,0	6,5	7,3	6,4	8,5	5,4	3,8	4,1	1,8
R 86	39,6	9,5	7,1	6,3	8,0	5,3	3,7	4,1	1,8
R 1585	38,4	8,7	7,3	6,2	8,0	5,5	3,6	4,3	2,1
R 1567	36,7	9,7	9,1	6,4	8,3	5,1	3,8	3,9	1,9
R 1357	38,4	8,5	8,8	6,3	8,0	5,4	3,7	4,4	2,1
R 1606	37,4	7,8	7,8	6,3	8,3	5,6	3,7	4,3	2,0
R 1583	41,0	8,6	7,0	6,2	7,9	5,5	3,6	4,3	2,0
R1590	39,7	7,9	7,8	6,3	8,1	5,5	3,7	4,2	1,9
Cv, %	3,7	16,3	13,4	1,2	2,3	2,8	2,6	3,5	10,5
HCP <sub>0,95</sub>	1,8	1,3	1,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2

Примечание: HCP<sub>0,95</sub> – наименьшая существенная разность, Cv – коэффициент вариации

Note: HCP<sub>0,95</sub> – the least significant difference, Cv – coefficient of variation

Вместе с тем по содержанию гистидина у некоторых регенерантных линий отмечались существенные отличия относительно их исходных форм, а по степени выраженности этого признака линии сорта ‘Ходсон’ на 21,5–49,2% достоверно превосходили уровень исходной формы. Кроме того, линии R 1357, R 1567, R 1585, R 1606, R 1583 характеризовались повышенным суммарным содержанием метионина с цистином и содержанием валина, значения которых достоверно превышали исходный сорт на 16,7 и 24,7%.

Все исследуемые образцы характеризовались относительно стабильной масличностью семян (18,1–20,8%).

Только у одной линии (R 1609) содержание масла в семенах было достоверно выше, чем у исходной формы (табл. 5).

Линии R 1567, R 1357, R 1485 характеризовались максимальным содержанием масла в семенах (20,0–20,8%), но их значения не превышали достоверно уровень исходной формы.

При изучении качественного состава масла по содержанию насыщенных жирных кислот существенных отличий среди регенерантных линий не выявлено, по уровню изменчивости их можно условно отнести к группе стабильных (Cv < 10%). В среднем содержание пальмитино-

**Таблица 5. Количественный и качественный состав масла в образцах регенерантных линий сои (среднее за 2019–2021 гг.), Амурская область****Table 5. Quantitative and qualitative composition of oil in regenerated soybean lines (average for 2019–2021), Amur Province**

Исходная форма, линия / Original form, line	Масло, % / Oil, %	Содержание жирных кислот, % / Fatty acid content, %			C <sub>18:2</sub> /C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub> /C <sub>18:3</sub>
		МНЖК / MUFA	ПНЖК / PUFA			
		олеиновая / oleic (C <sub>18:1</sub> )	линолевая / linoleic (C <sub>18:2</sub> )	линолено- вая / linolenic (C <sub>18:3</sub> )		
‘Приморская 81’	18,7	18,8	51,1	9,6	2,72	5,32
R 1605	19,8	19,2	51,4	8,8	2,68	5,84
R 1609	19,9	20,0	51,4	9,2	2,57	5,59
‘Приморская 301’	19,7	17,4	51,6	9,7	2,97	5,32
R 1	19,3	22,4	51,5	9,3	2,30	5,54
R 1485	20,0	19,7	51,3	9,1	2,60	5,64
R 1490	19,6	19,7	51,5	9,0	2,61	5,72
R 1584	19,9	19,8	51,5	8,6	2,60	5,99
R 1568	19,1	19,2	51,4	10,0	2,68	5,14
‘Приморская 13’	18,1	19,8	51,9	10,2	2,62	5,09
R 1576	18,9	21,4	51,4	9,4	2,40	5,47
‘Ходсон’	20,0	19,5	51,9	9,8	2,66	5,30
R 86	18,7	20,5	51,8	10,1	2,53	5,13
R 1585	19,4	16,6	50,9	7,6	3,07	6,70
R 1567	20,8	18,4	51,8	9,7	2,82	5,34
R 1357	20,2	16,5	52,1	8,2	3,16	6,35
R 1606	19,5	16,3	50,6	7,9	3,10	6,41
R 1583	18,5	18,3	51,6	10,0	2,82	5,16
R 1590	18,9	18,0	51,8	10,0	2,88	5,18
Cv, %	4,3	18,1	1,7	14,1	–	–
НСР <sub>0,95</sub>	1,1	3,5	1,1	1,4	–	–

Примечание: МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты

Note: MUFA – monounsaturated fatty acids; PUFA – polyunsaturated fatty acids

вой кислоты в масле семян варьировало в пределах 9,6–10,0% при достоверном диапазоне различий 0,2–0,7%. Концентрация стеариновой кислоты была на уровне 3,4–3,9% при достоверном различии 0,04–0,15%.

В масле семян преобладают ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая ( $C_{18:1}$ ), линолевая ( $C_{18:2}$ ) и линоленовая ( $C_{18:3}$ ). Значительную часть от суммы всех жирных кислот занимает полиненасыщенная линолевая кислота. Ее содержание в масле изучаемых линий было стабильным. Средней вариабельностью характеризовались мононенасыщенная олеиновая ( $C_v = 18,1\%$ ) и полиненасыщенная линоленовая кислоты. Среди линий сортов ‘Приморская 81’, ‘Приморская 301’ и ‘Приморская 13’ отмечено незначительное повышение процентного содержания

олеиновой кислоты. Во всех группах образцов изменение концентрации линоленовой кислоты было направлено в сторону снижения показателя. Наименьшее ее содержание выявлено в группе линий сорта ‘Ходсон’ (R 1585, R 1357, R 1606) с достоверным снижением средних значений на 15,5–28,9% относительно исходной формы.

Сравнительный анализ соотношений ненасыщенных жирных кислот в масле ( $C_{18:2}/C_{18:1}$ ) показал, что у группы линий сорта ‘Ходсон’ с минимальным содержанием олеиновой кислоты в масле отношение к линолевой выше (2,82–3,16), чем у линий сортов ‘Приморская 81’, ‘Приморская 301’ и ‘Приморская 13’ (2,30–2,68), характеризующихся максимальным содержанием олеиновой кислоты. Такая взаимосвязь свидетельствует о различиях

между линиями и их исходными формами, что согласуется с ранее полученными результатами (Kodirova et al., 2019).

Соотношение полиненасыщенных жирных кислот  $C_{18:2}/C_{18:3}$  в масле семян регенерантных линий находилось в пределах 5,1–6,7. Это свидетельствует о том, что масло исследуемых нами образцов сои имеет оптимальное соотношение жирных кислот, обеспечивающее необходимый баланс полиненасыщенных жирных кислот в организме человека.

### Заключение

Таким образом, все наши данные показывают важность и актуальность проведения экспериментов по созданию регенерантных линий сои с применением в качестве мутагенного фактора ионов тяжелых металлов ( $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ). Оценка созданных линий по основным хозяйственно ценным признакам, качественным характеристикам семян и устойчивости к грибным заболеваниям показала возможность использования ионов тяжелых металлов для увеличения генетического разнообразия культуры.

При тестировании исследуемого материала в естественных природно-климатических условиях наибольшая урожайность была отмечена у регенерантных линий R 1490 (0,41 кг/м<sup>2</sup>) и R 1606 (0,38 кг/м<sup>2</sup>); она превышала показатели исходных форм на 13,9% и 35,7% соответственно. У линий R 1605, R 1, R 1490 наблюдалось сокращение сроков созревания на три-четыре дня по сравнению с исходными образцами. Кроме того, была выявлена высокая поражаемость растений регенерантных линий при инфицировании патогенами *Septoria glycines*, *Hemmi* и *Peronospora manshurica*. Установлена относительная комплексная устойчивость к грибным болезням (септориоз, церкоспороз, пероноспороз): на естественном фоне – у линий R 1584, R 1568, R 1606, на искусственном инфекционном фоне – у R 1490. Определены различия между линиями и исходными сортами по биохимическому составу семян. Выделена группа линий сорта 'Ходсон' с достоверным превышением по содержанию белка (R 1590, R 1583), гистидина (R 1490, R 1357, R 1567, R 1585, R 1606, R 1583), валина (R 1357, R 1567), метионина + цистина (R 1585, R 1606, R 1583, R 1357). По содержанию масла в семенном материале существенно превышали уровень исходного сорта линии R 1605 и R 1609. Отмечены изменения во всех группах линий относительно их исходных форм по соотношению ненасыщенных жирных кислот  $C_{18:2}/C_{18:1}$ .

По результатам опытов выделены регенерантные линии сои, представляющие интерес для использования в селекционном процессе.

### References / Литература

- Assefa Y., Bajjalieh N., Archontoulis S., Casteel S., Davidson D., Kovács P., et al. Spatial characterization of soybean yield and quality (amino acids oil, and protein) for United States. *Scientific Reports*. 2018;8(1):14653. DOI: 10.1038/s41598-018-32895-0
- Belimov A.A., Tihonovich I.A. Microbiological aspects of resistance and accumulation of heavy metals in plants. *Agricultural Biology*. 2011;46(3):10-15. [in Russian] (Белимов А.А., Тихонович И.А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений. *Сельскохозяйственная биология*. 2011;46(3):10-15).
- Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. (eds). *Biochemistry and molecular biology of plants*. 2nd ed. Chichester: Wiley Blackwell; 2015.
- Butovets E.S., Vasina E.A., Luk'yanchuk L.M. Screening of soybean germplasm under conditions of the Primorsky territory. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(8):23-27. [in Russian] (Бутовец Е.С., Васина Е.А., Лукьянчук Л.М. Скрининг гермоплазмы сои в условиях Приморского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(8):23-27). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10803
- Chaika A.K., Tilba V.A., Moiseenko A.A., Vashchenko A.P., Sinegovskaya V.T., Emelyanov A.N., Kraskovskaya N.A., Gubin A.V., Nikishin V.M., Fomenko N.D., Gaiduchenko A.N., Mashchenko N.V., Chaika N.V., Kapustin Yu.S., Stupin V.M., Morokhovets V.N. Adaptive and innovative technologies for cultivation of soybean and maize in the Russian Far East: guidelines. (Adaptivnye i progressivnye tekhnologii vozdel'yvaniya soi i kukuruzy na Dalnem Vostoke: metod. rekomendatsii). Vladivostok: Dalnauka; 2009. [in Russian] (Чайка А.К., Тильба В.А., Моисеенко А.А., Ващенко А.П., Синеговская В.Т., Емельянов А.Н., Красковская Н.А., Губин А.В., Никишин В.М., Фоменко Н.Д., Гайдученко А.Н., Мащенко Н.В., Чайка Н.В., Капустин Ю.С., Ступин В.М., Мороховец В.Н. Адаптивные и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке: метод. рекомендации. Владивосток: Дальнаука; 2009).
- Dega L.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Soybean: diseases and pests (Soya: bolezni i vrediteli). Moscow: Izvestiya; 2022. [in Russian] (Дера Л.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Соя: болезни и вредители. Москва: Известия; 2022).
- 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: Kniga po trebovaniyu; 2012. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012).
- Dyomin A.A., Tsmokaljuk N.M., Sydakov V.V., Borisova G.Ja. Influence of pollution of ground TM on economic useful parameters of a soya in conditions of Ussuriyskogo area of Primorski Krai. *Izvestia MAAO = News of the International Academy of Agrarian Education*. 2007;(5):15-22. [in Russian] (Дёмин А.А., Цмокалюк Н.М., Судаков В.В., Борисова Г.Я. Влияние загрязнения почвы ТМ на хозяйственно полезные показатели сои в условиях Уссурийского района Приморского края. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2007;(5):15-22).
- Efremova O.S., Fisenko P.V. Effect of mutagenic action of copper ions upon the level of genetic variability of soybean regenerants. *Far East Agrarian Bulletin*. 2017;4(44):30-36. [in Russian] (Ефремова О.С., Фисенко П.В. Влияние мутагенного действия ионов меди на уровень генетической изменчивости регенерантов сои. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;4(44):30-36).
- Gladkov E.A. Biotechnological methods of obtaining of *Agrostis stolonifera* plants resistant to Cd and Pb. *Agricultural Biology*. 2008;43(3):83-87. [in Russian] (Гладков Е.А. Биотехнологические методы получения растений полевицы побегоносной *Agrostis stolonifera*, обладающих устойчивостью к кадмию и свинцу. *Сельскохозяйственная биология*. 2008;43(3):83-87).
- Kipshakbayeva G.A., Tleulina Z.T., Oshergina I.P., Aman-taev B.O., Sarbasova N.A. Influence of conditions of cultivation of soybean varieties of various origin on the for-

- mation of productivity and quality indicators. *Gylm zhane Bilim = Science and Education*. 2022;2-1(67):213-222. [in Russian] (Кипшакбаева Г.А., Тлеулина З.Т., Ошергина И.П., Амантаев Б.О., Сарбасова Н.А. Влияние условий возделывания сортов сои различного происхождения на формирование показателей продуктивности и качества. *Наука и образование*. 2022;2-1(67):213-222). DOI: 10.56339/2305-9397-2022-1-2-213-223
- Kodirova G.A., Kubankova G.V., Efremova O.S. Biochemical assessment of somaclonal lines of soybean resistant to ions of cadmium. *Far East Agrarian Bulletin*. 2018;3(47):37-42. [in Russian] (Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Ефремова О.С. Биохимическая оценка соматоклональных линий, резистентных к ионам кадмия. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2018;3(47):37-42). DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13055
- Kodirova G.A., Kubankova G.V., Efremova O.S., Fisenko P.V. Variability of the fatty acid composition of oil in the seeds of somaclonal soybean lines. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2019;3(51):38-44. [in Russian] (Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Ефремова О.С., Фисенко П.В. Изменчивость жирнокислотного состава масла в семенах соматоклональных линий сои. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2019;3(51):38-44). DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13033
- Korotchenko I.S. Heavy metal influence on the photosynthetic pigment availability in carrot leaves. *The Bulletin of Kras-GAU*. 2011;4(55):86-91. [in Russian] (Коротченко И.С. Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови. *Вестник Крас-ГАУ*. 2011;4(55):86-91).
- Korsakov N.I., Ovchinnikova A.M., Mizzeva V.M. (comp.). Guidelines for studying soybean resistance to fungal diseases (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti soi k gribnym boleznyam). Leningrad: VIR; 1979. [in Russian] (Методические указания по изучению устойчивости сои к грибным болезням / сост. Н.И. Корсаков, А.М. Овчинникова, В.М. Мизева. Ленинград: ВИР; 1979).
- Koshkin E.I. Physiology of crop resistance (Fiziologiya ustoichivosti selskokhozyaystvennykh kultur). Moscow: Drofa; 2010. [in Russian] (Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. Москва: Дрофа; 2010).
- Kulaeva O.A., Tsyganov V.E. Molecular-genetic basis of cadmium tolerance and accumulation in higher plants. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2011;1(5):349-360. DOI: 10.1134/S2079059711050108
- Li M., Liu Y., Wang C., Yang X., Li D., Zhang X. et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1642. DOI: 10.3389/fpls.2019.01642
- Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Nizkii S., Kodirova G., Kubankova G. Determining the amino acid composition of soybean proteins using IR scanners. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*. 2020;9(2):45-49.
- Petibskaya V.S. Soybean: chemical composition and uses (Soya: khimicheskiy sostav i ispolzovaniye). Maikop: Poligraf-Yug; 2012. [in Russian] (Петибская В.С. Соя: химический состав и использование. Майкоп: Полиграф-ЮГ; 2012).
- Reutova N.V. Mutagenic potential of some heavy metals. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(2):175-179. DOI: 10.1134/S2079059717020101
- Rozhanskaya O.A., Lomova T.G., Shilova T.V., Gorshkova E.M. New somaclonal lines of soybean to be bred in Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2016;2:35-42. [in Russian] (Рожанская О.А., Ломова Т.Г., Шилова Т.В., Горшкова Е.М. Новые соматоклональные линии сои для селекции в Сибири. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2016;(2):35-42).
- Shahova M.N., Butova S.V., Vorontsov V.V. Development of a technology for obtaining a protein-lipid complex from soybean seeds. *Tekhnologii i tovarovedeniye selskokhozyaystvennoy produktsii = Technologies and Merchandising of Agricultural Products*. 2023;2(21):65-73. [in Russian] (Шахова М.Н., Бутова С.В., Воронцов В.В. Разработка технологии получения белково-липидного комплекса из семян сои. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2023;2(21):65-73). DOI: 10.53914/issn2311-6870\_2023\_2\_65
- Tessari P., Lante A., Mosca G. Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint? *Scientific Reports*. 2016;6:26074. DOI: 10.1038/srep26074
- Tsmokalyuk N.M., Sudakov V.V. The effect of soil contamination with heavy metals on the development and productivity of soybean progeny (Vliyaniye zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na razvitiye i produktivnost potomstva soi). In: *World Agriculture: Current State, Urgent Problems, and Development Trends: Proceedings of the International Symposium Dedicated to the Fifty-Year Anniversary of Primorsky State Agricultural Academy (Mirovoye selskoye khozyaystvo: sovremennoye sostoyaniye, aktualnye problemy i tendentsii razvitiya: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma, posvyashchennogo pyatidesyatiletuyu FGBOU VO "Primorskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya")*. Ussuriysk; 2008. p.108-116. [in Russian] (Цмокалюк Н.М., Судаков В.В. Влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на развитие и продуктивность потомства сои. В кн.: *Мировое сельское хозяйство: современное состояние, актуальные проблемы и тенденции развития: материалы международного симпозиума, посвященного пятидесятилетию ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»*. Уссурийск; 2008. С.108-116).
- Tsyganov V.E., Zhernakov A.I., Kulaeva O.A., Tsyganova A.V., Balushka F., Noh M., Ellis N., Tikhonovich I.A. Genetic and structural analysis of common pea resistance to toxic concentrations of cadmium (Geneticheskiy i strukturnyy analiz ustoichivosti gorokha posevnogo k toksichnym kontsentratsiyam kadmia). In: *Fundamental and Applied Problems of Botany in the Beginning of the 21st Century: Proceedings of the All-Russian Conference (Petrozavodsk, September 22-27, 2008). Part 6. Environmental Physiology and Biochemistry of Plants. Plant Introduction (Fundamentalnye i prikladnye problemy botaniki v nachale XXI veka: materialy vserossiyskoy konferentsii (Petrozavodsk, 22-27 sentyabrya 2008 g. Chast 6: Ekologicheskaya fiziologiya i biokhimiya rasteniy. Introduktsiya rasteniy)*. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the RAS; 2008. p.140-142. [in Russian] (Цыганов В.Е., Жернаков А.И., Кулаева О.А., Цыганова А.В., Балущка Ф., Нох М., Эллис Н., Тихонович И.А. Генетический и структурный анализ устойчивости гороха посевного к токсичным концентрациям кадмия. В кн.: *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: материалы всероссийской конференции (Петрозаводск, 22-27 сентября 2008 г. Часть 6: Экологическая физиология и биохимия растений. Интродукция растений*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2008. С.140-

- 142). URL: <http://resources.krc.karelia.ru/geobotany/doc/botany2008/Botanika6.pdf> [дата обращения: 12.09.2023].
- Usanova Z.I. Methodology for carrying out scientific research and coursework on crop production: a tutorial (Metodika vypolneniya nauchnykh issledovaniy i kursovoy raboty po rastenievodstvu: uchebnoye posobiye). 3rd ed. Tver: Tver State Agricultural Academy; 2017. [in Russian] (Усанова З.И. Методика выполнения научных исследований и курсовой работы по растениеводству: учебное пособие. 3-е изд. Тверь: Тверская ГСХА; 2017).
- Vashchenko A.P., Mudrik N.V., Fisenko P.P., Dega L.A., Chaika N.V., Kapustin Yu.S. Soybean in the Russian Far East (Soya na Dalnem Vostoke). Vladivostok: Dalnauka; 2014. [in Russian] (Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Фисенко П.П., Дега Л.А., Чайка Н.В., Капустин Ю.С. Соя на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука; 2014).

### Информация об авторах

**Екатерина Сергеевна Бутовец**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего лабораторией, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

**Людмила Михайловна Лукьянчук**, научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

**Галина Александровна Кодирова**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои, 675027 Россия, Благовещенск, Игнатьевское ш., 19, [kga@vniisoi.ru](mailto:kga@vniisoi.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2414-5699>

**Галина Викторовна Кубанкова**, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои, 675027 Россия, Благовещенск, Игнатьевское ш., 19, [kgv@vniisoi.ru](mailto:kgv@vniisoi.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6074-902X>

**Ольга Сергеевна Ефремова**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [efremo.olga2010@yandex.ru](mailto:efremo.olga2010@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9212-2117>

### Information about the authors

**Ekaterina S. Butovets**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Laboratory, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlm., Ussuriysk 692539, Russia, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

**Lyudmila M. Lukyanchuk**, Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlm., Ussuriysk 692539, Russia, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

**Galina A. Kodirova**, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Hwy., Blagoveshchensk 675027, Russia, [kga@vniisoi.ru](mailto:kga@vniisoi.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2414-5699>

**Galina V. Kubankova**, Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoye Hwy., Blagoveshchensk 675027, Russia, [kgv@vniisoi.ru](mailto:kgv@vniisoi.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6074-902X>

**Olga S. Efremova**, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, [efremo.olga2010@yandex.ru](mailto:efremo.olga2010@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9212-2117>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2023; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 01.11.2023; approved after reviewing on 01.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

UDC 633.82

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-50-59



### Application of combined fertilizers to improve growth, yield and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.)

**Tong Van Giang<sup>1</sup>, Tran Thi Huyen<sup>1</sup>, Nguyen Huu Hai<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Hong Duc University, Thanh Hoa, Vietnam<sup>2</sup> Plant Resources Center, Vietnam Academy of Agricultural Sciences, Ha Noi, Vietnam**Corresponding author:** Tong Van Giang, [tongvangiang@hdu.edu.vn](mailto:tongvangiang@hdu.edu.vn)

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is a vital aromatic crop widely utilized in culinary and fragrance industries. The present study was conducted to implement a two-year field experiment (2019 and 2020) aimed to assess the impact of various fertilizers on the growth, yield, and essential oil composition of basil cultivated in Thanh Hoa Province, Vietnam. The fertilizer treatments included: no fertilizer (control), chemical fertilizer (NPK at 90-120-90 kg/ha), cow manure, chicken manure, and a combination of chemical fertilizer, cow manure, and chicken manure. The application of fertilizers resulted in significant improvements across various parameters compared to the control group. Basil plants treated with fertilizers exhibited increased height, lateral stem count, fresh and dry yields, chlorophyll and carotenoid content, essential oil yield, and essential oil content. The essential oil extracted from basil contained notable volatile compounds, with methyl chavicol, linalool,  $\beta$ -elemene, and *epi*- $\alpha$ -cadinol identified as the major constituents. The proportions of these compounds varied among the fertilizer treatments. Notably, the combined fertilization approach involving chemical fertilizers, cow manure, and chicken manure emerged as the most effective and significant in promoting basil growth and essential oil production. These findings not only contribute to the optimization of basil cultivation practices but also provide insights for the agricultural community, emphasizing the importance of balanced fertilization for maximizing the quality and yield of basil essential oil in the Vietnamese context.

**Keywords:** *Ocimum basilicum*, fertilizers, essential oil content, methyl chavicol, linalool**Acknowledgements:** the authors would like to thank Hong Duc University (Vietnam) for their support and facilitation to complete this study.

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

**For citation:** Giang T.V., Huyen T.T., Hai N.H. Application of combined fertilizers to improve growth, yield and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):50-59. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-50-59

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-50-59

### Применение комбинированных удобрений для улучшения роста, урожайности и эфирномасличного состава базилика (*Ocimum basilicum* L.)

Т. В. Гианг<sup>1</sup>, Ч. Т. Хуен<sup>1</sup>, Н. Х. Хай<sup>2</sup><sup>1</sup> Университет Хонг Дык, Тхань Хоа, Вьетнам<sup>2</sup> Центр растительных ресурсов Вьетнамской академии сельскохозяйственных наук, Ханой, Вьетнам

Автор, ответственный за переписку: Тонг Ван Гианг, tongvangiang@hdu.edu.vn

Базилик (*Ocimum basilicum* L.) – жизненно важная ароматическая культура, широко используемая в кулинарии и парфюмерной промышленности. В настоящем исследовании двухлетний полевой эксперимент (2019 и 2020 г.) был направлен на оценку влияния различных удобрений на рост, урожайность и состав эфирного масла базилика, выращиваемого в провинции Тханьхоа, Вьетнам. Обработки удобрениями включали: отсутствие удобрений (контроль), химические удобрения (NPK в дозе 90-120-90 кг/га), коровий навоз, куриный помет и комбинацию химических удобрений, коровьего и куриного помета. Применение удобрений привело к значительным улучшениям по различным параметрам по сравнению с контрольной группой. Растения базилика, обработанные удобрениями, показали увеличение высоты, количества боковых стеблей, свежей и сухой урожайности, содержания хлорофилла и каротиноидов, выхода эфирного масла и содержания эфирного масла. Эфирное масло, экстрагированное из базилика, содержало летучие соединения, основными компонентами которых были метилхавикол, линалоол, β-элемен и эпи-α-кадиол. Пропорции этих соединений варьировались в зависимости от внесения удобрений. Примечательно, что комбинированный подход к внесению химических удобрений, коровьего и куриного помета оказался наиболее эффективным и значимым для стимулирования роста базилика и производства эфирного масла. Эти результаты не только способствуют оптимизации методов выращивания базилика, но и повышают информированность сельскохозяйственного сообщества, подчеркивая важность сбалансированного внесения удобрений для максимизации качества и урожайности эфирного масла базилика во вьетнамском контексте.

**Ключевые слова:** *Ocimum basilicum*, удобрения, содержание эфирного масла, метилхавикол, линалоол

**Благодарности:** авторы выражают благодарность Университету Хонг Дык (Вьетнам) за поддержку и помощь в осуществлении настоящего исследования.

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

**Для цитирования:** Гианг Т.В., Хуен Ч.Т., Хай Н.Х. Применение комбинированных удобрений для улучшения роста, урожайности и эфирномасличного состава базилика (*Ocimum basilicum* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):50-59. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-50-59

## Introduction

Basil, scientifically known as *Ocimum basilicum* L., is a revered herb celebrated not only for its culinary contributions but also for the aromatic treasure it yields in the form of essential oil (Dhama et al., 2023). Originating from the tropical regions of Asia, particularly India, basil has spread its aromatic influence across the globe, becoming a staple in various cuisines and cultures (Shahrajabian et al., 2020). This herb is renowned for its distinctive, sweet aroma and robust flavor, which adds depth and character to a wide array of dishes. Its glossy green leaves, often used either fresh or dried, impart a unique and delightful taste to salads, pasta, soups, and many other culinary creations (Filip, 2017). Beyond its culinary applications, basil has a rich history in traditional medicine, where it is revered for its potential health benefits (Shahrajabian et al., 2020; Dhama et al., 2023). Basil essential oil is renowned for its therapeutic properties, including antimicrobial and anti-inflammatory characteristics (Kathirvel, 2016). In aromatherapy, it is often employed to alleviate stress, uplift the spirit, and promote mental clarity (Kathirvel, 2016).

The management of plant nutrition is undeniably one of the keystones in modern agricultural strategies (Roy et al., 2006). As the global population burgeons, the demand for agricultural products, including herbs and essential oils, continues to rise. Effective plant nutrition not only ensures optimal crop growth but also plays a crucial role in enhancing the nutritional content of the produce (Baligar et al., 2001; Newell-McGloughlin, 2008; Fageria, Moreira, 2011). By adopting precision nutrition strategies, farmers can tailor the nutrient requirements of plants, leading to increased yields, improved quality, and sustainable agricultural practices.

In the pursuit of sustainable and environmentally friendly agricultural practices, the utilization of organic fertilizers has gained prominence (Adugna, 2016). Organic fertilizers, such as compost and manure, contribute not only to enhanced soil fertility but also foster long-term sustainability (Verma et al., 2020). The adoption of organic fertilizers in Vietnam offers a dual benefit – it provides essential nutrients to plants while promoting soil health and reducing the environmental impact of conventional chemical fertilizers (Sharma, 2017; Singh et al., 2020). This shift towards organic fertilizers aligns with global efforts to create a more sustainable and ecologically responsible agricultural sector (Verma et al., 2020).

In Vietnam, where the cultivation of herbs and essential oils from basil has become a significant economic driver, addressing the challenge of increasing productivity without expanding cultivation areas has become imperative. This necessitates an innovative approach to agricultural practices, focusing on optimizing plant nutrition and employing organic fertilizers to enhance crop yields. In the present study, a field experiment was conducted to determine the effects of (1) chemical fertilizers (N, P, K), (2) organic manure (cow manure, and chicken manure), and (3) integrated fertilizers (N, P, K, cow manure, chicken manure) on the growth, yield and essential oil composition of basil.

## Materials and methods

### Characteristics of the experiment site

The study was conducted on basil cultivated in an open field during the years 2019 and 2020 at the experimental farm situated at Hong Duc University, Thanh Hoa Province (19°46'16"N and 105°46'47"E), Vietnam. The region experiences high rainfall, ranging from approximately 1600 to 2300 mm annually, with a mean annual temperature of 24°C. Soil

samples were collected from a depth of 0 to 30 cm for physical and chemical analyses. The soil's physicochemical properties were determined as follows: electrical conductivity (EC) – 0.56 dS/m, potential of hydrogen (pH) – 7.14, organic carbon – 0.43%, organic matter – 9.13%, nitrogen (N) – 0.07%, phosphorus (P) – 0.01%, potassium (K) – 0.03%, and carbon/nitrogen (C/N) ratio – 6.14.

### Plant materials and sowing seeds

Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) were purchased from the Vietnam High-tech Plant Seed Center. Subsequently, these seeds were planted in a greenhouse equipped with automated environmental controls, maintaining a day/night temperature of 25/20 °C, relative humidity of 65%, and utilizing natural light. During the initial two-week post-sowing period, the plants received daily watering, which transitioned to a weekly schedule after this period. Plastic germination trays served as the containers, and the growth medium employed was a peat-based substrate. Transplantation of the seedlings to the field site took place after 6 weeks.

### Agronomic practices and experimental design

A field experiment was conducted using a randomized block design comprising five treatments and three replications. The treatments included T0 (control, without fertilizer), T1 (chemical fertilizers at the rate of 90 N – 120 P – 90 K kg/ha), T2 (15 t/ha of cow manure), T3 (9 t/ha of chicken manure), and T4 (a combination of chemical fertilizers with 30 N – 40 P – 30 K kg/ha, 5 t/ha of cow manure, and 3 t/ha of chicken manure). Urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), triple superphosphate ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), and potassium sulfate ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) were used to apply N, P, and K, respectively. The chemical characteristics of cow manure and chicken manure can be found in Table 1. All fertilizers were incorporated into the soil one week before transplanting basil. Plots were irrigated immediately after transplanting and as needed throughout the growing seasons. No pesticides were employed during the experiment, and weed control was carried out manually. Harvesting was conducted on June 20 in the first year and June 28 in the second.

### Measurement of some morpho-physiological traits

In both years, the harvesting of plants occurred at the full bloom stage, with the cut made 5 cm above the soil surface. The total fresh yield was documented and presented as t/ha. The number of lateral stems and plant height were determined, the latter measured with a ruler and expressed in cm. The total dry yield was measured and reported as t/ha after storing for 72 hours in an oven at 72°C. Concentrations of chlorophyll *a/b*, total chlorophyll, and carotenoids were assessed using a spectrophotometer following the method by T. T. Le et al. (2021).

### Essential oil extraction

Plant material (200 g) for each treatment was dried and milled into a powder. Hydrodistillation was then carried out for 3 hours using a Clevenger-type apparatus, following the established procedures (Giang et al., 2023). The essential oils were dried with anhydrous sodium sulfate and stored in amber vials at 4°C. The process of hydrodistillation was repeated in triplicate, and the essential oil yield (% v/w) was subsequently calculated.

### Essential oil analysis

The chemical compositions of the basil essential oils were analyzed using gas chromatography–flame ionization detec-

**Table 1. Chemical characteristics of cow manure and chicken manure used in the experiment**  
**Таблица 1. Химические характеристики коровьего навоза и куриного помета, использованных в эксперименте**

Parameter	Cow manure	Chicken manure
EC (dS/m)	1.68	6.73
pH	7.91	7.24
Organic carbon (%)	26.47	19.54
Organic matter (%)	30.11	32.67
Total N (%)	1.92	2.36
Available P (%)	0.84	0.80
Available K (%)	0.62	1.13
C/N	13.79	8.28

tion (GC–FID) and gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), following previously established procedures (Thin et al., 2023). The GC–FID analysis employed an Agilent Technologies 7890A GC equipped with FID and an HP-5MS capillary column (30 m × 0.25 mm, 0.25 µm film thickness). A ramp oven temperature was applied, beginning at 60 °C for 5 min, then increased to 220°C at a rate of 4°C/min, and held at 220°C for 10 min. The injector and detector temperatures were set at 250 and 260°C, respectively. Helium was used as the carrier gas at a flow rate of 1 mL/min, with a 1 : 10 split mode ratio in the injector. For each sample, the essential oil was diluted in n-hexane (at a ratio of 1 : 100) and injected (1 µL) into the GC system. The quantification of essential oil components was achieved through peak area normalization without correction factors.

The GC–MS analysis utilized an Agilent 7890A gas chromatograph coupled to an HP 5973 mass spectrometer with an HP-5MS capillary column (30 m × 0.25 mm, 0.25 µm film thickness). The analysis was performed in the EI mode, with an electron energy of 70 eV, a scan range of 35–350 amu, and a transfer line temperature of 280°C. Helium was the carrier gas with a flow rate of 1 mL/min, and the injector temperature was set to 250°C, following the same oven temperature program as in GC–FID. Identification of essential oil constituents was accomplished through computer matching with MS libraries (Adams, 2007; NIST, 2018), along with co-injection with authentic standards (linalool, methyl chavicol, and β-elemene) from Sigma-Aldrich, USA. Additionally, the calculation of temperature-programmed linear retention indices was conducted using a homologous series of n-alkanes (Sigma, USA), and the results were compared with those reported in the literature (Adams, 2007; NIST, 2018).

#### Statistical analysis

The results were presented as means and standard errors. To evaluate statistically significant differences between treatments, means were compared using the analysis of variance (ANOVA). The analyses were conducted on a personal computer utilizing SPSS™ software (SPSS Inc., Illinois, USA). Treatment means were further compared through the least significant difference test at a significance level of  $p < 0.05$ .

## Results and discussion

### Growth and morphophysiological characteristics

The application of various fertilizer treatments demonstrated a positive influence on basil growth. Notably, the highest plant height was observed in plants treated with the combination of fertilizers in the T4 treatment (Table 2). The use of combined fertilization, involving chemical fertilizers, cow manure, and chicken manure, resulted in a significant increase in plant height to 47.21 cm. Additionally, the number of lateral stems was increased in all amended plots as compared to the control (see Table 2). Among them, the number of lateral stems did not significantly change among the treatments of combined fertilizer and chemical fertilizer and reached the highest values, 16.88 and 16.74 per plant, respectively. These findings align with the earlier study by V. Pandey et al. (2016), who reported improved growth attributes in basil when using combined fertilizers in India. The enhancement of soil physicochemical properties through combined fertilizers played a crucial role in promoting crop growth and development. An increased supply of nutrients likely contributed to a rise in plant height and lateral stem count, intensified physiological activities, and enhanced photo-assimilate production, thereby boosting the overall growth (Fattahi et al., 2019; Teliban et al., 2020).

Furthermore, all fertilizers resulted in increased fresh and dry yields of basil in comparison to the control group, as shown in Table 2. The highest fresh and dry yields were recorded for the T4 treatment when the combined fertilizer was utilized. Specifically, the fresh and dry yields of basil reached 13.57 and 3.69 t/ha, respectively. Superior yields attributed to the use of various fertilizers may be explained by the synergy of organic and chemical fertilizers, inducing higher biomass production and improved plant growth. G. S. Teliban et al. (2020) also noted a significant influence of fertilizing systems on basil growth, dry matter, and herb production.

As shown in Table 2, the application of different fertilizers significantly increased the concentrations of photosynthetic pigments in basil leaves. The T4 treatment, utilizing the combined fertilizer, exhibited the highest chlorophyll *a/b*, total chlorophyll, and carotenoid contents. This increase in chlorophyll levels could be directly linked to the balanced nutrient

**Table 2. The effect of fertilizers on the growth and physiological characteristics of basil**  
**Таблица 2. Влияние удобрений на рост и физиологические характеристики базилика**

Treatments	Plant height (cm)	Lateral stems (pcs. per plant)	Fresh yield (t/ha)	Dry yield (t/ha)	Chlorophyll <i>a</i> (mg/g)	Chlorophyll <i>b</i> (mg/g)	Total chlorophyll (mg/g)	Carotenoid (mg/g)
T0	40.12 ± 0.71 c	12.07 ± 0.81 c	7.40 ± 0.42 c	1.72 ± 0.12 c	0.66 ± 0.03 c	0.18 ± 0.01 c	0.84 ± 0.03 d	0.36 ± 0.08 c
T1	46.08 ± 0.97 ab	16.74 ± 0.90 a	12.53 ± 0.67 ab	3.31 ± 0.28 ab	0.95 ± 0.03 b	0.42 ± 0.02 a	1.37 ± 0.06 b	0.44 ± 0.11 a
T2	44.78 ± 0.82 b	15.94 ± 0.87 ab	10.14 ± 0.54 b	2.88 ± 0.25 b	0.93 ± 0.04 b	0.26 ± 0.02 b	1.19 ± 0.04 c	0.41 ± 0.09 b
T3	43.91 ± 0.84 b	14.52 ± 0.85 b	9.46 ± 0.53 b	2.74 ± 0.10 b	0.92 ± 0.05 b	0.25 ± 0.02 b	1.17 ± 0.06 c	0.41 ± 0.09 b
T4	47.21 ± 1.09 a	16.88 ± 0.94 a	13.57 ± 0.72 a	3.69 ± 0.20 a	1.08 ± 0.04 a	0.44 ± 0.03 a	1.52 ± 0.05 a	0.44 ± 0.12 a

Note: T0 – control, T1 – chemical fertilizers, T2 – cow manure, T3 – chicken manure, and T4 – chemical fertilizers + cow manure + chicken manure. Results are means of three measurements ± standard errors. Within each column, values associated with different letters are significantly different according to Tukey's test at  $p < 0.05$

Примечание: T0 – контроль, T1 – химические удобрения, T2 – коровий навоз, T3 – куриный помет, T4 – химические удобрения + коровий навоз + куриный помет. Результаты представлены как средние трех измерений ± стандартные ошибки среднего. В каждом столбце значения, сопровождающиеся различными буквами, достоверно различаются по критерию Тьюки при  $p < 0.05$

supply in the soil resulting from the combined use of organic and chemical fertilizers. The intense green color, a preferred quality criterion for consumers, was achieved through integrated fertilizer application, with nitrogen playing a crucial role as the building block for amino acids, protein synthesis, and chlorophyll (Wen et al., 2019). According to V. Pandey et al. (2016), the provision of nitrogen during the leaf growth phase stimulates chloroplast formation, consequently enhancing the chlorophyll content in the leaves. Substantial nitrogen content in the growing tissue also acts as a catalyst for enzymes responsible for chlorophyll synthesis (Leghari et al., 2016; Wen et al., 2019).

#### Essential oil yield

Our findings highlight a substantial impact of fertilizer treatments on the basil essential oil yield. All treated plots demonstrated oil yields higher than the control (Figure 1). Specifically, the application of the combined fertilizer (T4) resulted in the highest essential oil yield at  $1.28 \pm 0.04\%$ , followed by chemical fertilizer (T1) at  $1.09 \pm 0.05\%$ . In contrast, the utilization of cow manure (T2) and chicken manure (T3) showed no significant difference in essential oil yields, with values of  $0.92 \pm 0.03\%$  and  $0.90 \pm 0.04\%$ , respectively. The essential oil yield of the control (T0) was the lowest, measuring only  $0.71 \pm 0.06\%$ . The increased essential oil yield observed in basil under combined fertilizer treatments is likely attributed to the enhanced availability of essential elements, such as nitrogen, and/or an increase in the cation exchange capacity (CEC) of the soil (Siddique, 2015). This enhancement may facilitate the accumulation of nutrients in the plant, leading to higher biomass and production of secondary metabolites (Anwar et al., 2005; Pandey et al., 2016). Nitrogen, in particular, plays a crucial role in the development and division of cells containing essential oil, as well as in essential oil channels, secretory ducts, and glandular trichomes (Said-Al Ahl

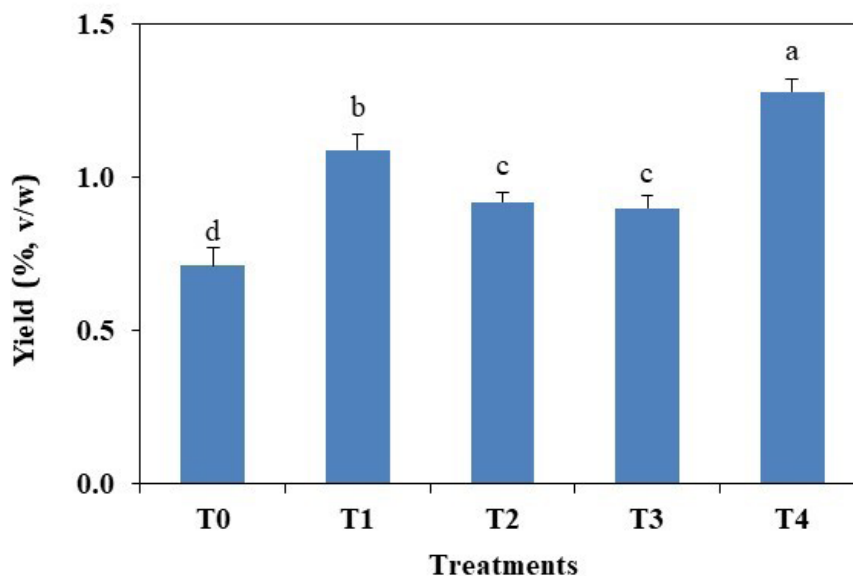
et al., 2009; Leghari et al., 2016). The findings of V. Pandey et al. (2016) support the idea that nutrient availability, resulting from fertilizer application, significantly increases oil yield in basil. Therefore, a combination of different fertilizers can be considered a comprehensive source of nutrients in sustainable agricultural systems (Alizadeh et al., 2010; Pandey, Patra, 2015; Keshavarz et al., 2018; Da Cunha Honorato et al., 2022).

#### Chemical composition of the essential oil

The results of the GC and GC-MS analyses of the essential oil extracted from the aerial parts of basil are outlined in Table 3. The main components influencing the quality of basil essential oil were identified as follows: methyl chavicol (39.27–28.78%), linalool (31.04–27.25%),  $\beta$ -elemene (7.92–4.34%), and *epi*- $\alpha$ -cadinol (6.30–4.09%). This composition aligns with the findings reported by other researchers examining the chemical compounds of basil essential oil (Omidbaigi et al., 2003; Sajjadi, 2006; Stanojevic et al., 2017).

The analysis of essential oils derived from the aerial parts of basil revealed that the fertilizer treatments had a noticeable impact on the percentage of these compounds, as illustrated in Figure 2. In fact, the application of fertilizers resulted in an enhancement of essential oil quality, as indicated by the increased percentages of the marker compounds compared to the control conditions. Notably, the combined fertilization approach in this study exhibited the most significant increase in the content of the main compounds found in basil essential oil. Previous studies corroborated that various fertilizers, including both chemical and organic manure, can exert an effect on the composition of essential oils (Bistgani et al., 2018; Hamed et al., 2022; Yang et al., 2022).

The variability in the chemical composition of essential oils is closely linked with the overall physiology of the plant (Li et al., 2020). It appears that the positive effect of combined



**Fig. 1. The effect of fertilizers on the essential oil yield (% v/w) of basil.** T0 – control, T1 – chemical fertilizers, T2 – cow manure, T3 – chicken manure, and T4 – chemical fertilizers + cow manure + chicken manure. Results are means of three measurements  $\pm$  standard errors. Values associated with different letters are significantly different according to Tukey's test at  $p < 0.05$

**Рис. 1. Влияние удобрений на выход эфирного масла (% v/w) базилика.** T0 – контроль, T1 – химические удобрения, T2 – коровий навоз, T3 – куриный помет, T4 – химические удобрения + коровий навоз + куриный помет. Результаты представлены как средние трех измерений  $\pm$  стандартные ошибки среднего. Значения, сопровождающиеся различными буквами, достоверно различаются по критерию Тьюки при  $p < 0,05$

**Table 3. The effect of fertilizers on the essential oil composition of basil (%)****Таблица 3. Влияние удобрений на состав эфирного масла базилика (%)**

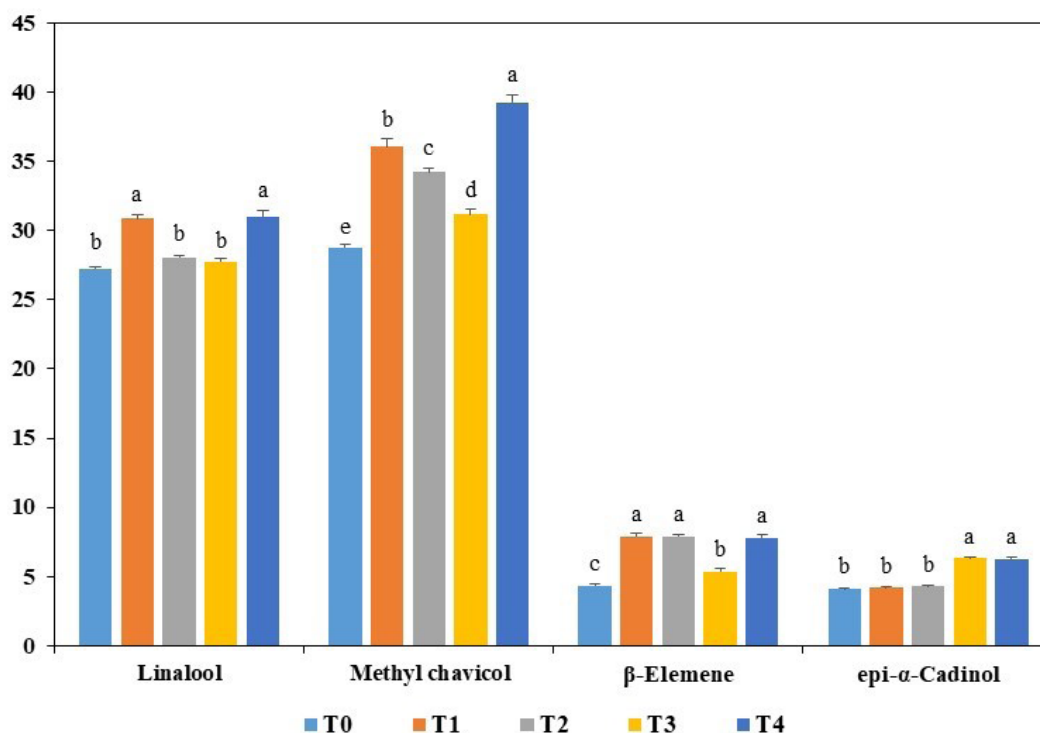
Compound <sup>a</sup>	RI <sup>b</sup>	RI <sup>c</sup>	Treatments				
			T0	T1	T2	T3	T4
$\alpha$ -Pinene	939	932	1.15 $\pm$ 0.05	0.18 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.01	0.32 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.02
Camphene	955	946	0.20 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.01	0.27 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.01
Sabinene	978	969	0.17 $\pm$ 0.01	_ <sup>d</sup>	–	0.28 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.01
$\beta$ -Pinene	984	974	2.25 $\pm$ 0.04	0.33 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.03	1.61 $\pm$ 0.04	0.42 $\pm$ 0.02
Myrcene	991	988	0.23 $\pm$ 0.02	0.48 $\pm$ 0.02	0.32 $\pm$ 0.03	0.10 $\pm$ 0.01	0.28 $\pm$ 0.03
Limonene	1034	1024	0.31 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.01	0.27 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.01
1,8-Cineole	1037	1026	2.40 $\pm$ 0.12	1.74 $\pm$ 0.04	1.62 $\pm$ 0.05	2.98 $\pm$ 0.06	1.17 $\pm$ 0.04
(Z)- $\beta$ -Ocimene	1039	1032	1.87 $\pm$ 0.07	1.68 $\pm$ 0.03	2.89 $\pm$ 0.05	2.33 $\pm$ 0.05	0.27 $\pm$ 0.01
(E)- $\beta$ -Ocimene	1048	1044	2.64 $\pm$ 0.08	0.75 $\pm$ 0.02	1.24 $\pm$ 0.06	0.89 $\pm$ 0.03	0.94 $\pm$ 0.02
Terpinolene	1087	1086	–	0.37 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.02	–	0.18 $\pm$ 0.01
Linalool	1101	1095	27.25 $\pm$ 0.17	30.89 $\pm$ 0.28	28.05 $\pm$ 0.19	27.76 $\pm$ 0.20	31.04 $\pm$ 0.41
Camphor	1145	1141	0.38 $\pm$ 0.02	0.46 $\pm$ 0.01	0.28 $\pm$ 0.03	0.22 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.02
Menthone	1154	1148	0.49 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.01	0.32 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.02	0.27 $\pm$ 0.01
iso-Menthone	1164	1158	0.15 $\pm$ 0.01	0.26 $\pm$ 0.01	0.27 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.01
Menthol	1172	1167	0.36 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.02	0.54 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.03	0.46 $\pm$ 0.02
Terpinen-4-ol	1185	1174	–	0.13 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.01	0.24 $\pm$ 0.02	–
$\alpha$ -Terpineol	1197	1186	1.47 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.01	0.36 $\pm$ 0.02	0.39 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.01
Methyl chavicol	1200	1195	28.78 $\pm$ 0.21	36.05 $\pm$ 0.62	34.24 $\pm$ 0.28	31.18 $\pm$ 0.42	39.27 $\pm$ 0.58
Geraniol	1252	1249	0.20 $\pm$ 0.01	0.28 $\pm$ 0.01	0.49 $\pm$ 0.02	1.41 $\pm$ 0.06	0.39 $\pm$ 0.02
Bornyl acetate	1286	1284	0.18 $\pm$ 0.01	0.78 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.02
$\delta$ -Elemene	1339	1335	0.46 $\pm$ 0.02	0.96 $\pm$ 0.03	0.30 $\pm$ 0.01	0.20 $\pm$ 0.01	0.36 $\pm$ 0.01
$\alpha$ -Cubebene	1352	1345	0.39 $\pm$ 0.01	0.27 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.01	–
$\alpha$ -Copaene	1379	1374	0.37 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.02	0.51 $\pm$ 0.03	0.24 $\pm$ 0.01
$\beta$ -Elemene	1395	1389	4.34 $\pm$ 0.15	7.92 $\pm$ 0.20	7.88 $\pm$ 0.18	5.36 $\pm$ 0.18	7.81 $\pm$ 0.21
(E)-Caryophyllene	1424	1417	2.78 $\pm$ 0.02	1.84 $\pm$ 0.05	2.43 $\pm$ 0.05	2.80 $\pm$ 0.04	0.91 $\pm$ 0.02
$\beta$ -Gurjunene	1433	1431	–	0.38 $\pm$ 0.02	–	–	0.15 $\pm$ 0.01
$\alpha$ -Guaiene	1442	1437	1.92 $\pm$ 0.02	0.79 $\pm$ 0.04	2.62 $\pm$ 0.06	2.37 $\pm$ 0.06	1.42 $\pm$ 0.03
$\alpha$ -Humulene	1458	1452	0.34 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.01	0.30 $\pm$ 0.02	0.62 $\pm$ 0.03	0.53 $\pm$ 0.02
$\gamma$ -Muurolene	1486	1478	2.18 $\pm$ 0.03	1.92 $\pm$ 0.03	1.89 $\pm$ 0.04	1.42 $\pm$ 0.03	1.67 $\pm$ 0.04
Germacrene D	1489	1484	2.63 $\pm$ 0.03	0.60 $\pm$ 0.02	1.03 $\pm$ 0.03	0.77 $\pm$ 0.02	0.89 $\pm$ 0.03
$\alpha$ -Bulnesene	1510	1509	0.27 $\pm$ 0.01	0.31 $\pm$ 0.01	0.52 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.01	0.57 $\pm$ 0.02

**Table 3. The end**  
**Таблица 3. Окончание**

Compound <sup>a</sup>	RI <sup>b</sup>	RI <sup>c</sup>	Treatments				
			T0	T1	T2	T3	T4
$\gamma$ -Cadinene	1518	1513	0.12 $\pm$ 0.01	0.29 $\pm$ 0.01	0.37 $\pm$ 0.02	–	0.25 $\pm$ 0.01
$\delta$ -Cadinene	1526	1522	2.94 $\pm$ 0.03	0.45 $\pm$ 0.02	1.24 $\pm$ 0.04	2.27 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.01
( <i>E</i> )-Nerolidol	1563	1561	0.24 $\pm$ 0.02	0.32 $\pm$ 0.01	0.36 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.01
Spathulenol	1582	1577	0.38 $\pm$ 0.01	0.25 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.01
1- <i>epi</i> -Cubenol	1632	1627	0.41 $\pm$ 0.02	0.61 $\pm$ 0.02	0.24 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.01
<i>epi</i> - $\alpha$ -Cadinol	1645	1638	4.09 $\pm$ 0.08	4.17 $\pm$ 0.10	4.28 $\pm$ 0.09	6.30 $\pm$ 0.14	6.27 $\pm$ 0.13
Total identified (%)			94.34 $\pm$ 1.41	97.62 $\pm$ 1.78	96.46 $\pm$ 1.52	95.14 $\pm$ 1.69	97.87 $\pm$ 1.86

Note: <sup>a</sup> – elution order on an HP-5MS column; <sup>b</sup> – retention indices on an HP-5MS column; <sup>c</sup> – literature retention indices; <sup>d</sup> – not identified. T0 – control, T1 – chemical fertilizers, T2 – cow manure, T3 – chicken manure, and T4 – chemical fertilizers + cow manure + chicken manure. Results are means of three measurements  $\pm$  standard errors

Примечание: <sup>a</sup> – порядок элюирования на колонке HP-5MS; <sup>b</sup> – индексы удерживания на колонке HP-5MS; <sup>c</sup> – индексы удерживания из литературы; <sup>d</sup> – не определялось. T0 – контроль, T1 – химические удобрения, T2 – коровий навоз, T3 – куриный помет, T4 – химические удобрения + коровий навоз + куриный помет. Результаты представлены как средние трех измерений  $\pm$  стандартные ошибки среднего



**Fig. 2. The effect of fertilizers on the content of main compounds (% of the total oil) in basil essential oil.**

T0 – control, T1 – chemical fertilizers, T2 – cow manure, T3 – chicken manure, and T4 – chemical fertilizers + cow manure + chicken manure. Results are means of three measurements  $\pm$  standard errors. Values associated with different letters are significantly different according to Tukey's test at  $p < 0.05$

**Рис. 2. Влияние удобрений на содержание основных компонентов (% суммы масел) эфирного масла базилика.**

T0 – контроль, T1 – химические удобрения, T2 – коровий навоз, T3 – куриный помет, T4 – химические удобрения + коровий навоз + куриный помет. Результаты представлены как средние трех измерений  $\pm$  стандартные ошибки среднего. Значения, сопровождающиеся различными буквами, достоверно различаются по критерию Тьюки при  $p < 0,05$

fertilizers on major compounds stems from the diverse minerals present in these combinations, which impact the secondary metabolism in plants (Bistgani et al., 2018; Keshavarz et al., 2018). These minerals contribute to an improvement in cellular metabolism and biomass production. Consequently, this results in enhanced vegetative growth and an increase in glandular trichomes (Said-Al Ahl et al., 2009; Bistgani et al., 2018; Yang et al., 2022).

### Conclusions

In conclusion, the impact of fertilizer applications on basil cultivation was thoroughly examined in this study, revealing a significant effect on various growth and yield parameters. The use of fertilizers was found to positively affect plant height, number of lateral stems, fresh and dry yields, chlorophyll content, carotenoid content, essential oil yield, and essential oil content. Notably, the application of combined fertilizers demonstrated superior results in terms of growth, yield, and essential oil quality when compared to single fertilizer applications. Moreover, the chemical profile of basil essential oil obtained in this study closely resembled the profiles reported in previous research publications, indicating consistency in the essential oil composition.

The findings underscore the efficacy of employing a combination of chemical fertilizers, cow manure, and chicken manure for basil cultivation. This integrated fertilization approach was identified as the most suitable method for enhancing the economic productivity of basil crops. Overall, this study contributes valuable insights into optimizing fertilization practices for basil cultivation, providing a practical and effective strategy to boost both yield and essential oil quality.

### References / Литература

- Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectrometry. 4th ed. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation; 2007.
- Adugna G. A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*. 2016;4(3):93-104. DOI: 10.14662/ARJASR2016.010
- Alizadeh A., Khoshkhui M., Javidnia K., Firuzi O., Tafazoli E., Khalighi A. Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2010;4(1):33-40. DOI: 10.5897/JMPR09.361
- Anwar M., Patra D.D., Chand S., Alpesh K., Naqvi A.A., Khanuja S.P.S. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005;36(13-14):1737-1746. DOI: 10.1081/CSS-200062434
- Baligar V.C., Fageria N.K., He Z.L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2001;32(7-8):921-950. DOI: 10.1081/CSS-100104098
- Bistgani Z.E., Siadat S.A., Bakhshandeh A., Pirbalouti A.G., Hashemi M., Maggi F. et al. Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*. 2018;121:434-440. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.05.048
- Da Cunha Honorato A., Maciel J.F.A., de Assis R.M.A., Nohara G.A., de Carvalho A.A., Pinto J.E.B.P. et al. Combining green manure and cattle manure to improve biomass, essential oil, and thymol production in *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*. 2022;187(Pt B):115469. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115469
- Dhama K., Sharun K., Gugjoo M.B., Tiwari R., Alagawany M., Iqbal Yatoo M. et al. A comprehensive review on chemical profile and pharmacological activities of *Ocimum basilicum*. *Food Reviews International*. 2023;39(1):119-147. DOI: 10.1080/87559129.2021.1900230
- Fageria N.K., Moreira A. Chapter four – The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in Agronomy*. 2011;110:251-331. DOI: 10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9
- Fattahi S., Khodabakhshzade A., Khazaei I., Rostami G. Effects of biofertilizers on the growth, physiological parameters, and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of BioScience and Biotechnology*. 2019;8(1):59-67.
- Filip S. Basil (*Ocimum basilicum* L.) a source of valuable phytonutrients. *International Journal of Clinical Nutrition and Dietetics*. 2017;3:118. DOI: 10.15344/2456-8171/2017/118
- Giang T.V., Chac L.D., Chinh H.V., Thinh B.B. Essential oil from the stems of *Croton kongensis* Gagnep.: chemical composition, antimicrobial and anti-inflammatory activities. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2023;26(4):1018-1031. DOI: 10.1080/0972060X.2023.2256791
- Hamed B., Pirbalouti A.G., Rajabzadeh F. Manures, vermicompost, and chemical fertilizer impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (*Rosa damascena* Mill.) flower petals. *Industrial Crops and Products*. 2022;187(Pt B):115470. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115470
- Kathirvel P. Chemical composition of essential oil of *Ocimum basilicum* L. (Basil) and its biological activities – An overview. *Journal of Critical Reviews*. 2016;3(3):56-62.
- Keshavarz H., Modarres-Sanavy S.A.M., Mahdipour Afra M. Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two mint species. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2018;21(6):1674-1681. DOI: 10.1080/0972060X.2018.1497545
- Le T.T., Le T.V., Doan H.T., Nguyen K.N. Physiological and biochemical changes during the growth of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruit cultivated in Vietnam. *Journal of Horticultural Research*. 2021;29(2):75-84. DOI: 10.2478/johr-2021-0021
- Leghari S.J., Wahcho N.A., Laghari G.M., Laghari A.H., Bhabhan G.M., Talpur K.H., et al. Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*. 2016;10(9):209-218.
- Li Y., Kong D., Fu Y., Sussman M.R., Wu H. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020;148:80-89. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.01.006
- Newell-McGloughlin M. Nutritionally improved agricultural crops. *Plant Physiology*. 2008;147(3):939-953. DOI: 10.1104/pp.108.121947
- NIST. Mass Spectral Library (NIST/EPA/NIH). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2018.
- Omidbaigi R., Hassani A., Sefidkon F. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2003;6(2):104-108. DOI: 10.1080/0972-060X.2003.10643335
- Pandey V., Patel A., Patra D.D. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*. 2016;87:124-131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.04.035
- Pandey V., Patra D.D. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L'Hér. under

- integrated supply of various organic and chemical fertilizers. *Industrial Crops and Products*. 2015;67:257-263. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.01.042
- Roy R.N., Finck A., Blair G.J., Tandon H.L.S. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. Rome: FAO; 2006. Available from: <https://www.asean-agrifood.org/wp-content/uploads/2014/12/FAO-plant-nutrition-for-food-security.pdf> [accessed Dec. 06, 2023].
- Said-Al Ahl H.A.H., Ayad H.S., Hendawy S.F. Effect of potassium humate and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano under different irrigation intervals. *Journal of Applied Sciences*. 2009;2(3):319-323.
- Sajjadi S.E. Analysis of the essential oils of two cultivated Basil (*Ocimum basilicum* L.) from Iran. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2006;14(3):128-130.
- Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum* L.): a review. *International Journal of Food Properties*. 2020;23(1):1961-1970. DOI: 10.1080/10942912.2020.1828456
- Sharma A. A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2017;5(2):677-680.
- Siddique M.N.A. Determination of N mineralization, total N and cation exchange capacity of soil through NIR spectroscopy for decision support in rice farming. *International Journal of Business, Management and Social Research*. 2015;1(1):47-50.
- Singh T.B., Ali A., Prasad M., Yadav A., Shrivastav P., Goyal D. et al. Role of organic fertilizers in improving soil fertility. In: M. Naeem, A.A. Ansari, S.S. Gill (eds). *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts and Management*. Cham: Springer; 2020. p.61-77. DOI: 10.1007/978-3-030-41552-5\_3
- Stanojevic L.P., Marjanovic-Balaban Z.R., Kalaba V.D., Stanojevic J.S., Cvetkovic D.J., Cakic M.D. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2017;20(6):1557-1569. DOI: 10.1080/0972060X.2017.1401963
- Teliban G.C., Stoleru V., Burducea M., Lobiuc A., Munteanu N., Popa L.D. et al. Biochemical, physiological and yield characteristics of red basil as affected by cultivar and fertilization. *Agriculture*. 2020;10(2):48. DOI: 10.3390/agriculture10020048
- Thin D.B., Korneeva A.A., Thinh B.B., Ogunwande I.A. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and methanol extract from the stems of *Dasymaschalon rostratum* Merr. & Chun. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2023;49(4):815-822. DOI: 10.1134/S1068162023040209
- Verma B.C., Pramanik P., Bhaduri D. Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management. In: R.S. Meena (ed.). *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production*. Singapore: Springer; 2020. p.289-313. DOI: 10.1007/978-981-13-8660-2\_10
- Wen B., Li C., Fu X., Li D., Li L., Chen X. et al. Effects of nitrate deficiency on nitrate assimilation and chlorophyll synthesis of detached apple leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;142:363-371. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.07.007
- Yang L., Li J., Xiao Y., Zhou G. Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, chemical compositions, and ferulic acid content of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. *Pakistan Journal of Botany*. 2022;54(2):569-575. DOI: 10.30848/PJB2022-2(8)

#### Information about the authors

**Tong Van Giang**, Dr. Sci. (Agriculture), Lecturer at the Faculty of Agriculture Forestry and Fisheries, Hong Duc University, 565 Quang Trung St., Thanh Hoa 40130, Vietnam, [tongvangiang@hdu.edu.vn](mailto:tongvangiang@hdu.edu.vn), <https://orcid.org/0009-0000-8097-0717>

**Tran Thi Huyen**, Dr. Sci. (Agriculture), Lecturer at the Faculty of Agriculture Forestry and Fisheries, Hong Duc University, 565 Quang Trung St., Thanh Hoa 40130, Vietnam, [tranthuhuyen@hdu.edu.vn](mailto:tranthuhuyen@hdu.edu.vn), <https://orcid.org/0009-0006-3880-9544>

**Nguyen Huu Hai**, Dr. Sci. (Agriculture), Researcher, Plant Resources Center, Vietnam Academy of Agricultural Sciences, Ha Noi 12500, Vietnam, [haiprc1005@gmail.com](mailto:haiprc1005@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-3042-1148>

#### Информация об авторах

**Тонг Ван Гианг**, доктор сельскохозяйственных наук, преподаватель факультета сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства, Университет Хонг Дык, 40130 Вьетнам, Тхань Хоа, ул. Куанг Чунг, 565, [tongvangiang@hdu.edu.vn](mailto:tongvangiang@hdu.edu.vn), <https://orcid.org/0009-0000-8097-0717>

**Чан Тхи Хуен**, доктор сельскохозяйственных наук, преподаватель факультета сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства, Университет Хонг Дык, 40130 Вьетнам, Тхань Хоа, ул. Куанг Чунг, 565, [tranthuhuyen@hdu.edu.vn](mailto:tranthuhuyen@hdu.edu.vn), <https://orcid.org/0009-0006-3880-9544>

**Нгуен Хуу Хай**, доктор сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Центр растительных ресурсов Вьетнамской академии сельскохозяйственных наук, 12500 Вьетнам, Ханой, [haiprc1005@gmail.com](mailto:haiprc1005@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-3042-1148>

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

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

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

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

The article was submitted on 10.03.2024; approved after reviewing on 03.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024. Статья поступила в редакцию 10.03.2024; одобрена после рецензирования 03.05.2024; принята к публикации 05.06.2024.

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.111.1:631.524.5:631.524.8:575.222.7

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68



### Некоторые анатомические, морфологические и физиологические особенности флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* Zhuk.

Ю. В. Даштоян, А. В. Калинина

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Васильевна Даштоян, [dashto@rambler.ru](mailto:dashto@rambler.ru)

**Актуальность.** Изучение морфологических, анатомических и физиологических параметров растений, полученных в результате интрогрессивной селекции, важно для оценки перспективности их дальнейшего использования.

**Материалы и методы.** Исследовали растения яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и набор интрогрессивных линий, содержащих генетический материал *Aegilops columnaris* Zhuk. Определяли площадь флагового листа. Параметры мезофилла изучали с использованием препаратов мацерированной ткани. Спектрофотометрическим методом проведено определение состава пигментов фотосинтеза флагового листа.

**Результаты и заключение.** Установлено негативное влияние замещений хромосом 2A, 5D, 6A и 6D хромосомами U- и X-геномов на площадь флагового листа. Значимых различий по форме клеток и их размерам среди линий и в сравнении с сортом-реципиентом не обнаружено. Установлены изменения в содержании пигментов в пластинках флаговых листьев. Отмечено повышенное содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов у линий, содержащих замещения 6A(6U), 6D(6X) и 5D(5X)6A(6X). Замещение 2A(2U) привело к снижению уровня хлорофилла, отношений хлорофилла *a* к *b* и хлорофилла к каротиноидам, а замещение 6A(6U) – к снижению коэффициента отношения хлорофилла *a* к *b*.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., мезофилл, пигменты фотосинтеза, чужеродный генетический материал, замещение хромосом

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИОКТР № 123011900010-4 «Расширение генетического разнообразия основных сельскохозяйственных культур с использованием современных методов селекции для улучшения хозяйственно-ценных признаков продуктивности и устойчивости к био- и абиострессорам».

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

**Для цитирования:** Даштоян Ю.В., Калинина А.В. Некоторые анатомические, морфологические и физиологические особенности флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* Zhuk. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):60-68. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68

### Some anatomical, morphological and physiological features of the flag leaf in introgressive bread wheat lines with *Aegilops columnaris* Zhuk. genetic material

Iuliia V. Dashtoian, Alla V. Kalinina

*Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia*

**Corresponding author:** Iuliia V. Dashtoian, [dashto@rambler.ru](mailto:dashto@rambler.ru)

**Background.** A study of morphological, anatomical and physiological parameters of plants obtained as a result of introgressive breeding is important for assessing the prospects of their further use.

**Materials and methods.** Spring bread wheat plants of cv. 'Dobrynya' and a set of introgressive wheat lines with *Aegilops columnaris* Zhuk. genetic material were studied. The area of flag leaves was measured. Preparations of macerated leaf tissue were used to analyze mesophyll parameters. Spectrophotometric techniques were applied to determine the composition of photosynthetic pigments in the flag leaf.

**Results and conclusion.** A negative effect of substitutions of chromosomes 2A, 5B, 6A and 6D for chromosomes of the U and X genomes on the size of the flag leaf area was disclosed. There were no significant differences in cell shape and size among the lines and in comparison with the recipient cultivar. Changes in the content of pigments in flag leaf laminae have been recorded. Increased content of all groups of pigments was observed in the lines containing substitutions 6A(6G), 6B(6X) and 5B(5X)6A(6X). Substitution 2A(2U) led to a decrease in the level of chlorophyll, the ratio of chlorophyll *a* to *b*, and the ratio of chlorophyll to carotenoids.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., mesophyll, photosynthetic pigments, alien genetic material, chromosome substitutions

**Acknowledgements:** the study was performed within the framework of the state task, Project No. 123011900010-4 "Expanding the genetic diversity of major crops using modern breeding methods to improve economically valuable signs of productivity and resistance to bio- and abiostressors".

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

**For citation:** Dashtoian I.V., Kalinina A.V. Some anatomical, morphological and physiological features of the flag leaf in introgressive bread wheat lines with *Aegilops columnaris* Zhuk. genetic material. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):60-68. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68

## Введение

Пшеница – одна из важнейших сельскохозяйственных культур. Для удовлетворения потребностей человека ее производство необходимо увеличить на 60% (Langridge, 2013). Повышение урожайности культуры является первоочередной задачей селекционеров, которая может быть решена путем улучшения агротехники возделывания и совершенствованием самого растения (Mokronosov, 1988; Vasilchuk, 2001; Baier, Dietz, 2005). Современные сорта пшеницы наряду с высокой продуктивностью должны обладать экологической пластичностью, быть устойчивыми к болезням и вредителям. Использование в селекционном процессе генетического материала диких и культурных сородичей пшеницы позволяет получать растения, обладающие устойчивостью к определенным факторам среды. При этом зачастую наряду с положительными признаками приобретаются и отрицательные, такие как удлинение вегетационного периода, ухудшение хлебопекарных качеств, снижение урожайности (Davoyan et al., 2015). Изучение анатомо-морфологических и физиологических параметров растений, полученных в результате межвидовой и межродовой гибридизации, позволяет оценить перспективность использования их в селекционном процессе. Одним из важных для селекции факторов, обеспечивающих необходимую урожайность пшеницы, является стабильность ее фотосинтетического аппарата.

Принято считать, что флаговый лист пшеницы является наиболее значимым в развитии и накоплении массы зерновок. Ряд авторов отмечают положительную корреляцию между площадью флагового листа, параметрами его мезоструктуры и урожайностью (Kumakov, 1985; Slafer et al., 1994; Yusov et al., 2015; Noskova et al., 2019; Malokostova, Popova, 2020).

Цель исследования – изучение влияния чужеродных хромосом на анатомо-морфологические и физиологические параметры флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), содержащих генетический материал эгилопса колончатого (*Aegilops columnaris* Zhuk.).

## Материалы и методы

Исследования проводили в лаборатории генетики и цитологии Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока) с 2022 по 2023 г. В качестве объектов исследования использовали растения яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' (<https://www.arisersar.ru/dobrynja.htm>) и интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, созданных в лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока на основе сорта 'Доб-

рыня' и *Aegilops columnaris* (к-1193). Генетическая характеристика объектов исследования представлена в таблице 1. Цитогенетическую характеристику интрогрессивных линий определили в лаборатории генетических основ идентификации растений Института общей генетики им. Н.И. Вавилова (г. Москва) (Badaeva et al., 2018).

Растения, включая сорт-реципиент 'Добрыня', выращивали в 4-рядковых делянках площадью 4,0 м<sup>2</sup> в трех повторностях на полях ФАНЦ Юго-Востока в течение одного вегетационного периода. Посев производился сеялкой ССФК-8. Норма высева – 400 семян на 1 м<sup>2</sup>. Предшественник – черный пар. Обработка полей полностью соответствовала агротехническим требованиям, предъявляемым в зоне возделывания яровой пшеницы.

Определение площади флагового листа проводили в фазу «колошение» на 30 растениях. Для расчета использовали формулу  $S = 0,66 \times l \times d$ , где  $l$  – длина листа,  $d$  – ширина листа (Anikiev, Kutuzov, 1961). Урожайность объектов исследования определяли методом расчета массы полученного с делянок зерна на единицу площади посева (кг/га).

Для изучения параметров мезофилла отбирали не менее 10 растений, имеющих хорошо развитые флаговые листья без видимых повреждений. Отбор проводили в фазу «налив зерна». Фиксацию листовых пластинок осуществляли по М. Н. Прозиной (Prozina, 1960) с использованием фиксатора Гаммалунда. Через сутки фиксированные образцы переносили на хранение в раствор, содержащий 96-процентный этанол и глицерин (1 : 1). Высечки из средних частей листьев подвергали мацерации путем кипячения в 10-процентной КОН в течение 2 минут. Измерение параметров клеток осуществляли с помощью микроскопа МБС-9 при увеличении  $\times 280$ ,  $n = 150$ .

Экстракцию пигментов флаговых листьев проводили в 100-процентном ацетоне. Оптическую плотность экстракта измеряли на сканирующем спектрофотометре LEKI SS2109UV (Финляндия) при двух длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов  $a$  и  $b$  в красной области спектра (662 нм и 644 нм) и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов (470 нм). Содержание пигментов рассчитывали по Хольму – Веттштейну (Gavrilenko, Zhigalova, 2003).

Результаты исследований подвергали статистической обработке в табличном процессоре EXCEL пакета MS Office 2010 с использованием надстройки AgCStat (Gonchar-Zaikin, Chertov, 2003), а также с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа AGROS 2.10. Достоверность различий площади флаговых листьев, урожайности и содержания пигментов подтверждали методом однофакторного дисперсионного анализа полевого опыта по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 1985).

**Таблица 1.** Генетическая характеристика изученных интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы

**Table 1.** Genetic characteristics of the studied introgressive spring bread wheat lines

Линии	Родословная
L1949	F <sub>13</sub> Dobrynya/ <i>Ae. columnaris</i> (к-1193)*3//Dobrynya 2A(2U)
L2308/5	F <sub>14</sub> Dobrynya/ <i>Ae. columnaris</i> (к-1193)*3//Dobrynya 6A(6U); nulli-1D and 4B; disomic T4BL-1D
L1808/1	F <sub>11</sub> AD Dobrynya/ <i>Ae. columnaris</i> (к-1193)//Dobrynya/3/Dobrynya 6D(6X)
L2021/2	F <sub>12</sub> AD Dobrynya/ <i>Ae. columnaris</i> (к-1193)//Dobrynya/3/Dobrynya 5D(5X)6A(6X)

## Результаты и обсуждение

Размеры флагового листа контролируются генами, располагающимися в разных хромосомах. Y. Wang et al. (2022) показали присутствие 79 локусов количественных признаков (QTL), определяющих размеры флагового листа, во всех хромосомах, кроме 4D и 5A. Расчет площади флагового листа яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и линий, содержащих интрогрессии в виде замещений хромосом 2A, 5D, 6A и 6D хромосомами U- и X-геномов, показал негативное влияние чужеродных хромосом на этот критерий (табл. 2).

нием клеток в пластинке листа (Zvereva, 2009). Разветвленность клеток мезофилла и особенности их расположения в листе пшеницы являются условиями поддержания оптимального баланса отношения поверхности клетки к ее объему и позволяют растению, имеющему небольшие размеры листьев, поддерживать необходимый уровень фотосинтеза.

Для определения вероятности влияния чужеродных хромосом на размеры и форму клеток мезофилла флагового листа изучаемых линий измеряли длину и ширину клеток мезофилла, а также число ячеек в этих клетках. В результате исследования существенных разли-

**Таблица 2. Площадь флагового листа яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий**  
**Table 2. Flag leaf areas in cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines**

Линии	Площадь флагового листа, см <sup>2</sup>	Урожайность, кг/га
'Добрыня'	16,65	2337,00
L1949	9,07*	872,00*
L2308/5	8,54*	1958,00*
L1808/1	9,63*	1924,00*
L2021/2	8,54*	1391,00*
F	190,97	219,49
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,82	152,12

Примечание: F – критерий Фишера; HCP<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность для 5-процентного уровня значимости;

\* – различия между сортом 'Добрыня' и линией достоверны при  $p \leq 0,05$

Note: F – Fisher's exact test; LSD<sub>05</sub> – the least statistical difference for the 5% significance level;

\* – differences between cv. 'Dobrynya' and a line are significant at  $p \leq 0.05$

Все исследованные линии развивали флаговые листья, существенно уступающие по площади сорту-реципиенту. При этом минимальные значения были установлены для линий L2308/5 и L2021/2, в которых хромосома 6A была замещена на хромосому 6U или 6X соответственно. Линия L1949 с замещением 2A(2U) и линия L1808/1 с замещением 6D(6X) незначительно превосходили L2308/5 и L2021/2 по значению площади флагового листа. Таким образом, можно предположить, что внесенный генетический материал не смог компенсировать потерю генов, ответственных за развитие флагового листа, располагающихся в замещенных хромосомах мягкой пшеницы, что привело в целом к снижению уровня урожайности зерна у линий относительно исходного сорта. Представляет интерес установленный факт, что минимальные размеры площади флагового листа не соответствовали минимальной урожайности. Конкретно линии L2308/5 и L2021/2, имеющие минимальную площадь флагового листа, показали урожайность 1958 и 1391 кг/га соответственно. Линия L1801/1, имеющая наибольшую среди исследованных образцов площадь флагового листа, показала урожайность, уступающую и сорту-реципиенту, и линии 2308/5, – 1924 кг/га. Вероятно, сохранение урожайности линии L2308/5 обеспечивалось иными механизмами.

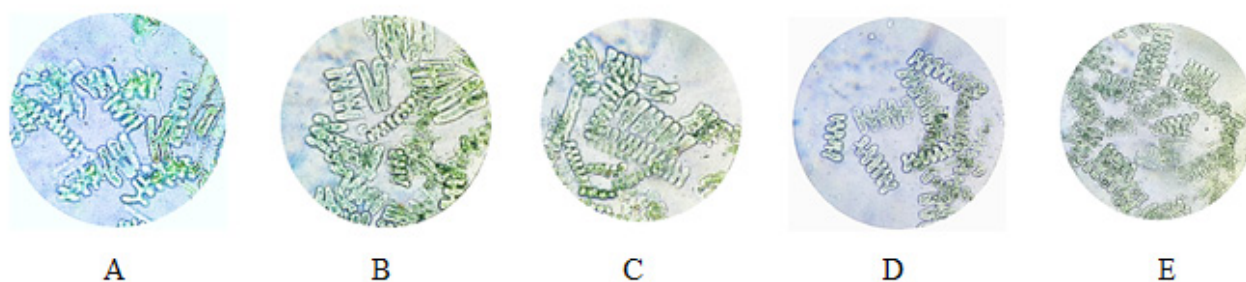
Мезофилл мягкой пшеницы представлен более или менее разветвленными клетками, разделенными на звенья или ячейки, соединенными между собой мостиками (Berezina, Korchagin, 1987). Число таких ячеек в клетке может отличаться: от 2 до 10 и более. Форма, ориентация относительно тканей листа и степень выраженности ячеек также неодинаковы и часто связаны с расположе-

ний по форме клеток мезофилла среди представленных линий и в сравнении с сортом-реципиентом выявлено не было. Мезофилл всех образцов был представлен клетками сложной формы с хорошо выраженными ячейками (рис. 1).

Клетки мезофилла имели от 2 до 16 ячеек. При этом большую часть составляли клетки с 4–6 ячейками. В связи с этим для оценки параметров клеток мезофилла было решено определить три группы клеток (рис. 2): клетки, имеющие 2-3 ячейки (их доля в мезофилле изученных линий составляла от 7 до 24% от общего числа клеток), клетки с 4–6 ячейками (55,33–66%) и клетки, имеющие 7 и более ячеек (от 13,33 до 32%) (табл. 3).

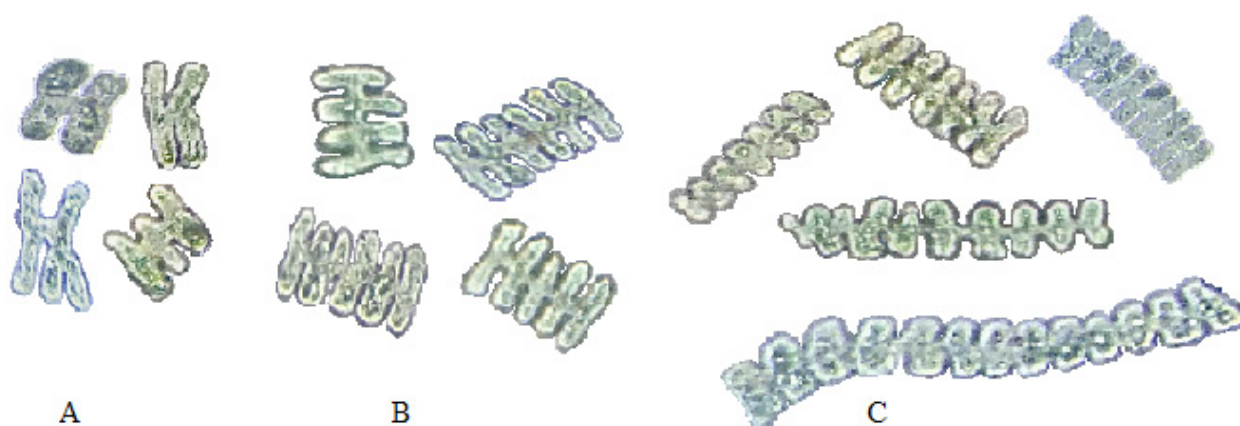
При сравнении представленности клеток всех групп относительно сорта 'Добрыня' статистически значимые различия между линиями и сортом-реципиентом были установлены только для группы 2-3-ячеистых клеток линии L2308/5. Различие было минимальным, что в целом позволяет нам заключить, что внесенные в геном сорта-реципиента хромосомы *Ae. columnaris* не привели к изменениям формы и количества ячеек в клетках мезофилла флагового листа.

Размеры клеток мезофилла флагового листа изученных образцов различались в соответствии с числом ячеек, на которые разделена каждая клетка (табл. 4). Наименьшую длину имели клетки, содержащие 2-3 ячейки – от 43,70 мкм у сорта 'Добрыня' до 51,47 мкм у линии L1949; наибольшую длину – клетки с 7 и большим числом ячеек – от 97,43 мкм у линии L2021/2 до 108,10 мкм у линии L2308/5. Наименьшую ширину отмечали у клеток, имеющих большее число ячеек, а наибольшую – у клеток с 2-3 ячейками. Ширина 7- и более ячеистых



**Рис. 1.** Клетки мезофилла флагового листа яровой мягкой пшеницы:  
А – 'Добрыня'; В – L1949; С – L2308/5; D – L1808/1; E – L2021/2

**Fig. 1.** Mesophyll cells in the flag leaf of spring bread wheat:  
A – 'Dobrynya'; B – L1949; C – L2308/5; D – L1808/1; E – L2021/2



**Рис. 2.** Клетки мезофилла флагового листа яровой мягкой пшеницы:  
А – 2-3-ячеистые клетки; В – 4-6-ячеистые клетки; С – 7- и более ячеистые клетки

**Fig. 2.** Mesophyll cells in the flag leaf of spring bread wheat:  
A – with two-to-three-cell segments; B – with four-to-six-cell segments; C – with seven-or-more-cell segments

**Таблица 3.** Содержание клеток мезофилла в флаговом листе яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий, %

**Table 3.** The content of mesophyll cells in the flag leaf of cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines, %

Линии	Число ячеек в клетке мезофилла		
	2-3	4-6	≥ 7
'Добрыня'	16,67	55,33	28,00
L1949	24,00	60,00	16,00
L2308/5	7,00*	61,00	32,00
L1808/1	18,00	56,67	25,33
L2021/2	20,67	66,00	13,33
F	4,73	0,94	1,72
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	9,53	NS	NS

Примечание: F – критерий Фишера; HCP<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность для 5-процентного уровня значимости;

\* – различия между сортом 'Добрыня' и линией достоверны при  $p \leq 0,05$

Note: F – Fisher's exact test; LSD<sub>05</sub> – the least statistical difference for the 5% significance level;

\* – differences between cv. 'Dobrynya' and a line are significant at  $p \leq 0.05$

**Таблица 4. Размеры клеток мезофилла флагового листа яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий****Table 4. Sizes of mesophyll cells in the flag leaf of cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines**

Линии	Длина клетки, мкм			Ширина клетки, мкм		
	2-3 ячейки	4-6 ячеек	≥ 7 ячеек	2-3 ячейки	4-6 ячеек	≥ 7 ячеек
'Добрыня'	43,70	67,47	104,17	47,47	40,40	32,50
L1949	51,47	75,30	107,90	53,13	46,53	36,43
L2308/5	46,33	74,17	108,10	45,17	39,03	30,57
L1808/1	48,60	71,77	100,53	47,43	37,97	30,93
L2021/2	48,57	68,00	97,43	48,97	42,37	32,27
F HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	1,06 NS	1,58 NS	0,97 NS	1,50 NS	2,51 NS	0,84 NS

Примечание: F – критерий Фишера; HCP<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность для 5-процентного уровня значимости; \* – различия между сортом 'Добрыня' и линией достоверны при  $p \leq 0,05$

Note: F – Fisher's exact test; LSD<sub>05</sub> – the least statistical difference for the 5% significance level; \* – differences between cv. 'Dobrynya' and a line are significant at  $p \leq 0,05$

клеток составляла от 30,57 мкм у линии L2308/5 до 6,43 мкм у L1949. Ширина 2-3-ячеистых клеток – от 45,17 мкм у L2308/5 до 53,13 мкм у линии L1949. При этом в результате статистического анализа было установлено, что по размерам клеток мезофилла флагового листа изучаемых линий существенные отклонения отсутствовали. Во всех случаях – и по длине, и по ширине – все три группы клеток мезофилла линий соответствовали параметрам клеток мезофилла флагового листа исходного сорта.

Таким образом, изменений формы и размеров клеток мезофилла флагового листа изученных линий в сравнении с сортом-реципиентом обнаружено не было.

Содержание пигментов фотосинтеза зависит от таких факторов среды, как освещенность, минеральное питание, и регулируется генотипом (Zhang et al., 2009). В литературе упоминается о наличии ряда QTL, связанных

с содержанием хлорофилла, расположенных в хромосомах 2A, 2B, 3B, 3D, 4B, 5A, 6A и 7A (Yang et al., 2016; Bhusal et al., 2018; Wang N. et al., 2020; Ren et al., 2022). В таблице 5 представлены средние значения содержания фотосинтетических пигментов в флаговых листьях исследуемых объектов.

В результате исследования установлены отклонения в содержании пигментов в пластинках флаговых листьев линий относительно исходного сорта. У линии L1949 с замещением 2A(2U) наблюдается снижение уровня содержания всех трех групп пигментов, а у остальных – с замещениями 6A(6U), 6D(6X) и двойным замещением 5D(5X)6A(6X) – повышение. Таким образом, можно предположить отсутствие эффекта компенсации для признаков содержания пигментов фотосинтеза при замещении 2A-хромосомы мягкой пшеницы на 2U-хромосому *Ae. co-lumnaris*. В иных вариантах хромосомы пшеницы, заме-

**Таблица 5. Содержание пигментов фотосинтеза в флаговом листе яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий****Table 5. The content of photosynthetic pigments in the flag leaf of cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines**

Линия	Содержание пигментов фотосинтеза, мг/г		
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
'Добрыня'	2,36	0,65	0,99
L1949	2,07*	0,62*	0,90*
L2308/5	2,82*	0,83*	1,19*
L1808/1	2,63*	0,74*	1,11*
L2021/2	2,61*	0,72*	1,10*
F HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	8920,09 0,01	351,75 0,01	4959,99 0,01

Примечание: F – критерий Фишера; HCP<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность для 5-процентного уровня значимости; \* – различия между сортом 'Добрыня' и линией достоверны при  $p \leq 0,05$

Note: F – Fisher's exact test; LSD<sub>05</sub> – the least statistical difference for the 5% significance level; \* – differences between cv. 'Dobrynya' and a line are significant at  $p \leq 0,05$

ценные генетическим материалом *Ae. columnaris*, вероятно, были компенсированы.

Соотношение двух групп хлорофилла у двух линий из четырех – L1949 (2A(2U)) и L2308/5 (6A(6U)) – было ниже, чем у 'Добрыни', и минимальное его значение было установлено для линии L1949 – 3,37. У линий L2021/2 (5D(5X)6A(6X)) и L1808/1 (6D(6X)) этот коэффициент был на уровне исходного сорта (рис. 3).

Однако соотношение содержания хлорофилла *a* к *b* у всех линий было больше 3, что, в соответствии с литературными данными (Lichtenthaler, Babani, 2004; Sarijeva et al., 2007), может характеризовать исследованные образцы как достаточно приспособленные к действию солнечного света высокой интенсивности.

Отношение содержания суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам, также демонстрирующее уровень устойчивости растений к негативному влиянию интенсивного солнечного света, у линий, кроме L1949, соответствовало его значению, установленному для сорта 'Добрыня' (рис. 4).

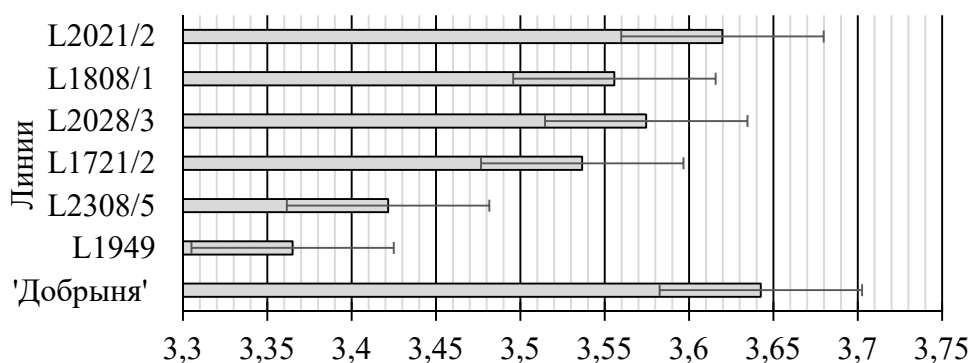
Соотношение суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам в пластинках флагового листа L1949 было ниже, чем у исходного сорта, и составляло 2,97, тогда как у 'Добрыни' этот коэффициент равнялся 3,05. При учете снижения содержания хлорофиллов у растений этой линии можно предполагать наименьшую среди исследованных образцов адаптированность к действию интенсивного света или даже вероятность повреждения фотосинте-

тического аппарата и раннее старение листа. Это может являться причиной наименьшей установленной урожайности среди интрогрессивных линий при не самой маленькой площади флагового листа. В других случаях сохранение коэффициента соотношения суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам, в совокупности с увеличением содержания пигментов и особенно каротиноидов, показывает хорошую адаптивную реакцию на действие солнечного света и способности этих растений сохранять активность фотосинтетического аппарата.

### Заключение

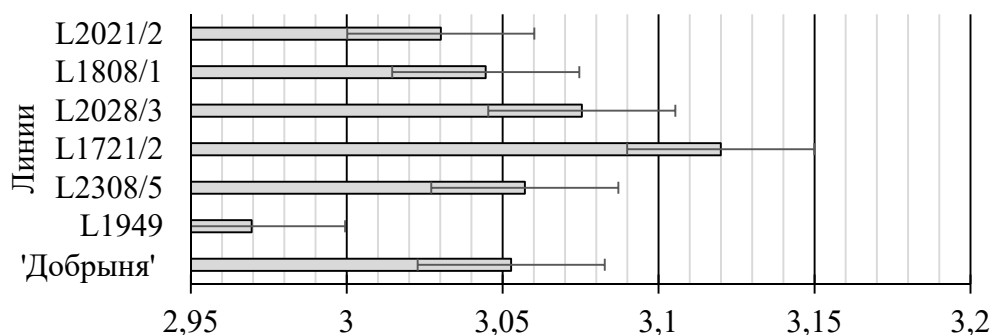
Анализируя все полученные в ходе эксперимента данные, можно заключить, что среди изученных интрогрессивных линий мягкой пшеницы линия L1949, содержащая замещение 2A(2U), показывает наибольшее отклонение в параметрах флагового листа и содержании пигментов фотосинтеза, а также в соотношении пигментов от показателей сорта-реципиента. Снижение значений изученных характеристик демонстрирует негативный эффект от замещения 2A-хромосомы пшеницы на 2U-хромосому *Ae. columnaris*, приведшего к падению урожайности линии относительно сорта 'Добрыня'.

Выявлено негативное влияние на морфометрические параметры флагового листа замещения 6A-хромосомы генетическим материалом *Ae. columnaris*. Увеличение содержания пигментов фотосинтеза в флаговых листьях



**Рис. 3.** Соотношение содержания хлорофилла *a* к *b* в пластинке флагового листа яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий,  $HCP_{05} = 0,06$

**Fig. 3.** Ratios of chlorophyll *a* to *b* contents in the flag leaf laminae of cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines,  $LSD_{05} = 0.06$



**Рис. 4.** Соотношение содержания суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам в пластинке флагового листа яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' и интрогрессивных линий,  $HCP_{05} = 0,03$

**Fig. 4.** Ratios of the total chlorophyll *a* and *b* content to carotenoid content in the flag leaf laminae of cv. 'Dobrynya' and introgressive spring bread wheat lines,  $LSD_{05} = 0.03$

линий с этими замещениями по сравнению с исходным сортом позволяет сделать вывод о сохранении продуктивности фотосинтетического аппарата на необходимом уровне. В варианте с линией L2308/5 активность фотосинтетического аппарата обеспечила урожайность, соответствующую таковой у сорта-реципиента. Более низкая урожайность линии L2021/2 по сравнению с линией L2308/5 может быть связана с наличием в ее геноме, кроме замещения 6A-хромосомы, замещения хромосомы 5D.

Замещение 6D-хромосомы пшеницы на 6X-хромосому *Ae. columnaris* в линии L1808/1 привело к уменьшению значений морфометрических критериев флагового листа, увеличению содержания в этих листьях хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. Соотношение содержания хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*, а также соотношение суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам сохранились у данной линии на уровне, обеспечивающем устойчивость фотосинтетического аппарата, но обусловили незначительное снижение урожайности этой линии.

## References / Литература

- Anikiev V.V., Kutuzov F.F. A new method for measuring leaf surface area in cereals (Novy sposob opredeleniya ploshchadi listovoy poverkhnosti u zlakov). *Russian Journal of Plant Physiology*. 1961;8(3):375-377. [in Russian] (Аникиев В.В., Курузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков. *Физиология растений*. 1961;8(3):375-377).
- Badaeva E.D., Ruban A.S., Shishkina A.A., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Surzhikov S.A. et al. Genetic classification of *Aegilops columnaris* Zhuk. ( $2n=4x=28$ , U<sup>U</sup>X<sup>X</sup>X<sup>X</sup>) chromosomes based on FISH analysis and substitution patterns in common wheat  $\times$  *Ae. columnaris* introgressive lines. *Genome*. 2018;61(2):131-143. DOI: 10.1139/gen-2017-0186
- Baier M., Dietz K.J. Chloroplasts as source and target of cellular redox regulation: a discussion on chloroplast redox signals in the context of plant physiology. *Journal of Experimental Botany*. 2005;56(416):1449-1462. DOI: 10.1093/jxb/eri161
- Berezina O.V., Korchagin Yu.Yu. On a method of leaf mesostructure valuation in species of the genus *Triticum* (*Poaceae*) in connection with the structural features of its chlorophyll bearing cells. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1987;72(4):535-541. [in Russian] (Березина О.В., Корчагин Ю.Ю. К методике оценки мезоструктуры листа видов рода *Triticum* (*Poaceae*) в связи с особенностями строения его хлорофиллоносных клеток. *Ботанический журнал*. 1987;72(4):535-541).
- Bhusal N., Sharma P., Sareen S., Sarial A.K. Mapping QTLs for chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in wheat under heat stress. *Biologia Plantarum*. 2018;62:721-731. DOI: 10.1007/s10535-018-0811-6
- Davoyan R.O., Bebyakina I.V., Davoyan E.R., Zinchenco A.N., Zubanova Y.S., Mikov D.S. Introgression of common wheat lines with genetic material of *Agropyron glaucum*. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):83-90. [in Russian] (Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян Э.Р., Зинченко А.С., Зубанова Ю.С., Миков Д.С. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генетическим материалом *Agropyron glaucum*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):83-90). DOI: 10.18699/vj15.010
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Federal State Budgetary Scientific Organization "Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region". Dobrynya spring bread wheat (Yarovaya myagkaya pshenitsa Dobrynya): [website]. [in Russian] (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока». Яровая мягкая пшеница Добрыня: [сайт]). URL: <https://www.arisarsar.ru/dobrinja.htm> [дата обращения: 06.11.2023].
- Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Large workshop on photosynthesis (Bolshoy praktikum po fotosintezu). Moscow: Akademiya; 2003. [in Russian] (Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. Москва: Академия; 2003).
- Gonchar-Zaikin P.P., Chertov V.G. Add-in to EXCEL for statistical assessment and analysis of the results of field and laboratory experiments (Nadstroyka k EXCEL dlya statisticheskoy otsenki i analiza rezultatov polevykh i laboratornykh opytov). In: *Sustainable Environment Management and Agricultural Production in the Southern Regions of the Russian Federation (Ratsionalnoye prirodopolzovaniye i selskokhozyaystvennoye proizvodstvo v yuzhnykh regionakh Rossiyskoy Federatsii)*. Moscow: Sovremennyye Tetradi; 2003. p.559-565. [in Russian] (Гончар-Зайкин П.П., Чертов В.Г. Надстройка к EXCEL для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов. В кн.: *Рациональное природопользование и сельскохозяйственное производство в южных регионах Российской Федерации*. Москва: Современные тетради; 2003. С.559-565).
- Kumakov V.A. Physiological substantiation for models of wheat cultivars (Fiziologicheskoye obosnovaniye modeley sortov pshenitsy). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] (Кумаков В.А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. Москва: Колос; 1985).
- Langridge P. Wheat genomics and the ambitious targets for future wheat production. *Genome*. 2013;56(10):545-547. DOI: 10.1139/gen-2013-0149
- Lichtenthaler H.K., Babani F. Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. In: G.C. Papageorgiou, G. Govindjee (eds). *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration*. Vol. 19. Dordrecht: Springer; 2004. p.713-736. DOI: 10.1007/978-1-4020-3218-9\_28
- Malokostova E.I., Popova A.V. The area of the flag leaf of spring wheat and its relationship with plant height and productivity of the main spike. In: *Development and Introduction of Modern High-Tech Technologies for Modernization of the Agro-Industrial Complex. Collection of papers from the proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of Terentiy S. Maltsev's birthday (Razvitiye i vnedreniye sovremennykh naukoymkikh tekhnologiy dlya modernizatsii agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statey po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 125-letiyu Terentiya Semyonovicha Maltseva)*. Kurgan; 2020. p.220-225. [in Russian] (Малокостова Е.И., Попова А.В. Площадь флагового листа яровой пшеницы и ее связь с высотой растения и продуктивностью главного колоса. В кн.: *Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию Терентия Семёновича Мальцева*. Курган; 2020. С.220-225).

- URL: [https://www.kurganniish.ru/sites/default/files/elena/razvitie\\_i\\_vnedrenie\\_sovremennyh\\_naukoemkih\\_tehnologiy\\_dlya\\_modernizacii\\_apk\\_5\\_noyabrya\\_2020\\_g\\_compressed.pdf](https://www.kurganniish.ru/sites/default/files/elena/razvitie_i_vnedrenie_sovremennyh_naukoemkih_tehnologiy_dlya_modernizacii_apk_5_noyabrya_2020_g_compressed.pdf) [дата обращения: 06.11.2023].
- Mokronosov A.T. Relationship between photosynthesis and growth functions (Vzaimosvyaz fotosinteza i funktsiy rosta). In: *Photosynthesis and Production Process (Fotosintez i produktsionny protsess)*. Moscow: Nauka; 1988. p.109-121. [in Russian] (Мокроносов А.Т. Взаимосвязь фотосинтеза и функций роста. В кн.: *Фотосинтез и продукционный процесс*. Москва: Наука; 1988. С.109-121).
- Noskova Ye.N., Zaytseva I.Yu., Lisitsyn Ye.M. The possibility of using leaf pigment content parameters for spring barley breeding. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;6(176):22-26. [in Russian] (Носкова Е.Н., Зайцева И.Ю., Лисицын Е.М. Пригодность параметров содержания пигментов в листьях для селекции ярового ячменя. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019;6(176):22-26).
- Prozina M.N. Botanical microtechnology (Botanicheskaya mikrotekhnika). Moscow: Vysshaya Shkola; 1960. [in Russian] (Прокина М.Н. Ботаническая микротехника. Москва: Высшая школа; 1960).
- Ren T., Fan T., Chen S., Chen Y., Ou X., Jiang Q. et al. Identification and validation of quantitative trait loci for the functional stay green trait in common wheat (*Triticum aestivum* L.) via high-density SNP-based genotyping. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(4):1429-1441. DOI: 10.1007/s00122-022-04044-9
- Sarijeva G., Knapp M., Lichtenthaler H.K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of *Ginkgo* and *Fagus*. *Journal of Plant Physiology*. 2007;164(7):950-955. DOI: 10.1016/j.jplph.2006.09.002
- Slafer G.A., Satorre E.H., Andrade F.H. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: G.A. Slafer (ed.). *Genetic Improvement of Field Crops*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1993. p.1-68. DOI: 10.1201/9781003210238-1
- Vasilchuk N.S. Spring durum wheat breeding (Seleksiya yarovoy tverdoy pshenitsy). Saratov: Novaya Gazeta; 2001. [in Russian] (Васильчук Н.С. Селекция яровой твердой пшеницы. Саратов: Новая газета; 2001).
- Wang N., Xie Y., Li Y., Wu S., Li S., Guo Y. et al. High-resolution mapping of the novel early leaf senescence gene *Els2* in common wheat. *Plants*. 2020;9(6):698. DOI: 10.3390/plants9060698
- Wang Y., Qiao L., Yang C., Li X., Zhao J., Wu B. et al. Identification of genetic loci for flag-leaf-related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) and their effects on grain yield. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:990287. DOI: 10.3389/fpls.2022.990287
- Yang B., Yan X., Wang H., Li X., Ma H., Wang S. et al. Dynamic QTL analysis of chlorophyll content during grain filling stage in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Romanian Agricultural Research*. 2016;33:77-85.
- Yusov V.S., Yusova O.A., Evdokimov M.G., Frizen Yu.V. Flag leaf as a factor for increasing the productivity of spring durum wheat (Flagovy list kak faktor povysheniya produktivnosti yarovoy tverdoy pshenitsy). *Eurasian Union of Scientists*. 2015;2-4(11):76-79. [in Russian] (Юсов В.С., Юсова О.А., Евдокимов М.Г., Фризен Ю.В. Флаговый лист как фактор повышения продуктивности яровой твердой пшеницы. *Евразийский Союз Ученых*. 2015;2-4(11):76-79).
- Zhang K., Fang Z., Liang Y., Tian J. Genetic dissection of chlorophyll content at different growth stages in common wheat. *Journal of Genetics*. 2009;88(2):183-189. DOI: 10.1007/s12041-009-0026-x
- Zvereva G.K. Spatial organization of the leaf blade mesophyll in festucoid grasses (*Poaceae*) and its ecological significance. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2009;94(8):1204-1215. [in Russian] (Зверева Г.К. Пространственная организация мезофилла листовых пластинок фестукоидных злаков (*Poaceae*) и ее экологическое значение. *Ботанический журнал*. 2009;94(8):1204-1215).

### Информация об авторах

**Юлия Васильевна Даштоян**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, [dashto@rambler.ru](mailto:dashto@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

**Алла Владимировна Калинина**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, [kalininaal@mail.ru](mailto:kalininaal@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>

### Information about the authors

**Iuliia V. Dashtoyan**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaykova St., Saratov 410010, Russia, [dashto@rambler.ru](mailto:dashto@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

**Alla V. Kalinina**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaykova St., Saratov 410010, Russia, [kalininaal@mail.ru](mailto:kalininaal@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 01.12.2023; approved after reviewing on 11.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

UDC 634.8:631.423/.541.11:547.747

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-69-81



### Responses of grapevine genotypes to abiotic stress

Nikolay G. Nilov, Irina I. Ryff, Svetlana P. Berezovskaya, Vladimir Yu. Stamatidi,  
Marina S. Popova, Vladimir A. Volynkin, Vladimir V. Likhovskoi

*All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Russian Academy of Sciences,  
Yalta, Russia*

**Corresponding author:** Vladimir A. Volynkin, [volynkin@magarach-institut.ru](mailto:volynkin@magarach-institut.ru)

**Background.** Salt stress reduces water supply and causes ionic imbalance in the plant, eventually leading to a decrease in plant growth, functional activity, and productivity. Variable salinity levels in the field make it difficult to select salt-tolerant cultivars, so a need for other testing methods arises.

**Materials and methods.** The plant material consisted of two own-rooted *Vitis vinifera* (L.) genotypes: cv. 'Asma', and hybrid M. No. 8-08-8-4 ('Kok Pandas' × 'Zeibel 6357'). Salt stress was simulated by treating with NaCl at 0, 50, 80, 100, and 120 mM concentrations. Water status was measured by the leaf water potential ( $\Psi$ ) using a pressure chamber. Changes in the leaf area and total root length were assessed *in vitro*.

**Results.** Salt stress affected growth characteristics and yield structure of both own-rooted vines, but hybrid M. No. 8-08-8-4 was more sensitive. The hybrid showed greater yield reduction (38.6%) than cv. 'Asma' (28.4%), while the mass concentration of sugars was higher in 'Asma'. The greatest differences in the predawn leaf water potential were observed for 'Asma' and M. No. 8-08-8-4 on the 45th day of irrigation with water containing different NaCl concentrations. The root length of the more salt-tolerant cultivar reduced *in vitro* to a greater extent.

**Conclusion.** The functional abilities of a cultivar depend on the level of salinization and the genotype. Cv. 'Asma' demonstrated higher salt tolerance compared to hybrid M. No. 8-08-8-4. Leaf water potentials characterizing the water status of plants were measured. The responses to salinization were the same in the vines grown *in vivo* and *in vitro*, so it is possible to perform testing for salt tolerance *in vitro*.

**Keywords:** NaCl, leaf water potential, growth indicators, yield, tolerance

**Acknowledgements:** the study was carried out in the framework of the state task under Topic No. FNZM-2022-0007. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Nilov N.G., Ryff I.I., Berezovskaya S.P., Stamatidi V.Yu., Popova M.S., Volynkin V.A., Likhovskoi V.V. Responses of grapevine genotypes to abiotic stress. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):69-81. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-69-81

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-69-81

### Реакция генотипов винограда на абиотический стресс

Н. Г. Нилов, И. И. Рыфф, С. П. Березовская, В. Ю. Стаматиди, М. С. Попова, В. А. Волынкин, В. В. Лиховской

*Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах»  
Российской академии наук, Ялта, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Владимир Александрович Волынкин, [volynkin@magarach-institut.ru](mailto:volynkin@magarach-institut.ru)

**Актуальность.** Солевой стресс вызывает уменьшение поступления воды и ионный дисбаланс; на этом фоне происходит снижение роста, функциональной активности и продуктивности растений. Различный уровень засоления в полевых условиях затрудняет выбор солеустойчивых сортов, в связи с чем возникает необходимость в других методах испытаний.

**Материалы и методы.** Исследованы два корнесобственных растения винограда вида *Vitis vinifera* (L.): сорт 'Асма' и гибрид М. № 8-08-8-4 ('Кок Пандас' × 'Зейбель 6357'). Солевой стресс моделировали введением NaCl в концентрациях 0, 50, 80, 100 и 120 мМ. Водный режим измеряли по методу водного потенциала листьев (Ψ) с использованием камеры давления. Изменения площади листьев и общей длины корня определяли *in vitro*.

**Результаты.** Солевой стресс повлиял на ростовые характеристики и урожай обоих корнесобственных генотипов винограда, но гибрид М. № 8-08-8-4 оказался более чувствительным. Снижение урожая было больше у гибрида М. № 8-08-8-4 (38,6%) по сравнению с сортом 'Асма' (28,4%), а массовая концентрация сахаров у сорта 'Асма' была выше. Наибольшие различия в предрассветном водном потенциале листьев у сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 наблюдались на 45-й день полива водой с разной концентрацией NaCl. В условиях *in vitro* у более устойчивого к засолению сорта длина корня сократилась в большей степени.

**Заключение.** Функциональные способности сорта зависят от уровня засоления и генотипа. Сорт 'Асма' показал более высокую солеустойчивость по сравнению с гибридом М. № 8-08-8-4. Определены водные потенциалы листьев, характеризующие водный режим растений. У растений винограда, выращенных *in vivo* и *in vitro*, реакции на засоление совпадали, что свидетельствует о возможности тестирования на солеустойчивость *in vitro*.

**Ключевые слова:** NaCl, водный потенциал листьев, показатели роста, урожай, устойчивость

**Благодарности:** работа выполнена по теме ГЗ № FNZM-2022-0007.

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

**Для цитирования:** Нилов Н.Г., Рыфф И.И., Березовская С.П., Стаматиди В.Ю., Попова М.С., Волынкин В.А., Лиховской В. В. Реакция генотипов винограда на абиотический стресс. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):69-81. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-69-81

## Introduction

Salt-contaminated soils are spreading and have become a worldwide constraint for raising crop productivity. About 7% of the world's total land area is affected by salinity (Flowers, 2004). Adaptive properties and resistance to major environmental stressors are of greatest importance in obtaining high and stable yields (Safonova, Aniskov, 2023).

Two approaches could be used to minimize the impact of salt stress on plants: one is based on soil reclamation by leaching salts away from the soil profile, while the other relies on selecting genotypes with high genetic potential to tolerate salt stress.

Salinity causes serious declines in plant growth and development and crop productivity. Previous studies showed that saline osmotic stress led to plant growth retardation in grapes (Fozouni et al., 2012; Mamedova, Aliyeva, 2023). High salt concentrations reduce water potential of the soil solution, which prevents water entry through the plant root system. Ionic imbalance is another consequence of salinity, and sodium chloride is especially toxic (Walker et al., 2010). When affected by a stress, plants respond by reducing their functional activity (Deluc et al., 2011).

The choice of grapevine cultivars for planting should be based on a number of factors, such as pests and diseases, water availability, temperature regime, and soil salinity (Marín et al., 2021).

Salt-tolerant cultivars could be a solution to the problem. Salt tolerance of grapevine has been studied both in the field and in the glasshouse (Sinclair, Hoffman, 2003). Nevertheless, different levels of salinity in the field make it difficult to select salt-tolerant cultivars (Bayuelo-Jiménez et al., 2012), that is why there is an imperative need for alternative testing methods (Becker, 2019).

Research into salt tolerance of own-rooted grape cultivars and rootstocks with the aid of tissue culture has been limited (Sivritepe, Eriş, 1999; Troncoso et al., 1999; Volynkin et al., 2021). However, this approach has several advantages, as a large number of plants can easily be produced, experiments can be done in smaller locations, and results can be obtained within a relatively short period of time. The present study was conducted on own-rooted cultivated grapevine genotypes. According to Fisarakis et al. (2001), such cultivars have higher salt tolerance than grafted ones.

The objective of this study was to assess the tolerance of two own-rooted grapevine genotypes to sodium chloride both in an *in vitro* testing system and *in vivo*.

## Materials and methods

### *Experiment site*

The experiment was performed in the laboratory and at the experiment station of the All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" in Part-enit, Crimea (76.88 m ASL; 44°34'39.684"N, 34°20'11.220"E).

### *Plant material and treatments in vivo*

The plant material consisted of two own-rooted genotypes of *Vitis vinifera* (L.): cv. 'Asma', and hybrid M. No. 8-08-8-4 ('Kok Pandas' × 'Zeibel 6357').

### *Experiments with plants grown in vitro*

Apical buds collected from the shoots of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 were cultivated *in vitro* on the Murashige-Skoog (MS) medium, containing 6-benzyl aminopurine (BA) at 1 mg/L<sup>-1</sup>. After 21–24 days, the shoots approximately 1.5 cm long were produced and transferred to the medium with  $\alpha$ -naphthaleneacetic acid (NAA) at 0.1 mg/L<sup>-1</sup> for rooting

and further growth. The pH of the media was adjusted to 5.7 before autoclaving.

Fifty explants per genotype were obtained by microclonal propagation. The explants were transferred to the experiment media with 50 and 100 mM of NaCl and to salt-free control, and were grown in a climatic chamber at 33°C ± 1°C with a 16 h photoperiod. After 40 days, the leaf area and total root length were measured. Ten plants per each salinity level and the control were used.

### *Experiments with potted plants*

In 2015, a total of 20 plants per each genotype (cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4) were placed in 3,500 mL pots containing a mixture of diatomaceous breakstone and humus (1 : 1). Over the 2021–2023 growing seasons, the plants were treated for 75 days with salt-free water (control) or NaCl solutions (80, 100 and 120 mM). Ten plants per each salinity level and the control were used.

Salt tolerance of potted plants was assessed on the basis of a number of parameters. Leaf area, shoot length, and shoot number were measured, and shoot lignification (%) was calculated as a ratio of the green portion of a shoot to the lignified portion. Yield per vine was assessed by weighing the fruit on laboratory scales. Bunch number and the weight of one bunch were measured. For mechanical characteristics of bunches, their components (berries, stems, skin and pulp, and juice) were weighed, and the weight and volume of 100 berries were recorded. Total soluble solids in grape juice were assessed with a portable refractometer (Mettler Toledo). Titratable acids (g/L<sup>-1</sup>) were determined by direct titration of a grape juice sample with alkaline solution until neutralization was observed. Grape juice pH was also measured.

Vine water status was measured according to the leaf water potential ( $\Psi$ ) using a pressure chamber, and expressed in MPa (megapascals, the units of measurement for water potentials). The data were averaged for presentation in the article.

## Results

### *Experiments with plants grown in vitro*

The presence of NaCl at 50 mM reduced growth functions in both genotypes versus the salt-free controls, and those reductions were different (Table 1).

The root length of the more tolerant genotype decreased to a greater extent in order to reduce contact with the saline environment.

Leaf areas of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 decreased by 45% and 60%, respectively, when compared to the salt-free control (Fig. 1). The reductions in total root lengths were by 55% in cv. 'Asma' and by 65% in hybrid M. No. 8-08-8-4 (Fig. 2). The data of statistical analysis are presented in Table 1. The latter genotype, with poor leaf and root growth, was more sensitive to NaCl.

### *Experiments with potted plants*

Growth characteristics and yield structure were affected by salt stress in cv. 'Asma', but hybrid M. No. 8-08-8-4 was more sensitive (Table 2, 3).

The parameters of hybrid M. No. 8-08-8-4 decreased at any salt concentration, including shoot length, leaf area, shoot ripening, bunch weight, yield, sugars, and titratable acids, and significant differences were recorded between the control and the experiment.

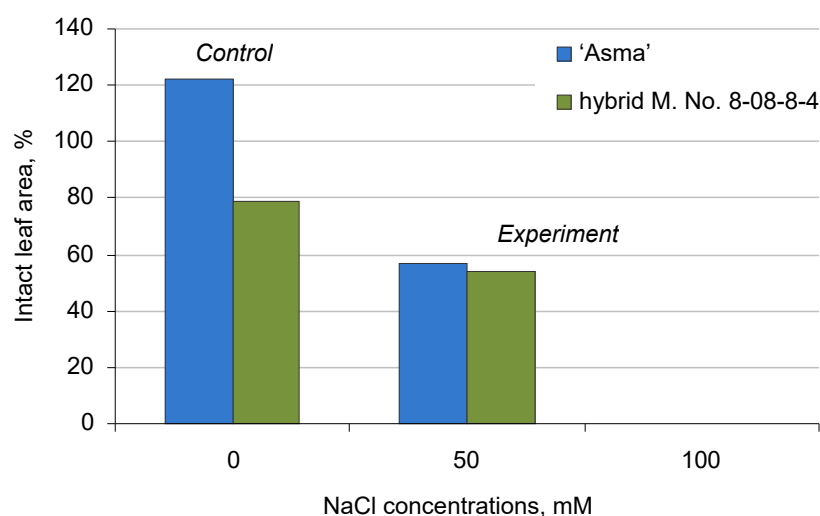
Cv. 'Asma' at the NaCl concentration of 80 mM showed significant differences between the control and the experiment only in shoot ripening, sugars, and titratable acidity. As for the

**Table 1. Morphometric characteristics of the cultivar and hybrid *in vitro***  
**Таблица 1. Морфометрические характеристики сорта и гибрида *in vitro***

Parameters	Salinity levels					
	'Asma'			M. No. 8-08-8-4		
	0 mM	50 mM	100 mM	0 mM	50 mM	100 mM
Leaf area, mm <sup>2</sup>	122 ± 6.5	57 ± 2.1	0	79 ± 1.9	54 ± 0.9	0
Total root length, mm	325 ± 9.0	119 ± 5.0	0	232 ± 7.0	129 ± 4.0	0

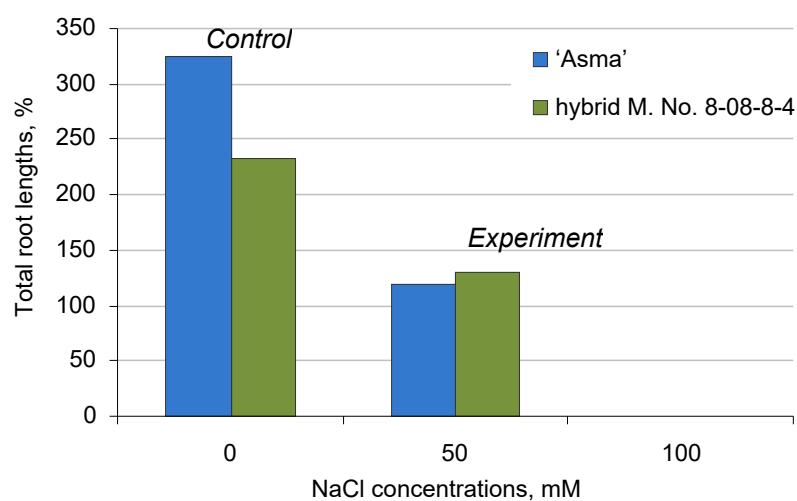
Note: the differences are significant in comparison with the control ( $p \leq 0.05$ )

Примечание: различия достоверны по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ )



**Fig. 1. Percentage of intact leaf areas in the plants of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 grown *in vitro* under different levels of salt stress (NaCl)**

**Рис. 1. Процент неповрежденной поверхности листьев при солевом стрессе *in vitro* у сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4**



**Fig. 2. Percentage of intact total root lengths in the plants of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 grown *in vitro* under different levels of salt stress (NaCl)**

**Рис. 2. Процент неповрежденной поверхности корня при действии соли (NaCl) *in vitro* у сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4**

**Table 2.** Vine performance, yield components, and juice composition of hybrid M. No. 8-08-8-4 depending on NaCl concentrations in the irrigation water (2021–2023)

**Таблица 2.** Продуктивность винограда, компоненты урожайности и состав сока гибрида М. № 8-08-8-4 в зависимости от концентрации NaCl в поливной воде (2021–2023 гг.)

Parameters	Salinity levels			
	0 mM	80 mM	100 mM	120 mM
Leaf area, cm <sup>2</sup>	42568 ± 1108	35757 ± 578	0	0
Shoot number	14.4 ± 0.5	14.6 ± 0.5	14.2 ± 0.5	14.0 ± 0.6
Bunch number	5.0	5.0	5.0	5.0
Shoot length, cm	158.0 ± 7.0	129.0 ± 9.3	91.3 ± 7.2	86.5 ± 5.0
Shoot lignification, %	89.0 ± 1.4	62.4 ± 2.6	54.0 ± 2.2	42.0 ± 1.2
Yield per vine, kg	1.170 ± 0.127	1.018 ± 0.09	0.983 ± 0.179	0.719 ± 0.058
Bunch weight, g	234.0 ± 27.8	203.6 ± 24.4	197.0 ± 15.3	143.8 ± 10.9
Total soluble solids, °Brix	25.0	24.0	19.0	17.0
Titrateable acidity, g/L <sup>-1</sup>	7.4	8.0	8.5	9.2
pH (juice)	3.8	3.6	3.5	3.3

Note: the differences are significant in comparison with the control ( $p \leq 0.05$ )

Примечание: различия достоверны по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ )

**Table 3.** Vine performance, yield components, and juice composition of cv. 'Asma' depending on NaCl concentrations in the irrigation water (2021–2023)

**Таблица 3.** Продуктивность винограда, компоненты урожайности и состав сока сорта 'Асма' в зависимости от концентрации NaCl в поливной воде (2021–2023 гг.)

Parameters	Salinity levels			
	0 mM	80 mM	100 mM	120 mM
Leaf area, cm <sup>2</sup>	48650 ± 1190	48075 ± 1020	27974 ± 450	0
Shoot number	13.6 ± 0.7	13.0 ± 0.3	13.8 ± 0.2	14.2 ± 0.3
Bunch number	5.0	5.0	5.0	5.0
Shoot length, cm	162.0 ± 19.9	160.0 ± 18.0	140.0 ± 10.1	118.3 ± 9.2
Shoot lignification, %	91.3 ± 2.3	81.8 ± 1.0	69.0 ± 2.0	58.0 ± 2.8
Yield per vine, kg	1.990 ± 0.23	1.926 ± 0,186	1.690 ± 0.16	1.425 ± 0,156
Bunch weight, g	398.0 ± 20.0	385.2 ± 13.0	338.0 ± 9.8	285.0 ± 8.4
Total soluble solids, °Brix	19.0	18.5	18.5	17.5
Titrateable acidity, g/L <sup>-1</sup>	4.8	5.7	5.8	6.3
pH (juice)	3.8	3.6	3.6	3.5

Note: the differences are significant in comparison with the control ( $p \leq 0.05$ )

Примечание: различия достоверны по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ )

other indicators (shoot length, leaf area, bunch weight, and yield), significant differences were manifested only at the concentrations of 100 mM and 120 mM. A slower decrease in the indicators under salinization points to a higher salt stress resistance of the cultivar.

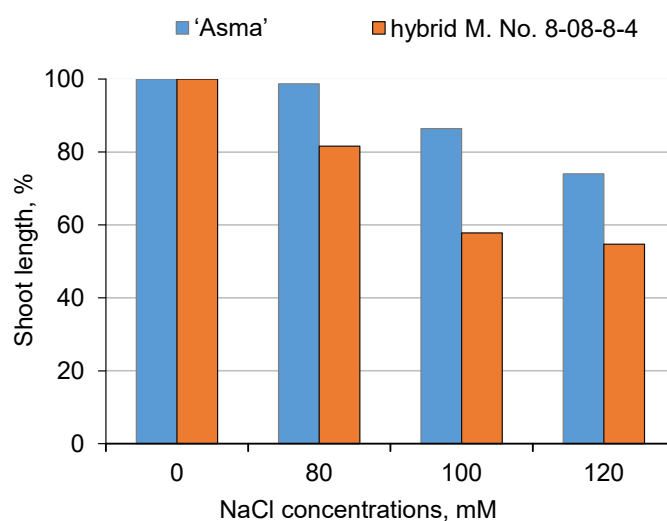
Salt stress reduced shoot growth in both grapevine genotypes (Fig. 3): down to 74% of the control at 120 mM of NaCl in 'Asma'. The decrease in shoot growth was even more dramatic in hybrid M. No. 8-08-8-4: 57,8–54,7% of the control at 100 and 120 mM of NaCl. Shoot lignification in hybrid M. No. 8-08-8-4 and cv. 'Asma' was 54% and 69% at 100 mM, and 42% and 58% at 120 mM of NaCl, respectively (Fig. 4).

Leaf area was also affected by salt stress in both genotypes (Fig. 5). At 100 mM of NaCl, leaf area of cv. 'Asma' plants decreased by 42.5%, and that of hybrid M. No. 8-08-8-4 by 100%. The two genotypes lost their leaves at 120 mM of NaCl.

The effect of salt stress on yield was less pronounced, with reductions down to 28,4% and 38,6% in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4, respectively. However, the berries of both grapevine genotypes were not marketable, because they failed to ripen (Fig. 6).

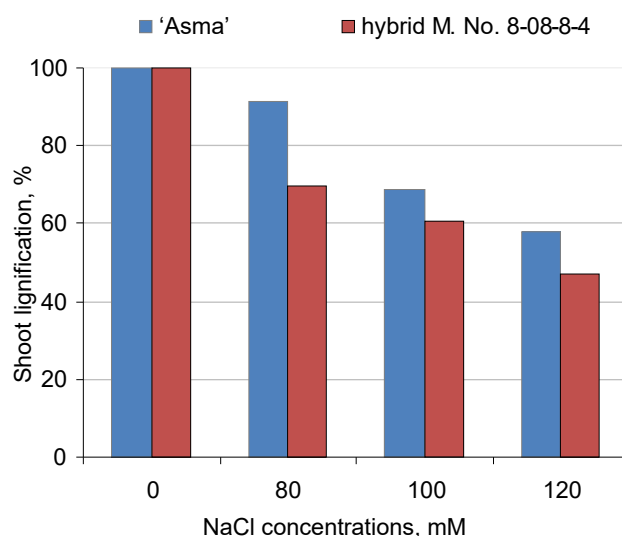
Both tested grapevine genotypes showed a decrease in their bunch weight, berry indicators, and juice yield under salt stress, while their stem weight and skin weight increased (Table 4, 5).

There was a decrease in sugar accumulation in both grapevine genotypes under the impact of salt stress. However, the decrease in sugars was less in cv. 'Asma' than in hybrid M. No. 8-08-8-4. Sugar accumulation in hybrid M. No. 8-08-8-4 decreased by 0.5°Brix at 80.0 mM and 100 mM, and by 1.5°Brix at 120.0 mM of NaCl. Sugar accumulation in cv. 'Asma' became lower by 1.0°Brix at 80.0 mM, 6.0°Brix at 100.0 mM, and 8.0°Brix at 120.0 mM of NaCl (Fig. 7).



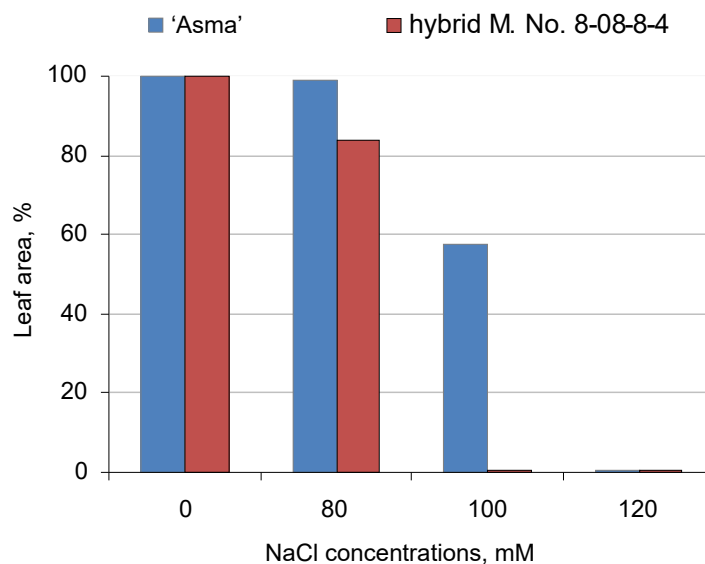
**Fig. 3.** Shoot length changes in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water

**Рис. 3.** Изменение длины побегов сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 под действием поливной воды с NaCl



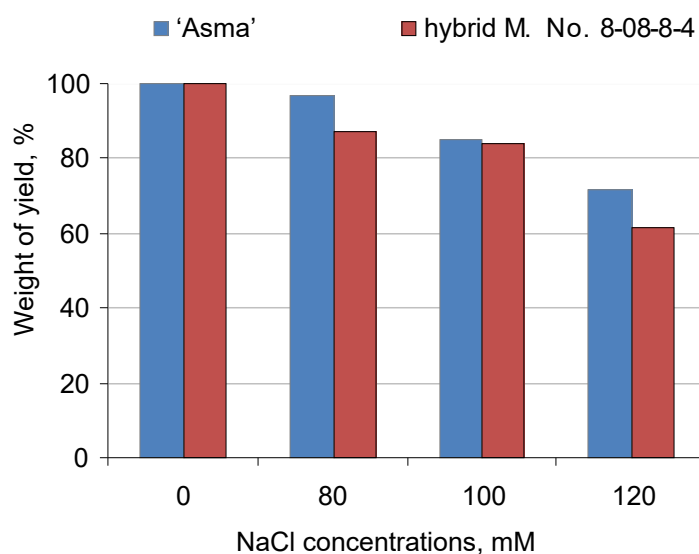
**Fig. 4.** Shoot lignification in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water

**Рис. 4.** Вызревание побегов сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 под действием поливной воды с NaCl



**Fig. 5.** Leaf area changes in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water

**Рис. 5.** Изменение площади листьев сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 под действием поливной воды с NaCl



**Fig. 6.** Yields of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water

**Рис. 6.** Урожаи сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 при поливе водой с NaCl

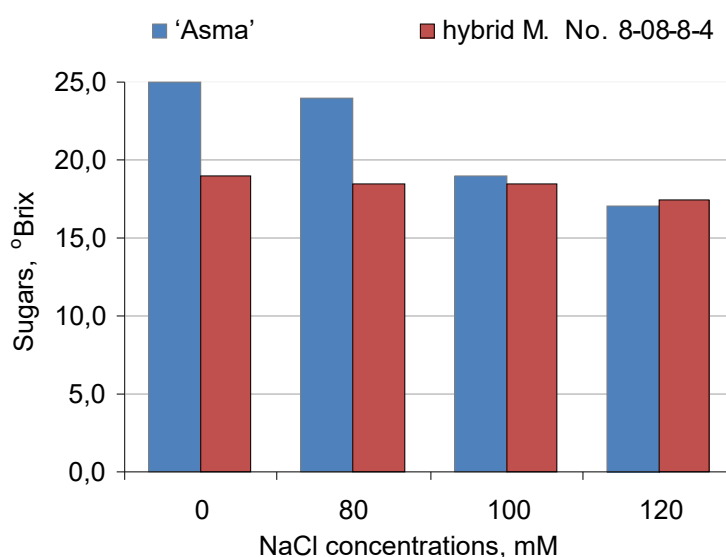
**Table 4.** Bunch characteristics of hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water

**Таблица 4.** Характеристика гроздей гибрида М. № 8-08-8-4 под действием поливной воды с NaCl

Salinity level	Weight of						Weight of 100 berries, g	Volume of 100 berries, cm³	Weight of			
	one bunch		stems		all berries				skin and pulp		juice	
	g	%	g	%	g	%			g	%	g	%
0 mM	234	100	3.7	1.6	230.3	98.4	205	200	35.1	15.0	195.2	83.4
80 mM	228	100	4.1	1.8	223.9	98.2	195	190	36.5	16.3	183.3	81.9
100 mM	210	100	4.6	2.2	205.4	97.8	158	150	46.8	29.6	111.2	70.4
120 mM	150	100	5.3	3.5	144.7	96.5	128	120	48.2	33.3	96.5	66.7

**Table 5.** Bunch characteristics of cv. 'Asma' under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water**Таблица 5.** Характеристика гроздей сорта 'Асма' под действием поливной воды с NaCl

Salinity level	Weight of						Weight of 100 berries, g	Volume of 100 berries, cm <sup>3</sup>	Weight of			
	one bunch		stems		all berries				skin and pulp		juice	
	g	%	g	%	g	%			g	%	g	%
0 mM	382.0	100	7.4	1.9	374.6	98.1	307,5	300	103.0	27.0	271.6	71.1
80 mM	356.1	100	7.42	2.1	348.7	97.9	286.0	290	106.8	30.0	241.9	67.9
100 mM	335.0	100	7.8	2.3	324.9	97.0	264.6	270	106.2	31.7	221.1	66.0
120 mM	279.0	100	8.0	2.9	270.0	96.8	220	250	89.0	31.9	182.7	65.5

**Fig. 7.** Sugar accumulation in berries of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 under the impact of NaCl concentrations in the irrigation water**Рис. 7.** Содержание сахаров в ягодах сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 при поливе водой с NaCl

Water stress was promoted by salt stress in both the cultivar and the hybrid. On the 30th day of irrigation with NaCl solutions in different concentrations, the plants failed to assimilate water normally, and water began to penetrate through the walls of the pots and leak out. This process continued to intensify (Fig. 8).

On the 45th day of irrigation, the filtrate amounts were about 5 mL at 0 mM, 25 mL at 80 mM, 100 mL at 100 mM, and 350 mL at 120 mM for cv. 'Asma', and 5 mL at 0 mM, 50 mL at 80 mM, 270 mL at 100 mM, and 500 mL at 120 mM for hybrid M. No. 8-08-8-4. Lower amounts of the filtrate recorded for cv. 'Asma' proves that the cultivar can absorb salt for a longer period of time.

By the end of the growing season, the filtrate amounts were 800–1000 mL for both genotypes at 120 mM of NaCl. Salt-induced scorching of the leaves was observed both in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4.

Electrical conductivity of the soil was increased by salt stress at the full field moisture capacity. The values were 8.6, 12.0, 15.0 and 16.3 for cv. 'Asma' versus 8.3, 11.3, 16.4 and 16.7 for hybrid M. No. 8-08-8-4 at 0, 80, 100 and 120 mM of NaCl, respectively.

Leaf water potentials of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 decreased dramatically due to the salt stress simulation (Table 6, 7).

The most pronounced differences in predawn leaf water potentials of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 were observed on the 45th day of irrigation with water containing different NaCl concentrations.

### Discussion

Previously, T. Charbaji and Z. Ayyoubi (2004) studied a salt-stress response of *in vitro*-grown *Vitis vinifera* L. cultivars at 80 mM of NaCl in a non-agarized medium. They observed a greater effect of salt on the formation and development of roots compared to the ground part of rootstocks under *in vitro* conditions.

This study was performed on an agar nutrient medium containing a lower concentration of salt (50 mM); however, a negative effect of salt on the development of the root system was also observed.

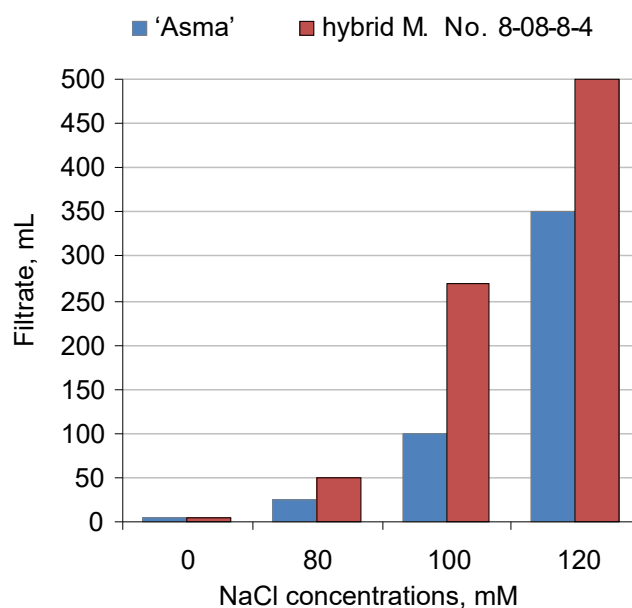
Growth characteristics and yield structure were affected by salt stress in cv. 'Asma', but hybrid M. No. 8-08-8-4 ('Kok Pandas' × 'Zeibel 6357') appeared more sensitive. The same trend was observed by R. R. Walker et al. (2002): weights of one-year-old pruning wood and berry were reduced by high salinity for own roots and all rootstocks. Yields of cv. 'Sultana' on own roots were reduced by 30%.

**Table 6.** Leaf water potentials (MPa) of cv. ‘Asma’ and hybrid M. No. 8-08-8-4 during their growing seasons under the impact of NaCl concentrations in the soil (2021–2023)

Salinity level	Growing seasons									
	Before bloom		Bloom		Berry growth		Berry ripening		Harvest	
'Asma'										
0 mM	-0.10 ± 0.01	-0.62 ± 0.02	-0.22 ± 0.02	-0.79 ± 0.02	-0.30 ± 0.02	-1.25 ± 0.06	-0.32 ± 0.02	-1.23 ± 0.03	-0.27 ± 0.03	-1.20 ± 0.02
80 mM	-0.10 ± 0.01	-0.62 ± 0.02	-0.22 ± 0.02	-0.80 ± 0.02	-0.38 ± 0.07	-1.35 ± 0.06	-0.40 ± 0.05	-1.37 ± 0.05	-0.30 ± 0.03	-1.30 ± 0.05
100 mM	-0.10 ± 0.01	-0.62 ± 0.02	-0.25 ± 0.03	-1.00 ± 0.02	-0.70 ± 0.05	-1.53 ± 0.05	-0.700 ± 0.03	-1.55 ± 0.05	-0.40 ± 0.02	-1.42 ± 0.03
120 mM	-0.12 ± 0.01	-0.65 ± 0.02	-0.30 ± 0.02	-1.20 ± 0.02	-0.80 ± 0.07	-1.60 ± 0.05	-0.82 ± 0.03	-1.62 ± 0.03	-0.50 ± 0.03	-1.53 ± 0.05
hybrid M. No. 8-08-8-4										
0 mM	-0.12 ± 0.01	-0.65 ± 0.02	-0.25 ± 0.01	-1.15 ± 0.01	-0.35 ± 0.02	-1.30 ± 0.01	-0.52 ± 0.01	-1.50 ± 0.01	-0.48 ± 0.02	-1.50 ± 0.02
80 mM	-0.12 ± 0.01	-0.65 ± 0.02	-0.25 ± 0.01	-1.18 ± 0.02	-0.42 ± 0.02	-1.52 ± 0.02	-0.65 ± 0.03	-1.65 ± 0.02	-0.58 ± 0.02	-1.60 ± 0.02
100 mM	-0.13 ± 0.02	-0.67 ± 0.02	-0.30 ± 0.01	-1.25 ± 0.02	-0.75 ± 0.02	-1.68 ± 0.03	-0.80 ± 0.03	-1.72 ± 0.02	-0.72 ± 0.04	-1.70 ± 0.02
120 mM	-0.13 ± 0.01	-0.65 ± 0.02	-0.35±0.01	-1.35 ± 0.01	-0.85 ± 0.02	-1.85 ± 0.02	-0.98 ± 0.06	-1.90 ± 0.02	-0.95 ± 0.03	-1.85 ± 0.02

**Table 7.** Average values of water potentials in the leaves of cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4 during their growing seasons (2021–2023)**Таблица 7.** Средние значения водных потенциалов листьев сорта 'Асма' и гибрида М. № 8-08-8-4 в вегетационных опытах (2021–2023 гг.)

Salinity level	Predawn values	Afternoon values
<b>'Asma'</b>		
0 mM	$-0.20 \pm 0.04$	$-1.00 \pm 0.01$
80 mM	$-0.28 \pm 0.03$	$-1.10 \pm 0.01$
100 mM	$-0.43 \pm 0.02$	$-1.20 \pm 0.02$
120 mM	$-0.50 \pm 0.02$	$-1.32 \pm 0.02$
<b>hybrid M. No. 8-08-8-4</b>		
0 mM	$-0.34 \pm 0.02$	$-1.20 \pm 0.02$
80 mM	$-0.4 \pm 0.02$	$-1.30 \pm 0.02$
100 mM	$-0.54 \pm 0.03$	$-1.40 \pm 0.03$
120 mM	$-0.65 \pm 0.02$	$-1.50 \pm 0.03$

**Fig. 8.** Water filtration from the pots with plants on the 45th day of irrigation with water at different NaCl concentrations**Рис. 8.** Фильтрация воды из сосудов на 45-й день полива растений водой с различной концентрацией NaCl

G. A. Gambetta et al. (2020) observed that grape plants usually functioned in the range from  $-0.3$  to  $-2.0$  MPa. Irrigated vineyards usually operate in a safe range of water potentials, not exceeding  $-1.5$  MPa. A more severe water deficit exceeding  $-1.6$  MPa can cause loss of turgor and xylem cavitation, which can lead to leaf drop in vine plants. In our experiments, the leaf water potential values of cv. 'Asma' did not fall below  $-1.62$  MPa during its growing seasons. Water potentials reached such values only in the variant with the NaCl concentration of 120 mM. As for hybrid M. No. 8-08-8-4, its

leaf water potential values dropped to  $-1.6$  MPa even at 80 mM of NaCl. At 100 mM of NaCl those values decreased to  $-1.65$  MPa, and at 120 mM to  $-1.75$  MPa. Thus, a conclusion can be made that the plants of hybrid M. No. 8-08-8-4 experienced severe water stress in all variants with salization.

The differences in predawn leaf water potentials of hybrid M. No. 8-08-8-4, with its higher sensitivity to salt stress, and cv. 'Asma' were 0.2, 0.32, 0.15 and 0.12 MPa at 0, 80, 100 and 120 mM of NaCl, respectively. Predawn leaf water potentials ( $\Psi_{pd}$ ) provide information on the root-zone soil water poten-

tial (Améglío et al., 1999). Under salinization, the value of leaf water potential reflects, along with biological productivity, the ability of the environment to oppose the stress (Voronin et al., 2021).

Water stress and increasing salt concentration in the soil exert a negative impact on vineyard performance. R. R. Walker et al. (2014) indicated different responses between the tested cultivars: cv. 'Shiraz' had been less affected by prolonged exposure to salinity when compared with cv. 'Chardonnay'.

Different resistance to salt stress was observed in grafted cultivars. The rootstocks differentially excluded Na and Cl from vines; '216/3' and 'Ruggeri' showed the best performance (Dag et al., 2015). Cessation of salt treatment in our experiments led to a promotion of shoot growth. This process occurs due to the progressive recovery in photosynthesis (Walker et al., 1981).

In the present study, a new indicator, total root length, which is easily measured *in vitro*, was used for evaluation of salt tolerance. Previously, a comparative analysis of grapevine root systems under drought pressure was carried out *in vitro* (Ryff et al., 2005). An assumption was made on the basis of such publications that under *in vitro* conditions it is possible to simulate and obtain data on the growth of roots under salinity. In this study, a decrease in the root length was observed. For plants grown *in vitro*, salt tolerance increased with root growth suppression. It may be supposed that a decreased root area admits lower amounts of toxic NaCl ions.

Roots remain in constant contact with saline soil and the cells of root hairs become damaged, which hampers water entry and supply of mineral nutrients. The effect of salt on root development in *in vitro*-grown rootstocks was observed by A. Troncoso et al. (1999) and T. Charbaji, Z. Ayyoubi (2004). Y. Lupo et al. (2021) also noticed a greater reduction in the root system in salt-tolerant cultivars.

In this investigation a decrease in leaf area was observed under salt stress. The leaf area of the salt-tolerant cultivar decreased less *in vivo* and *in vitro*. The same trend under salt stress was observed by other researchers (Sivritepe et al., 1999; Fozouni et al., 2012). Y. Netzer et al. (2014) examined vines of 'Superior Seedless' table grapes grafted on a salt-tolerant 'Paulsen' rootstock and irrigated with water containing NaCl concentrations. They reported trends of Na accumulation in vine tissue and the soil, stating that prolonged irrigation may pose a potential risk to the vines over time.

The results of the present study were similar to the findings by Y. Netzer et al. (2014) who reported that irrigation with NaCl-containing water was applied on table grapes for 8 years. As a consequence, an increase in visual salinity-like symptoms appeared on the leaves and, in some extreme cases, total collapse of yield-bearing vines occurred. The data obtained in this study on vegetative growth and yield parameters might be explained by the supposition that an increase in sodium concentration decreased the uptake of nitrogen and phosphorus, which had a direct effect on the plant growth.

With an increase in salt concentration, a decrease in water potentials was observed in cv. 'Asma' and hybrid M. No. 8-08-8-4. This decrease was less in the salt-tolerant cultivar 'Asma'. A smaller decrease in water potentials in a salt-tolerant cultivar was earlier observed by M. Fozouni et al. (2012). Apparently, a smaller decrease in water potentials can be considered as a sign of salt tolerance.

A conclusion can be made from this study that salinity has a negative effect on the parameters of vegetative growth. The same results were observed S. R. Bhagwat et al. (2021) who showed that salt-affected soils had an adverse effect on vegetative growth, yield, and quality parameters of vines.

## Conclusions

The functional abilities of a grapevine depend on the salinity level and the genotype. Cv. 'Asma' demonstrated higher salt tolerance compared to hybrid M. No. 8-08-8-4 ('Kok Pandas' × 'Zeibel 6357'). It can be assumed on the basis of the conducted experiments that the best adaptation to increased salt content is associated with the ability of plants to reduce the areas of their leaves and roots and decrease their leaf water potentials under salt stress. Such characteristics of a genotype lead to a smaller change in the water-salt regime of the plant and indicate its ability to better adapt to an increase in salinity. Plant responses to salt stress were similar in the potted plants and those grown *in vitro*.

A reduction in root length is suggested as an indicator of salt tolerance for grapevines grown *in vitro*. Thus, tissue culture has good potential as an early diagnostic technology for salt tolerance evaluation in grapevine and for rapid screening of tolerant plants.

Further research is required to assess the long-term effects, particularly in view of important accumulations of chlorides and sodium in leaf tissues.

## References / Литература

- Améglío T., Archer P., Cohen M., Valancogne C., Daudet F.A., Dayan S. et al. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and Soil*. 1999;207:155-167.
- Bayuelo-Jiménez J.S., Jasso-Plata N., Ochoa I. Growth and physiological responses of *Phaseolus* species to salinity stress. *International Journal of Agronomy*. 2012;2012:527673. DOI: 10.1155/2012/527673
- Becker H. Pflanzenzüchtung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer; 2019. [in German]
- Bhagwat S.R., Dhole A.M., Khillari J.M., Kalbhor J.N., Gavali A.H., Shelake I.T. et al. Performance of grafted vines on sodic soils under different agro-climatic condition of Maharashtra. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*. 2021;13(2):83-90.
- Charbaji T., Ayyoubi Z. Differential growth of some grapevine varieties in Syria in response to salt *in vitro*. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2004;40(2):221-224. DOI: 10.1079/IVP2003495
- Dag A., Ben-Gal A., Goldberger S., Yermiyahu U., Zipori I., David I. et al. Sodium and chloride distribution in grapevines as a function of rootstock and irrigation water salinity. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2015;66(1):80-84. DOI: 10.5344/ajev.2014.14019
- Deluc L.G., Decendit A., Papastamoulis Y., Merril J.M., Cushman J.S., Cramer G.R. Water deficit increases stilbene metabolism in Cabernet Sauvignon berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(1):289-297. DOI: 10.1021/jf1024888
- Fisarakis I., Chartzoulakis K., Stavrakas D. Response of Sultanina vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. *Agricultural Water Management*. 2001;51(1):13-27. DOI: 10.1016/S0378-3774(01)00115-9
- Flowers T.J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 2004;55(396):307-319. DOI: 10.1093/jxb/erh003
- Fozouni M., Abbaspour N., Doulati Baneh H. Leaf water potential, photosynthetic pigments and compatible solutes alterations in four grape cultivars under salinity. *VITIS – Journal of Grapevine Research*. 2012;51(4):147-152. DOI: 10.5073/vitis.2012.51.147-152

- Gambetta G.A., Herrera J.C., Dayer S., Feng Q., Hochberg U., Castellarin S.D. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71(16):4658-4676. DOI: 10.1093/jxb/era245
- Lupo Y., Schlisser A., Dong S., Rachmilevitch S., Fait A., Lazarovitch N. Root structure and function of grapevine rootstocks (*Vitis*) in response to salinity. *Research Square*. [preprint] 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-805129/v1
- Mamedova K.K., Aliyeva Z.M. Evaluation of the resistance of grape varieties to salinization in the conditions of soil culture. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2023;60(1):90-100. [in Russian] (Мамедова К.К., Алиева З.М. Оценка устойчивости сортов винограда к засолению среды в условиях почвенной культуры. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2023;60(1):90-100). DOI: 10.54258/20701047\_2023\_60\_1\_90
- Marín D., Armengol J., Carbonell-Bejerano P., Escalona J.M., Gramaje D., Hernández-Montes E. et al. Challenges of viticulture adaptation to global change: tackling the issue from the roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2021;27(1):8-25. DOI: 10.1111/ajgw.12463
- Netzer Y., Shenker M., Schwartz A. Effects of irrigation using treated wastewater on table grape vineyards: Dynamics of sodium accumulation in soil and plant. *Irrigation Science*. 2014;32(4):283-294. DOI: 10.1007/s00271-014-0430-8
- Ryff I.I., Nilov N.G. An in-vitro method to test multiple heat and drought resistance. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2005;(4):9-10. [in Russian] (Рыфф И.И., Нилов Н.Г. Метод тестирования комплексной жаро- и засухоустойчивости *in vitro*. *Магарах. Виноградарство и виноделие*. 2005;(4):9-10).
- Safonova I.V., Aniskov N.I. The effectiveness of using some criteria for determining adaptability on the example of winter rye cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):66-75. [in Russian] (Сафонова И.В., Анисков Н.И. Эффективность использования некоторых критериев определения адаптивности на примере сортов озимой ржи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):66-75). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75
- Sinclair C., Hoffman A.A. Monitoring salt stress in grapevine: are measures of plant trait variability useful? *Journal of Applied Ecology*. 2003;40(5):928-937. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2003.00843.x
- Sivritepe N., Eriş A. Determination of salt tolerance in some grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) under *in vitro* conditions. *Turkish Journal of Biology*. 1999;23(4):473-485.
- Troncoso A., Matte C., Cantos M., Lavee S. Evaluation of salt tolerance of *in vitro*-grown grapevine rootstock varieties. *VITIS – Journal of Grapevine Research*. 1999;38(2):55-60.
- Volynkin V., Likhovskoi V., Levchenko S., Vasylyk I., Ryff I., Berezovskaya S. et al. Modern trends of breeding cultivars for recreational areas of viticulture. *Acta Horticulturae*. 2021;1307:13-20. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1307.3
- Voronin P.Y., Myasoedov N.A., Khalilova L.A., Balnokin Y.V. Water potential of the apoplast of substomatal cavity of the *Suaeda altissima* (L.) Pall. leaf under salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2021;68(3):519-525. DOI: 10.1134/S1021443721030171
- Walker R.R., Blackmore D.H., Clingeleffer P.R. Impact of rootstock on yield and ion concentrations in petioles, juice and wine of Shiraz and Chardonnay in different viticultural environments with different irrigation water salinity. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2010;16(1):243-257. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00081.x
- Walker R.R., Blackmore D.H., Clingeleffer P.R., Correll R.L. Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana): 1. Yield and vigour inter-relationships. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2002;8(1):3-14. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2002.tb00206.x
- Walker R.R., Blackmore D.H., Clingeleffer P.R., Emanuelli D. Rootstock type determines tolerance of Chardonnay and Shiraz to long-term saline irrigation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2014;20(3):496-506. DOI: 10.1111/ajgw.12094
- Walker R.R., Torokfalvy E., Scott N.S., Kriedemann P.E. An analysis of photosynthetic response to salt treatment in *Vitis vinifera*. *Australian Journal of Plant Physiology*. 1981;8(3):359-374. DOI: 10.1071/PP9810359

### Information about the authors

**Nikolay G. Nilov**, Cand. Sci. (Agriculture), previously employed as: Leading Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia

**Irina I. Ryff**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of a Laboratory, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, i.riff2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7723-2575>

**Svetlana P. Berezovskaya**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, vada\_fotimia@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9166-4341>

**Vladimir Yu. Stamatidi**, Associate Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, stamatidi777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4727-2703>

**Marina S. Popova**, Associate Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, darlik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9526-4153>

**Vladimir A. Volynkin**, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, volynkin@magarach-institut.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8799-1163>

**Vladimir V. Likhovskoi**, Dr. Sci. (Agriculture), Director, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St., Yalta 298600, Republic of Crimea, Russia, lihovskoy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3879-0485>

### *Информация об авторах*

**Николай Геннадьевич Нилов**, кандидат сельскохозяйственных наук, последнее место работы: ведущий научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31

**Ирина Ильинична Рыфф**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, i.riff2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7723-2575>

**Светлана Петровна Березовская**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, vada\_fotimia@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9166-4341>

**Владимир Юрьевич Стаматиди**, младший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, stamatidi777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4727-2703>

**Марина Сергеевна Попова**, младший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, darlik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9526-4153>

**Владимир Александрович Волюнкин**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, volynkin@magarach-institut.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8799-1163>

**Владимир Владимирович Лиховской**, доктор сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук, 298600 Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31, lihovskoy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3879-0485>

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

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

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

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

The article was submitted on 05.02.2024; approved after reviewing on 28.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.  
Статья поступила в редакцию 05.02.2024; одобрена после рецензирования 28.03.2024; принята к публикации 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 633.16;581.132;631.527

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94



### Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна

И. Ю. Зайцева, И. Н. Щенникова, Е. М. Лисицын

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

Автор, ответственный за переписку: Ирина Юрьевна Зайцева, [irina-zajceva30@rambler.ru](mailto:irina-zajceva30@rambler.ru)

**Актуальность.** Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) используется на кормовые и пищевые цели. Проблема повышения качества зерна ячменя, в частности содержания белка, имеет практическое значение для селекции. Целью исследования является выделение высокобелковых генетических источников ярового ячменя для селекции новых сортов и поиск возможности прогноза содержания белка в зерне по содержанию хлорофилла в листьях.

**Материалы и методы.** Исследования проведены в 2018–2020 гг. на 28 генотипах ячменя различного эколого-географического происхождения в соответствии с общепринятыми методиками. Содержание белка в зерне определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области, содержание хлорофиллов – спектрофотометрически в ацетоновых вытяжках листьев по методике: Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy.

**Результаты и заключение.** Содержание белка в зерне статистически значимо коррелировало с количеством осадков ( $r = 0,67$ ), суммой эффективных температур ( $r = 0,75$ ) и гидротермическим коэффициентом ( $r = 0,76$ ) за вегетационный период. Выделены генотипы с высоким содержанием белка в зерне, высокой натурной массой зерна и выравненностью. Образцы к-30574 и к-30256, имеющие высокую урожайность и устойчивость к полеганию, являются перспективными для селекции высокобелковых сортов. Высокой пластичностью по показателю «содержание белка» характеризовались образцы к-15619, к-30379 и к-31046. Стабильно высоким содержанием белка в зерне отличался образец к-5983. Выявлены статистически значимые корреляции между содержанием хлорофиллов во флаговом листе и содержанием белка в зерне в наборе сортов с показателем экологической пластичности  $b_1$  ниже единицы ( $r = 0,585...-0,645$ ). У образцов экстенсивного типа с повышением содержания пигментов в листьях наблюдали снижение содержания белка ( $r = -0,643$  и  $-0,638$  для *Chl a* и *Chl b* соответственно;  $r = -0,645$  для суммарного хлорофилла). Высокий уровень соотношения *Chl a/b* может указывать на повышенное содержание белка в зерне этих сортов ( $r = 0,585$ ).

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare* L., белок, хлорофилл, пластичность, стабильность, натура зерна, выравненность, устойчивость к полеганию

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания Федеральному аграрному научному центру Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (тема № FNWE-2022-0007).

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

**Для цитирования:** Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Лисицын Е.М. Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):82-94. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

## Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality

Irina Yu. Zaytseva, Irina N. Shchennikova, Eugene M. Lisitsyn

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***Corresponding author:** Irina Yu. Zaytseva, [irina-zajiceva30@rambler.ru](mailto:irina-zajiceva30@rambler.ru)

**Background.** The problem of improving barley (*Hordeum vulgare* L.) grain quality, in particular grain protein content, is of practical importance for breeding. The objective was to select high-protein genetic sources of spring barley for breeding new cultivars and search for possibilities of predicting grain protein content according to the chlorophyll content in leaves.

**Materials and methods.** The studies were conducted in 2018–2020 on 28 barley genotypes of different ecogeographic origin in accordance with conventional methods. Grain protein content was assessed using near-infrared spectroscopy, and chlorophyll content was measured spectrophotometrically in acetone leaf extracts using the method: *Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy*.

**Results and conclusion.** Average grain protein content significantly correlated with the amount of precipitations ( $r = 0.67$ ), the sum of effective temperatures ( $r = 0.75$ ) and the hydrothermal coefficient ( $r = 0.76$ ) during the growing season. Genotypes with high grain protein content, high test weight, and grain uniformity were selected. Accessions k-30574 and k-30256 showing high yields and resistance to lodging are promising for the development of high-protein cultivars. Accessions k-15619, k-30379 and k-31046 demonstrated high plasticity in their protein content parameters. Accession k-5983 was characterized by consistently high grain protein content. Statistically significant correlations between chlorophyll content in the flag leaf and grain protein content were found in a set of accessions with environmental plasticity ( $b_e$ ) values lower than 1.0 ( $r = 0.585 \dots -0.645$ ). A decrease in protein content was observed in extensive-type accessions with increased pigment content in leaves ( $r = -0.643$  and  $-0.638$  for *Chl a* and *Chl b*, respectively;  $r = -0.645$  for the total chlorophyll). A high *Chl a/b* ratio may serve as an indicator of higher grain protein content levels in such genotypes ( $r = 0.585$ ).

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., protein, chlorophyll, plasticity, stability, test weight, uniformity, lodging resistance

**Acknowledgements:** the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the state task assigned to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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

**For citation:** Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Lisitsyn E.M. Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):82-94. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

## Введение

В настоящее время ячмень (*Hordeum vulgare* L.) среди зерновых культур занимает четвертое место в мире по сбору урожая и площади возделывания. В Кировской области Российской Федерации яровым ячменем представлены 36% посевов зерновых культур (Shchennikova, Kokina, 2021), а в отдельных регионах России под ячмень отводится до 70% зернового клина (Radyukevich et al., 2019). Одним из наиболее действенных и вместе с тем эффективных способов повышения продуктивности является сортосмена, когда вместо старых сортов используют современные, более продуктивные и высокоадаптивные к конкретным почвенно-климатическим условиям возделывания. С экономической точки зрения выведение новых сортов позволяет с минимальными затратами добиться получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Проблема повышения качества зерна ячменя имеет первостепенное практическое значение. Качество зерна является сложным понятием и включает в себя большое количество показателей (Nayak et al., 2022), основными из которых являются содержание белка, натура и выравненность.

В Волго-Вятском регионе в основном выращивают сорта ярового ячменя, имеющие зернофуражное назначение; так, для приготовления комбикормов используется больше половины всего фуражного зерна. Это обусловлено тем, что зерно ярового ячменя, наряду с высокой питательной ценностью, характеризуется высоким содержанием полезных веществ и витаминов (Shulepova et al., 2021). Безобмолотная уборка позволяет использовать его как высококачественный корм, который способен составить весь рацион животных (монокорм). Зерно ячменя содержит от 8 до 30% белка, что имеет существенное значение для насыщения рационов животных растительным белком. В ходе развития зерна белок запасается в эндосперме и алейроновом слое, причем максимум накопления отмечается на стадии созревания (Yu et al., 2017; Jaeger et al., 2021).

Кроме генетических факторов, на количественное содержание белка в зерне ячменя большое влияние оказывают экологические факторы (Hagenblad et al., 2022). Поэтому выведение высокопродуктивных сортов ячменя, сочетающих высокое качество зерна с устойчивостью к стрессорам биотической и абиотической природы, поможет частично решить проблему дефицита белка в кормах для сельскохозяйственных животных.

Натура зерна характеризует главным образом выполненность, плотность и полновесность зерна. Хорошо выполненное зерно отличается более высоким относительным содержанием самой ценной его части – эндосперма. Также натура является косвенным признаком такого технологического качества, как выход муки и крупы: чем выше натура зерна, тем выше этот показатель (Orapasyuk, Belkina, 2012). Натура зерна формируется преимущественно под влиянием погодных условий, складывающихся в период вегетации растений, но отмечается и значимая роль генотипа (Deivasigamani, Swaminathan, 2018; Malkanduyev et al., 2018).

Выравненность характеризует зерно по его форме и размеру и является важным показателем качества (Gubanova, Gubanov, 2018; Abdurakhmanov et al., 2019). Особое значение этот показатель приобретает в процессе получения крупы из зерна, снижая потери и повышая качество конечных продуктов при повышении степени выравненности исходного сырья. По мнению Т. В. Гор-

пинченко (Gorpinchenko, 2008), наиболее качественные продукты переработки ячменя (как пивоваренного, так и крупяного назначения) можно получить в тех случаях, когда степень выравненности зерна превышает 85%. Высокая выравненность необходима и для получения дружных всходов при проведении посевных работ, равномерного развития растений в посевах, одновременного созревания зерна, что в свою очередь обеспечивает более легкую и быструю уборку с одновременным повышением качества получаемого зерна (Tetyannikov, Bome, 2022).

Флаговый лист зерновых культур поставляется азот прямо в колос и обеспечивает от 50 до 60% ежедневного синтеза пластических веществ (Tofiq et al., 2015), поэтому его роль в повышении урожая и качества зерна, в частности в повышении содержания белка, в последние годы активно изучается и используется в селекции (Liu et al., 2015; Nayak et al., 2022; Racz et al., 2022). Многие авторы указывают на то, что содержание белка в зерне может быть спрогнозировано по величине содержания в листьях таких пигментов, как хлорофиллы, оцененного в поле с помощью портативных хлорофиллометров типа SPAD-502 (Minolta Corporation, Japan), Yara N-Tester™ (Yara International ASA, Norway) или CCM-200 (Opti-Sciences, USA) (Aranguren et al., 2021; Ghassemi-Golezani, Mousavi, 2022).

I. Racz et al. (2022) установили, что коэффициент корреляции между содержанием хлорофиллов *a* и *b* во флаговом листе трех сортов пшеницы и содержанием белка в зерне может достигать в разные годы величин 0,62–0,66. В то же время погодные условия вегетации и генотипические различия сортов оказывают значительное влияние на силу этой связи. Так, в условиях засухи в период налива зерна эта корреляция может быть отрицательной (Javed et al., 2022). J. Peltonen et al. (1995) обнаружили, что оценка содержания хлорофилла на стадии GS65 (середина цветения) позволяет предсказать содержание белка в зерне, при этом на стадии GS65 все еще возможно повлиять на этот параметр посредством внекорневого внесения азотных удобрений (Hoel, 2002).

**Цель исследования:** а) на основе оценки коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения выделить источники для селекции сортов ярового ячменя с высоким содержанием белка в зерне в условиях Волго-Вятского региона РФ; б) проанализировать возможность прогноза содержания белка в зерне по содержанию хлорофилла в листьях

## Материалы и методы

Исследования проведены в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформирована на элювии пермских глин. Содержание гумуса низкое (2,27–3,56%), кислотность солевой вытяжки составляет 4,4–5,8 единиц pH. Содержание фосфора преимущественно высокое (167–367 мг/кг), обменного калия – очень высокое (243–247 мг/кг).

Опытные посевы размещали по предшественнику чистый пар. Фоном весной под культивацию вносили минеральные удобрения в дозе  $N_{48}P_{48}K_{48}$  (нитроаммофоска НРК 16 : 16 : 16, АО «ОХК «УРАЛХИМ»).

Согласно данным Кировского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Киров), метеорологические условия значительно различались по годам исследований как по температурному ре-

жиму, так и по обеспеченности посевов влагой. В 2018 г. сложились неблагоприятные погодные условия из-за частых дождей и низких температур (ГТК = 1,65), а в 2019 г. с температурой воздуха в пределах климатической нормы и дефицитом осадков характеризовался как умеренно влажный (ГТК = 1,37). В 2020 г. в течение вегетационного периода было сухо с незначительными осадками (ГТК = 1,56). Наиболее благоприятные условия для накопления белка в зерне коллекционных образцов сложились в 2020 г., высокой урожайности – в 2018 и 2020 г., однако ливневые дожди в 2020 г. в межфазный период «колошение – созревание» спровоцировали полегание коллекционных образцов.

Объектом исследований являлись 28 образцов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения, предоставленные Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (в тексте «к-» – каталог ВИР) и другими аграрными научными центрами («я-» – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). Исследования проводили в соответствии с классификатором и методическими указаниями, разработанными в ВИР (Lekeš et al., 1983; Loskutov et al., 2012). Содержание белка в зерне ячменя определено в лабораторных условиях методом спектроскопии в ближней инфракрасной области с помощью инфракрасного анализатора INFRAMATIC 8620 (Perten Instruments, Sweden), натурная масса определена в соответствии с ГОСТ 10840-64 (GOST 10840-64..., 2009), выравниваемость определяли на аппарате ВИМС РКС-1.

Для выделения ценных для селекции образцов ячменя со стабильно высоким содержанием белка в зерне вычисляли параметры экологической пластичности ( $b_i$ ), стабильности ( $\sigma d^2$ ) и индекс условий среды ( $I_j$ ) с использованием методики, разработанной S. A. Eberhart и W. A. Russell, в редакции В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 2011).

В фазу цветения с 20 растений каждого исследуемого генотипа отбирали пробы флагового и подфлагового листьев для анализа содержания пигментов. Концентрацию хлорофиллов *a* (*Chl a*) и *b* (*Chl b*) в ацетоновых вытяжках листьев (100-процентный ацетон) определяли на спектрофотометре UVmini 1240 Shimadzu (Japan) с последующим пересчетом содержания пигментов на 1 г сухой массы листьев согласно методике Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy (Lichtenthaler, Buschmann, 2001).

Полученные данные обрабатывали статистически с использованием табличного процессора Microsoft Office Excel 2013 и пакета селекционно-генетических программ AGROS, версия 2.07.

### Результаты и обсуждение

Усредненное за три года содержание белка в зерне изменялось по сортам от 12,0 до 16,2% (CV = 9,0%), а в целом по опыту – от 10,5 до 16,8% (CV = 11,2%) (табл. 1).

В научно-исследовательских работах приводятся различные данные о зависимости содержания белка в зерне от условий тепло- и влагообеспеченности как отдельных фаз вегетации, так и периода развития растений в целом. Так, согласно исследованиям В. В. Глуховцева и Н. В. Дровальевой, О. А. Юсовой с соавторами (Glukhovtsev, Drovaleva, 2011; Yusova et al., 2015), повышенное содержание белка в зерне наблюдается в условиях дефицита осадков. Однако в работе Д. В. Дубовик и О. Г. Чуян (Dubovik, Chuayan, 2018) отмечается, что в слабоувлажненные годы зафиксировано наименьшее количество белка. От-

рицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и осадками во все фазы развития ячменя, кроме фаз «колошение» и «молочная спелость», выявлена в исследовании Ю. П. Прядуна (Pryadun, 2013). По данным, приведенным в статье Л. М. Ерошенко с соавторами (Yeroshenko et al., 2020), к снижению количества белка в зерне приводило увеличение ГТК в межфазные периоды «кущение – колошение» ( $r = -0,51 \dots -0,56$ ) и «колошение – налив зерна» ( $r = -0,53$ ), а во время налива и созревания зерна с увеличением ГТК содержание белка в зерне возрастало ( $r = 0,21 \dots 0,66$ ).

Как показывают результаты нашего анализа исходных данных, на содержание белка в зерне большое влияние оказывали погодные условия года: содержание белка статистически значимо (при  $p \leq 0,05$ ) коррелировало с суммой эффективных температур ( $r = 0,75$ ) и количеством осадков ( $r = 0,67$ ) как за весь период вегетации, так и за межфазный период «колошение – созревание» ( $r = 0,62$  и  $0,74$  соответственно). Гидротермический коэффициент за весь период вегетации также был статистически связан с изучаемым показателем качества зерна ( $r = 0,76$ ).

Полученные данные по содержанию белка в полном наборе образцов были использованы для расчета индексов условий среды. В результате анализа выявлено, что ухудшение погодных условий в период вегетации (снижение величины  $I_j$ ) приводит к снижению величины содержания белка в зерне изученных генотипов при одновременном усилении ее вариабельности. В 2018 г. отмечен самый высокий коэффициент вариации (CV = 12,7%) содержания белка по образцам (от 10,5 до 16,8%), при этом индекс условий среды составил  $-0,37$  единиц. В 2019 г. (индекс условий среды  $I_j = -0,56$ ) содержание белка варьировало от 10,9 до 15,9% (CV = 10,7%). В наиболее благоприятном для накопления белка 2020 г. отмечен самый высокий индекс  $I_j = 0,93$ , при этом содержание белка варьировало от 12,6 до 17,4% у разных генотипов (CV = 8,3%) (рисунок).

В целом за три года исследований генотипы 'Landrace' (к-30349), местный (к-2929), местный (к-2930) и 'Makbo' (к-5210) характеризовались высоким содержанием белка. Наряду с ними образцы 'Crusades' (я-52), '752A' (я-4), 'Filippa' (к-30574), 'NCL 95098' (к-35415), местный (к-5983), местный (к-3506), 'Rodos' (к-30256), 'Полярный 14' (к-15619) и 'Наран' (к-30892) статистически значимо превысили стандартный сорт 'Белгородский 100' (я-201) по этому параметру качества (см. табл. 1).

Для включения того или иного образца в селекционную работу, кроме содержания белка в зерне, необходимо также учитывать уровень адаптивности генотипа к возделыванию в конкретном регионе, характеризующимся своим комплексом неблагоприятных погодных-климатических условий. Чем выше адаптивность высокобелковых образцов, тем с большей вероятностью можно ожидать стабильно высокого содержания белка в их зерне в годы, контрастные по метеоусловиям вегетации.

Данные таблицы 1 показывают, что исследуемые генотипы значительно отличались между собой по параметрам экологической пластичности ( $b_i$ ) и стабильности ( $\sigma d^2$ ) содержания белка.

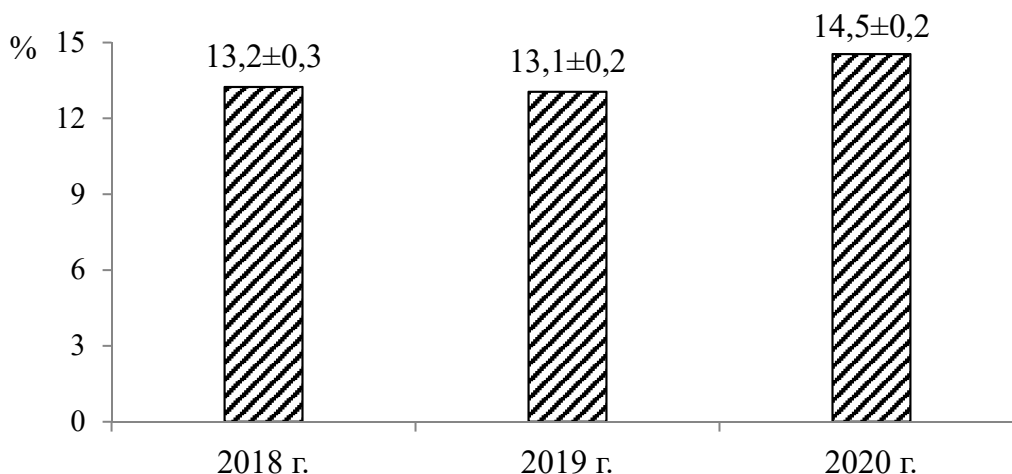
Образцы интенсивного типа ( $b_i > 1,0$ ) представляют наибольшую селекционную ценность: это такие образцы, как 'Белгородский 100' (я-201), 'Новичок' (к-30806), 'Crusades', 'Cooper' (к-30375), 'Danuta' (к-30889), 'Filippa', 'Bonita' (к-35417), 'Landrace' (к-30349), 'Naxby' (к-31053), местный (к-2929), 'Одесский 115' (к-29010), 'Сябра' (к-

**Таблица 1. Экологическая пластичность и стабильность коллекционных образцов ярового ячменя по содержанию белка в зерне** (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров)**Table 1. Environmental plasticity and stability of spring barley accessions in the context of their grain protein content** (Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Содержание белка, % / Protein content, %				$b_i$	$\sigma d^2$
		2018	2019	2020	Среднее / Average		
Местный / Local	к-5983	14,9	14,9	14,0	14,6*	-0,65	0,006
Местный / Local	к-3506	15,7	14,6	14,2	14,8*	-0,62	0,733
Makbo	к-5210	16,4	15,8	15,3	15,8*	-0,54	0,321
Местный / Local	к-2930	16,8	15,9	15,9	16,2*	-0,24	0,465
NCL 95098	к-35415	13,9	14,6	14,4	14,3*	0,01	0,235
Orthega	к-30468	12,3	12,3	12,6	12,4	0,22	0,006
Наран / Naran	к-30892	13,9	13,4	13,9	13,7*	0,24	0,114
752A	я-4	15,4	13,5	14,6	14,5*	0,25	1,796
Sultan	к-19798	11,9	12,8	13,1	12,6	0,45	0,496
Mentor	к-30873	13,5	12,7	13,7	13,3	0,46	0,249
Казьминский / Kazminsky	к-30926	13,8	13,0	14,1	13,6	0,59	0,218
Щедрый / Shchedry	к-31046	12,5	11,8	13,2	12,5	0,80	0,109
Mie	к-30379	11,9	12,1	13,3	12,4	0,92	0,078
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	13,9	14,9	15,8	14,9*	0,96	0,704
Crusades	я-52	13,6	14,6	15,9	14,7*	1,17	0,719
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	11,7	12,3	13,8	12,6	1,18	0,377
Danuta	к-30889	13,0	12,0	14,1	13,0	1,24	0,305
Landrace	к-30349	15,4	14,6	16,8	15,6*	1,35	0,125
Местный / Local	к-2929	15,8	14,7	17,4	16,0*	1,60	0,298
Filippa	к-30574	13,6	12,9	15,5	14,0*	1,61	0,075
Bonita	к-35417	12,8	11,3	14,2	12,8	1,61	0,712
Новичок / Novichok	к-30806	11,2	12,8	14,7	12,9	1,83	1,177
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	11,9	10,9	13,9	12,2	1,89	0,195
Haxby	к-31053	11,6	11,8	14,6	12,7	2,00	0,149
Сябра / Syabra	к-29917	12,3	11,5	14,9	12,9	2,17	0,075
Рейдер / Reyder	я-356	10,5	11,2	14,1	12,0	2,25	0,649
Rodos	к-30256	13,1	12,1	15,9	13,7*	2,43	0,139
Cooper	к-30375	11,8	12,5	16,7	13,7*	3,16	0,938

Примечание:  $b_i$  – коэффициент регрессии (пластичность);  $\sigma d^2$  – среднеквадратическое отклонение (стабильность); \* – превышение стандарта 'Белгородский 100' (я-201) статистически значимо при  $p \leq 0,05$

Note:  $b_i$  – regression coefficient (plasticity);  $\sigma d^2$  – standard deviation (stability); \* – statistically significant excess over the standard reference (cv. 'Belgorodsky 100', я-201), at  $p \leq 0.05$



**Рисунок.** Среднее по коллекции содержание белка в зерне ячменя в годы исследований (2018–2020 гг., г. Киров)

**Figure.** Average grain protein content for the collection of barley accessions in different years of the study (2018–2020, Kirov)

29917), 'Rodos', 'Рейдер' (я-356). Максимальное в опыте содержание белка в зерне ячменя в благоприятный год сформировалось у образцов местный (к-2929) – 17,4%, 'Landrace' – 16,8%, 'Crusades', 'Rodos' – 15,9% и 'Filippa' – 15,5%.

К нейтральному типу ( $b_i < 1,0$ ) были отнесены образцы 'Sultan' (к-19798), 'Mentor' (к-30873), 'Orthege' (к-30468), '752A' (я-4), 'NCL 95098', местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран', 'Казьминский' (к-30926). Стабильным по годам было содержание белка в зерне образцов 'Наран' – 13,5; 13,4 и 13,9% и местный (к-5983) – 14,9; 14,9 и 14,0%, соответственно в 2018, 2019 и 2020 г.

Высокой экологической пластичностью ( $b_i = 1$ ) характеризовались генотипы 'Полярный 14', 'Mie' (к-30379), 'Щедрый' (к-31046). При этом в зерне образца 'Полярный 14' отмечено высокое содержание белка.

Можно отметить образец местный (к-5983), который в условиях Волго-Вятского региона показал стабильно высокое содержание белка в зерне ( $\sigma_d^2 \rightarrow 0$ ); образец 'Orthege' имел также стабильное содержание белка, однако оно было низким в каждый год исследования, но в среднем по опыту – на уровне стандарта 'Белгородский 100'.

Для изученных образцов ярового ячменя был проведен анализ содержания пигментов во флаговом и подфлаговом листьях. Данные представлены в таблице 2.

Среднее для выборки содержание *Chl a* составило  $5,24 \pm 0,19$  и  $3,94 \pm 0,28$  мг/г сухой массы для флагового и подфлагового листьев соответственно. Для *Chl b* аналогичные величины составили  $3,01 \pm 0,19$  и  $1,89 \pm 0,21$ . Соответствующие коэффициенты вариации были равны 19,7; 37,0; 32,6 и 57,6%. Из этих данных следует, что вариabельность величин содержания *Chl b* в обоих листьях почти вдвое превышает вариabельность содержания *Chl a*, что делает это показателем более пригодным для оценки межсортовых различий, особенно при анализе подфлагового листа, что подтверждает полученные нами ранее данные (Noskova et al., 2019).

В целом для исследуемой выборки сортов ярового ячменя содержание белка в зерне не показало каких-либо статистически значимых корреляций с содержанием и соотношением пигментов во флаговом и подфлаговом листьях (табл. 3).

Необходимо отметить, что в научной литературе на сегодняшний день нет единого мнения о характере сопряженности содержания пигментов в листьях и белка в зерне для большинства зерновых культур (Hansen et al., 2002; Wang et al., 2004). M. Aranguren et al. (2021) считают, что величины и направление взаимосвязей этих двух параметров в значительной степени варьируют в зависимости от конкретных условий года и места выращивания. R. J. López-Bellido et al. (2004) отмечали, что высокое содержание азота в зерне и низкая урожайность характерны для засушливых условий вегетации. В этом случае содержание хлорофилла на середине стадии цветения (GS65) во флаговом листе может на 68–77% объяснить вариabельность содержания белка в зерне.

M. Aranguren et al. (2021) предлагают обращать внимание на величину урожайности сорта. В их исследовании в условиях Средиземноморья, при урожайности яровой пшеницы ниже чем 8 т/га, показана адекватность использования данных содержания хлорофилла во флаговом листе на стадиях от GS60 до GS69 для предсказания вариabельности содержания белка в зерне.

Мы использовали несколько иной подход и разделили всю выборку сортов не по урожайности, а по величине параметра экологической пластичности ( $b_i$ ) сортов. Такой подход позволил отметить отсутствие корреляционных связей между пигментным комплексом листьев и средним содержанием белка для сортов с уровнем  $b_i$  выше единицы (сорта интенсивного типа). В то же время сорта, имеющие показатель экологической пластичности ниже единицы, характеризовались наличием статистически значимых взаимосвязей содержания белка в зерне с пигментным комплексом флагового листа. Так, для *Chl a* и *Chl b* коэффициенты парных корреляций составили  $r = -0,643$  и  $-0,638$  соответственно; для соотношения *Chl a/b* –  $r = 0,585$ ; для суммарного содержания хлорофилла во флаговом листе –  $r = -0,645$ .

Рассчитанные по исходным данным уравнения регрессии могут способствовать прогнозу содержания белка в зерне сортов ярового ячменя экстенсивного типа ( $b_i$  ниже 1) на основе анализа содержания зеленых пигментов во флаговом листе в фазу цветения. Эти уравнения выглядят следующим образом:

**Таблица 2.** Содержание хлорофилльных пигментов (*Chl a* и *Chl b*) во флаговом и подфлаговом листьях образцов ярового ячменя (мг/г сухой массы)**Table 2.** Content of chlorophyll pigments (*Chl a* and *Chl b*) in the flag and second leaves of spring barley accessions (mg/g dry weight)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Флаговый лист / Flag leaf		Подфлаговый лист / Second leaf	
		<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>
Местный / Local	к-5983	4,82 ± 0,36	2,75 ± 0,28	3,08 ± 0,33	1,33 ± 0,19
Местный / Local	к-3506	4,12 ± 0,19	2,23 ± 0,20	1,44 ± 0,25	0,59 ± 0,07
Makbo	к-5210	5,65 ± 0,13	3,26 ± 0,16	5,18 ± 0,10	2,61 ± 0,05
Местный / Local	к-2930	3,37 ± 0,29	1,51 ± 0,20	3,40 ± 0,16	1,58 ± 0,09
NCL 95098	к-35415	5,37 ± 0,26	2,92 ± 0,21	2,80 ± 0,17	1,14 ± 0,13
Orthega	к-30468	4,40 ± 0,23	1,96 ± 0,23	5,52 ± 0,18	2,14 ± 0,21
Наран / Naran	к-30892	5,95 ± 0,31	3,25 ± 0,29	4,44 ± 0,21	1,94 ± 0,25
752A	я-4	5,50 ± 0,25	3,24 ± 0,22	3,51 ± 0,17	1,50 ± 0,11
Sultan	к-19798	4,28 ± 0,28	1,99 ± 0,21	3,45 ± 0,18	1,12 ± 0,12
Mentor	к-30873	6,58 ± 0,17	4,46 ± 0,05	6,06 ± 0,31	3,58 ± 0,31
Казьминский / Kazminsky	к-30926	6,74 ± 0,18	4,41 ± 0,21	7,24 ± 0,18	4,76 ± 0,22
Щедрый / Shchedry	к-31046	5,63 ± 0,24	3,17 ± 0,05	3,03 ± 0,13	1,28 ± 0,06
Mie	к-30379	6,03 ± 0,28	3,97 ± 0,24	3,93 ± 0,14	1,96 ± 0,11
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	4,97 ± 0,18	2,69 ± 0,15	2,92 ± 0,17	1,28 ± 0,08
Crusades	я-52	3,98 ± 0,25	1,88 ± 0,16	1,99 ± 0,07	0,86 ± 0,02
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	6,34 ± 0,10	4,25 ± 0,11	5,68 ± 0,16	3,18 ± 0,13
Danuta	к-30889	3,26 ± 0,25	1,67 ± 0,36	2,73 ± 0,15	1,21 ± 0,07
Landrace	к-30349	4,58 ± 0,21	1,96 ± 0,22	3,70 ± 0,11	1,19 ± 0,08
Местный / Local	к-2929	5,34 ± 0,13	3,04 ± 0,23	5,45 ± 0,31	3,11 ± 0,23
Filippa	к-30574	6,04 ± 0,16	3,92 ± 0,12	2,92 ± 0,18	1,27 ± 0,12
Bonita	к-35417	5,67 ± 0,26	3,02 ± 0,20	3,77 ± 0,31	1,07 ± 0,11
Новичок / Novichok	к-30806	4,57 ± 0,21	2,10 ± 0,17	2,81 ± 0,01	0,48 ± 0,02
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	6,48 ± 0,26	4,32 ± 0,13	5,98 ± 0,32	3,61 ± 0,31
Haxby	к-31053	6,62 ± 0,18	4,52 ± 0,20	6,17 ± 0,21	3,81 ± 0,24
Сябра / Syabra	к-29917	3,68 ± 0,05	1,59 ± 0,03	2,30 ± 0,17	1,16 ± 0,21
Рейдер / Reyder	я-356	6,00 ± 0,08	4,21 ± 0,09	3,64 ± 0,19	1,72 ± 0,15
Rodos	к-30256	6,25 ± 0,22	3,65 ± 0,20	4,42 ± 0,21	2,22 ± 0,12
Cooper	к-30375	4,51 ± 0,24	2,35 ± 0,12	2,66 ± 0,18	1,13 ± 0,08

**Таблица 3.** Величины коэффициентов парных корреляций между содержанием пигментов в листьях и содержанием белка в зерне для 28 образцов ярового ячменя**Table 3.** Values of pairwise correlation coefficients between pigment content in leaves and protein content in grain for 28 spring barley accessions

Образец / Accession	Chl a	Chl b	Chl a / Chl b	Chl a + b
<i>Вся выборка (28 сортов) / Entire set (28 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	-0,168	-0,171	-0,186	-0,171
Подфлаговый лист / Second leaf	-0,034	-0,035	0,062	-0,035
<i>Сорта, имеющие <math>b_i &gt; 1,0</math> (14 сортов) / Cultivars with <math>b_i &gt; 1.0</math> (14 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	0,148	0,104	-0,196	0,128
Подфлаговый лист / Second leaf	0,321	0,275	-0,101	0,304
<i>Сорта, имеющие <math>b_i &lt; 1,0</math> (14 сортов) / Cultivars with <math>b_i &lt; 1.0</math> (14 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	-0,643*	-0,638*	0,585*	-0,645*
Подфлаговый лист / Second leaf	-0,447	-0,430	0,372	-0,446

Примечание: \* – корреляции статистически значимы при  $p \leq 0,05$ Note: \* – statistically significant correlations at  $p \leq 0.05$ 

содержание белка =  $17,36 - 0,627 \times$  содержание Chl a;  
содержание белка =  $16,11 - 0,677 \times$  содержание Chl b;  
содержание белка =  $16,79 - 0,330 \times$  суммарное содержание Chl;

содержание белка =  $10,34 + 2,030 \times$  соотношение Chl a/b.

Таким образом, эти уравнения показывают, что с повышением содержания хлорофилла на 1 мг/г сухой массы листа содержание белка в зерне уменьшится на 0,627% (для Chl a); на 0,677% (для Chl b) и на 0,330% (для суммарного хлорофилла). С повышением соотношения

Chl a/b на единицу содержание белка, наоборот, возрастет на 2,030%.

Высокими показателями натурности зерна, достоверно превышающими стандарт 'Белгородский 100', характеризовались генотипы '752A', 'Landrace', местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2929), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран', 'Щедрый'. Показатель натурной массы у образца 'Orthege' (651,4 г/л) был значительно ниже, чем у стандартного сорта. Кроме этого, недостаточной натурной массой обладали генотипы 'Filipra' (665,2 г/л) и 'Полярный 14' (666,0 г/л) (табл. 4).

**Таблица 4.** Натурная масса и выравненность зерна образцов ярового ячменя (2018–2020, г. Киров)**Table 4.** Test weight and grain uniformity in spring barley accessions (2018–2020, Kirov)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Натурная масса, г/л / Test weight, g/L	Выравненность, % / Uniformity, %
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	678,3	94,7
Новичок / Novichok	к-30806	693,8	92,0
Crusades	я-52	671,0	93,2
Cooper	к-30375	673,9	92,2
Sultan	к-19798	678,9	93,8
Mentor	к-30873	686,2	94,7
Danuta	к-30889	651,4	94,1
752A	я-4	800,0	11,6

Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Натурная масса, г/л / Test weight, g/L	Выравненность, % / Uniformity, %
Filippa	к-30574	665,3	92,4
Bonita	к-35417	699,4	93,0
NCL 95098	к-35415	683,8	91,9
Landrace	к-30349	811,4	72,2
Haxby	к-31053	696,5	93,9
Местный / Local	к-5983	806,2	27,6
Местный / Local	к-3506	762,6	40,6
Местный / Local	к-2929	810,3	73,3
Местный / Local	к-2930	821,4	73,0
Makbo	к-5210	809,0	61,6
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	697,0	90,1
Mie	к-30379	686,6	95,3
Сябра / Syabra	к-29917	680,2	97,4
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	666,0	86,0
Наран / Naran	к-30892	702,4	94,0
Казьминский / Kazminsky	к-30926	674,0	89,9
Щедрый / Shchedry	к-31046	709,9	88,2
Рейдер / Reyder	я-356	691,7	93,2
Rodos	к-30256	700,2	97,5
Orthega	к-30468	749,8	54,7
НСР <sub>05</sub>		21,7	9,7

На уровне стандарта по показателю «выравненность» находились образцы 'Новичок', 'Crusades', 'Cooper', 'Sultan', 'Mentor', 'Danuta', 'Filippa', 'Bonita', 'NCL 95098', 'Haxby', 'Одесский 115', 'Mie', 'Сябра', 'Полярный 14', 'Наран', 'Казьминский', 'Щедрый', 'Рейдер' (см. табл. 4).

При выборе исходного материала ячменя для селекции на качество зерна большое значение имеет отбор образцов, которые характеризуются не только высоким содержанием белка, но и высокой урожайностью, устойчивостью к полеганию, а также имеют меньшую продолжительность вегетационного периода. Высокобелковые

генотипы значительно различались между собой по уровню урожайности – от 255 до 465 г/м<sup>2</sup>, коэффициент вариации составил 23,7% (табл. 5).

Выделенные высокобелковые коллекционные образцы имели практически одинаковую продолжительность вегетационного периода, вариабельность составила всего 2,1%. Фактическая продолжительность периода «всходы – созревание» изменялась в среднем за три года исследований от 72 до 77 дней. Это позволило отнести выделившиеся высокобелковые образцы к группе среднеспелых.

**Таблица 5. Характеристика высокобелковых коллекционных образцов ярового ячменя (2018–2020 гг., г. Киров)****Table 5. Characteristics of high-protein spring barley accessions (2018–2020, Kirov)**

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Урожайность, г/м <sup>2</sup> / Yield, g/m <sup>2</sup>	Продолжитель- ность вегета- ционного пе- риода, дни / Growing season duration, days	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging re- sistance, score
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	463	74	8,9
Crusades	я-52	343	77	8,5
752A	я-4	276	73	5,6
Filippa	к-30574	431	76	8,9
NCL 95098	к-35415	375	75	9,0
Landrace	к-30349	227	73	5,8
Местный / Local	к-5983	296	73	5,8
Местный / Local	к-3506	276	75	5,9
Местный / Local	к-2929	280	73	5,7
Местный / Local	к-2930	283	73	5,3
Makbo	к-5210	255	72	5,1
Rodos	к-30256	465	76	8,4
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	314	73	7,5
Наран / Naran	к-30892	407	73	8,5
НСР <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>		42	3	–

В то же время эти генотипы значительно отличались по устойчивости к полеганию, которая варьировала от средней (5,1 балла у образца 'Makbo') до очень высокой (9,0 баллов у образца 'NCL 95098'), коэффициент вариации – 22,2%. Пять генотипов имели устойчивость выше 8,5 баллов: 'Crusades', 'Filippa', 'NCL 95098', 'Rodos' и 'Наран'.

### Заключение

В проведенном трехлетнем исследовании на примере 28 генотипов ярового ячменя содержание белка в зерновке в значительной степени определялось климатическими условиями года. Установлена статистически значимая (при  $p \leq 0,05$ ) корреляция содержания белка с показателями: количество осадков ( $r = 0,67$ ), сумма эффективных температур ( $r = 0,75$ ), гидротермический коэффициент ( $r = 0,76$ ) за весь вегетационный период; сумма эффективных температур ( $r = 0,62$ ) и количество осадков ( $r = 0,74$ ) за межфазный период «колошение – созревание». Ухудшение погодных условий в период вегетации приводит к снижению величины содержания белка в зерне изученных генотипов при одновременном усилении ее вариабельности.

За весь период исследований высокое содержание белка отмечено у генотипов 'Landrace' (к-30349), местный (к-2929), местный (к-2930) и 'Makbo' (к-5210).

Выделены образцы, обладающие высокой пластичностью по показателю «содержание белка» – 'Полярный 14' (к-15619), 'Mie' (к-30379) и 'Щедрый' (к-31046). Стабильно высоким содержанием белка в зерне отличался образец местный (к-5983).

Вариабельность величин содержания *Chl b* в листьях почти вдвое превышала вариабельность содержания *Chl a*, что делает этот показатель более пригодным для оценки межсортовых различий, особенно при анализе подфлагового листа. В целом для исследуемой выборки содержание белка в зерне не имело значимых корреляций с содержанием и соотношением пигментов в листьях; однако для сортов, имеющих  $b$  ниже единицы, коэффициенты парных корреляций были статистически значимы и составили для *Chl a* и *Chl b* во флаговом листе –0,643 и –0,638 соответственно; для соотношения *Chl a/b*  $r = 0,585$ ; для суммы хлорофиллов во флаговом листе  $r = -0,645$ . Для сортов ярового ячменя экстенсивного типа возможен следующий прогноз: с повышением содержания хлорофилла во флаговом листе в фазу цветения на 1 мг/г сухой массы листа содержание белка в зерне уменьшится на 0,63% (для *Chl a*), на 0,68% (для *Chl b*) и на 0,33% (для суммарного хлорофилла). С повышением соотношения *Chl a/b* на единицу содержание белка, наоборот, возрастет на 2,03%.

Высокими показателями натурности зерна, достоверно превышающими стандарт 'Белгородский 100' (я-201), ха-

рактизовались образцы '752A' (я-4), местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2929), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран' (к-30892) и 'Щедрый'.

Высокобелковые генотипы значительно отличались по устойчивости к полеганию ( $CV = 22,2\%$ ), величина которой варьировала от 5,1 до 9,0 баллов. Образцы 'Crusades' (я-52), 'Filippa' (к-30574), 'NCL 95098' (к-35415), 'Rodos' (к-30256) и 'Наран' показали высокую степень устойчивости (выше 8,5 баллов).

Коллекционные образцы 'Filippa' и 'Rodos', имеющие урожайность на уровне стандарта 'Белгородский 100' и высокую устойчивость к полеганию, являются перспективными для использования в селекции высокобелковых сортов ячменя.

## References / Литература

- Abdurakhmanov O.X., Rajabov A.N., Barakaev N.R. Signs of quality of local grain varieties and methods for their determination. *Bulletin of the Agrarian Science of Uzbekistan*. 2019;4(78):99-102. [in Russian] (Абдурахманов О.Х., Ражабов А.Н., Баракаев Н.Р. Признаки качества местных сортов зерна и методы их определения. *Вестник аграрной науки Узбекистана*. 2019;78(4):99-102).
- Aranguren M., Castellón A., Aizpurua A. Wheat grain protein content under Mediterranean conditions measured with chlorophyll meter. *Plants*. 2021;10(2):374. DOI: 10.3390/plants10020374
- Deivasigamani S., Swaminathan C. Evaluation of seed test weight on major field crops. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2018;4(1):8-11. DOI: 10.20431/2454-6224.0401002
- Dubovik D.V., Chuyan O.G. Quality of crops depending on agronomical practices and climatic conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2018;(2):9-13. [in Russian] (Дубовик Д.В., Чуян О.Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий. *Земледелие*. 2018;(2):9-13). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10202
- Ghassemi-Golezani K., Mousavi S.A. Improving physiological performance and grain yield of maize by salicylic acid treatment under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 2022;12(2):1-10. DOI: 10.22034/jppb.2022.16041
- Glukhovtsev V.V., Drovalova N.V. Features of formation protein and its amino acid composition in summer barley grains depending on weather conditions in the Middle Volga region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(2):120-123. [in Russian] (Глуховцев В.В., Дровальева Н.В. Особенности формирования белка и его аминокислотного состава в зерне ярового ячменя в зависимости от погодных условий в Среднем Поволжье. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2011;6(2):120-123).
- Gorpinchenko T.V. Assessment of the quality of crop varieties as raw materials for processing (Otsenka kachestva sortov selskokhozyaystvennykh kultur kak syrya dlya pererabotki). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2008. [in Russian] (Горпинченко Т.В. Оценка качества сортов сельскохозяйственных культур как сырья для переработки. Москва: РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; 2008).
- GOST 10840-64. Interstate standard. Grain. Methods for determination of hectolitre weight. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10840-64. Меж-
- государственный стандарт. Зерно. Методы определения натуры. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023848> [дата обращения: 17.10.2023].
- Gubanova V.M., Gubanov M.V. Technological and biochemical characteristics of grain of chaffy and hullless barley in the Northern Zauralie. *Perm Agrarian Journal*. 2018;4(24):47-52. [in Russian] (Губанова В.М., Губанов М.В. Технологические и биохимические характеристики зерна пленчатого и голозерного ячменя в условиях Северного Зауралья. *Пермский аграрный вестник*. 2018;4(24):47-52).
- Hagenblad J., Vanhala T., Madhavan S., Leino M.W. Protein content and HvNAM alleles in Nordic barley (*Hordeum vulgare*) during a century of breeding. *Hereditas*. 2022;159(1):12. DOI: 10.1186/s41065-022-00227-y
- Hansen P.M., Jørgensen J.R., Thomsen A. Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *The Journal of Agricultural Science*. 2002;139(3):307-318. DOI: 10.1017/S0021859602002320
- Hoel B.O. Chlorophyll meter readings in winter wheat: cultivar differences and prediction of grain protein content. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. 2002;52(4):147-157. DOI: 10.1080/090647103100004843
- Jaeger A., Zannini E., Sahin A.W., Arendt E.K. Barley protein properties, extraction and applications, with a focus on brewers' spent grain protein. *Foods*. 2021;10(6):1389. DOI: 10.3390/foods10061389
- Javed A., Ahmad N., Ahmed J., Hameed A., Ashraf M.A., Zafar A.S. et al. Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. *Journal of King Saud University – Science*. 2022;34(7):102279. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102279
- Lekeš J., Bareš I., Foral A., Odignal V., Ružička F., Bobek M., Trofimovskaya A., Lukyanova M., Korneychuk V., Ilyina N., Yarosh N. International COMECON list of descriptors for the genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian; in English] (Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одигнал И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград: ВИР; 1983).
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns (eds). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York, NY: John Wiley and Sons; 2001. F4.3.1-F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01
- Liu L., Sun G., Ren X., Li C., Sun D. Identification of QTL underlying physiological and morphological traits of flag leaf in barley. *BMC Genetics*. 2015;16:29. DOI: 10.1186/s12863-015-0187-y
- López-Bellido R.J., Shepherd C.E., Barraclough P.B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*. 2004;20(3):313-320. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00025-X
- 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 sokhraneniuyu 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).
- Malkanduyev H.A., Malkanduyeva A.H., Shamurzayev R.I., Bazgiyev M.A. Influence of sowing time on productivity and quality of grain of the winter wheat. *Innovations and Food Safety*. 2018;(3):93-97. [in Russian] (Малкандуев Х.А., Малкандуева А.Х., Шамурзаев Р.И., Базгиев М.А. Влияние сроков посева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2018;(3):93-97). DOI: 10.31677/2311-0651-2018-0-3-93-97
- Nayak D.K., Sahoo S., Barik S.R., Sanghamitra P., Sangeeta S., Pandit E. et al. Association mapping for protein, total soluble sugars, starch, amylose and chlorophyll content in rice. *BMC Plant Biology*. 2022;22:620. DOI: 10.1186/s12870-022-04015-8
- Noskova Ye.N., Zaytseva I.Yu., Lisitsyn Ye.M. The possibility of using leaf pigment content parameters for spring barley breeding. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;6(176):22-26. [in Russian] (Носкова Е.Н., Зайцева И.Ю., Лисицын Е.М. Пригодность параметров содержания пигментов в листьях для селекции ярового ячменя. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019;6(176):22-26).
- Opanasyuk I.V., Belkina R.I. Barley cultivar grain quality and the factors which determine it in the Northern Zauralye conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2012;3(66):63-66. [in Russian] (Опанасюк И.В., Белкина Р.И. Качество зерна сортов ячменя и факторы, определяющие его в условиях Северного Зауралья. *Вестник КрасГАУ*. 2012;3(66):63-66).
- Peltonen J., Virtanen A., Helenius J., Salopelto J., Kittilä K., Eloranta E. Determination of barley nitrogen status with chlorophyll meter for high  $\beta$ -amylase in grains. *Agricultural and Food Science*. 1995;4(5-6):495-501. DOI: 10.23986/afsci.72625
- Pryadun U.P. Formation of protein in grain of collection samples spring barley under northern forest-steppe Chelyabinsk region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;171:69-72. [in Russian] (Прядун Ю.П. Формирование белка в зерне коллекционных образцов ярового ячменя в условиях северной лесостепи Челябинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;171:69-72).
- Racz I., Hirişcău D., Berindean I., Kadar R., Muntean E., Tritan N. et al. The influence of flag leaf removal and its characteristics on main yield components and yield quality indices on wheat. *Agronomy*. 2022;12(10):2545. DOI: 10.3390/agronomy12102545
- Radyukevich T.N., Bondareva L.M., Lashina N.M. Study of spring barley collection for the aims of selection in the North-West of Russia. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(55):16-22. [in Russian] (Радюкевич Т.Н., Бондарева Л.М., Лашина Н.М. Изучение коллекции ярового ячменя для целей селекции на северо-западе России. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019;(55):16-22). DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12016
- Shchennikova I.N., Kokina L.P. Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(1):21-31. [in Russian] (Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(1):21-31). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31
- Shulepova O.V., Sannikova N.V., Kovaleva O.V. Evaluation of the biochemical composition of seeds of different varieties of spring barley depending on pre-treatment in the conditions of forest-steppe zone of Zauralye. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;1(64):63-69. [in Russian] (Шулепова О.В., Санникова Н.В., Ковалева О.В. Оценка биохимического состава зерна различных сортов ярового ячменя в зависимости от предпосевной обработки в условиях лесостепной зоны Зауралья. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021;1(64):63-69).
- Tetyannikov N.V., Bome N.A. Barley genetic resources of barley and their use in breeding: a monograph (Geneticheskiye resursy yachmenya i ikh ispolzovaniye v selektsii: monografiya). Moscow: Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery; 2022. [in Russian] (Тетяников Н.В., Боме Н.А. Генетические ресурсы ячменя и их использование в селекции: монография. Москва: Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства; 2022).
- Tofiq S., Haseeb S., Ahmad K., Hama S.J. Response of grain yield and its components to organic matter and removal of some photosynthetic organs of durum wheat (*Triticum aestivum* L.) in two years of Sulaimani-Iraq region. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2015;5:134-140.
- Wang Z.J., Wang J.H., Liu L.Y., Huang W.J., Zhao C.J., Wang C.Z. Prediction of grain protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) using plant pigment ratio (PPR). *Field Crops Research*. 2004;90(2-3):311-321. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.04.004
- Yeroshenko L.M., Dedushev I.A., Romakhin M.M., Yeroshenko A.N., Yeroshenko N.A. Romakhina V.V. The influence of the hydrothermal coefficient on groats qualities of barley varieties under the conditions of the Non-Chernozem Zone. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020;2(184):26-32. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Дедушев И.А., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А. Ромашина В.В. Влияние гидротермического коэффициента на крупяные качества сортов ячменя в условиях Нечерноземной зоны. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020;2(184):26-32).
- Yu W., Tan X., Zou W., Hu Z., Fox G.P., Gidley M.J. et al. Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley. *Carbohydrate Polymers*. 2017;155:271-279. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.08.078
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Popolzukhin P.V. Formation of grain quality of brewing barley varieties depending on growing season conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;(5):44-46. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Поползухин П.В. Формирование качества зерна пивоваренных сортов ячменя в зависимости от условий периода вегетации. *Земледелие*. 2015;(5):44-46).
- Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshev I.O. Environmental plasticity of agricultural plants (methods and assessment) (Ekologicheskaya plastichnost selskokhozyaystvennykh rasteniy [metodika i otsenka]). Ufa; 2011. [in Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа; 2011).

*Информация об авторах*

**Ирина Юрьевна Зайцева**, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

**Ирина Николаевна Щенникова**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

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

*Information about the authors*

**Irina Yu. Zayseva**, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

**Irina N. Shchennikova**, Dr. Sci. (Agriculture), Corresponding Member of the RAS, Head of a Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

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

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 27.12.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 05.06.2024.  
The article was submitted on 27.12.2023; approved after reviewing on 10.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья  
УДК 633.111.1:632.4

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-95-105



## Ювенильная устойчивость озимых и яровых сортов мягкой пшеницы к *Pyrenophora tritici-repentis*

Н. В. Мироненко<sup>1</sup>, Н. М. Коваленко<sup>1</sup>, О. А. Баранова<sup>1</sup>, А. Г. Хакимова<sup>2</sup>, О. П. Митрофанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

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

Автор, ответственный за переписку: Нина Васильевна Мироненко, [nina2601mir@mail.ru](mailto:nina2601mir@mail.ru)

**Актуальность.** Возбудитель желтой пятнистости листьев пшеницы, гриб *Pyrenophora tritici-repentis* (*Ptr*), продолжает расширять свой ареал и наносить существенный урон урожаю. Устойчивые сорта пшеницы остаются наиболее эффективным и экологически безопасным средством защиты от этого заболевания. Цель исследования – охарактеризовать современные отечественные сорта мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по ювенильной устойчивости к географически различным популяциям *Ptr* и выделить источники устойчивости для селекции, определить наличие у сортов доминантных аллелей гена *Tsn1* и их связь с восприимчивостью к *Ptr*.

**Материалы и методы.** Оценивали устойчивость к *Ptr* 76 сортов озимой мягкой пшеницы из коллекции ВИР, четырех сортов озимой и 43 сортов яровой мягкой пшеницы из Поволжья. Инокулюмом служили изоляты красnodарской, тамбовской, татарстанской и алтайской популяций *Ptr* 2022 г. Доминантные аллели гена восприимчивости *Tsn1* у пшеницы идентифицировали методом ПЦР с использованием маркера *Xfcp623*.

**Результаты.** Сорта озимой и яровой мягкой пшеницы охарактеризованы по типу реакции листьев проростков к изолятам популяций *Ptr* и наличию/отсутствию доминантных аллелей гена *Tsn1*. Устойчивость к изолятам двух и трех популяций *Ptr* проявили 11 сортов озимой и 13 сортов яровой мягкой пшеницы. Показаны различия популяций *Ptr* по вирулентности, а озимых и яровых форм – по уровню устойчивости. Доминантные аллели гена *Tsn1* идентифицированы у 26 сортов. Статистически значимой сопряженности между их присутствием и проявлением восприимчивости к *Ptr* не обнаружено.

**Заключение.** Выявленное разнообразие сортов мягкой пшеницы по реакциям листьев проростков на заражение изолятами различных популяций *Ptr*, возможно, обусловлено их различиями по аллелям генов ювенильной устойчивости/восприимчивости к *Ptr*, а также наличием неизвестных еще генов-эффекторов в геноме патогена. Сорта, устойчивые к двум-трем популяциям *Ptr*, можно использовать как источники ювенильной устойчивости в селекции.

**Ключевые слова:** коллекция генетических ресурсов пшеницы ВИР, образец, желтая пятнистость, популяция патогена, *Tsn1*, *ToxA*

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственных заданий по тематическим планам: ВИЗР, проект FGEU-2022-0009 «Формирование научного задела для долгосрочного обеспечения эффективной генетической защиты растений от вредных организмов, способствующей предотвращению развития эпифитотий и пандемий и отвечающей требованиям экологической безопасности»; ВИР, проект № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

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

**Для цитирования:** Мироненко Н.В., Коваленко Н.М., Баранова О.А., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Ювенильная устойчивость озимых и яровых сортов мягкой пшеницы к *Pyrenophora tritici-repentis*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):95-105. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-95-105

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-95-105

## Seedling resistance of winter and spring bread wheat cultivars to *Pyrenophora tritici-repentis*

Nina V. Mironenko<sup>1</sup>, Nadezhda M. Kovalenko<sup>1</sup>, Olga A. Baranova<sup>1</sup>, Anida G. Khakimova<sup>2</sup>, Olga P. Mitrofanova<sup>2</sup><sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Nina V. Mironenko, [nina2601mir@mail.ru](mailto:nina2601mir@mail.ru)

**Background.** The fungus causing tan spot on wheat leaves, *Pyrenophora tritici-repentis* (*Ptr*), continues to expand its range and inflict severe damage to the crop. Development of resistant cultivars remains the most effective and environmentally friendly way of disease control. The objective was to characterize modern domestic cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) according to their seedling resistance to geographically different *Ptr* populations, identify sources of *Ptr* resistance, locate the presence of dominant *Tsn1* alleles in cultivars, and assess their relationship with *Ptr* susceptibility.

**Materials and methods.** *Ptr* resistance was assessed in 76 winter bread wheat cultivars from the VIR collection, and 4 winter and 43 spring bread wheat cultivars from the Volga region. Isolates from the Krasnodar, Tambov, Tatarstan and Altai *Ptr* populations (2022) served as the inoculum. Dominant *Tsn1* alleles were identified by PCR using the *Xfcp623* marker.

**Results.** Bread wheat cultivars were characterized for the type of response in the leaves of their seedlings to isolates from *Ptr* populations and the presence/absence of dominant *Tsn1* alleles. Resistance to isolates from two or three *Ptr* populations was observed in 11 winter and 13 spring cultivars. Differences between winter and spring forms in their resistance levels were shown. Dominant *Tsn1* alleles were identified in 26 cultivars. No statistically significant association was found between the presence/absence of dominant *Tsn1* alleles and the manifestation of resistance/susceptibility to *Ptr*.

**Conclusion.** The disclosed diversity of bread wheat cultivars in their responses to the infection with isolates of different *Ptr* populations may be due to their differences in the alleles of *Ptr* resistance/susceptibility genes as well as the presence of still unknown effector genes in the pathogen's genome. Cultivars resistant to two or three *Ptr* populations can be used by breeders as sources of seedling resistance.

**Keywords:** wheat genetic resources collection of VIR, accession, tan spot, pathogen population, *Tsn1*, *ToxA*

**Acknowledgements:** the study was carried out within the framework of the state tasks according to the thematic plans: VIZR, Project FGEU-2022-0009 "Formation of scientific groundwork for the long-term provision of effective genetic protection of plants from harmful organisms, contributing to the prevention of the development of epiphytotics and pandemics and meeting the requirements of environmental safety"; VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

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

**For citation:** Mironenko N.V., Kovalenko N.M., Baranova O.A., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Seedling resistance of winter and spring bread wheat cultivars to *Pyrenophora tritici-repentis*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):95-105. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-95-105

## Введение

У мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) поиск новых источников устойчивости к желтой пятнистости листьев, вызываемой аскомицетным грибом *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler (далее сокращенно: *Ptr*), остается актуальным (Kim, Volkova, 2020), что обусловлено большой изменчивостью возбудителя болезни, благодаря которой возникают новые расы и преодолевается устойчивость сортов. До 1970-х годов болезнь не имела экономического значения. Распространение и увеличение вредоносности болезни связывают с широким внедрением в производство сортов, устойчивых к стеблевой и бурой ржавчинам, которые обеспечили «относительно чистый лист» для освоения его возбудителем желтой пятнистости. Еще одним фактором, объясняющим распространение желтой пятнистости, может быть применение щадящих способов обработки почвы, способствующих накоплению первичного инфекционного начала в виде зимующих псевдотециев гриба (Mikhailova et al., 2012). Считают, что усиление вирулентности гриба произошло за счет приобретения изолятами *Ptr* способности продуцировать белковый токсин *Ptr ToxA*, индуцирующий некроз. Ген *ToxA*, кодирующий этот токсин, был привнесен в геном *Ptr* путем горизонтального переноса от другого листового патогена пшеницы – гриба *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedv. Verkleij & Crous – через анастомозы между гифами или с помощью неизвестных переносчиков (Friesen et al., 2006).

Установлено, что *Ptr* продуцирует некротрофные эффекторы (NE) *Ptr ToxA*, *Ptr ToxB*, *Ptr ToxC*, которые взаимодействуют соответственно с генами чувствительности пшеницы *Tsn1*, *Tsc2* и *Tsc1* по схеме «ген-на-ген». Распознавание NE геном чувствительности хозяина приводит к развитию болезни у растения. При инфицировании ткани растения взаимодействие *Ptr ToxA* – *Tsn1* вызывает некроз, в то время как взаимодействие *Ptr ToxB* – *Tsc2* и *Ptr ToxC* – *Tsc1* – симптому хлороза. В этом контексте устойчивость к *Ptr* проявляется как рецессивный признак и реализуется при отсутствии доминантных аллелей генов чувствительности хозяина (Strelkov, Lamari, 2003; Ciuffetti et al., 2010; Singh et al., 2010; Tan et al., 2010; Faris et al., 2013).

Экспериментально показано, что у растений пшеницы, несущих доминантную аллель гена восприимчивости *Tsn1*, развитие болезни наблюдается при инокуляции их изолятом *Ptr*, продуцирующим *Ptr ToxA*, то есть патосистема *T. aestivum* – *P. tritici-repentis* работает по принципу «ген-на-ген» в инверсном варианте (Strelkov, Lamari, 2003; Ciuffetti et al., 2010). Для отбора растений пшеницы, устойчивых к *Ptr*, их испытывают на чувствительность либо к отдельным изолятам, относящимся к той или иной расе, либо к химически синтезированным чистым белковым токсинам *Ptr ToxA* или *Ptr ToxB*. Последний подход широко применяют за рубежом. После того как ген *Tsn1* был клонирован и на его функциональную аллель подобран маркер *Xfcp623* (Faris et al., 2010), этот маркер стали использовать для выявления образцов *Tsn1\** с целью их последующей элиминации из селекционного процесса (Faris et al., 2010, 2012; Kokhmetova et al., 2017). Однако до сих пор нет единого мнения об эффективности и целесообразности использования такого подхода для борьбы с болезнью.

Цель нашего исследования – охарактеризовать современные отечественные сорта мягкой пшеницы по ювенильной устойчивости к географически различным по-

пуляциям возбудителя *Ptr* и выделить источники устойчивости для селекции, определить наличие у сортов доминантных аллелей гена *Tsn1* и связь их с восприимчивостью к *Ptr*.

## Материалы и методы

Материалом для исследования послужили:

– 76 образцов озимой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. Все они представляли сорта 19 регионов России, в основном включенные в коллекцию в 2018–2021 гг. Поэтому далее речь о них будет идти как о сортах. Эту выборку дополнили 'Аэлита', 'Альтернатива', 'Эстафета', 'Поволжская Нива' из Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (Саратовская обл.) и Самарского федерального исследовательского центра РАН (Самарская обл.);

– 43 сорта яровой мягкой пшеницы, предоставленные селекционерами названных выше учреждений и Федеральным исследовательским центром «Казанский научный центр РАН» (Республика Татарстан). Все сорта из Поволжья: Самарская обл. – 6, Саратовская обл. – 17, Татарстан – 17, Ульяновская обл. – 3.

Всего изучено 123 сорта мягкой пшеницы.

В качестве инокулята для заражения сегментов листьев сортов использовали изоляты, выделенные в 2022 г. из краснодарской (кр-22), тамбовской (тамб-22), татарстанской (тат-22) и алтайской (алт-22) популяций *Ptr*. Каждая популяция была представлена смесью пяти наиболее агрессивных изолятов, которые включали доминирующие расы каждой популяции, а именно: расы 1 и 2 – кр-22, расы 1, 3, 4 и 8 – тамб-22, расы 2 и 4 – тат-22, расы 1 и 3 – алт-22 (неопубликованные данные). Расы 1, 2, 8 характеризуются способностью продуцировать некроз-индуцирующий токсин *Ptr ToxA*, кодируемый геном *ToxA*. Каждый сорт озимой пшеницы оценивали двумя – четырьмя популяциями: 23 сорта – алт-22 и тамб-22, 43 – кр-22 и тат-22, 12 – тамб-22, кр-22 и тат-22, два сорта – всеми четырьмя популяциями. Все 43 сорта яровой мягкой пшеницы тестировали к трем популяциям: тамб-22, кр-22 и тат-22.

Сегменты отсеченных листьев пшеницы помещали на среду с бензимидазолом (40 мг/л) и заражали по известной методике суспензией конидий гриба в концентрации 5000 кон/мл (Mikhailova et al., 2012).

Метод определения ювенильной (проростковой) устойчивости к *Ptr* основан на анализе размеров некротических и хлоротических пятен, образовавшихся после инокуляции листьев проростков пшеницы методом опрыскивания конидиальной суспензией гриба. Оценку устойчивости проводили по 5-балльной шкале (Rees et al., 1987; Mikhailova et al., 2012), в которой комбинации баллов поражения в виде «некроз/хлороз» интерпретировали следующим образом: 0/0, 0/1, 1/0, 1/1 – устойчивые, или R; 1/2, 2/2, 2/1 – умеренно устойчивые, MR; 3/3, 3/4, 4/3, 4/4, 2/3, 3/2 – восприимчивые, S; 4/3, 4/4, 4/5, 5/4, 5/5 – высоковосприимчивые, HS.

По совокупности всех выявленных реакций на заражение различными популяциями *Ptr* каждый из сортов был отнесен к одной из трех групп: устойчивый – с реакцией R к двум и более популяциям; умеренно устойчивый – с реакциями только MR или MR и R к одной из популяций; восприимчивый – при наличии реакции S хотя бы к одной из популяций.

Выделение ДНК из листьев проводили СТАВ-методом (Murray, Thompson, 1980). Ген восприимчивости *Tsn1*

идентифицировали с использованием маркера *Xfcp623*, который расположен в 5-м интроне гена *Tsn1*. Диагностический фрагмент размером 380 пн ассоциирован с функциональным аллелем этого гена; отсутствие маркера означало наличие нулевой аллели (Faris et al., 2010).

Сравнение двух и более выборок одновременно для проверки степени их однородности, а также для оценки достоверности сопряженности между восприимчивостью/устойчивостью сорта к *Ptr* и присутствием/отсутствием диагностического фрагмента маркера *Tsn1* проводили с использованием критерия Хи-квадрат, в том числе с поправкой Йетса:

$$\chi^2_{\text{Y}} = (|ad-bc|-0,5N)^2 N / ((a+b)(c+d)(a+c)(b+d)) \text{ (Zaitsev, 1984)}.$$

В тех случаях, когда хотя бы в одной из ячеек таблицы частота была меньше 5, применяли формулу:

$$P(\chi^2) = (a+b)! (c+d)! (a+c)! (b+d)! / a! b! c! d! N!,$$

где N – общее число сортов (Zaitsev, 1984). Вычисления логарифмов факториалов выполняли на инженерном калькуляторе (<https://okcalc.com/ru/scientific/>).

### Результаты

В таблице 1 обобщены результаты оценки 80 сортов озимой мягкой пшеницы по типам реакций листьев проростков на заражение изолятами различных популяций *Ptr*. В ней также приведены названия сортов и указаны регионы их происхождения.

Выявлено широкое разнообразие сортов по типам реакций на заражение различными популяциями *Ptr*. Так, к популяциям алт-22 и тамб-22 устойчивыми были три сорта, семь – умеренно устойчивыми, а 13 – восприимчивыми.

В такие же группы объединили сорта и при заражении листьев проростков изолятами кр-22 и тат-22. Обнаружено четыре сорта, устойчивых к обоим популяциям, девять умеренно устойчивых и 30 восприимчивых хотя бы к одной популяции, в том числе семь – к обоим популяциям.

При заражении изолятами популяций тамб-22, кр-22 и тат-22 листья проростков 'Альтернатива', 'Эстафета', к-64281 'Светоч' и к-61966 'Безенчукская 380' проявили устойчивость, а 'Поволжская Нива', к-66504 'Базис' – умеренную устойчивость. К четырем популяциям желтой пятнистости были оценены к-67181 'Агрост 33' и к-66637 'Анастасия'. Первый показал умеренную устойчивость к алт-22, к остальным – восприимчивость, а второй был в разной степени устойчивым к трем популяциям *Ptr* и восприимчивым к тамб-22.

Таким образом, всего 11 сортов озимой мягкой пшеницы (13,75% изученных) проявили устойчивость к двум или трем популяциям. Это к-67188 'Зорю'; к-67190 'Nord 76' и к-67191 'Nord 19', 'Альтернатива', 'Эстафета', к-61966 'Безенчукская 380', к-64281 'Светоч', к-66633 'Секлетия', к-66831 'Вольный Дон', к-67195 'Нива Дона' и к-67196 'Амбар'. Умеренно устойчивыми были 18 сор-

**Таблица 1.** Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по реакциям листьев проростков на заражение различными популяциями *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler и генотипы сортов по аллелям гена *Tsn1*

**Table 1.** Characterization of winter bread wheat cultivars according to the responses of seedling leaves to the infection with various populations of *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler, and the genotypes of cultivars for *Tsn1* alleles

Номер по каталогу ВИР, сорт, регион происхождения	Число сортов	Реакция на инокулюм популяций <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>				Генотипы сортов
		алт-22	тамб-22	кр-22	тат-22	
к-67201 'Немчиновская 85', к-67204 'Тимирязевская Юбилейная' (Московская обл.); к-66801 'Юбилей Дона' (Ростовская обл.); к-66635 'Паритет' (Ставропольский край)	4	MR	MR	–*	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-66628 'Еланская' (Волгоградская обл.); к-66830 'Полина' (Ростовская обл.)	2	MR	MR	–	–	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-67184 'Батя' (Ставропольский край)	1	MR	R	–	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-66636 'Армада' (Ставропольский край); к-67189 'Студенческая Нива' (Ульяновская обл.)	2	MR	S	–	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-66831 'Вольный Дон' и к-67196 'Амбар' (Ростовская обл.); к-66633 'Секлетия' (Ставропольский край)	3	R	R	–	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-67182 'Влади' (Владимирская обл.)	1	R	S	–	–	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-66842 'Хамдан' (Калмыкия); к-66639 'Цефей' (Курская обл.); к-66296 'Былина Дона' и к-66833 'Вольница' (Ростовская обл.)	4	R	S	–	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-67198 'Зодиак' (Ростовская обл.); к-66629 'Барыня' (Ставропольский край)	2	S	MR	–	–	<i>Tsn1Tsn1</i>

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continued

Номер по каталогу ВИР, сорт, регион происхождения	Число сортов	Реакция на инокулюм популяций <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>				Генотипы сортов
		алт-22	тамб-22	кр-22	тат-22	
к-67192 'Марс' и к-67194 'Фотон' (Воронежская обл.); к-66883 'Рифей' (Оренбургская обл.); к-67004 'Пальмира 18' (Ростовская обл.)	4	S	S	–	–	<i>tsn1tsn1</i>
к-67501 'Ивита' (Московская обл.); к-66626 'Прииртышская' (Омская обл.); к-67200 'Александрия' и к-67229 'Ассоль 5' (Ставропольский край)	4	–	–	MR	MR	<i>tsn1tsn1</i>
к-67185 'Морец' (Ставропольский край)	1	–	–	MR	MR	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-66503 'Быль' (Владимирская обл.); к-67203 'Мирабель 20' (Ростовская обл.)	2	–	–	MR	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-67199 'Универ' (Ростовская обл.)	1			MR	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-67499 'Камышанка 9' (Волгоградская обл.); к-67186 'Аленушка' (Пензенская обл.); к-67219 'Волжская 29' (Ульяновская обл.)	3	–	–	MR	S	<i>tsn1tsn1</i>
к-67521 'Октябрина' (Алтайский край); к-65223 'Гром' (Краснодарский край); к-67520 'Краснообская 27' (Новосибирская обл.); к-67522 'Поволжская 30' (Самарская обл.); к-67512 'Степная 19' (Саратовская обл.)	5	–	–	MR	S	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-67509 'Курыночка 19' (Курская обл.)	1	–	–	R	MR	<i>tsn1tsn1</i>
к-67188 'Зоро' (Краснодарский край); к-67190 'Nord 76' и к-67191 'Nord 19' (Липецкая обл.); к-67195 'Нива Дона' (Ростовская обл.)-	4	–	–	R	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-67187 'Володя' (Краснодарский край); к-67197 'Ювента' (Ставропольский край)	2	–	–	R	S	<i>tsn1tsn1</i>
к-67517 'Октябрьская' (Ульяновская обл.)	1	–	–	R	S	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-67502 'Анфиса' (Московская обл.); к-66505 'Вьюга' (Самарская обл.); к-67180 'Подруга' (Саратовская обл.); к-67226 'Люда' и к-67227 'Источник' (Ставропольский край); к-67213 'Надежда' и к-67212 'Универсиада' (Татарстан);	7	–	–	S	MR	<i>tsn1tsn1</i>
к-67496 'Московская 27' и к-67508 'Снегиревская-75' (Московская обл.); к-67228 'Николь 2' и к-67225 'Приз' (Ставропольский край)	4	–	–	S	MR	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-67224 'Иван' (Ставропольский край)	1	–	–	S	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-67193 'Тригор' (Воронежская обл.); к-67498 'Памяти Чекурова' (Новосибирская обл.); к-67202 'Пафос' и к-67506 'Подарок Крыму' (Ростовская обл.); к-67183 'Форпост' (Ставропольский край); к-67523 'Сабан' (Татарстан); к-67515 'Дивия' (Ульяновская обл.)	7	–	–	S	S	<i>tsn1tsn1</i>
'Поволжская Нива' (Самарская обл.)	1	–	MR	MR	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-66504 'Базис' (Самарская обл.)	1	–	MR	MR	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-64281 'Светоч' (Самарская обл.)	1	–	MR	R	R	<i>tsn1tsn1</i>

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Номер по каталогу ВИР, сорт, регион происхождения	Число сортов	Реакция на инокулюм популяций <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>				Генотипы сортов
		алт-22	тамб-22	кр-22	тат-22	
к-68613 'Еланчик' (Краснодарский край)	1	–	MR	S	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-61966 'Безенчукская 380' (Самарская обл.)	1	–	R	MR	R	<i>tsn1tsn1</i>
'Альтернатива' (Самарская и Ульяновская области)	1	–	R	R	R	<i>tsn1tsn1</i>
'Эстафета' (Самарская обл.)	1	–	R	R	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-65611 'Левобережная 3' и 'Аэлита' (Саратовская обл.)	2	–	S	S	MR	<i>tsn1tsn1</i>
к-65610 'Джангал' (Саратовская обл.)	1	–	S	S	MR	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-64908 'Левобережная 1' (Саратовская обл.)	1	–	S	S	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
к-65219 'Новоершовская' (Саратовская обл.)	1	–	S	S	R	<i>tsn1tsn1</i>
к-67181 'Агросп 33' (Саратовская обл.)	1	MR	S	S	S	<i>tsn1tsn1</i>
к-66637 'Анастасия' (Саратовская обл.)	1	R	S	R	MR	<i>Tsn1Tsn1</i>

Примечание: \* – не изучали

Note: \* – not studied

тов (22,5%), остальные (51 сорт, 63,75%) – восприимчивыми.

Из 43 протестированных поволжских сортов с яровым типом развития 13 (30,2%) были устойчивыми ко всем популяциям *Ptr* (табл. 2). Это 'Белянка', 'Фаворит', 'Квартет', 'Саратовская 76', 'Иделле', 'Экада 253', 'Тулайковская 100', 'Тулайковская Золотистая', 'Скирда', 'Лебедушка', 'Саратовская 55', 'Саратовская 74', 'Надира'. К группе умеренно устойчивых отнесено четыре сорта (9,3%), а восприимчивыми оказались 26 сортов (58,1%).

При анализе результатов опытов обратил на себя внимание тот факт, что озимые и яровые сорта из одного и того же региона различались по устойчивости при инокуляции популяциями *Ptr* разного географического происхождения. Так, из семи изученных озимых сортов Саратовской обл. все были восприимчивыми к тамб-22 и почти все, за исключением к-66637 'Анастасия', – к кр-22. В то же время среди яровых саратовских сортов 12 были высокоустойчивыми и три – умеренно устойчивыми к тамб-22, а также соответственно 4 и 3 сорта – к кр-22. Что касается популяции тат-22, то большинство озимых и яровых сортов были к ней высокоустойчивыми и умеренно устойчивыми, что можно объяснить преобладанием в данной популяции *Ptr* авирулентной расы 4.

Скрининг всей выборки сортов мягкой пшеницы на присутствие в их генотипах доминантных аллелей гена чувствительности *Tsn1* показал, что диагностический фрагмент, указывающий на наличие доминантных аллелей, присутствовал у 22 озимых и четырех яровых сортов; у 58 и 39 соответственно его не выявили. Представляло интерес выяснить, имеется ли сопряженность между наличием/отсутствием доминантных аллелей и восприимчивостью к *Ptr*. В таблице 3 показано полученное распределение сортов по классам. Значения вычислен-

ных критериев Хи-квадрат при оценке достоверности сопряженности оказались меньше критических значений этого показателя при доверительных уровнях  $P = 0,95-0,999$ . Для озимых сортов  $\chi^2 = 0,82$ , яровых –  $\chi^2 = 0,07$ . Следовательно, статистически значимую сопряженность между присутствием/отсутствием диагностического фрагмента доминантных аллелей *Tsn1* и проявлением устойчивости/восприимчивости к *Ptr* обнаружить не удалось.

Ранее нами была изучена устойчивость к *Ptr* стародавней озимой мягкой пшеницы из коллекции ВИР (Mironenko et al., 2023). Представляло интерес сравнить современные и стародавние озимые сорта по встречаемости у них доминантных аллелей гена *Tsn1*. Из 67 изученных сортов стародавней озимой мягкой пшеницы доминантные аллели были обнаружены у 37, или у 55,2% изученных. Среди 80 современных озимых сортов их выявили у 22 (27,5%). Соответственно, они встречались реже примерно в два раза. Следует также отметить, что среди стародавней пшеницы с доминантными аллелями *Tsn1* восемь сортов (21,6%) были устойчивыми и умеренно устойчивыми (R и MR) к двум популяциям *Ptr*, а 29 – восприимчивыми, а среди современных озимых сортов *Tsn1*<sup>+</sup> шесть (27,3%) – с реакциями R и MR, а 16 имели при заражении хотя бы одной из популяций реакцию S. В обоих случаях у большого числа сортов (30 стародавних и 58 современных) присутствовали, по-видимому, рецессивные аллели *tsn1tsn1*, при этом сорта также различались по типу реакции на инокулюм.

В целом по совокупности выявленных реакций на заражение отдельными популяциями *Ptr* и присутствию/отсутствию доминантных аллелей гена *Tsn1* озимые сорта объединились в 36 групп, из них 13 с доминантными аллелями гена *Tsn1*, а яровые сорта – в 19 групп, из них четыре с доминантными аллелями (см. табл. 1 и 2).

**Таблица 2.** Характеристика яровых сортов мягкой пшеницы по реакциям листьев проростков на заражение различными популяциями *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler и генотипы сортов по аллелям гена *Tsn1***Table 2.** Characterization of spring bread wheat cultivars according to the responses of seedling leaves to the infection with various populations of *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler, and the genotypes of cultivars for *Tsn1* alleles

Название сорта, регион происхождения	Число сортов	Реакции сортов на инокулюм популяций <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>			Генотип сорта
		кр-22	тамб-22	тат-22	
‘Белянка’, ‘Фаворит’, ‘Квартет’, ‘Саратовская 76’ (все Саратовская обл.); ‘Иделле’ (Татарстан); ‘Экада 253’ (Ульяновская обл.)	6	R	R	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Тулайковская 100’, ‘Тулайковская золотистая’ (Самарская обл.)	2	R	R	MR	<i>tsn1tsn1</i>
‘Скирда’ (Самарская обл.)	1	MR	R	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
‘Лебедушка’, ‘Саратовская 55’, ‘Саратовская 74’ (Саратовская обл.); ‘Надира’ (Татарстан)	4	MR	R	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Буляк’ (Татарстан)	1	MR	MR	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
‘Сакара’, ‘Экада 109’ (Татарстан)	2	MR	MR	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Экада 214’ (Ульяновская обл.)	1	MR	MR	MR	<i>tsn1tsn1</i>
‘Хазинэ’ (Татарстан)	1	MR	S	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Юго-Восточная 4’ (Саратовская обл.)	1	S	MR	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Чистопольская’ (Татарстан)	1	S	MR	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
‘Саратовская 68’ (Саратовская обл.)	1	S	R	MR	<i>tsn1tsn1</i>
‘Воевода’, ‘Добрыня’, ‘Ершовская 36’, ‘Саратовская 58’ (все Саратовская обл.); ‘Экада 258’ (Ульяновская обл.); ‘Экада 265’ (Татарстан)	6	S	R	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Курьер’ (Саратовская обл. и Краснодарский край)	1	S	MR	MR	<i>tsn1tsn1</i>
‘Йолдыз’ и ‘100 лет ТАССР’ (Татарстан)	2	MR	S	S	<i>tsn1tsn1</i>
‘Экада 113’ (Самарская обл.); ‘Прохоровка’ (Саратовская обл.); ‘Казанская Юбилейная’ (Татарстан); ‘Амир’ (Московская обл. и Татарстан)	4	S	MR	S	<i>tsn1tsn1</i>
‘Аль Варис’ (Татарстан)	1	S	S	R	<i>Tsn1Tsn1</i>
‘Тулайковская Надежда’ (Самарская обл.); ‘Балкыш’ и ‘Баракат’ (Татарстан)	3	S	S	R	<i>tsn1tsn1</i>
‘Ситара’ (Татарстан)	1	S	S	MR	<i>tsn1tsn1</i>
‘Тулайковская 108’ (Самарская обл.); ‘Юго-Восточная 2’ и ‘Л 503’ (Саратовская обл.); ‘Хаят’ (Татарстан)	4	S	S	S	<i>tsn1tsn1</i>

**Таблица 3. Проявление устойчивости/восприимчивости к желтой пятнистости в зависимости от наличия/отсутствия в генотипах сортов доминантных аллелей *Tsn1*****Table 3. Manifestation of tan spot resistance/susceptibility depending on the presence/absence of dominant *Tsn1* alleles in the genotypes of cultivars**

Доминантный аллель <i>Tsn1</i>	Число сортов в классах		Всего	Хи-квадрат
	высоко- и умеренно устойчивые	восприимчивые		
Озимая мягкая пшеница				
Выявлен	a = 6	b = 16	(a+b) = 22	0,82
Не выявлен	c = 24	d = 34	(c+d) = 58	
Всего	(a+c) = 30	(b+d) = 50	N = 80	
Яровая мягкая пшеница				
Выявлен	a = 2	b = 2	(a+b) = 4	0,07
Не выявлен	c = 15	d = 24	(c+d) = 39	
Всего	(a+c) = 17	(b+d) = 26	N = 43	

### Обсуждение

Проведенное нами изучение 123 сортов озимой и яровой мягкой пшеницы показало их широкое разнообразие по реакциям листьев проростков на заражение изолятами географически различных популяций *Ptr* и по наличию/отсутствию у них доминантных аллелей гена *Tsn1*. Среди озимых 29 сортов (36,3%) были устойчивыми и умеренно устойчивыми, среди яровых – 17 сортов (39,5%).

С целью мониторинга возделываемых в РФ сортов на устойчивость к *Ptr*, в том числе ювенильную устойчивость, систематически оценивают новые создаваемые сорта, при этом используют различные изоляты. Так, Л. А. Михайлова и Н. М. Коваленко (Mikhailova, Kovalenko, 2009) для инокуляции листьев растений использовали смесь наиболее агрессивных изолятов, выделенных из популяции Краснодарского края. Они показали, что среди 209 сортов озимой мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2003 г., устойчивыми и умеренно устойчивыми к *Ptr* были 51 сорт (24,4%), а среди 136 сортов яровой мягкой пшеницы – 22 (16%).

Спустя 15 лет Н. М. Коваленко с соавторами (Kovalenko et al., 2022) в 2018–2020 гг. изучили 39 озимых и 31 яровой сорт мягкой пшеницы, рекомендованных для возделывания в России. Оценка ювенильной устойчивости материала к изоляту *Ptr*, продуцирующему токсин Ptr ToxA, показала, что устойчивые и умеренно устойчивые сорта составили среди озимых 26%, а яровых – 45%.

На наш взгляд, при систематической оценке образцов пшеницы коллекции ВИР на ювенильную устойчивость к *Ptr* и подборе источников устойчивости для селекции в разных регионах страны важно использовать инокулюм с максимальным количеством генов-эффекторов, который выявлял бы большое число соответствующих комплементарных генов устойчивости/восприимчивости у растения-хозяина. В этой связи инокуляция образцов пшеницы смесью наиболее агрессивных изолятов, выделенных из географически различных популяций па-

тогена, несомненно, имеет преимущество перед инокулюмом в виде отдельных изолятов.

Следует отметить, что у пшеницы не во всех случаях отмечается корреляция устойчивости в фазе проростков и взрослых растений к *Ptr* (Dinglasan et al., 2016; Kokhmetova et al., 2021; Kremneva et al., 2021). В полевых опытах частоты обнаружения устойчивых сортов существенно ниже, чем при лабораторной оценке. Так, на экспериментальном поле в условиях Саратовской обл. в течение трех лет, в период наибольшего развития заболевания и с использованием усиленного инфекционного фона, было отмечено всего 4% высокоустойчивых образцов и 6% умеренно устойчивых из общей выборки более чем 1000 образцов (Markelova, Ivanova, 2012). Озимые сорта пшеницы по сравнению с яровыми были устойчивее к желтой пятнистости. Авторы объяснили это совпадением пика развития заболевания и окончанием вегетации озимых посевов.

С целью поиска новых источников устойчивости к *Ptr*, которые могли бы обеспечить защиту от широкого спектра действия некротрофных эффекторов и других механизмов заражения, исследователи (Dinglasan et al., 2019) протестировали в тепличных и полевых условиях 295 линий пшеницы из коллекции ВИР как на стадии проростков, так и на стадии взрослых растений. Опыты проводили в Австралии и России. Путем поиска ассоциаций между 25 286 геномными DArTseq-маркерами (технология Diversity Arrays genotype-by-sequencing) и полученными фенотипическими показателями реакций проростков и взрослых растений на заражение *Ptr* в геноме пшеницы были определены 11 локусов количественных признаков (QTLs, или Quantitative Trait Loci), связанных с ответом на этот патоген. Из них три локуса (qNV.YS-2B.2, qNV.YS-4B.1, qNV.YS-7B) соответственно в хромосомах 2B, 4B и 7B выявлены как на стадии проростков, так и у взрослых растений, причем один из них связан с устойчивостью к расе 1 *Ptr* в обеих странах. Пять локусов (qNV.YS-1A.1, qNV.YS-4A, qNV.YS-4B.2, qNV.YS-5B, qNV.YS-6B) в хромосомах 1A, 4A, 4B, 5B и 6B ассоциированы с устойчивостью только проростков, из них три связаны с расой 1 также в обеих странах, а влияние одного прояв-

лялось лишь в Австралии. Следует отметить, что QTL (qNV.YS-5B), ассоциированный с устойчивостью к расе 1, по локализации совпал с известным геном восприимчивости *Tsn1* на хромосоме 5B. Среди изученных линий авторами были обнаружены 118, которые были устойчивыми к *Ptr* на стадии взрослого растения; из них 16 идентифицированы как восприимчивые на стадии всходов. У взрослых растений в хромосомах 1A, 2B и 6D определены еще три локуса (qNV.YS-1A2, qNV.YS-2B.1, qNV.YS-6D) устойчивости, которые не экспрессировались на стадии проростков. Из них чаще других у линий встречался QTL qNV.YS-2B.1. Многие образцы, содержащие этот QTL и обладающие взрослой устойчивостью, имели также ген восприимчивости *Tsn1* и были чувствительны к токсину *Ptr ToxA* на стадии проростков. Установленный факт противоречил общепринятому положению, что чувствительность пшеницы к некротрофным эффекторам сопряжена с восприимчивостью к заболеванию (Friesen et al., 2008). Авторами сделан вывод, что существуют, по-видимому, другие нераскрытые факторы патогенности или вирулентности, которые играют важную роль в возникновении заболевания. Накопление путем селекции QTLs, подобных qNV.YS-2B.1, может способствовать повышению уровня устойчивости новых создаваемых сортов пшеницы к желтой пятнистости.

Вопрос о необходимости проведения маркер-вспомогательного отбора против доминантных аллелей гена восприимчивости *Tsn1* остается открытым (Faris et al., 2010, 2012; Mironenko et al., 2017). Следует заметить, что такой отбор эффективен в тех зонах возделывания мягкой пшеницы, где в популяциях патогена доминируют расы с комплементарным геном-эффектором *ToxA*. Например, в Австралии доминирует раса 1, поэтому взаимоотношения *ToxA-Tsn1* являются основным фактором, вызывающим болезнь (Tan et al., 2010; Dinglasan et al., 2019). Несоответствие реакции сорта, имеющего доминантные аллели гена *Tsn1*, на заражение изолятом *ToxA*<sup>+</sup> или *ToxA*<sup>-</sup>, возможно, связано с наличием у патогена как дополнительных, еще не известных генов-эффекторов, так и соответствующих им генов устойчивости/восприимчивости у растений пшеницы (Moreno et al., 2015; Mironenko et al., 2017; Guo et al., 2018; See et al., 2018). С помощью маркера *Xfcp623* можно выявить и исключить из работы сорта, содержащие доминантные аллели гена *Tsn1*, чтобы предотвратить дальнейшее использование их в селекции, однако вместе с ними будут теряться другие генетические факторы устойчивости к возбудителю желтой пятнистости.

### Заключение

Охарактеризовано по ювенильной устойчивости к географически различным популяциям *Ptr*, распространенным на территории России, 123 сорта озимой и яровой мягкой пшеницы. Выделено 46 устойчивых и умеренно устойчивых сортов к популяциям этого возбудителя.

Устойчивые сорта могут быть рекомендованы для использования в селекции, а именно:

– сорта озимой мягкой пшеницы к-67188 'Зоро', к-67190 'Nord 76', к-67191 'Nord 19', 'Альтернатива', 'Эстафета', к-61966 'Безенчукская 380', к-64281 'Светоч', к-66633 'Секлетия', к-66831 'Вольный Дон', к-67195 'Нива Дона' и к-67196 'Амбар';

– яровые сорта 'Белянка', 'Фаворит', 'Квартет', 'Саратовская 76', 'Иделле', 'Экада 253'.

С помощью маркера *Xfcp623* у 22 озимых и четырех яровых сортов мягкой пшеницы идентифицированы доминантные аллели гена *Tsn1*, у остальных 97 они не обнаружены. Наличие статистически значимой связи между присутствием/отсутствием доминантных аллелей этого гена и типом реакции проростков на заражение инокулюмом желтой пятнистости не подтверждено.

Представляется перспективным при систематической оценке образцов пшеницы коллекции ВИР на ювенильную устойчивость к *Ptr*, отборе источников устойчивости для селекции в разных регионах России использовать инокулюм изолятов из географически отдаленных популяций *Ptr*, чтобы оценивать как можно большую часть генетического потенциала устойчивости/восприимчивости растения-хозяина к данному патогену.

Выявленное нами разнообразие сортов пшеницы по реакциям листьев проростков на заражение изолятами различных популяций *Ptr* можно объяснить как их генетическими различиями по аллелям генов ювенильной устойчивости/восприимчивости к *Ptr*, так и наличием в геноме патогена многих генов-эффекторов, постоянно эволюционирующих и обеспечивающих быструю адаптацию патогена к растению-хозяину.

Сорта, различающиеся по реакции на один и тот же инокулюм *Ptr* и по наличию/отсутствию доминантных аллелей *Tsn1*, могут быть использованы как исходный материал для дальнейшего изучения генетики устойчивости к этому фитопатогену.

### References / Литература

- Ciuffetti L.M., Manning V.A., Pandelova I., Betts M.F. Host-selective toxins, *Ptr ToxA* and *Ptr ToxB*, as necrotrophic effectors in the *Pyrenophora tritici-repentis*-wheat interaction. *New Phytologist*. 2010;187(4):911-919. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03362.x
- Dinglasan E., Godwin I.D., Mortlock M.Y., Hickey L.T. Resistance to yellow spot in wheat grown under accelerated growth conditions. *Euphytica*. 2016;209(3):693-707. DOI: 10.1007/s10681-016-1660-z
- Dinglasan E.G., Singh D., Shankar M., Afanasenko O., Platz G., Godwin I.D. et al. Discovering new alleles for yellow spot resistance in the Vavilov wheat collection. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(1):149-162. DOI: 10.1007/s00122-018-3204-5
- Faris J.D., Abeysekara N.S., McClean P.E., Xu S.S., Friesen T.L. Tan spot susceptibility governed by the *Tsn1* locus and race nonspecific resistance quantitative trait loci in a population derived from the wheat lines Salamouni and Katepwa. *Molecular Breeding*. 2012;30(4):1669-1678. DOI: 10.1007/s11032-012-9750-7
- Faris J.D., Liu Z., Xu S.S. Genetics of tan spot resistance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(9):2197-2217. DOI: 10.1007/s00122-013-2157-y
- Faris J.D., Zhang Z., Lu H., Lu S., Reddy L., Cloutier S. et al. A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010;107(30):13544-13549. DOI: 10.1073/pnas.1004090107
- Friesen T.L., Faris J.D., Solomon P.S., Oliver R.P. Host-specific toxins: effectors of necrotrophic pathogenicity. *Cell Microbiology*. 2008;10(7):1421-1428. DOI: 10.1111/j.1462-5822.2008.01153.x
- Friesen T.L., Stukenbrock E.H., Liu Z., Meinhardt S., Ling H., Faris J.D. et al. Emergence of a new disease as a result

- of interspecific virulence gene transfer. *Nature Genetics*. 2006;38(8):953-956. DOI: 10.1038/ng1839
- Guo J., Shi G., Liu Z. Characterizing virulence of the *Pyrenophora tritici-repentis* isolates lacking both *ToxA* and *ToxB* genes. *Pathogens*. 2018;7(3):74. DOI: 10.3390/pathogens7030074
- Kim Y.S., Volkova G.V. Spackled yellows of wheat leaves: distribution, injuriousness, racial composition (review). *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;2(50):105-116. [in Russian] (Ким Ю.С., Волкова Г.В. Желтая пятнистость листьев пшеницы: распространение, вредоносность, расовый состав (обзор). *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;2(50):105-116). DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116
- Kokhmetova A., Sehgal D., Ali S., Atishova M., Kumarbayeva M., Leonova I. et al. Genome-wide association study of tan spot resistance in a hexaploid wheat collection from Kazakhstan. *Frontiers in Genetics*. 2021;11:581214. DOI: 10.3389/fgene.2020.581214
- Kokhmetova A.M., Kremneva O.Y., Volkova G., Atishova M.N., Sapakhova Z. Evaluation of wheat cultivars growing in Kazakhstan and Russia for resistance to tan spot. *Journal of Plant Pathology*. 2017;99(1):161-167. DOI: 10.4454/jpp.v99i1.3812
- Kovalenko N.M., Shaydayuk E.L., Gulyaeva E.I. Characterization of commercial common wheat cultivars for resistance to tan spot causative agent. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(2):15-24. [in Russian] (Коваленко Н.М., Шайдаюк Е.Л., Гульяева Е.И. Характеристика устойчивости районированных сортов мягкой пшеницы к возбудителю желтой пятнистости. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(2):15-24). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-03
- Kremneva O.Yu., Mironenko N.V., Volkova G.V., Baranova O.A., Kim Yu.S., Kovalenko N.M. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(3):1787-1794. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.021
- Markelova T.S., Ivanova O.V. Screening of world wheat genofond for resistance to yellow blotch under the Volga region conditions. *Agricultural Biology*. 2012;47(3):118-121. [in Russian] (Маркелова Т.С., Иванова О.В. Устойчивость образцов яровой и озимой пшеницы к желтой пятнистости листьев в условиях нижнего Поволжья. *Сельскохозяйственная биология*. 2012;47(3):118-121).
- Mikhailova L.A., Kovalenko N.M. Characterization of bread and durum wheat resistance to the *Pyrenophora tritici-repentis* pathogen (Kharakteristika ustoychivosti myagkoy i tverdoy pshenitsy k vozbuditelyu zheltoy pyatnistosti *Pyrenophora tritici-repentis*). *Plant Protection News*. 2009;(1):10-15. [in Russian] (Михайлова Л.А., Коваленко Н.М. Характеристика устойчивости мягкой и твердой пшеницы к возбудителю желтой пятнистости *Pyrenophora tritici-repentis*. *Вестник защиты растений*. 2009;(1):10-15).
- Mikhailova L.A., Mironenko N.V., Kovalenko N.M. Tan leaf spot of wheat: guidelines for studying the tan spot pathogen of *Pyrenophora tritici-repentis* and cultivar resistance (Zheltaya pyatnistost pshenitsy: metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu vozbuditelya zheltoy pyatnistosti *Pyrenophora tritici-repentis* i ustoychivosti sortov). St. Petersburg: VIZR; 2012. [in Russian] (Михайлова Л.А., Мироненко Н.В., Коваленко Н.М. Желтая пятнистость пшеницы: методические указания по изучению возбудителя желтой пятнистости *Pyrenophora tritici-repentis* и устойчивости сортов. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2012).
- Mironenko N.V., Baranova O.A., Kovalenko N.M., Afanassenko O.S., Mikhailova L.A. Selective influence of wheat cultivars with *Tsn1* gene on the formation of tan spot causative agent *Pyrenophora tritici-repentis* population. *Plant Protection News*. 2017;3(93):23-27. [in Russian] (Мироненко Н.В., Баранова О.А., Коваленко Н.М., Афанасенко О.С., Михайлова Л.А. Селективное влияние сортов пшеницы с геном *Tsn1* на формирование популяции возбудителя желтой пятнистости *Pyrenophora tritici-repentis*. *Вестник защиты растений*. 2017;3(93):23-27).
- Mironenko N.V., Kovalenko N.M., Baranova O.A., Mitrofanova O.P. Resistance of old winter bread wheat landraces to tan spot *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):205-214. [in Russian] (Мироненко Н.В., Н.М. Коваленко Н. М., Баранова О.Л., Митрофанова О.П. Устойчивость стародавней озимой мягкой пшеницы к желтой пятнистости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):205-214). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-205-214
- Moreno M.V., Stenglein S., Perelló A.E. Distribution of races and *Tox* genes in *Pyrenophora tritici-repentis* isolates from wheat in Argentina. *Tropical Plant Pathology*. 2015;40(2):141-146. DOI: 10.1007%2Fs40858-015-0011-2
- Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980;8(19):4321-4325. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321
- Rees R.G., Platz G.J., Mayer R.J. Susceptibility of Australian wheats to *Pyrenophora tritici-repentis*. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1987;39:141-151.
- See P.T., Marathamuthu K.A., Iagallo E.M., Oliver R.P., Moffat C.S. Evaluating the importance of the tan spot *ToxA-Tsn1* interaction in Australian wheat varieties. *Plant Pathology*. 2018;67(5):1066-1075. DOI: 10.1111/ppa.12835
- Singh P.K., Singh R.P., Duveiller E., Mergoum M., Adhikari T.B., Elias E.M. Genetics of wheat-*Pyrenophora tritici-repentis* interactions. *Euphytica*. 2010;171:1-13. DOI: 10.1007/s10681-009-0074-6
- Strelkov S.E., Lamari L. Host-parasite interactions in tan spot [*Pyrenophora tritici-repentis*] of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2003;25(4):339-349. DOI: 10.1080/07060660309507089
- Tan K.C., Oliver R.P., Solomon P.S., Moffat C.S. Proteinaceous necrotrophic effectors in fungal virulence. *Functional Plant Biology*. 2010;37(10):907-912. DOI: 10.1071/FP10067
- 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).

#### Информация об авторах

**Нина Васильевна Мироненко**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

**Надежда Михайловна Коваленко**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, nadyakov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9577-8816>

**Ольга Александровна Баранова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, baranova\_oa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9439-2102>

**Анида Галиевна Хакимова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

**Ольга Павловна Митрофанова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

#### *Information about the authors*

**Nina V. Mironenko**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

**Nadezhda M. Kovalenko**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nadyakov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9577-8816>

**Olga A. Baranova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, baranova\_oa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9439-2102>

**Anida G. Khakimova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

**Olga P. Mitrofanova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.02.2024; одобрена после рецензирования 19.03.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 02.02.2024; approved after reviewing on 19.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья  
УДК 634.22:631.524.85:576.316  
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-106-115



## Селекционные и цитологические характеристики межвидовых гибридов сливы уссурийской с терносливой

Д. С. Гарапов, О. В. Мочалова

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

Автор, ответственный за переписку: Денис Сергеевич Гарапов, prunus@inbox.ru

**Актуальность.** Изучены причины низкой урожайности гибридов сливы уссурийской (*Prunus salicina* subsp. *ussuriensis* (Koval. et Kost.) Erem.) с терносливой (*P. domestica* subsp. *insititia* (Jusl.) Schneid.). Показана возможность использования межвидовых диплоидных гибридов в селекции сливы на устойчивость к выпреванию в многоснежных районах Сибири.

**Материалы и методы.** Объектами исследований служили межвидовые гибриды – Айская ( $2n = 16$ ), 6 сеянцев образца Айская ( $2n = 16, 24$ ), ТСГ № 8 ( $2n = 32$ ); сорт сливы уссурийской 'Алтайская Юбилейная' ( $2n = 16$ ), тернослива 18-119 ( $2n = 48$ ). Исследования проведены в 2004–2023 гг. в условиях лесостепи Алтайского Приобья. Использованы общепринятые методы сортоизучения и цитологических исследований.

**Результаты и заключение.** Урожайность межвидовых гибридов Айская, ТСГ № 8 зависела от среднесуточных температур в период цветения ( $r = 0,77 \pm 0,26$ ,  $r = 0,74 \pm 0,27$  соответственно). У сеянцев гибрида Айская наблюдалось генетическое расщепление массы и окраски плодов, характерное для диплоидных слив, с доминированием признаков плодов материнской формы. Большое количество многоопертурной пыльцы у полиплоидов (25,0–37,9%) в сравнении с диплоидами (менее 1,4%) свидетельствует о том, что этот признак позволяет отбирать полиплоиды в потомстве межвидовых гибридов сливы. Диплоидный образец 12-04-309 (фертильность пыльцы – 45,9%) выделен для селекции диплоидных слив на устойчивость к выпреванию, тетраплоидный ТСГ № 8 (жизнеспособность пыльцы – 24,2%) – для селекции терна гибридного.

**Ключевые слова:** диплоидная слива, гексаплоидная слива, разнохромосомные скрещивания, фертильность, цветение, пыльца

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания Федеральному Алтайскому научному центру агробиотехнологий № 0534-2021-0004 «Создание новых генотипов плодовых, ягодных и декоративных культур, превосходящих существующие аналоги по хозяйственно ценным признакам и обеспечивающих высокий уровень продуктивности в условиях постоянно изменяющейся окружающей среды, на основе использования современных селекционных методов в работе с исходным материалом».

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

**Для цитирования:** Гарапов Д.С., Мочалова О.В. Селекционные и цитологические характеристики межвидовых гибридов сливы уссурийской с терносливой. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):106-115. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-106-115

## DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-106-115

## Breeding properties and cytological characteristics of interspecific hybrids between the Ussuri plum and bullace

Denis S. Garapov, Olga V. Mochalova

Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia

Corresponding author: Denis S. Garapov, prunus@inbox.ru

**Background.** Interspecific hybrids between the Ussuri plum (*Prunus salicina* subsp. *ussuriensis* (Koval. et Kost.) Erem.) and bullace (*P. domestica* subsp. *insititia* (Jusl.) Schneid.) were studied to discover causes of their low yields. A possibility is shown to use interspecific diploid hybrids in plum breeding for resistance to asphyxiation in snow-rich regions of Siberia.

**Materials and methods.** The research materials included interspecific hybrids: Ayskaya ( $2n = 16$ ), six Ayskaya seedlings ( $2n = 16, 24$ ), and TSG No. 8 ( $2n = 32$ ); Ussuri plum cv. 'Altayskaya Yubileynaya' ( $2n = 16$ ), and bullace 18-119 ( $2n = 48$ ). The research was conducted in 2004–2023 in the forest-steppe zone of the Ob river region in Altai. Conventional cytological and cultivar-testing methods were used.

**Results and conclusion.** The yield of the Ayskaya and TSG No. 8 interspecific hybrids strongly depended on mean daily temperatures during blossoming ( $r = 0.77 \pm 0.26$  and  $r = 0.74 \pm 0.27$ , respectively) when compared to the Ussuri plum. Fruit trait segregation in the Ayskaya seedlings was specific to diploid plums – variations in fruit weight (5.6–27.6 g), skin color (violet, claret, red, and yellow), and flesh color (yellow, red, and green). Most fruit traits of the seedlings were similar to those of their maternal form. The content of polyaperturate pollen in polyploids (25.0–37.9%) was much higher than in diploids (less than 1.4%), which means that this trait makes it possible to identify polyploids in the progenies of interspecific plum hybrids. Diploid form 12-04-309 (pollen fertility: 45.9%) was selected as a source of asphyxiation resistance for diploid plum breeding, and tetraploid form TSG No. 8 (pollen viability: 24.2%) for hybrid blackthorn breeding.

**Keywords:** diploid plum, hexaploid plum, interploid crossings, fertility, blossoming, pollen

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task assigned to the Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, No. 0534-2021-0004 "Breeding new genotypes of fruit, berry and ornamental crops superior to existing analogues in valuable agronomic traits and providing high productivity under conditions of constantly changing environment, based on contemporary breeding methods used in working with parental material".

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

**For citation:** Garapov D.S., Mochalova O.V. Breeding properties and cytological characteristics of interspecific hybrids between the Ussuri plum and bullace. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):106-115. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-106-115

## Введение

Терн (*Prunus spinosa* L.) и тернослива (*P. domestica* subsp. *insititia* (Jusl.) Schneid.) имеют большое значение в селекции сортов и подвоев сливы на адаптивные признаки. В Испании среднерослые клоновые подвои на основе терносливы показали совместимость с сортами сливы домашней (*P. domestica* L.) и китайской (*P. salicina* Lindl.) (Reig et al., 2019). В странах Восточной Европы выявлено положительное влияние клонового подвоя Fereley (слива китайская × терн) на урожайность сливы домашней (Laňar et al., 2018; Radović et al., 2022; Kajtár-Czinege et al., 2023). В нашей стране зимостойкие сорта сливы домашней получены с участием терносливы (Sedov, Dzhigadlo, 2008). Путем межвидовой гибридизации терна с алычой (*P. cerasifera* Ehrh.), сливой китайской и китайско-американской сливой (*P. americana* Marsh. × *P. salicina* subsp. *simonii* (Carr.) Erem.), абрикосом обыкновенным (*P. armeniaca* L.) и черным (*P. dasycarpa* Ehrh.) создан исходный материал для селекции терна гибридного, близкого по адаптивности к терну, но с улучшенным вкусом плодов (Kursakov, 1986; Kruzhkov et al., 2012; Eremin et al., 2016). На Урале введены в культуру местные сорта терносливы (Isakova, 2021). В условиях Сибири и Дальнего Востока зимостойкость терна и терносливы недостаточная, но здесь они являются источниками устойчивости к выпреванию и болезням, продолжительного зимнего покоя цветковых почек, позднего цветения – для их гибридизации со сливой уссурийской (*P. salicina* subsp. *ussuriensis* (Koval. et Kost.) Erem.) и канадской (*P. americana* subsp. *nigra* (Ait.) Erem.) (Puchkin et al., 2011; Tikhomirova, 2015; Matyunin, 2016). В сравнительно благоприятных условиях среднегорья Алтая селекционер М. Н. Матюнин (опытная станция «Горно-Алтайское», Чемал) интродуцировал 146 гибридов диплоидных слив с терном, 136 – диплоидных слив с терносливой и сливой домашней. Выделены тетра- и пентаплоидные источники адаптивных признаков с различной урожайностью в местных условиях (Mochalova, Matyunin, 2002; Matyunin, 2016). В лесостепной зоне (Барнаул) тетраплоидные гибриды показали низкую урожайность. Причинами могут быть неблагоприятные погодные условия в период цветения, отсутствие подходящих опылителей и нарушения мейоза (Kursakov, 1986; Mochalova, Matyunin, 2002; Turvisev et al., 2008). В тех же условиях межвидовой гибрид Айская (автор – А. А. Михайличенко, Дальневосточный НИИСХ) аналогичного происхождения, но диплоидный, и некоторые его сеянцы имели урожайность на уровне районированных сортов сливы. Другим недостатком гибридов диплоидных слив с терном и терносливой является преобладание у них признаков плодов терна (Matyunin, 2016).

**Цель исследования** – определить причины низкой урожайности гибридов сливы уссурийской с терносливой и перспективы их использования для создания устойчивых к выпреванию сортов сливы в условиях лесостепи Алтайского Приобья. **Задачи:** 1) оценить связь урожайности межвидовых гибридов сливы со среднесуточными температурами в период цветения; 2) изучить хозяйственно ценные признаки у потомства диплоидного образца Айская; 3) определить число хромосом и качество пыльцы у отборных сеянцев и образцов; 4) выделить источники устойчивости к выпреванию сливы.

## Материалы и методы

Исследования выполнены в полевых и лабораторных условиях в Федеральном Алтайском научном центре

агробиотехнологий. Участок расположен в нагорной части г. Барнаула на высоком левом берегу р. Обь. Почва – выщелоченный чернозем, почвообразующие породы осадочные среднесуглинистые. За 2004–2023 гг. сумма активных температур составляла 2105,7–2685,3°C, сумма осадков вегетационного периода (с апреля по сентябрь) – 164,0–433,2 мм, сумма отрицательных температур – 1197,0–2452,6°C. Анализ погодных условий проведен по данным метеостанции, расположенной на территории барнаульского дендрария.

Объектами исследования служили сорт сливы уссурийской 'Алтайская Юбилейная' (сеянец сорта 'Чернослив Маньчжурский'), отборная форма терносливы 18-119 (сортотип садового терна, сеянец образца Терн № 3), межвидовой диплоидный гибрид Айская (точное происхождение неизвестно, гибрид сливы уссурийской с тетраплоидным образцом Терн хабаровский [слива уссурийская × тернослива]) посадки 2000, 2001 г.; образцы 'Алтайская Юбилейная', 18-119 и межвидовой гибрид ТСГ № 8 (сеянец образца Терн хабаровский) посадки 2007–2008 гг.; 34 сеянца семьи 12-04 (свободное опыление образца Айская), в том числе 6 урожайных (№ 286, 300, 302, 309, 312, 316) посадки 2006 г. Все образцы привиты на подвой СВГ 11-19, растения семьи 12-04 корнесобственные. На участках посадки 2001 и 2007 г. в местах выпадов от выпревания сорта 'Алтайская Юбилейная' сделаны его перепрививки в 2002 и 2011–2012 гг. соответственно. За годы исследования слива не плодоносила в 2006 г. (морозы –41,0°C в воздухе и –47,0°C на поверхности снега), 2010 г. (сумма отрицательных температур 2452,6°C), 2012 г. (заморозки и холодная погода в период цветения), 2014 г. (резкие перепады температур в феврале), 2021 г. (морозы –38,2°C в воздухе и –48,0°C на поверхности снега). Учеты проведены по методике ВНИИСПК (Sedov, Ogoltsova, 1999).

Прямой подсчет числа хромосом проводили на временных давленных препаратах, окрашенных уксусным гематоксилином, по методике ЦГЛ имени И.В. Мичурина (Kursakov, 1976). Фертильность пыльцы изучали после окраски ацетокармином (Pausheva, 1988). Количество многоапертурной пыльцы (с числом ростовых пор в экзине более трех) определяли после окрашивания основным фуксином по методике ВИР (Abramova et al., 1981). Исследовано не менее 300 пыльцевых зерен каждого образца.

Различия образцов по урожайности оценивали методом дисперсионного анализа, по F-критерию (Dospekhov, 1985). Повторение 6-кратное, по одному дереву в повторности. Образец ТСГ № 8 представлен в 3-кратном повторении, поэтому различия урожайности образцов в саду посадки 2006–2008 гг. оценивали по типу опыта с неорганизованными повторениями. Коэффициенты корреляции проверяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимости – 5% для всех критериев. При оценке качества пыльцы вычисляли среднюю арифметическую величину и ошибку средней. Расчеты проводили в приложении Microsoft Office Excel.

## Результаты

По ряду морфологических признаков диплоидный гибрид Айская является промежуточным между сливой уссурийской и терносливой. Плоды темно-бордовые с синим налетом, округло-овальные, средней массой 20,2 г, среднепозднего срока созревания. Мякоть красновато-желтая, волокнистая, сочная, несъедобная (вкус 2 балла)

из-за сильной горечи, нехарактерной даже для терна. Терпкость во вкусе тоже присутствует. Косточка приросшая к мякоти. В условиях Барнаула этот образец показал высокую зимостойкость дерева, средние зимостойкость цветковых почек и устойчивость к выпреванию, но главное – урожайность на уровне сливы уссурийской, что нехарактерно для межвидовых гибридов. Образец Айская сравнивали с лучшим по урожайности сортом сливы уссурийской ‘Алтайская Юбилейная’ и терносливой 18-119 (табл. 1). Последняя имеет зимостойкость на уровне местных тернослив и хорошую восстановительную способность.

16-9 (‘Тока’ × терн), 7-92-21 (‘Пчелка’ × терн), «Сеянец Опаты» (‘Опата’ × терн), Терн хабаровский, VIII-4-60 (оба – слива уссурийская × тернослива), № 53 (‘Сапа’ × слива домашняя) и пентаплоидов 33-5, 33-9 (‘Ренклюд Зеленый’ × терн), привитых в одном месте для переопыления. Указанные исходные формы также опылялись сливой канадской, которая совпадала с ними по срокам цветения. В Чемале тетраплоидные гибриды F<sub>2</sub> имели урожайность на уровне исходных F<sub>1</sub> и выше (Matyunin, 2016). В Барнауле за период 2015–2023 гг. выделено 19 образцов с высокой зимостойкостью деревьев, 12 – с высокой зимостойкостью цветковых почек, из последних с высо-

**Таблица 1. Урожайность сливы уссурийской, терносливы и межвидового гибрида Айская, посадка 2000–2001 гг.** (Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, г. Барнаул)

**Table 1. Yields of the Ussuri plum, bullace, and Ayskaya interspecific hybrid planted in 2000–2001** (Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul)

Образец	Год								
	2004	2005	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2004–2013
<b>Урожайность, кг/дерево</b>									
‘Алтайская Юбилейная’	5,3	4,1 <sup>†</sup>	7,2	1,9 <sup>†</sup>	6,8	1,4 <sup>*</sup>	0 <sup>*</sup>	1,5	2,8
Айская	7,0	5,0 <sup>†</sup>	0,5 <sup>□</sup>	3,3 <sup>†</sup>	4,2	0,5 <sup>†*</sup>	0,1 <sup>†*</sup>	0,2	2,1
Тернослива 18-119	4,3	1,8 <sup>†</sup>	5,0	0,3 <sup>†</sup>	0,5 <sup>†</sup>	0,1 <sup>††</sup>	0 <sup>††</sup>	0,1	1,2
НСР <sub>05</sub>	–	2,2	4,2	1,7	3,5	–	–	0,8	1,1
<b>Среднесуточная температура в период цветения, °C</b>									
‘Алтайская Юбилейная’	23,4	12,1	12,4	18,4	17,1	8,5	10,5	9,3	14,0
Айская	23,0	11,5	12,3	18,6	16,9	10,8	11,2	11,7	14,5
Тернослива 18-119	21,6	12,3	14,1	17,9	11,0	11,9	11,1	11,4	13,9

Примечание: подмерзание цветковых почек – <sup>†</sup> и деревьев – <sup>††</sup>; колебания температур от начала вегетации (набухание почек) до начала цветения – <sup>†</sup>; повреждение бутонов и цветков от заморозков – <sup>\*</sup>; ураган в период цветения – <sup>□</sup>; прочерк – нет существенных различий по критерию F

Note: freezing injury on flower buds – <sup>†</sup> and trees – <sup>††</sup>; fluctuating temperatures from the start of growing (bud swelling) to the start of blossoming – <sup>†</sup>; frost injury on flower buds and flowers – <sup>\*</sup>; a storm during the blossoming period – <sup>□</sup>; the absence of significant differences by the F test are marked with a dash (–)

В 2004–2013 гг. начало цветения сорта ‘Алтайская Юбилейная’ отмечено при сумме эффективных температур 111,0–152,1°C, образцов Айская и 18-119 – при 134,3–156,4°C и 146,0–214,2°C соответственно. Слива уссурийская, раноцветущие сорта светлей домашней и абрикоса обыкновенного способны формировать завязь при средних и низких среднесуточных температурах (10–13°C и ниже) в период цветения (Vitkovsky et al., 1980; Szabó, Nyéki, 2000; Szalay et al., 2021). Такую способность показал сорт ‘Алтайская Юбилейная’, в меньшей степени – гибрид Айская. Основной причиной низкой урожайности терносливы 18-119 за 10 лет было подмерзание деревьев и цветковых почек в 2006, 2009–2012 гг. Частичная гибель цветковых почек у образцов 18-119 и Айская отмечена в разные годы при –35,5...–37,5°C и –37,5...–38,0°C, полная гибель цветковых почек – при –38,0°C и –39,5°C соответственно.

В 2009–2013 гг. в Барнаул привлечены гибриды F<sub>2</sub> диплоидных слив с полиплоидными селекцией М. Н. Матюнина. Изучено 111 образцов, которые являются сеянцами от свободного опыления тетраплоидных гибридов

кой зимостойкостью деревьев – 3, средней – 8, низкой – 1. По урожайности выделен образец ТСГ № 8 (2,5 кг/дерево) с плодами типа терна гибридного. На этом же участке в среднем по 6 фертильным сеянцам гибрида Айская (12-04-286, 12-04-300, 12-04-302, 12-04-309, 12-04-312, 12-04-316) их урожайность за рассматриваемый период составила 2,9 кг/дерево, наибольшую урожайность показали сеянцы 12-04-316 (4,8 кг/дерево) и 12-04-309 (4,1 кг/дерево). Выделенные межвидовые гибриды сравнивали по урожайности с сортом сливы ‘Алтайская Юбилейная’ и терносливой 18-119 (табл. 2).

В 2015–2023 гг. начало цветения сорта ‘Алтайская Юбилейная’ отмечено при сумме эффективных температур 100,6–151,2°C, 6 сеянцев гибрида Айская – при 107,9–152,6°C, образцов ТСГ № 8 и 18-119 – при 113,9–184,2°C и 141,1–202,4°C соответственно. Сорт ‘Алтайская Юбилейная’ и сеянцы гибрида Айская плодоносили в годы со средними и низкими среднесуточными температурами в период цветения (10–13°C и ниже), образец ТСГ № 8 – выше 11°C, 18-119 – выше 12°C. В отличие от сорта ‘Алтайская Юбилейная’ у изученных сеянцев гибрида Ай-

**Таблица 2. Урожайность сливы уссурийской, терносливы и межвидовых гибридов, посадка 2006–2008 гг.**  
(Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, г. Барнаул)

**Table 2. Yields of the Ussuri plum, bullace, and interspecific hybrids planted in 2006–2008**  
(Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul)

Образец	Год								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023	2015–2023
<b>Урожайность, кг/дерево</b>									
‘Алтайская Юбилейная’	4,7	1,8*	6,2	4,5	4,8	4,3	12,7	3,5†	4,7
Сеянцы гибрида Айская	2,1†	3,3*	6,2	1,4	2,7††	2,6	6,9	0,7†	2,9
ТСГ № 8, прививка 2010 г.	1,7†	0,2*	0*	6,3	3,5	3,1□	5,5	2,0†	2,5
Тернослива 18-119	0,1†	5,3	1,7*	4,0	0,2††	1,6	1,7	0†	1,6
НСР <sub>05</sub>	2,2	2,8	4,3	2,8	2,5	–	6,4	1,8	1,5
НСР <sub>05</sub> для ТСГ № 8	2,7	3,4	5,3	3,4	3,0	–	7,8	2,2	1,9
<b>Среднесуточная температура в период цветения, °С</b>									
‘Алтайская Юбилейная’	15,6	10,2	12,3	12,7	9,4	14,0	12,2	10,2	12,1
Сеянцы гибрида Айская	15,6	10,7	12,3	12,5	9,2	14,0	13,1	10,6	12,3
ТСГ № 8	15,5	9,5	9,1	15,7	11,8	13,7	14,4	12,5	12,8
Тернослива 18-119	16,3	13,6	12,0	16,7	13,0	13,3	15,7	14,0	14,3

Примечание: подмерзание цветковых почек – † и деревьев – ††; повреждение бутонов и цветков от заморозков – \*; повреждение цветков боярышницей – □; прочерк – нет существенных различий по критерию F

Note: freezing injury on flower buds – † and trees – ††; frost injury on flower buds and flowers – \*; damage to flowers by the black-veined white – □; the absence of significant differences by the F test are marked with a dash (–)

ская отмечено снижение завязываемости плодов в условиях холодной и затяжной весны 2018 г.

Низкая урожайность терносливы 18-119 обусловлена в основном зимними повреждениями (см. табл. 1, 2). По сравнению со сливой уссурийской другие виды и межвидовые гибриды сливы с длительной вегетацией сильнее подмерзают от раннезимних морозов, особенно при «смещении» осадков на вторую половину вегетационного периода (Puchkin et al., 2011). Например, подмерзание цветковых почек у образца 18-119 в 2009 и 2015 г. вызвано резким похолоданием в осенне-зимние периоды 2008 и 2014 г. до –30,0°C и –33,1°C соответственно. В 2008 г. похолоданию предшествовал длительный период со среднесуточными температурами, близкими к 0°C, в 2014 г. – увеличение осадков за сентябрь – октябрь в 3 раза выше нормы. В 2019 г. подмерзанию терносливы 18-119 от февральских морозов (–37,0°C в воздухе, –46,0°C на поверхности снега) способствовал дефицит осадков в августе – сентябре 2018 г. (56% от нормы). Но данный образец плодоносил в 2018 г. после таких же январских морозов (–37,5°C в воздухе, –45,5°C на снегу) при количестве осадков за вегетационный период 2017 г. в 1,8 раза выше нормы.

Анализ погодных условий показал, что урожайность сливы зависела от температур в периоды перезимовки и цветения. На зимостойкость растений влияли осадки предшествующего вегетационного периода при значительном отклонении их от нормы и в сочетании с осенне-зимними морозами, характерными для юга Западной Сибири. Аналогичные факты, кроме указанных условий осенне-зимнего периода, приведены авторами для Кировской и Московской областей (Plenkina et al., 2014; Si-

monov, Burmenko, 2019). В условиях Мичуринска отмечена связь урожайности аллотетраплоидов сливы с погодными условиями во время цветения (Kursakov, 1986). В нашем исследовании для межвидового гибрида Айская установлена корреляция между урожайностью и среднесуточной температурой в период цветения ( $r = 0,77 \pm 0,26, n = 8$ ) за 2004–2013 гг., не считая 2006 и 2010 г., когда цветковые почки погибли от зимних морозов. Урожайность межвидового гибрида ТСГ № 8 также зависела от среднесуточных температур во время цветения ( $r = 0,74 \pm 0,27, n = 8$ ) за 2015–2023 гг., исключая 2021 г. с вымерзанием цветковых почек в зимний период. Установлена корреляция урожайности сорта ‘Алтайская Юбилейная’ и терносливы 18-119 с суммой отрицательных температур за 2004–2013 гг. ( $r = -0,77 \pm 0,23, r = -0,69 \pm 0,26$  соответственно,  $n = 10$ ). При рассмотрении урожайности данных образцов за 2004–2023 гг. такая корреляция выявлена только у 18-119 ( $r = -0,48 \pm 0,21, n = 20$ ).

Для выяснения донорских качеств гибрида Айская по морозостойкости и устойчивости к выпреванию выращены его сеянцы от свободного опыления. Они показали более высокую устойчивость к выпреванию по сравнению с сеянцами сливы уссурийской, которые обычно гибнут от этого повреждения в первые годы после посадки. Если у сеянцев сорта сливы уссурийской ‘Памяти Путьева’ наибольшие выпады от выпревания наблюдались после теплых и многоснежных зим в 2007–2009 гг., то у сеянцев гибрида Айская – после суровых зим в 2010–2011 гг. Обе семьи находились в одинаковых условиях по снегонакоплению (табл. 3).

Гибрид Айская передал сеянцам устойчивость к выпреванию, но данный признак проявился у них толь-

**Таблица 3. Сохранность сеянцев сливы уссурийской и сеянцев гибрида Айская на фоне выпревания и подмерзания, посадка 2006 г. (Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, г. Барнаул)****Table 3. Survival of the Ussuri plum seedlings and Ayskaya hybrid seedlings planted in 2006 against asphyxiation and freezing injury (Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul)**

Семья	Посажено, шт.	Погибло, шт.				Сохранилось к 2022 г., % от посаженных
		от выпревания			от морозов, 2010–2021 гг.	
		2007– 2009 гг.	2010– 2011 гг.	2012– 2020 гг.		
17-04 (свободное опыле- ние сорта ‘Памяти Путова’)	69	32	12	3	2	29,0
12-04 (свободное опы- ление гибрида Айская)	97	23	28	5	9	33,0

ко в средние по морозности зимы. Выпады растений в 2010–2011 гг. произошли в результате подмерзания штамбов от раннезимних морозов и дальнейшего усиления выпревания на подмерзших участках штамбов. Последнее также характерно для межвидовых гибридов сливы уссурийской с другими устойчивыми к выпреванию, но недостаточно морозостойкими видами (Puchkin et al., 2011; Matyunin, 2016). Поэтому в селекции на устойчивость к выпреванию необходимо отбирать в потомстве морозостойкие формы.

В 2010–2022 гг. изучены важные для сливы признаки у 34 сеянцев семьи 12-04 (табл. 4).

Среди 34 сеянцев к зимостойким отнесены 11,8%, к среднезимостойким – 58,8%, к малозимостойким – 29,4%, устойчивых к выпреванию – 26,5%. По плодonoшению выделено 17,6% фертильных, 70,6% полустерильных, 11,8% стерильных. Большинство сеянцев цвели на 1-2 дня позже сливы уссурийской или одновременно с ней. Более ранним цветением отличались № 260, 286, 305, 309, более поздним – № 257, 302, 304, 314, 320. У растений № 286, 300, 316 наблюдается гетерозис по размерам деревьев. По морфологии все сеянцы являются промежуточными между сливой уссурийской и терносливой, у 41,2% форм также выражены признаки алычи (№ 258, 272, 273, 281, 283, 287, 293, 299, 304, 305, 306, 314, 319, 326). Последнее связано с тем, что материнская форма росла в окружении образцов сливы уссурийской и сливы русской (*P. × rossica* Erem.). Доминирование признаков терна и терносливы, характерное для гибридов аналогичного происхождения, в данном случае не наблюдалось.

По признакам плодов сеянцы образца Айская ближе к сливе уссурийской и алыче. Плоды массой до 9 г отмечены у 20% форм, 9–15 г – у 50%, 16–25 г – у 26,7%, более 25 г – у 3,3%. Окраска кожицы плодов бордовая (46,7%), фиолетовая (20%), красная (20%) и желтая (13,3%), что также характерно для гибридов сливы домашней со сливой уссурийской (Soldatov, 2008) и нехарактерно для гибридов сливы домашней с терносливой (Osipov, Osipova, 2011). Изученные сеянцы имели желтую (86,7%), красную (10%) и зеленую (3,3%) окраску мякоти плодов; у 46,7% при полном созревании плодов в мякоти добавлялись оттенки красного, как у материнской формы. У большинства сеянцев мякоть плодов неплотная (80%), волокнистой консистенции (90%), с приросшей (66,7%) или трудно отстающей (30%) косточкой. Среднеплотная мякоть отмечена у форм № 269, 281, 302, 307, 312, 316, зернисто-волокнистая консистенция мякоти – у № 293, 302, 312, хорошо отстающая косточка – у № 302. По соч-

ности мякоти отмечены сильно- (33,3%), средне- (56,7%) и слабосочные (10%). Преобладали сеянцы с горечью (60%), у которых вкус плодов – 1,5–2,8 балла, на уровне исходной формы. Остальные 40% без горечи, из них 30% посредственного вкуса (3,0–3,5 балла), 10% удовлетворительного (3,7–4,0 балла). У 63,3% форм плоды созревали в среднепоздние сроки (III декада августа), 26,7% – средние (II декада августа), 10% – поздние (I декада сентября). Ранние и среднеранние сроки созревания, характерные для сливы уссурийской и русской, отсутствовали.

Среди 12 сеянцев гибрида Айская, отобранных по массе, вкусу плодов и зимостойкости, обнаружено 10 диплоидов (№ 262, 273, 281, 286, 295, 302, 307, 309, 312, 326) и 2 триплоидов (№ 300, 316). Образец ТСГ № 8, выделенный по урожайности среди 111 гибридов из Чемала, оказался тетраплоидом. В 2018–2019 гг. у 6 образцов определена фертильность пыльцы и содержание в ней многоапертурных пыльцевых зерен (табл. 5).

Диплоидные сеянцы гибрида Айская и тетраплоидный образец ТСГ № 8 характеризовались хорошим качеством пыльцы. За 2 года наибольшее количество фертильной пыльцы найдено у тетраплоида ТСГ № 8 (53,7%) и диплоида 12-04-309 (45,9%), меньше – у диплоидов 12-04-302 (35,1%), 12-04-326 (34,5%) и триплоида 12-04-316 (33,9%). В 2019 г. определена жизнеспособность пыльцы у тетраплоида ТСГ № 8 (24,2%). Диплоидный образец 12-04-312 характеризовался мужской стерильностью, с фертильностью пыльцы 2,9%. По-видимому, стерилизация пыльцевых зерен у него происходит уже после завершения мейоза. Значительное количество многоапертурной пыльцы выявлено у тетраплоида ТСГ № 8 (37,9%) и триплоида 12-04-316 (25,0%). У фертильных по пыльце диплоидов количество такой пыльцы не превышало 1,4%. Следовательно, данный признак позволяет отбирать полиплоиды в потомстве межвидовых гибридов сливы.

### Обсуждение результатов

Выявленные корреляции не дают точного ответа о причинах низкой урожайности межвидовых гибридов диплоидных слив с терном, терносливой и сливой домашней в условиях Барнаула. Большинство образцов из Чемала были отобраны по зимостойкости и силе роста деревьев и, предположительно, являются триплоидами. Известно не менее 8 тетраплоидов, выделенных по плодonoшению (Matyunin, 2016), но только образец ТСГ № 8 оказался урожайным в Барнауле. Триплоидные формы в качестве опылителей не обеспечивают завязывания

**Таблица 4. Оценка хозяйственно ценных признаков у сеянцев гибрида Айская**  
(Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий, г. Барнаул)

**Table 4. Evaluation of valuable agronomic traits in the Ayskaya hybrid seedlings**  
(Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul)

Сеянец	Масса плода, г	Вкус, балл	Окраска кожицы плодов	Женская фертильность	Зимостойкость дерева	Выпревание, балл
	2022 г.			2015–2022 гг.	2010–2021 гг.	2010–2017 гг.
12-04-256	7,2	2,0	фиолетовая	низкая	средняя	1,0
12-04-257	7,7	2,3	фиолетовая	низкая	низкая	0,9
12-04-258	8,8	3,3	темно-бордовая	очень низкая	низкая	2,1
12-04-260	8,7	1,5	розово-красная	низкая	средняя	1,9
12-04-262	15,6	2,2	желтая	низкая	средняя	0,4
12-04-269	13,4	2,5	темно-красная	очень низкая	низкая	1,5
12-04-270	21,9	2,8	красная	низкая	средняя	1,1
12-04-272	14,6	3,3	фиолетовая	низкая	средняя	1,9
12-04-273	23,4	2,0	красная	низкая	высокая	0,5
12-04-281	17,5	3,2	темно-бордовая	низкая	средняя	0,5
12-04-283	14,2	3,0	бордовая	очень низкая	средняя	1,1
12-04-285	–	–	–	стерильный	низкая	1,3
12-04-286	25,8	3,5	желтая	средняя	высокая	0,5
12-04-287	11,7	2,0	желтая	низкая	средняя	1,0
12-04-293	12,3	3,3	фиолетово-бордовая	очень низкая	низкая	1,3
12-04-295	17,5	1,5	темно-красная	низкая	средняя	1,0
12-04-299	5,6	3,0	темно-фиолетовая	очень низкая	средняя	1,6
12-04-300	24,5	2,0	темно-бордовая	средняя	высокая	0,5
12-04-302	25,9	2,8	бордовая	средняя	средняя	1,1
12-04-304	7,9	2,3	бордовая	очень низкая	низкая	1,0
12-04-305	–	–	–	стерильный	средняя	1,3
12-04-306	9,6	3,3	фиолетовая	низкая	средняя	0,9
12-04-307	13,5	3,9	темно-бордовая	низкая	низкая	1,0
12-04-309	19,9	3,7	красная	средняя	средняя	1,0
12-04-312	12,0	4,0	темно-бордовая	средняя	низкая	0,6
12-04-314	–	–	–	стерильный	средняя	1,9
12-04-316	27,6	2,0	бордовая	средняя	высокая	1,0
12-04-318	14,0	2,0	зеленовато-желтая	низкая	низкая	1,6
12-04-319	12,7	2,5	темно-бордовая	очень низкая	низкая	2,3
12-04-320	12,1	2,0	бордовая	низкая	средняя	1,0
12-04-322	–	–	–	стерильный	средняя	2,6
12-04-323	15,2	2,0	темно-бордовая	очень низкая	средняя	1,9
12-04-326	14,4	3,3	фиолетовая	низкая	средняя	0,8
12-04-327	15,8	2,5	бордовая	очень низкая	средняя	1,8

**Таблица 5. Качество пыльцы у межвидовых гибридов сливы, 2018–2019 гг.**  
(Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, г. Барнаул)

**Table 5. Pollen quality in interspecific plum hybrids, 2018–2019**  
(Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul)

Образец	Год	2n	Фертильность пыльцы (M ± m), %	Многоапертурная пыльца (M ± m), %
12-04-302 (сеянец гибрида Айская)	2018	16	51,8 ± 2,6	0
	2019		18,3 ± 1,7	0,9 ± 0,5
	среднее		35,1 ± 2,2	0,5 ± 0,3
12-04-309 (сеянец гибрида Айская)	2018	16	49,0 ± 2,6	0,4 ± 0,3
	2019		42,7 ± 2,4	0,7 ± 0,4
	среднее		45,9 ± 2,5	0,6 ± 0,4
12-04-312 (сеянец гибрида Айская)	2019	16	2,9 ± 0,8	–
12-04-316 (сеянец гибрида Айская)	2018	24	45,1 ± 2,4	27,2 ± 2,1
	2019		22,7 ± 1,9	22,8 ± 2,0
	среднее		33,9 ± 2,2	25,0 ± 2,1
12-04-326 (сеянец гибрида Айская)	2018	16	43,7 ± 2,4	1,4 ± 0,6
	2019		25,2 ± 2,0	0,1
	среднее		34,5 ± 2,2	0,8 ± 2,4
ТСГ № 8 (сеянец гибрида Терн хабаровский)	2018	32	52,6 ± 2,4	28,6 ± 2,0
	2019		54,8 ± 2,4	47,2 ± 2,3
	среднее		53,7 ± 2,4	37,9 ± 2,2
Среднее по диплоидам (2n = 16)				
с генетической стерильностью	среднее		2,9 ± 0,8	–
без генетической стерильности	среднее		38,5 ± 2,3	0,6 ± 0,4

Примечание: M – среднее значение; m – ошибка средней; прочерк – исследование не проводили

Note: M – mean value; m – error of the mean; dash – not studied

плодов у окружающих их тетраплоидов (Mochalova, Matyunin, 2002). В свою очередь, фертильность тетраплоидов может сильно различаться в зависимости от генотипа и от погодных условий при микро- и макроспорогенезе. Поэтому для увеличения завязываемости плодов необходимо отбирать тетраплоидные образцы с нормализованным мейозом и жизнеспособной пыльцой (Kursakov, 1986; Turovtsev et al., 2008). В местных условиях к перечисленным требованиям добавляется зимостойкость деревьев и цветковых почек. И хотя некоторые сеянцы тетраплоидных гибридов  $F_1$  показали зимостойкость деревьев на уровне сливы уссурийской, в основном они уступали ей по зимостойкости цветковых почек. Гибриды диплоидных слив с терном (сесквидиплоиды) и терносливой (аллотетраплоиды) являются исходным материалом в селекции тетраплоидных сортов сливы, которые по биологическим особенностям и признакам плодов ближе к терну (Eremin et al., 2016). Использование для этой цели гибридов диплоидных слив со сливой домашней неперспективно из-за слабой зимостойкости и низкой всхожести семян таких гибридов (Matyunin, 2016).

Наши исследования показали, что для гибридов диплоидных слив с терносливой характерно снижение урожайности при неблагоприятных условиях в периоды цветения и от начала вегетации до начала цветения. За 2004–2023 гг. возвраты холодов наблюдались как от начала вегетации до начала цветения (до  $-10,5^\circ\text{C}$ ), так и во время цветения (до  $-4,2^\circ\text{C}$ ). Выявлено преимущество диплоидных гибридов сливы уссурийской с терносливой, у которых урожайность меньше зависела от погодных условий в указанные периоды по сравнению с тетраплоидами такого же происхождения. Установлено, что межвидовой диплоидный гибрид Айская скрещивается со сливой уссурийской и русской, и по признакам плодов его сеянцы ближе к последним. Сам образец Айская не рекомендован как донор устойчивости к выпреванию, так как передает потомству низкие вкусовые качества плодов. В условиях Сибири отборные сеянцы данного гибрида являются исходным материалом в селекции диплоидных сортов сливы, устойчивых к выпреванию, с равным числом хромосом от терносливы и наиболее адаптивной сливы уссурийской.

## Заключение

Урожайность межвидовых гибридов сливы уссурийской с терносливой зависела от среднесуточных температур во время цветения ( $r = 0,77 \pm 0,26$  и  $r = 0,74 \pm 0,27$  для образцов Айская и ТСГ № 8 соответственно). Сделано предположение, что среднесуточные температуры 10–13°C и ниже в период цветения являются одной из причин слабого плодоношения других гибридов диплоидных слив с полиплоидными в условиях лесостепи Алтайского Приобья. Межвидовой диплоидный гибрид Айская передал устойчивость к выпреванию и в меньшей степени морозостойкость в свое диплоидное и триплоидное потомство. У его семян наблюдалось генетическое расщепление массы, окраски кожицы и мякоти плодов, характерное для диплоидных слив, с доминированием признаков плодов исходной материнской формы. Хорошая фертильность пыльцы отмечена у тетраплоидного образца ТСГ № 8 (53,7%) и диплоидного 12-04-309 (45,9%), которые также выделены по урожайности. Большое количество многоапертурной пыльцы у полиплоидов (25,0–37,9%) в сравнении с диплоидами (менее 1,4%) свидетельствует о том, что по данному признаку можно отличить полиплоиды от диплоидов в потомстве межвидовых гибридов сливы. Образец 12-04-309 выделен для селекции диплоидных слив на устойчивость к выпреванию, ТСГ № 8 – для селекции терна гибридного.

## References / Литература

- Abramova L.I., Orlova I.N., Vishnyakova M.A., Konstantinova L.N., Orel L.I., Ogorodnikova V.F. (comp.). Cytological and cytoembryological technique for research on cultivated plants: guidelines (Tsitologicheskaya i tsitoembriologicheskaya tekhnika dlya issledovaniya kulturnykh rasteniy). L.I. Orel (ed.). Leningrad: VIR; 1981. [in Russian] [Цитологическая и цитозембриологическая техника для исследования культурных растений: методические указания / сост. Л.И. Абрамова, И.Н. Орлова, М.А. Вишнякова, Л.Н. Константинова, Л.И. Орел, В.Ф. Огородникова; под ред. Л.И. Орел. Ленинград: ВИР; 1981].
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] [Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985].
- Eremin G.V., Dubravina I.V., Kovalenko N.N., Gasanova T.A. Prebreeding of fruit crops: a monograph (Predvaritelnaya selektsiya plodovykh kultur: monografiya). G.V. Eremin (ed.). 2nd ed. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2016. [in Russian] [Еремин Г.В., Дубравина И.В., Коваленко Н.Н., Гасанова Т.А. Предварительная селекция плодовых культур: монография / под ред. Г.В. Еремина. 2-е изд. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет; 2016].
- Isakova M.G. Adaptability of thorny plum varieties in the Middle Urals. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2021;66(1):49-56. [in Russian] [Исакова М.Г. Адаптивность сортов терносливы на Среднем Урале. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2021;66(1):49-56]. DOI: 10.31676/2073-4948-2021-66-49-56
- Kajtár-Czinege A., Osztyényiné Krauczi É., Hrotkó K. Cropping and fruit quality of plum (*Prunus domestica*) varieties on different rootstocks in a young orchard. *Applied Fruit Science*. 2024;66:505-513. DOI: 10.1007/s10341-023-00992-8
- Kruzhkov An.V., Kruzhkov Al.V., Pugacheva N.V. Stone fruit breeding for resistance to low temperatures in midwinter (Selektsiya kostochkovykh kultur na ustoichivost k nizkim temperaturam v sereдинe zimy). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2012;31(1):304-308. [in Russian] [Кружков Ан.В., Кружков Ал.В., Пугачева Н.В. Селекция косточковых культур на устойчивость к низким температурам в середине зимы. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012;31(1):304-308].
- Kursakov G.A. Distant hybridization of fruit crops (Otdalennaya gibridizatsiya plodovykh rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1986. [in Russian] [Курсаков Г.А. Отдаленная гибридизация плодовых растений. Москва: Агропромиздат; 1986].
- Kursakov G.A. (ed.). Cytological research on fruit and berry crops: guidelines (Tsitologicheskiye issledovaniya plodovykh i yagodnykh kultur). Michurinsk: Central Genetic Laboratory; 1976. [in Russian] [Цитологические исследования плодовых и ягодных культур: методические рекомендации / под ред. Г.А. Курсакова. Мичуринск: Центральная генетическая лаборатория; 1976].
- Laňar L., Mészáros M., Náměstek J., Kosina J. Early performance of three plum cultivars on different rootstocks in non-irrigated orchard. *Acta Horticulturae*. 2018;1228:301-305. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1228.45
- Matyunin M.N. Biological features and breeding of stone fruit crops in the Altai Mountains (Biologicheskiye osobennosti i selektsiya kostochkovykh kultur v Gornom Altaye). Gorno-Altaysk; 2016. [in Russian] [Матюнин М.Н. Биологические особенности и селекция косточковых культур в Горном Алтае. Горно-Алтайск; 2016].
- Mochalova O.V., Matyunin M.N. Cytoembryology and breeding of distant hybrids and polyploids of stone fruit plants in Altai (Tsitoembriologiya i selektsiya otdalennykh gibridov i poliploidov kostochkovykh rasteniy na Altaye). Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences; 2002. [in Russian] [Мочалова О.В., Матюнин М.Н. Цитозембриология и селекция отдаленных гибридов и полиплоидов косточковых растений на Алтае. Новосибирск: Сибирское отделение Россельхозакадемии; 2002].
- Osipov G.E., Osipova Z.A. Inheritance of peel color of the fruit in the hybrid posterities of garden plum. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011;(3):40-41. [in Russian] [Осипов Г.Е., Осипова З.А. Наследование окраски кожицы плодов в гибридном потомстве сливы домашней. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;(3):40-41].
- Pausheva Z.P. Workshop on plant cytology (Praktikum po tsitologii rasteniy). Moscow: Agropromizdat. 1988. [in Russian] [Паушева З.А. Практикум по цитологии растений. Москва: Агропромиздат; 1988].
- Plenkina G., Firsova S., Rusinov A. Results of plum-tree variety test in Kirov region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;2(39):14-19. [in Russian] [Пленкина Г.А., Фирсова С.В., Русинов А.А. Результаты сортоизучения сливы в Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2014;2(39):14-19]. DOI: 10.30766/2072-9081.2014.39.2.14-19
- Puchkin I.A., Matyunin M.N., Kirgizova G.T., Prudnikova G.A., Muravyev G.A. Plum (Sliva). In: Usenko V.I., Puchkin I.A. (eds). *Work Program of the Breeding Center of the M.A. Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia up to 2030: Issue 3 (Programma rabot selektsentra Nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva Sibiri imeni M.A. Lisavenko do 2030 g.: vypusk 3)*. Novosibirsk: Siberian Branch

- of the Russian Academy of Agricultural Sciences; 2011. p.97-113. [in Russian] (Пучкин И.А., Матюнин М.Н., Киргизова Г.Т., Прудникова Г.А., Муравьев Г.А. Слива. В кн.: *Программа работ селекцентра Научно-исследовательского института садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко до 2030 г.: выпуск 3* / под ред. В.И. Усенко, И.А. Пучкина. Новосибирск: Сибирское отделение Россельхозакадемии; 2011. С. 97-113).
- Radović M.M., Milatović D.P., Zec G.N., Boškov Đ.D. The influence of four rootstocks on the growth, yield and fruit quality of two plum cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2022;21(4):75-81. DOI: 10.24326/asphc.2022.4.8
- Reig G., Salazar A., Zarrouk O., Font i Forcada C., Val J., Moreno M.Á. Long-term graft compatibility study of peach-almond and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Scientia Horticulturae*. 2019;243:392-400. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.08.038
- Sedov E.N., Dzhigadlo E.N. (eds). Pomology. Vol. III. Stone fruit crops (Pomologiya. T. III. Kostochkovye kultury). Orel: VNIISPK; 2008. [in Russian] (Помология. Т. III. Косточковые культуры / под ред. Е.Н. Седова, Е.Н. Джигадло. Орел: ВНИИСПК; 2008).
- 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. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Simonov V.S., Burmenko J.V. Economic and biological assessment of some cultivars and forms of diploid plums in the conditions of Moscow region. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2019;(148):228-234. [in Russian] (Симонов В.С., Бурменко Ю.В. Хозяйственно-биологическая оценка некоторых сортов и форм диплоидных слив в условиях Подмосквья. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2019;(148):228-234). DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.24
- Soldatov I.V. Results of distant hybridization between domestic plum variety and Ussuriyskaya plum variety. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008;(1):167-174. [in Russian] (Солдатов И.В. Результаты отдаленной гибридизации сливы домашней со сливой уссурийской. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2008;(1):167-174).
- Szabó Z., Nyéki J. Floral biology of plum (Review article). *International Journal of Horticultural Science*. 2000;6(3):11-27. DOI: 10.31421/IJHS/6/3/98
- Szalay L., Bakos J., Tószaki A., Keleta B.T., Froemel-Hajnal V., Karsai I. A 15-year long assessment of cold hardiness of apricot flower buds and flowers during the blooming period. *Scientia Horticulturae*. 2021;290:110520. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110520
- Tikhomirova E.S. Selection of a plum in Khabarovsk Territory. *Far East Agrarian Bulletin*. 2015;1(33):52-57. [in Russian] (Тихомирова Е.С. Селекция сливы в Хабаровском крае. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2015;1(33):52-57).
- Turovtsev N.I., Turovtseva V.A., Turovtseva N.N. Obtaining new sour cherry varieties and dukes in the conditions of the Ukraine's southern steppe. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2008;130:200-205. [in Russian] (Туровцев Н.И., Туровцева В.А., Туровцева Н.Н. Создание новых сортов вишни и дюков в агроэкологических условиях степи юга Украины. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2008;130:200-205).
- Vitkovsky V.L., Tsarenko V.P., Gavrylina Z.M. The systematical position of *Prunus ussuriensis* Koval. et Kostina. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1980;67(1):49-62. [in Russian] (Витковский В.Л., Царенко В.П., Гаврилина З.М. Систематическое положение *Prunus ussuriensis* Koval. et Kostina. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1980;67(1):49-62).

### Информация об авторах

**Денис Сергеевич Гарапов**, научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, prunus@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5126-5597>

**Ольга Владимировна Мочалова**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, mochalov.olga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0449-1225>

### Information about the authors

**Denis S. Garapov**, Researcher, Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, prunus@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5126-5597>

**Olga V. Mochalova**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, mochalov.olga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0449-1225>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 01.02.2024; одобрена после рецензирования 05.04.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 01.02.2024; approved after reviewing on 05.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья  
УДК 633.13:636.086.13(571.12)  
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127



## Кормовая продуктивность и энергетическая питательность селекционных образцов овса посевного (*Avena sativa* L.) в условиях Северного Зауралья

М. Н. Фомина, Ю. С. Иванова, Н. А. Брагин, М. В. Брагина

Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Семеновна Иванова, [averyasova-ulyiy@mail.ru](mailto:averyasova-ulyiy@mail.ru)

**Актуальность.** В комплексном решении актуальных проблем для создания прочной кормовой базы, позволяющей обеспечить потребности животноводства в кормах высокого качества, яровой овес играет существенную роль. Полноценное кормление возможно при наличии кормов высокого качества и сбалансированности рационов по основным питательным веществам.

**Материалы и методы.** Полевые исследования проводились в Тюменской области на опытном поле НИИСХ СЗ в 2016–2023 гг. Способ посева рядовой, повторность четырехкратная, предшественник – яровая пшеница. Объекты исследований – сорта и селекционные линии овса ярового, стандарт – ‘Талисман’. Оценку продуктивности делали по сбору сухого вещества, сырого и переваримого протеина, сырого и переваримого жира, сырой и переваримой клетчатки, сырых и переваримых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ).

**Результаты.** Проведена оценка сортов и перспективных селекционных линий по кормовой продуктивности (урожайность зеленой массы, сборы сухого вещества, протеина, жира, клетчатки и БЭВ), определена энергетическая питательность сортов и селекционных линий в овсяных кормовых единицах (ОКЕ), а также в джоулях обменной (ОЭ) и валовой энергии (ВЭ). Рассчитана переваримость энергии (ПЭ), концентрация переваримой (КПЭ) и обменной энергии (КОЭ).

**Заключение.** Лучшими по кормовой продуктивности были сорта ‘Тоболяк’, ‘Радужный’ и ‘Сириус’. Они обеспечивали урожайность зеленой массы 29,36–32,34 т/га; сбор сухого вещества – 10,09–11,24 т/га; сбор сырого протеина – 0,807–0,822 т/га; сбор переваримого протеина – 0,597–0,608 т/га. По энергетической питательности выделились сорта ‘Мегион’, ‘Отрада’, ‘Фома’, ‘Тоболяк’ и линия ТМ 07-95-16. Они обеспечивали в 1 кг сухого вещества 0,85–0,86 ОКЕ, формировали в 100 кг сухого вещества 835,5–842,5 кДж ОЭ и 1708,1–1734,6 кДж ВЭ.

**Ключевые слова:** овес посевной, сорт, селекционная линия, протеин, жир, клетчатка, БЭВ, энергетическая питательность

**Благодарности:** работа выполнена научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Северного Зауралья ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0015).

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

**Для цитирования:** Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагин Н.А., Брагина М.В. Кормовая продуктивность и энергетическая питательность селекционных образцов овса посевного (*Avena sativa* L.) в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):116-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127

## DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127

**Fodder productivity and digestible energy value of oat (*Avena sativa* L.) cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals****Maria N. Fomina, Yulia S. Ivanova, Nikolay A. Bragin, Maria V. Bragina***Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia***Corresponding author:** Yulia S. Ivanova, [averyasova-ulyi@mail.ru](mailto:averyasova-ulyi@mail.ru)

**Background.** Spring oats play an essential role in the search for a comprehensive solution of urgent problems associated with the development of a solid fodder resource base that could meet the need of animal husbandry for high-quality feeds. Adequate animal feeding is possible when high-quality fodders are available and the rations are well balanced in basic nutrients.

**Materials and methods.** Field studies were conducted in Tyumen Province on the experimental field of the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region in 2016–2023. The tested materials included spring oat cultivars and breeding lines, with cv. 'Talisman' serving as the reference. Productivity was assessed according to the harvested dry matter, crude and digestible protein, crude and digestible fat, crude and digestible fiber, and crude and digestible nitrogen-free extracts (NFE). To do this, the yield of green biomass in the phase of milky ripeness was taken into account, and the contents of dry matter and nutrients in it were measured.

**Results.** Promising breeding lines were evaluated for their fodder productivity (green biomass yield and the collected dry matter, protein, fat, fiber, and NFE). Digestible energy value of the tested oats was calculated in feed units (FU) and in joules of metabolizable energy (ME) and gross energy (GE). Energy digestibility (ED) and concentrations of digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) were measured.

**Conclusion.** Cvs. 'Tobolyak', 'Raduzhny' and 'Sirius' were the best in fodder productivity. Cvs. 'Megion', 'Otrada', 'Foma', 'Tobolyak', and line TM 07-95-16 were identified for the highest digestible energy value. They provided 0.85–0.86 FU per 1 kg of dry matter and formed 835.5–842.5 kJ of ME and 1708.1–1734.6 kJ of GE per 100 kg of dry matter. Their ED was 63.5–65.8%, with 1092.87–1141.36 kJ/kg of DE and 896.15–935.91 kJ/kg of ME.

**Keywords:** oats, cultivar, breeding line, protein, fat, fiber, NFE, energy digestibility

**Acknowledgements:** the studies were conducted at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, in the framework of the state task delegated by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. FWRZ-2021-0015). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragin N.A., Bragina M.V. Fodder productivity and digestible energy value of oat (*Avena sativa* L.) cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):116-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127

## Введение

Яровой овес – традиционная российская культура многопланового использования. В сельскохозяйственном производстве он широко используется как на зерно, так и на зеленую массу, высокая урожайность которой обуславливает кормовую направленность овса (Yusova et al., 2020; Chawla et al., 2022). Овес на зеленую массу возделывается как в одновидовых, так и в смешанных посевах (Devi et al., 2019). Это одна из наиболее важных культур, используемых в кормопроизводстве как однолетние травы. Относительная нетребовательность к почве, быстрый темп первоначального роста, хорошая облиственность, способность эффективно использовать действие и последствие удобрений, а также способность бороться с сорняками обуславливают востребованность овса как неотъемлемой части кормовых смесей (Kadam et al., 2019; Voytsutskaia, Loskutov, 2019). Он также используется и как однолетняя пастбищная культура в летне-осенний период (Samal et al., 2023).

В структуре кормовых посевов РФ однолетние травы занимают около 5% (Kosolapov et al., 2021; <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/FSLOC1s0/Vall-2020.rar>), значительная часть которых приходится на овес в чистом виде или в смеси с другими культурами. Урожайность вегетативной массы овса и овсяно-бобовых смесей в зависимости от зон возделывания сорта и условий выращивания колеблется в широких пределах (Polonskiy et al., 2019). Так, на сортоиспытательных участках Тюменской области урожайность зеленой массы овса в 2019–2021 гг. варьировала от 2,5 (сорт 'Фома', 2021 г., Нижне-Тавдинский ГСУ) до 42,4 т/га (сорт 'Тобояк', 2019 г., Ишимский ГСУ) (Zoning of crop cultivars..., 2021). В современном растениеводстве основу интенсивных и энергосберегающих технологий представляет собой сорт. Поэтому его выбор при посеве на зеленую массу имеет большое значение (Baykalova, 2022). Эффективность кормопроизводства в значительной мере зависит от создания и внедрения интенсивных, адаптированных к конкретным условиям среды сортов кормовых культур нового поколения. Их возделывание способно обеспечить устойчивую продуктивность агроэкосистем по годам, ресурс- и энергоэкономичность, а также экологически безопасное производство кормов (Kosolapov et al., 2021).

**Цель исследований** – оценить кормовую продуктивность и энергетическую питательность вегетативной массы перспективных генотипов ярового овса (*Avena sativa* L.) на заключительном этапе селекционного процесса (конкурсное сортоиспытание) в условиях Северного Зауралья.

**Задачи:** оценить кормовую продуктивность по урожайности зеленой массы, сбору сухого вещества, протеина, жира, клетчатки и БЭВ; определить энергетическую питательность селекционных образцов в овсяных кормовых единицах (ОКЕ), а также в джоулях обменной (ОЭ) и валовой энергии (ВЭ). Определить переваримость энергии (ПЭ), концентрацию переваримой (КПЭ) и обменной энергии (КОЭ).

## Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук

(НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН) в 2016–2023 гг. в зоне северной лесостепи Тюменской области. В конкурсном сортоиспытании с 2016 по 2023 г. оценивали 176 перспективных линий и сортов овса, сорт-стандарт (ст.) – 'Талисман'. Опыты закладывались в соответствии с методиками государственного сортоиспытания и ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса (Guidelines for conducting..., 1987).

Селекционные питомники закладывали на серой лесной тяжелосуглинистой оподзоленной почве. Мощность пахотного горизонта – 18–30 см; содержание гумуса в почве по Тюрину (GOST 23740-79..., 1987) – 1,50–4,75%; кислотность солевой вытяжки (по Алямовскому) – 5,5–6,8 ед. pH; содержание нитратного азота (по Грандвалю – Ляжу) – 6,6–7,9 мг/кг почвы; подвижных форм (по Чирикову) фосфора и калия – 19,8–24,5 и 19,0–20,6 мг/100 г почвы соответственно. Предшественник – яровая пшеница.

Посев конкурсному сортоиспытанию проводили сеялкой СКС-6-10, учетная площадь делянки – 10 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Норма высева – 550 всхожих семян на 1 м<sup>2</sup>. Обработка почвы осуществлялась в соответствии с агротехническими рекомендациями, принятыми для данной почвенно-климатической зоны. Уборка проводилась вручную путем скашивания зеленой массы в фазу молочной спелости (Guidelines for conducting..., 1987).

Биохимические показатели зеленой массы определяли в аналитической лаборатории НИИСХ СЗ. Содержание сырого протеина измеряли фотоколориметрическим методом, содержание жира – на установке ЭЖ-101 методом экстрагирования (по Рушковскому), содержание клетчатки – по Кюршнеру – Ганеку (GOST 31675-2012..., 2020), содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – расчетным путем (100% минус процентное содержание влаги, протеина, жира, клетчатки и золы). Содержание переваримых питательных веществ рассчитывали с учетом коэффициентов переваримости (Fodders of Siberia..., 1988).

Математическая обработка результатов проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований отличались по обеспеченности растений теплом и влагой. Увлажненными были 2017, 2018, 2019 и 2022 г., гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,36–1,68. Недостаточной влагообеспеченностью и высокой температурой характеризовались 2016, 2020, 2021 и 2023 г. (ГТК соответственно составил 0,69; 0,89; 0,42; 0,74). Недобор тепла (99,0% к норме) при достаточно высоком увлажнении (126,3% к норме) отмечен в 2018 г. Дефицит тепла отмечали также в отдельные месяцы 2017 г. (май, июль), 2019 г. (июнь) и 2023 г. (вторая и третья декады июня), однако высокие среднесуточные температуры в течение остального периода вегетации компенсировали этот недостаток. Суммы положительных температур в целом за вегетационный период в 2017, 2018, 2019 и 2022 г. были близки к норме; в 2016, 2020, 2021 и 2023 г. превысили среднее многолетнее значение на 14,2–22,9% (табл. 1).

## Результаты и обсуждение

Урожайность зеленой массы и сбор сухого вещества зависели как от погодных условий вегетационного периода, так и от сортовых особенностей. Минимальный уро-

**Таблица 1. Метеорологические условия вегетационного периода (май – август) в 2016–2023 гг, Тюмень****Table 1. Weather conditions during the growing seasons (May – August) in 2016–2023, Tyumen**

Показатель	Единицы измерения	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Количество осадков	мм	149,8	281,7	306,9	299,3	189,7	96,4	272,1	161,0
	% от нормы	61,6	115,9	126,3	123,7	78,1	39,7	112,0	66,2
Среднесуточная температура	°C	17,6	15,5	14,8	16,1	17,3	18,4	16,4	17,6
	% от нормы	117,3	103,3	98,7	107,3	115,3	122,7	109,3	117,3
Сумма положительных температур	°C	2163	1900	1825	1906	2133	2266	1998	2152
	% от нормы	117,3	103,0	99,0	103,4	115,7	122,9	108,4	114,2
Гидротермический коэффициент (ГТК)	ед.	0,69	1,48	1,68	1,57	0,89	0,42	1,36	0,74

жай зеленой массы (0,75 т/га) и сбор сухого вещества (0,30 т/га) в среднем по опыту был получен в условиях жесткой засухи 2021 г. Максимальная продуктивность (урожайность зеленой массы – 48,15 т/га; сбор сухого вещества – 17,57 т/га) отмечалась в благоприятных условиях 2022 г. У сортов и селекционных линий урожайность зеленой массы колебалась от 0,44 т/га (‘Тюменский Голозерный’, 2021 г.) до 58,90 т/га (ТМ 07-95-16, 2022 г.); сбор сухого вещества варьировал от 0,16 т/га (‘Тюменский Голозерный’, 2021 г.) до 21,60 т/га (ТМ 19-58-10, 2022 г.) (табл. 2).

Значительная изменчивость данных показателей была отмечена в засушливых условиях 2021 г. Коэффициент вариации (V) составил более 20% как по урожайности зеленой массы, так и по сбору сухого вещества. Во всех остальных случаях по урожайности зеленой массы изменчивость была незначительной ( $V < 10\%$ ), а по сбору сухого вещества – средней (коэффициент вариации был более 10%, но менее 20%).

Проведенный анализ показал влияние отдельных факторов на продуктивность селекционных линий и сортов овса в зоне северной лесостепи Тюменской области.

Решающее воздействие на урожайность зеленой массы, сбор сухого вещества и сбор питательных элементов оказали метеорологические условия в период вегетации (среда). Доля их влияния составила 74,80–93,34%. Влияние генотипа было незначительным (1,36–4,12%). По ряду показателей (сбор сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки) отмечалась существенная роль взаимодействия «генотип – среда» (табл. 3).

Результаты многолетних исследований (2016–2023 гг.) показали, что урожайность зеленой массы в значительной степени зависела от продуктивной кустиности ( $r = 0,58–0,99$ ), высоты растений ( $r = 0,52–0,84$ ) и в отдельные годы от обильности ( $r = 0,54–0,88$ ). Удлинение межфазного периода «всходы – выметывание» способствовало накоплению сухого вещества ( $r = 0,40–0,67$ ), которое сформировалось в значительной степени за счет количества продуктивных стеблей ( $r = 0,17–0,93$ ).

Полный биохимический анализ зеленой массы селекционных образцов овса выявил значительную варибельность показателей в зависимости от условий выращивания и генотипа. Содержание гигровлаги в среднем

**Таблица 2. Варьирование показателей продуктивности у сортов и селекционных линий овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2023 гг.****Table 2. Variation of productivity indicators in oat cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2023**

Годы	Урожайность зеленой массы, т/га			Сбор сухого вещества, т/га		
	$\bar{x}$	R	V	$\bar{x}$	R	V
2016	28,06	23,14–33,32	8,08	10,00	7,00–13,56	16,54
2017	39,57	30,16–47,30	7,10	12,39	8,12–15,53	12,28
2018	32,26	26,95–38,09	7,82	10,74	8,15–14,55	11,95
2019	44,25	32,90–51,60	8,80	13,91	8,15–14,55	12,31
2020	24,98	21,10–30,70	8,72	9,20	6,84–11,24	10,65
2021	0,75	0,44–1,12	20,37	0,30	0,16–0,47	21,97
2022	48,15	40,80–58,90	7,87	17,57	13,50–21,60	9,95
2023	15,82	13,28–20,38	9,11	5,06	3,86–7,01	13,23

Примечание:  $\bar{x}$  – среднее; R – размах варьирования; V – коэффициент вариации

Note:  $\bar{x}$  is the mean; R is the range of variation; V is the coefficient of variation

**Таблица 3. Влияние факторов на продуктивность сортов и селекционных линий овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2023 гг.****Table 3. The effect of the factors on the productivity of oat cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2023**

Показатели	Доля влияния, %			
	Генотип (А)	Среда (В)	Взаимодействие (АВ)	Ошибка
Урожайность зеленой массы, т/га	2,25	89,10	6,14	2,48
Сбор сухого вещества, т/га	3,16	93,34	7,78	5,72
Сбор сырого протеина, т/га	1,36	77,34	11,68	9,62
Сбор сырого жира, т/га	2,70	74,80	13,26	9,24
Сбор сырой клетчатки, т/га	3,76	77,64	10,15	8,45
Сбор БЭВ, т/га	4,12	81,78	7,06	7,04

по попыту варьировало от 5,40 (2021 г.) до 8,72% (2018 г.); содержание золы колебалось от 5,72 (2020 г.) до 9,92% (2019 г.); содержание сырого протеина – от 4,86 (2017 г.) до 9,67% (2021 г.); содержание сырого жира – от 2,49 (2017 г.) до 4,59% (2022 г.); содержание сырой клетчатки – от 25,75 (2021 г.) до 32,38% (2017 г.); содержание БЭВ – от 42,17 (2022 г.) до 49,28% (2021 г.). Варьирование биохимических показателей между генотипами было еще существеннее. Минимальное содержание гигровлаги (4,12%) было отмечено в 2021 г. у линии ТМ 11-6-1,

максимальное ее значение (10,11%) – у линии ТМ 07-126-23 в 2018 г. Минимальное содержание золы (4,33%) отмечалось в 2021 г. у линии ТМ 10-5-13, а максимальное его значение (8,31%) в этих же условиях было у сорта 'Отрада'. Содержание сырого протеина колебалось от 2,81 (ТМ 10-13-28, 2017 г.) до 13,44% (ТМ 17-71-2, 2022 г.); сырого жира – от 1,64 (ТМг 3-3, 2020 г.) до 6,85% (ТМ 17-77-23, 2022 г.); сырой клетчатки – от 13,01 (ТМ 13-40-6, 2020 г.) до 37,78% (ТМ 07-95-16, 2022 г.); сырых БЭВ – от 33,30 ('Отрада', 2022 г.) до 59,89% (ТМ 13-40-6) (табл. 4).

**Таблица 4. Варьирование биохимических показателей зеленой массы у сортов и селекционных линий овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2022 гг.****Table 4. Variation of biochemical parameters in the green biomass of oat cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2022**

Показатели	Годы						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Гигровлага</b>							
Х	7,12	5,71	8,72	7,50	7,90	5,40	6,50
R	6,07–8,12	4,34–6,61	7,20–10,11	5,94–8,72	6,21–9,19	4,12–7,85	4,23–9,46
V	6,16	10,47	5,40	8,91	7,47	16,25	12,42
<b>Зола</b>							
Х	6,12	6,21	6,17	6,92	5,72	6,26	6,28
R	5,24–7,40	5,47–6,81	5,54–7,39	5,99–8,05	4,95–6,94	4,33–8,31	5,49–6,97
V	9,34	5,13	6,67	7,62	7,71	13,61	5,79
<b>Содержание сырого протеина</b>							
Х	8,92	4,86	8,63	6,38	7,73	9,67	9,47
R	6,94–10,62	2,81–6,56	6,44–13,31	5,12–7,50	5,31–10,31	8,38–11,56	6,25–13,44
V	9,73	19,01	15,96	11,10	14,03	8,79	13,48
<b>Содержание сырого жира</b>							
Х	3,32	2,49	3,44	3,02	3,06	3,63	4,59
R	2,23–4,26	1,72–3,15	2,60–4,43	1,87–4,62	1,64–4,11	2,80–5,26	2,56–6,85
V	12,45	14,53	10,53	25,89	17,43	16,59	21,31

**Таблица 4. Окончание**  
**Table 4. The end**

Показатели	Годы						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Содержание сырой клетчатки</b>							
Х	26,54	32,38	25,79	31,48	26,69	25,75	31,05
R	22,28–32,39	28,44–36,49	21,72–30,31	23,48–37,65	16,01–32,19	21,49–32,23	27,34–37,78
V	10,26	5,49	7,45	8,19	12,15	9,63	7,50
<b>Содержание БЭВ</b>							
Х	47,94	48,19	47,24	44,68	48,90	49,28	42,14
R	41,01–52,75	41,35–53,45	40,77–53,66	37,67–52,31	41,34–59,89	42,53–54,79	33,30–46,20
V	6,10	4,50	5,52	6,20	8,40	5,98	6,67

Примечание: Х – среднее; R – размах варьирования; V – коэффициент вариации

Note: X is the mean; R is the range of variation; V is the coefficient of variation

Оценивая влияние факторов на качественные показатели зеленой массы селекционных линий и сортов овса, следует отметить высокую долю влияния условий выращивания (среды). Особенно сильно условия среды отразились на содержании сырого протеина и протеиновом отношении (доля влияния – 70,05–74,19%). Содержание сырого жира существенно зависело от условий выращивания (51,34%), а также от генотипа (15,83%) и взаимодействия «генотип – среда» (17,03%). На содержании сырой клетчатки и БЭВ, помимо влияния среды (доля влияния соответственно 56,15% и 50,49%), существенно отражалось взаимодействие «генотип – среда» (табл. 5).

Чтобы оценить кормовые достоинства зеленой массы, нужно знать не только ее биохимический состав, но и степень переваримости накопленных питательных веществ. Содержание переваримых питательных веществ в зеленой массе селекционных линий и сортов овса формировалось под влиянием погодных условий в период вегетации и генотипического разнообразия селекционного материала. Содержание переваримого протеина в среднем по опыту, в зависимости от условий выращивания, колебалось от 3,58 (2017 г.) до 7,18% (2021 г.); переваримого жира – от 1,71 (2017 г.) до 3,13% (2022 г.); переваримой клетчатки – от 14,44 (2021 г.) до 18,18%

(2017 г.); переваримых БЭВ – от 27,08 (2022 г.) до 31,57% (2021 г.). В разрезе генотипов эти показатели варьировали следующим образом: протеин – от 2,08 (ТМ 10-13-28, 2017 г.) до 9,94% (ТМ 17-71-2, 2022 г.); жир – от 1,13 (ТМ 3-3, 2020 г.) до 4,73% (ТМ 17-77-23, 2022 г.); клетчатка – от 8,96 (ТМ 13-40-6, 2020 г.) до 21,16% (ТМ 07-95-16, 2022 г.); БЭВ – 23,63 (ТМ 17-71-2, 2022 г.) до 38,33% (ТМ 13-40-6, 2020 г.) (табл. 6).

Как при избытке, так и при недостатке протеина в корме снижается использование организмом других питательных веществ. Количество протеина в корме контролируется протеиновым отношением, которое показывает, сколько частей переваримых углеводов и жира приходится на одну часть протеина. Переваривание идет нормально, если на одну часть протеина приходится 6–8 частей безазотистых веществ (нормальное протеиновое отношение) (Andreeva, Pilipenko, 2017). Нормальное протеиновое отношение в среднем по опыту было отмечено в 2016 г. (7,79), 2021 г. (7,24) и 2022 г. (7,51). В 2017–2020 гг. оно было широким (более 8). В разрезе генотипов протеиновое отношение варьировало от узкого (менее 6) до широкого (более 8).

Проведенные исследования позволили выделить ряд перспективных сортов и селекционных линий овса яро-

**Таблица 5. Влияние факторов на качество зеленой массы овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2022 гг.**

**Table 5. The effect of the factors on the green biomass quality in oats under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2022**

Показатели	Доля влияния, %			
	Генотип (A)	Среда (B)	Взаимодействие (AB)	Ошибка
Содержание сырого протеина, %	6,16	70,05	11,19	12,60
Содержание сырого жира, %	15,83	51,34	17,03	15,80
Содержание сырой клетчатки, %	5,92	56,15	29,02	8,91
Содержание БЭВ, %	6,90	50,49	36,31	6,29
Протеиновое отношение	4,49	74,19	5,52	15,80

**Таблица 6. Содержание переваримых питательных веществ и протеиновое отношение в зеленой массе сортов и селекционных линий овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2022 гг.****Table 6. The content of digestible nutrients and the protein ratio in the green biomass of oat cultivars and breeding lines under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2022**

Годы	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Протеиновое отношение
2016	$\frac{6,58}{5,14-7,86}$	$\frac{2,29}{1,54-2,94}$	$\frac{14,95}{12,85-18,14}$	$\frac{30,60}{26,25-33,76}$	$\frac{7,79}{6,42-10,12}$
2017	$\frac{3,58}{2,08-4,85}$	$\frac{1,71}{1,19-2,17}$	$\frac{18,18}{15,93-20,43}$	$\frac{30,83}{26,46-34,21}$	$\frac{15,32}{10,61-26,54}$
2018	$\frac{6,40}{4,76-9,85}$	$\frac{2,36}{1,79-3,06}$	$\frac{14,56}{12,16-16,56}$	$\frac{31,04}{26,09-33,70}$	$\frac{8,02}{4,78-10,73}$
2019	$\frac{4,68}{3,79-5,55}$	$\frac{2,04}{1,29-3,19}$	$\frac{17,59}{13,15-20,56}$	$\frac{28,75}{25,49-33,48}$	$\frac{11,02}{9,29-13,84}$
2020	$\frac{5,64}{3,01-7,63}$	$\frac{2,14}{1,13-2,84}$	$\frac{14,82}{8,96-18,03}$	$\frac{31,37}{26,46-38,33}$	$\frac{9,14}{6,36-13,56}$
2021	$\frac{7,18}{6,24-8,55}$	$\frac{2,47}{1,93-3,63}$	$\frac{14,44}{12,03-18,05}$	$\frac{31,57}{27,22-35,06}$	$\frac{7,24}{5,93-8,35}$
2022	$\frac{6,99}{4,62-9,94}$	$\frac{3,13}{1,77-4,73}$	$\frac{17,14}{12,31-21,16}$	$\frac{27,08}{23,63-29,57}$	$\frac{7,51}{4,97-11,87}$

Примечание: в числителе – среднее значение; в знаменателе – размах варьирования в разрезе генотипов

Note: the numerator shows the mean value, and the denominator shows the range of variation in the context of genotypes

вого, которые характеризовались высокой кормовой продуктивностью. По всем показателям продуктивности – урожайности зеленой массы, сбору сухого вещества, сбору сырого и переваримого протеина – стандарт ‘Талисман’ превосходили сорта ‘Тоболяк’, ‘Радужный’ и ‘Сириус’ (табл. 7).

Сорт ‘Отрада’ формировал урожайность зеленой массы и сбор сухого вещества на уровне стандарта (‘Талисман’), но превосходил его по сбору сырого и переваримого протеина. Сорта ‘Мегион’ и ‘Фома’ уступали стандарту по урожайности зеленой массы и сбору сухого вещества, но превосходили его по сбору протеина –

**Таблица 7. Кормовая продуктивность перспективных генотипов овса ярового в условиях Северного Зауралья, 2016–2023 гг.****Table 7. Fodder productivity of promising spring oat genotypes under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2023**

Сорт, линия	Урожайность зеленой массы, т/га	Сбор сухого вещества, т/га	Сбор протеина, т/га		Протеиновое отношение
			сырого	переваримого	
‘Талисман’ (ст.)	28,05	9,54	0,768	0,568	9,08
‘Мегион’	27,53	9,36	0,814	0,602	8,93
‘Отрада’	28,49	9,52	0,810	0,600	8,67
‘Фома’	27,22	9,14	0,858	0,635	7,94
‘Тоболяк’	32,34	10,76	0,807	0,597	9,11
‘Радужный’	31,58	11,24	0,822	0,608	10,01
‘Сириус’	29,36	10,09	0,807	0,597	9,24
ТМ 07-95-16	29,96	10,16	0,750	0,555	9,81
ТМ 08-140-2	29,52	9,55	0,719	0,532	9,70
Среднее	29,34	9,93	0,795	0,588	9,17
НСП <sub>05</sub> (А сорт)	2,5	1,34	0,16	0,12	1,56
НСП <sub>05</sub> (В среда)	2,5	1,27	0,15	0,11	1,38

как сырого, так и переваримого. Кроме того, сорт 'Фома' в большинстве случаев обеспечивал нормальное протеиновое отношение (6–8), широкое протеиновое отношение у него было отмечено лишь в 2017 г. (10,61) и 2019 г. (9,97). Все остальные сорта характеризовались широким протеиновым отношением (более 8), и при возделывании на зеленый корм им потребуется дополнительный зеленый компонент. Высокой урожайностью зеленой массы и высоким сбором сухого вещества характеризовались также линии ТМ 07-95-16 и ТМ 08-140-2, однако они уступали стандарту по сбору сырого и переваримого протеина.

Энергетическая питательность сухого вещества перспективных образцов овса в конкурсном сортоиспытании выражена в овсяных кормовых единицах (ОКЕ), а также в килоджоулях обменной (ОЭ) и валовой (ВЭ) энергии, рассчитанных с учетом содержания питательных веществ (Trifuntova, Aseeva, 2021). В зависимости от условий выращивания в одном килограмме сухого вещества содержалось в среднем 0,82–0,88 ОКЕ. Обменная энергия 100 кг сухого вещества в среднем по опыту составила от 810,5 (2019 г.) до 866,3 кДж (2021 г.), валовая – от 1681,7 (2019 г.) до 1764,4 кДж (2022 г.). Переваримость энергии (ПЭ) колебалась от 60,6 (2017 г.) до

67,7% (2021 г.). Концентрация переваримой энергии (КПЭ) варьировала в пределах от 1034,65 (2017 г.) до 1186,33 кДж/кг (2021 г.), концентрация обменной энергии (КОЭ) – от 848,41 (2017 г.) до 972,79 кДж/кг (2021 г.). В разрезе генотипов эти показатели также варьировали. Минимальное содержание ОКЕ (0,77), а также наименьшее количество обменной энергии (751,9 кДж) были отмечены у линии ТМ 09-80-11 в 2017 г. Максимальные значения данных показателей (соответственно: ОКЕ – 0,96; ОЭ – 901,0 кДж) отмечалось в 2022 г. у линии ТМ 17-77-23. Минимальную ВЭ (1529,8 кДж) имела линия ТМ 15-53-20 в 2020 г., максимальное значение данного показателя (1857,4 кДж) отмечено у линии ТМ 16-33-11 в 2022 г. Минимальная переваримость энергии (56,6%) была отмечена в 2022 г. у линии ТМ 09-95-16, а максимальное ее значение (76,2%) отмечалось у линии ТМ 15-53-20 в 2020 г. Минимальная концентрация переваримой (944,74 кДж/кг) и обменной (774,69 кДж/кг) энергии была у линии ТМ 09-68-3 в 2019 г., максимальное их значение (соответственно: КПЭ – 1272,65; КОЭ – 1043,57 кДж/кг) отмечено в 2020 г. у линии ТМ 13-40-6. Коэффициент вариации по всем показателям не превышал 10, что свидетельствовало об их незначительной изменчивости (табл. 8).

**Таблица 8. Энергетическая питательность сухого вещества селекционных образцов овса на заключительном этапе селекционного процесса (Тюмень, 2016–2022 гг.)**

**Table 8. Digestible energy value in the dry matter of oat genotypes at the final stage of the breeding process (Tyumen, 2016–2022)**

Годы	Среднее (X̄)	Размах варьирования (R)	Коэффициент вариации (V)
<b>Овсяная кормовая единица (ОКЕ)</b>			
2016	0,85	0,81–0,88	1,85
2017	0,83	0,77–0,86	1,92
2018	0,84	0,81–0,87	1,37
2019	0,82	0,78–0,88	3,45
2020	0,84	0,78–0,87	2,18
2021	0,87	0,85–0,91	1,73
2022	0,88	0,88–0,96	3,51
<b>Обменная энергия (ОЭ), кДж</b>			
2016	842,9	814,4–865,1	1,42
2017	819,5	751,9–839,9	1,74
2018	830,0	810,9–852,7	1,18
2019	810,5	778,7–851,7	2,38
2020	831,9	776,2–857,5	1,59
2021	866,3	845,4–890,0	1,26
2022	855,9	832,4–901,0	2,05
<b>Валовая энергия (ВЭ), кДж</b>			
2016	1715,1	1651,8–1750,9	1,00
2017	1705,9	1582,4–1742,7	1,41
2018	1685,1	1654,4–1735,5	1,00

**Таблица 8. Окончание**  
**Table 8. The end**

Годы	Среднее ( $\bar{x}$ )	Размах варьирования (R)	Коэффициент вариации (V)
<b>Валовая энергия (ВЭ), кДж</b>			
2019	1681,7	1629,9–1747,1	1,89
2020	1693,5	1529,8–1737,0	1,74
2021	1752,4	1708,1–1792,5	1,19
2022	1764,4	1704,1–1857,4	1,89
<b>Переваримость энергии (ПЭ), %</b>			
2016	66,6	61,4–70,1	3,70
2017	60,6	56,8–64,5	2,74
2018	67,6	64,0–70,9	2,42
2019	62,0	57,0–69,1	3,66
2020	66,6	61,7–76,2	4,82
2021	67,7	61,9–71,5	3,12
2022	63,0	56,6–66,4	3,29
<b>Концентрация переваримой энергии (КПЭ), кДж/кг</b>			
2016	1143,04	1041,43–1215,09	3,74
2017	1034,65	956,80–1096,29	3,10
2018	1139,00	1074,18–1197,00	2,54
2019	1042,46	944,74–1176,76	4,20
2020	1125,95	1052,42–1272,65	4,12
2021	1186,33	1093,64–1238,99	2,87
2022	1110,83	999,29–1191,31	3,61
<b>Концентрация обменной энергии (КОЭ), кДж/кг</b>			
2016	937,29	853,97–996,37	4,16
2017	848,41	784,58–898,96	3,40
2018	933,98	880,83–981,54	2,72
2019	854,82	774,69–964,94	4,15
2020	923,28	862,98–1043,57	5,31
2021	972,79	896,78–1015,97	3,46
2022	910,88	819,42–976,87	3,73

Оценивая влияние факторов на энергетическую питательность вегетативной массы овса в условиях Северного Зауралья, следует отметить существенную роль условий выращивания (среда). Доля влияния среды по всем показателям энергетической питательности была более 50,0%, Роль сорта была незначительной (2,93–7,53%). Однако отмечена существенная роль взаимодействия «генотип – среда» по большинству показателей – более 30,0% (табл. 9).

Многолетняя оценка энергетической питательности вегетативной массы селекционных образцов овса в конкурсном сортоиспытании позволила выделить перспективные сорта и линии для использования в кормовом поле. Они способны формировать в 1 кг сухого вещества 0,84–0,86 кормовых единиц (Vologzhanina et al., 2020) (табл. 10).

Обменная энергия в 100 кг сухого вещества данных образцов составила от 833,3 (ТМ 08-140-2) до 842,5 кДж

**Таблица 9. Влияние факторов на энергетическую питательность вегетативной массы овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2022 гг.****Table 9. The effect of the factors on digestible energy value in the green biomass of oats under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2022**

Показатели	Доля влияния, %			
	Генотип (А)	Среда (В)	Взаимодействие (АВ)	Ошибка
Овсяная кормовая единица (ОКЕ)	7,53	52,21	38,38	1,88
Обменная энергия (ОЭ), кДж	2,93	64,72	30,94	1,41
Валовая энергия (ВЭ), кДж	7,44	58,26	33,09	1,21
Переваримость энергии (ПЭ), %	6,14	59,56	30,79	3,51
Концентрация переваримой энергии (КПЭ), кДж/кг	5,96	62,15	28,31	3,59
Концентрация обменной энергии (КОЭ), кДж/кг	6,27	59,77	30,07	3,89

**Таблица 10. Энергетическая питательность сухого вещества перспективных генотипов овса в условиях Северного Зауралья, 2016–2022 гг.****Table 10. Digestible energy value in the dry matter of promising oat genotypes under the conditions of the Northern Trans-Urals, 2016–2022**

Сорт, линия	ОКЕ <sub>крс</sub>	ОЭ <sub>крс</sub> , кДж	ВЭ <sub>крс</sub> , кДж	ПЭ <sub>крс</sub> , %	КПЭ <sub>крс</sub> , кДж/кг	КОЭ <sub>крс</sub> , кДж/кг
‘Талисман’ (ст.)	0,84	835,1	1707,9	64,9	1108,96	909,34
‘Мегион’	0,85	837,1	1708,1	65,0	1103,09	904,53
‘Отрада’	0,86	842,5	1728,9	64,3	1112,41	912,18
‘Фома’	0,86	840,4	1734,6	65,8	1141,36	935,91
‘Тоболяк’	0,85	835,5	1714,3	64,5	1105,82	906,77
‘Радужный’	0,84	835,2	1718,1	63,4	1099,81	901,84
‘Сириус’	0,84	839,1	1709,0	66,3	1133,38	929,37
ТМ 07-95-16	0,85	839,4	1721,5	63,5	1092,87	896,15
ТМ 08-140-2	0,84	833,3	1712,4	64,1	1098,46	900,73
Среднее	0,85	837,5	1717,2	64,6	1110,68	910,76
НСР <sub>05</sub> (А сорт)	0,02	11,8	20,8	2,43	42,71	35,0
НСР <sub>05</sub> (В среда)	0,01	10,6	18,6	2,04	35,73	29,3

‘Отрада’), валовая энергия – от 1708,1 (‘Мегион’) до 1734,6 кДж (‘Фома’). Переваримость энергии (ПЭ) была от 63,5 (ТМ 07-95-16) до 66,3% (‘Сириус’); концентрация переваримой энергии (КПЭ) – от 1092,87 (ТМ 07-95-16) до 1141,36 кДж/кг (‘Фома’), концентрация обменной энергии (КОЭ) – от 896,15 (ТМ 07-95-16) до 935,91 кДж/кг (‘Фома’).

#### Заключение

Продуктивность селекционных линий и сортов овса в зоне северной лесостепи Тюменской области зависела от ряда факторов. Решающее влияние на урожайность

зеленой массы, сбор сухого вещества и сбор питательных элементов оказали условия среды в период вегетации (доля их влияния составила 74,80–93,34%). Сортовые особенности не имели большого значения (доля влияния – 1,36–4,12%). По ряду показателей (сбор сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки) отмечалось существенное влияние генотип-средового взаимодействия (доля влияния – 10,15–13,26%).

Высокой кормовой продуктивностью (урожайность зеленой массы, сбор сухого вещества, сбор сырого и переваримого протеина) характеризовались сорта ‘Тоболяк’, ‘Радужный’ и ‘Сириус’. Они обеспечивали урожайность зеленой массы 29,36–32,34 т/га; сбор су-

хого вещества – 10,09–11,24 т/га; сбор сырого протеина – 0,807–0,822 т/га; сбор переваримого протеина – 0,597–0,608 т/га. Высокий сбор сырого (0,810–0,858 т/га) и переваримого (0,600–0,635 т/га) протеина обеспечивали сорта 'Отрада', 'Мегион' и 'Фома'. Кроме того, сорт 'Фома' в большинстве случаев имел нормальное протеиновое отношение (6–8).

Энергетическая питательность вегетативной массы овса в условиях Северного Зауралья существенно зависела от условий выращивания (доля влияния – 52,21–64,72%) и взаимодействия «генотип – среда» (доля влияния – 28,31–38,38%). Роль генотипа была незначительной (2,93–7,53%). Лучшими по энергетической питательности были сорта 'Мегион', 'Отрада', 'Фома', 'Тобояк' и линия ТМ 07-95-16. Они обеспечивали в 1 кг сухого вещества 0,85–0,86 овсяных кормовых единиц (ОКЕ). Обменная энергия (ОЭ) в 100 кг сухого вещества данных образцов составила 835,5–842,5 кДж, валовая (ВЭ) – 1708,1–1734,6 кДж; переваримость энергии (ПЭ) была 63,5–65,8%; концентрация переваримой энергии (КПЭ) – 1092,87–1141,36 кДж/кг; концентрация обменной энергии (КОЭ) – 896,15–935,91 кДж/кг.

### References / Литература

- Andreeva O.T., Pilipenko N.G. Productivity of pea-oats mixture as influences by on meadow-chernozem in Eastern Trans-Baikal. *Fodder Production*. 2017;(10):16-20. [in Russian] (Андреева О.Т., Пилипенко Н.Г. Продуктивность горохо-овсяной смеси при разном уровне минерального питания на лугово-чернозёмной почве Восточного Забайкалья. *Кормопроизводство*. 2017;(10):16-20).
- Baykalova L.P. Advanced technologies in Siberian fodder production: monograph (Pederovye tekhnologii v Sibirskom kormoproizvodstve: monografiya). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2022. [in Russian] (Байкалова Л.П. Передовые технологии в Сибирском кормопроизводстве: монография. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2022).
- Chawla K., Poonia A., Kumar S. Recent advances in yield and quality of dual purpose oat. *Forage Research*. 2022;47(4):383-389.
- Devi R., Sood V., Chaudhary H.K., Kumari A., Sharma A. Identification of promising and stable genotypes of oat (*Avena sativa* L.) for green fodder yield under varied climatic conditions of north-western Himalayas. *Range Management and Agroforestry*. 2019;40(1):67-76.
- Federal State Statistics Service: [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики: [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/fSLOCIs0/Vall-2020.rar> [дата обращения: 12.10.2021].
- Fodders of Siberia – composition and nutritional value: guidelines (Korma Sibiri – sostav i pitatel'nost: metodologicheskiye rekomendatsii). Novosibirsk: VASKhNIL Siberian Branch; 1988. [in Russian] (Корма Сибири – состав и питательность: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ; 1988).
- GOST 23740-79. USSR State Standard. Soils. Methods of laboratory determination of organic composition. Moscow: Publishers of Standards; 1987. [in Russian] (ГОСТ 23740-79. Государственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. Москва: Издательство стандартов; 1987). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294853/4294853425.pdf> [дата обращения: 05.07.2023].
- GOST 31675-2012. Interstate standard. Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration. Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ 31675-2012. Межгосударственный стандарт. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. Москва: Стандартинформ; 2020). URL: <https://meganorm.ru/Data/527/52702.pdf> [дата обращения: 05.07.2023].
- Guidelines for conducting field experiments with fodder crops at the V.R. Williams All-Russian Research Institute of Fodders (Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kulturami VNII kormov imeni V.R. Vilyamsa). Moscow; 1987. [in Russian] (Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса. Москва; 1987).
- Kadam S.S., Solanki N.S., Mohd A., Dashora L.N., Mundra S.L., Upanhyay B. Productivity and quality of fodder oats (*Avena sativa* L.) as influenced by sowing time, cutting schedules and nitrogen levels. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2019;36(2):179-186. DOI: 10.5958/2231-6744.2019.00030.6
- Kosolapov V.M., Cherniavskih V.I., Kostenko S.I. Fundamentals for forage crop breeding and seed production in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(4):401-407. DOI: 10.18699/VJ21.044
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Samal R.P., Nanda G., Kumar M., Sattar A. Yield, quality and profitability of fodder oat varieties in response to different dates of sowing. *Forage Research*. 2023;48(4):477-481.
- Trifuntova I.B., Aseeva T.A. Fodder productivity of oats varieties and lines in competitive variety trial in the Far East agro-climatic conditions. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021;(3):50-53. [in Russian] (Трифунтова И.Б., Асеева Т.А. Кормовая продуктивность сортов и линий овса конкурсного сортоиспытания в агроклиматических условиях Дальнего Востока. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021;(3):50-53). DOI: 10.30850/vrsn/2021/3/50-53
- Vologzhanina E.N., Batalova G.A., Zhuravleva G.P. Fodder productivity of chaffy oats in the Volga-Vyatka region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(4):36-40. [in Russian] (Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А., Журавлёва Г.П. Кормовая продуктивность пленчатого овса в условиях Волго-Вятского региона. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(4):36-40). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10407
- Voytsutskaya N.P., Loskutov I.G. Breeding value of European oat accessions in the environments of Kuban Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):52-58. [in Russian] (Войцутская Н.П., Лоскутов И.Г. Селекционная ценность европейских образцов овса в условиях Кубанской опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):52-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-52-58

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):42-49. [in Russian] [Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):42-49).

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49  
Zoning of crop cultivars and variety testing results for Tyumen Province in 2021 (Sortovoye rayonirovaniye selskoxozyaystvennykh kultur i rezultaty sortoispytaniya po Tyumenskoy oblasti za 2021 god). Tyumen: Akita; 2021. [in Russian] (Сортное районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания по Тюменской области за 2021 год. Тюмень: Акита; 2021).

### Информация об авторах

**Мария Николаевна Фомина**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Юлия Семеновна Иванова**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, averyasova-ulyi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3376-490X>

**Николай Александрович Брагин**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, nikolaj.bragin.87@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Мария Владимировна Брагина**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, masha.bragina22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3156-8574>

### Information about the authors

**Maria N. Fomina**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Yulia S. Ivanova**, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, averyasova-ulyi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3376-490X>

**Nikolay A. Bragin**, Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, nikolaj.bragin.87@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Maria V. Bragina**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, masha.bragina22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3156-8574>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 29.02.2024; одобрена после рецензирования 06.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 29.02.2024; approved after reviewing on 06.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья  
УДК 634.232:631.526.3  
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-128-137



## Изучение форм черешни, полученных с использованием метода эмбриокультуры, в степном Крыму

Л. А. Черненький, Л. А. Лукичева

*Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Леонид Александрович Черненький, [Leonid\\_chernenkiy@mail.ru](mailto:Leonid_chernenkiy@mail.ru)

**Актуальность.** Растения черешни плодоносят ежегодно, имеют высокую урожайность и являются источником высоких доходов. Особенно ценятся сорта с плодами ранних сроков созревания. Поэтому выведение новых раннеспелых сортов этой культуры является актуальным.

**Материалы и методы.** В исследование включены 20 селекционных форм черешни из пяти гибридных семей, полученных в Никитском ботаническом саду с помощью метода эмбриокультуры. В качестве контроля использовали исходные раносозревающие сорта, включенные в гибридизацию, – ‘Durona di Vignola 2’ и ‘Земфира’. Изучение сроков цветения, сроков созревания, массы и качества плодов, урожайности, устойчивости к низким отрицательным температурам (до –25,6°C), поражаемости грибными болезнями проводили на коллекционных участках лаборатории степного садоводства Никитского ботанического сада в соответствии с общепринятыми методиками с 2012 по 2021 г.

**Результаты и выводы.** Выделены поздноцветущие селекционные формы 460, 597, 602, 612 и 843, которые менее подвержены действию поздневесенних заморозков. Ранними и очень ранними сроками созревания плодов отличаются формы 343, 366, 453, 602, 612, 653, 353, 387, 600 и 653. С высокой урожайностью выделены формы 320, 434, 460, 593а, 597, 600, 601, 602 и 607. По устойчивости к заболеванию коккомикозом отобраны генотипы 459, 460, 601 и 843; к монилиальному ожогу – 597, 843 и 320. Высокая зимо- и морозоустойчивость установлена у селекционных форм 355, 434, 459 и 602. По комплексу признаков (позднее цветение, крупноплодность, высокое качество плодов, устойчивость к основным заболеваниям, урожайность) отобраны перспективные селекционные формы 460, 602, представляющие интерес для внедрения в производство и использования в дальнейшей селекционной работе при получении новых конкурентоспособных сортов.

**Ключевые слова:** черешня, селекция, перспективные формы, сорт

**Благодарности:** исследования проводили в рамках государственного задания (FNNS-2022-0008) «Пополнить, изучить генофонд южных плодовых, орехоплодных и ягодных культур и на его базе создать новые сорта с комплексом хозяйственно ценных признаков для промышленного садоводства», порученного Никитскому ботаническому саду – Национальному научному центру РАН.

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

**Для цитирования:** Черненький Л.А., Лукичева Л.А. Изучение форм черешни, полученных с использованием метода эмбриокультуры, в степном Крыму. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):128-137. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-128-137

## DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-128-137

## Sweet cherry forms obtained with embryo culture techniques and their study in the Crimean steppe

Leonid A. Chernenkiy, Lubov A. Lukicheva

Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

Corresponding author: Leonid A. Chernenkiy, [Leonid\\_chernenkiy@mail.ru](mailto:Leonid_chernenkiy@mail.ru)

**Background.** Sweet cherry plants bear fruit annually, are high-yielding, and generate good profits. Cultivars with early-ripening fruits are specially valued. Cultivation of such sweet cherries makes it possible to extend the period of fresh fruit consumption and increase the profitability of orchards. It is therefore relevant to breed new early-ripening cultivars of this fruit plant.

**Materials and methods.** Twenty sweet cherry forms from five hybrid families obtained with *in vitro* embryo culture techniques at the Nikita Botanical Gardens were analyzed. The original early-ripening cultivars included in the hybridization of 'Durona di Vignola 2' and 'Zemfira' were used as a control. Flowering dates, fruit ripening dates, fruit weight and quality, resistance to negative temperatures (down to  $-25.6^{\circ}\text{C}$ ), and susceptibility to fungal diseases were studied from 2012 to 2021 at the Steppe Horticulture Laboratory, Nikita Botanical Gardens, using conventional methods.

**Results and conclusions.** Late-flowering breeding forms 460, 597, 602, 612 and 843 were selected for their lowest susceptibility to the effects of late spring frosts. Forms 343, 366, 453, 459, 460, 602, 612, 653, 353, 387, 600, 653 and 843 had early and very early fruit ripening periods. Forms 320, 434, 460, 593a, 597, 600, 601, 602 and 607 were identified for their high yields. Genotypes 459, 460, 601 and 843 demonstrated resistance to *Cylindrosporium hiemale* Higg., and 597, 843 and 320 to *Monilia cinerea* Bonord. High winter hardiness and frost resistance was observed in forms 355, 434, 459, 597 and 602. Breeding forms 460, 602 and 843 were identified as promising for a set of traits (late flowering, large high-quality fruits, resistance to major diseases, and high yield). They are of interest for introduction into horticultural production and use in further breeding work to develop new competitive cultivars.

**Key words:** sweet cherry, breeding, promising forms, cultivar

**Acknowledgements:** the research was carried out within the framework of the state task (FNNS-2022-0008) "Replenish and study the genetic diversity of southern fruit, nut and berry crops, and develop on its basis new cultivars with a set of valuable agronomic traits for industrial horticulture" assigned to the Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the RAS. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Chernenkiy L.A., Lukicheva L.A. Sweet cherry forms obtained with embryo culture techniques and their study in the Crimean steppe. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):128-137. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-128-137

## Введение

Черешня – раносозревающая плодовая культура, открывающая сезон потребления свежих плодов и пополняющая организм человека полезными веществами после зимнего периода. Ее плоды являются ценным диетическим продуктом питания и источником биологически активных веществ (Turvovtsev, Turvovtseva, 2004). Суточная норма употребления черешни составляет примерно 200 г.

Черешня богата антоцианами и полифенолами, которые благоприятно влияют на память и работу мозга в целом. Особого внимания заслуживают антоцианы совместно с кверцетином. Именно они делают черешню помощником в профилактике рака. Большое содержание антиоксидантов и ретинола в плодах черешни способствует продлению молодости, а также своевременному выведению шлаков и токсинов. В черешне довольно много мелатонина – гормона, который отвечает за биоритмы и качество сна у человека (Zhao et al., 2013). В современной народной медицине компот из плодов черешни используют как жаропонижающее, отхаркивающее и общеукрепляющее средство. Ядра косточек черешни применяют для приготовления горькой миндальной воды (Karomatov et al., 2016).

Растения черешни плодоносят ежегодно, имеют высокую урожайность, плоды пользуются высоким спросом и являются источником высоких доходов. Особенно ценятся сорта с плодами ранних сроков созревания, поэтому выведение новых раннеспелых сортов этой культуры является актуальным (Prichko, Alekhina, 2018; Eremina, Sivoplyasov, 2020).

В Никитском ботаническом саду – Национальном научном центре Российской академии наук (НБС) данному вопросу уделяют большое внимание (Smykov, 2004; Lukichova, Tarasova, 2016; Lukicheva et al., 2020; Gorina et al., 2021). Начиная с 1951 г. в селекцию были вовлечены лучшие сорта с плодами ранних сроков созревания – ‘Надежда’, ‘Ласточка’, ‘Ранняя Марки’ и др. Известно, что у рано созревающих растений формируются неполноценные семена, неспособные дать жизнеспособные растения. Это обстоятельство тормозит селекционный процесс и уменьшает возможности выведения новых форм и сортов с плодами очень раннего и раннего сроков созревания.

Одним из эффективных методов преодоления этих затруднений является культивирование изолированных зародышей в искусственных условиях (Zdrukovskaya-Richter, 1964, 2003; Mitrofanova et al., 1999; Richter et al., 2022). В культуре *in vitro* в контролируемых благоприятных условиях имеется возможность получения растений из недоразвитых зародышей. Использование этого метода в 1953–1985 гг. позволило получить гибриды черешни и в дальнейшем отобрать наиболее ценные по комплексу признаков. Таким методом из гибридных семян был получен ряд новых форм и сортов, имеющих практическое значение. Среди них сорта ‘Патриотка Крыма’, ‘Майская Зорька’, ‘Надежда’, ‘Серенада’, ‘Ялтинская’ и др. В Реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2021 г. включены три сорта черешни, выведенные в Никитском ботаническом саду с использованием метода эмбриокультуры – ‘Улада’, ‘Призерка’, ‘Весняны Наспивы’. Они получены от скрещивания сортов ‘Ласточка’, ‘Рамон Олива’, ‘Надежда’, ‘Приусадебная’ (Lukicheva, Sotnik, 2019).

В 1986–1990 гг. учеными В. П. Ореховой, И. В. Крюковой для получения ранних сортов в качестве материн-

ских были использованы раносозревающие сорта ‘Duro-na di Vignola 2’ и ‘Земфира’. Неполноценные семена, полученные при скрещивании, помещали в благоприятные условия культуры *in vitro*. Здесь зародыши раносозревающих сортов от межсортной гибридизации и от свободного опыления завершали эмбриогенез и развивались в полноценные проростки. Таким методом были получены 282 гибридных сеянца черешни.

После изучения в селекционном саду элитные сеянцы были перенесены на подвой и высажены в сад первичного сортоизучения для проведения дальнейших исследований.

Данная работа является продолжением исследований, проводившихся в 1986–1990 гг.

*Цель работы* – изучить селекционные формы черешни, полученные в культуре *in vitro* от скрещивания раносозревающих сортов, отобрать перспективные для дальнейшей селекции и внедрения в производство.

## Материалы и методы

Исследования проводили в течение 2012–2021 гг. в степной зоне Крыма на коллекционных участках лаборатории степного садоводства НБС, расположенных в Симферопольском районе (с. Новый Сад). В изучение включены 20 перспективных селекционных форм черешни из пяти гибридных семей, полученные с применением метода эмбриокультуры. В гибридизацию были вовлечены раносозревающие сорта, имеющие высокую урожайность, крупный размер и высокое качество плодов. В качестве исходных материнских форм использовали интродуцированный сорт ‘Duro-na di Vignola 2’ и сорт ‘Земфира’ собственной селекции. В качестве отцовских – сорта ‘Bigarreau Starking’, ‘Крупноплодная’, ‘Рыночная’, ‘Транспортабельная’. Контролем служили материнские сорта ‘Duro-na di Vignola 2’ и ‘Земфира’.

Схема посадки растений в саду – 6 × 6 метров. Подвой – вишня магалебская. Агротехнические мероприятия общепринятые для данной культуры. Участок без орошения, почвы – южный чернозем. Изучены сроки цветения растений, сроки созревания плодов, масса и качество плодов, урожайность, устойчивость к отрицательным температурам и грибным патогенам. Оценку проводили в соответствии с общепринятыми методиками (Ryabov, 1969; Yushev et al., 1989; Sedov, Ogoltsova, 1999; Samigullina, 2006).

Статистический анализ осуществляли по Б. А. Доспехову (Dospekhov, 1985) с применением программы Statistica 6.

### *Краткая характеристика сортов, использованных при гибридизации*

Сорт ‘Duro-na di Vignola 2’ (Франция) использовали в качестве материнской формы. Плоды темно-бордового цвета, очень крупные, высоких вкусовых и товарных качеств, созревают в третьей декаде мая. Недостаточно зимо- и морозостойкий сорт.

Сорт ‘Земфира’ (селекция НБС) использован в качестве материнской формы. Плоды бордового цвета, крупные, не растрескиваются после дождя, мякоть плотная, высокая транспортабельность, созревают в первых числах июня. Повышенная морозостойкость.

Сорт ‘Bigarreau Starking’ (США), отцовская форма. Плоды очень крупные, высоких вкусовых и товарных качеств, созревают в средние сроки. Урожайность и транс-

портабельность высокие. Относительно устойчив к растрескиванию плодов.

Сорт 'Крупноплодная' (Украина), отцовская форма. Плоды очень крупные, высоких вкусовых и товарных качеств, высокой транспортабельности, созревают в среднепоздние сроки. Морозостойкость средняя. Плоды легко подвергаются растрескиванию.

Сорт 'Рыночная' (селекция НБС), отцовская форма. Плоды крупные, темно-бордового цвета, высоких вкусовых и товарных качеств, созревают в средние сроки. Урожайность, транспортабельность и зимостойкость высокие. Относительно устойчив к растрескиванию плодов.

Сорт 'Транспортабельная' (Украина), отцовская форма. Плоды крупные, темно-красного цвета, высоких вкусовых и товарных качеств, высокой транспортабельности, созревают в поздние сроки.

### Результаты и обсуждение

Среди сеянцев черешни, полученных с применением эмбриокультуры, В. П. Ореховой выделены элитные сеянцы, которые привили на подвой (вишня магалебская)

для дальнейшего изучения. В процессе проведенных исследований отобраны 20 перспективных генотипов из пяти гибридных семей. По комплексу хозяйственно-биологических признаков – урожайность, крупноплодность, позднее цветение, сроки созревания плодов, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды – из семьи 'Durona di Vignola 2' × 'Рыночная' отобраны 6 селекционных форм (320, 343, 607, 612, 613, 653); из семьи 'Durona di Vignola 2' × 'Транспортабельная' – 4 формы (353, 355, 366, 387); из семьи 'Durona di Vignola 2' × 'Bigarreau Starking' – 3 формы (453, 459, 460); из семьи 'Durona di Vignola 2' × 'Крупноплодная' – 5 форм (593а, 597, 600, 601, 602); из семьи 'Земфира' от свободного опыления – 2 формы (434 и 843) (табл. 1).

Исследуемые формы отличаются большим разнообразием по срокам цветения: от ранцветущих до поздноцветущих. Наибольший интерес представляют поздноцветущие формы 353, 355, 459, 460, 597, 602, 607, 612 и 843. Они менее подвержены действию поздневесенних заморозков и вследствие этого дают регулярные урожаи.

По срокам созревания плодов сорта черешни принято делить на 6 групп: 1 – очень ранние (3 декада мая), 2 –

**Таблица 1.** Краткая характеристика селекционных форм по срокам цветения и созревания в условиях степного Крыма, 2012–2021 гг.

**Table 1.** Brief characterization of breeding forms according to the timing of flowering and maturation under the conditions of the Crimean steppe, 2012–2021

Сорт, селекционная форма / Cultivar, breeding form	Начало цветения / Start of flowering	Конец цветения / End of flowering	Начало созревания плодов / Start of fruit ripening	Конец созревания плодов / End of fruit ripening
Durona di Vignola 2*	20/4 ± 5,0	27/4 ± 6,0	01/6 ± 7,0	05/6 ± 5,0
Земфира*	20/4 ± 5,0	27/4 ± 7,0	01/6 ± 5,0	07/6 ± 6,0
366	18/4 ± 7,0	26/4 ± 7,0	01/6 ± 7,0	06/6 ± 6,0
653	19/4 ± 7,0	27/4 ± 8,0	01/6 ± 5,0	06/6 ± 5,0
343	20/4 ± 4,0	30/4 ± 9,0	01/6 ± 5,0	05/6 ± 6,0
387	20/4 ± 6,0	28/4 ± 9,0	27/5 ± 8,0	05/6 ± 5,0
434	20/4 ± 7,0	29/4 ± 5,0	04/6 ± 10,0	09/6 ± 6,0
601	20/4 ± 5,0	28/4 ± 8,0	05/6 ± 5,0	10/6 ± 5,0
613	20/4 ± 5,0	29/4 ± 7,0	07/6 ± 3,0	11/6 ± 6,0
320	21/4 ± 6,0	30/4 ± 9,0	08/6 ± 7,0	16/6 ± 5,0
593а	22/4 ± 5,0	28/4 ± 7,0	05/6 ± 9,0	09/6 ± 6,0
453	23/4 ± 5,0	30/4 ± 9,0	01/6 ± 8,0	06/6 ± 7,0
600	23/4 ± 6,0	03/6 ± 6,0	28/5 ± 5,0	02/6 ± 6,0
353	24/4 ± 6,0	30/4 ± 6,0	25/5 ± 6,0	31/5 ± 6,0
355	24/4 ± 7,0	05/5 ± 7,0	08/6 ± 7,0	17/6 ± 7,0
459	24/4 ± 6,0	04/5 ± 5,0	03/6 ± 6,0	08/6 ± 5,0
607	24/4 ± 5,0	07/5 ± 5,0	07/6 ± 8,0	13/6 ± 6,0
460	25/4 ± 4,0	05/5 ± 6,0	04/6 ± 8,0	09/6 ± 6,0
597	25/4 ± 5,0	06/5 ± 7,0	05/6 ± 8,0	10/6 ± 5,0
602	25/4 ± 4,0	03/5 ± 9,0	01/6 ± 7,0	06/6 ± 5,0
612	25/4 ± 9,0	04/5 ± 8,0	01/6 ± 9,0	08/6 ± 5,0
843	26/4 ± 5,0	07/5 ± 5,0	02/6 ± 4,0	08/6 ± 6,0

Примечание: \* – материнская форма

Note: \* – maternal form

ранние (1 декада июня), 3 – среднеранние (2 декада июня), 4 – средние (3 декада июня), 5 – среднепоздние – (1 декада июля), 6 – поздние – (2 декада июля).

Раносозревающие генотипы представляют особый интерес, поскольку их возделывание позволяет значительно увеличить рентабельность садов, плоды имеют большой спрос и реализуются по более высоким ценам. Среди изучаемых селекционных форм имеются очень ранние формы – 353, 387, 600. Остальные относятся к ранним – начало созревания плодов 1–8 июня. В их числе шесть форм с плодами, созревающими раньше остальных, – 343, 366, 453, 602, 612, 653.

Крупноплодность – важный показатель при оценке сорта. С массой плода выше, чем у контрольных сортов, отобрано 15 форм, что составило 75% от общего числа изучаемых. Результаты изучения выделенных селекционных форм по качеству плодов представлены в таблице 2.

С массой плода более 7,5 г выделяются формы 320, 353, 355, 434, 453, 597, 600, 601, 602 и 843 (рис. 1). Среди

них отобраны перспективные генотипы с массой плода 8–8,4 г. Это формы 353, 601 и 843.

Исследуемые селекционные формы по вкусу плодов имеют дегустационные оценки от 4,2 до 4,9 баллов (по пятибалльной шкале). Оценка 4,7–4,9 балла отмечена у перспективных форм 353, 366, 460, 593а, 597, 607, 613, 843, что составило 40% от общего числа изучаемых.

Генотипы черешни, имеющие высокие товарные и хозяйственные показатели, представляют интерес для использования их в дальнейшей селекционной работе и при формировании промышленного сортимента. При этом урожайность является важнейшим хозяйственно ценным признаком сорта и зависит от потенциальной продуктивности сорта и устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды. По урожайности (кг/дерево) выше, чем у контрольных сортов, отмечены формы 320, 434, 460, 593а, 597, 600, 601, 602 и 607. У остальных селекционных форм урожайность была ниже, чем у контрольных сортов, или на их уровне (табл. 3).

**Таблица 2. Краткая характеристика селекционных форм по качеству плодов в условиях степного Крыма, 2012–2021 гг.**

**Table 2. Brief characterization of breeding forms according to their fruit quality under the conditions of the Crimean steppe, 2012–2021**

Сорт, селекционная форма / Cultivar, breeding form	Масса плода, г / Fruit weight, g	Вкус плодов, балл / Fruit taste, points	Покровная окраска плода / Fruit skin color	Плотность мякоти плода / Fruit pulp density	Отрыв плодоножки / Fruit stem detachment	Форма плода / Fruit shape
Durona di Vignola 2*	6,8 ± 1,2	4,5 ± 0,4	темно-красная	плотная, хрящеватая	сухой	тупосердцевидная
Земфира*	6,0 ± 1,5	4,5 ± 0,4	темно-бордовая	плотная	сухой	широкосердцевидная
601	8,4 ± 2,2	4,6 ± 0,3	темно-красная	плотная	сухой	широкосердцевидная
353	8,0 ± 1,1	4,7 ± 0,2	темно-красная	плотная, хрящеватая	сухой	округлая
843	8,0 ± 0,9	4,7 ± 0,2	бордовая	плотная	сухой	широкосердцевидная
434	7,9 ± 1,3	4,2 ± 0,4	бордовая	очень плотная, хрящеватая	сухой	плоскоокруглая
600	7,9 ± 0,6	4,3 ± 0,5	бордовая	плотная	сухой	округлая
453	7,8 ± 0,5	4,6 ± 0,2	темно-красная	очень плотная, хрящеватая	сухой	плоскоокруглая
320	7,7 ± 2,1	4,6 ± 0,2	красная	плотная, хрящеватая	сухой	широкосердцевидная
355	7,6 ± 0,9	4,6 ± 0,3	бордовая	плотная, хрящеватая	сухой	округлая
597	7,5 ± 0,7	4,7 ± 0,1	темно-бордовая	плотная	сухой	широкоокруглая
602	7,5 ± 0,8	4,4 ± 0,5	темно-розовая	очень плотная, хрящеватая	сухой	овальная

**Таблица 2. Окончание**  
**Table 2. The end**

Сорт, селекционная форма / Cultivar, breeding form	Масса плода, г / Fruit weight, g	Вкус плодов, балл / Fruit taste, points	Покровная окраска плода / Fruit skin color	Плотность мякоти плода / Fruit pulp density	Отрыв плодоножки / Fruit stem detachment	Форма плода / Fruit shape
343	7,4 ± 1,5	4,4 ± 0,3	бордовая	очень плотная, хрящеватая	сухой	плоскоокруглая
593a	7,3 ± 1,1	4,9 ± 0,1	бордовая	средняя	сухой	широкосердцевидная
366	7,2 ± 1,2	4,8 ± 0,2	красная	плотная	сухой	сердцевидная
460	7,1 ± 1,5	4,7 ± 0,2	темно-бордовая	очень плотная	сухой	округлая
607	7,0 ± 0,8	4,8 ± 0,2	темно-бордовая	средняя	сухой	округлая
387	6,8 ± 1,2	4,5 ± 0,5	темно-красная	средняя	сухой	широкоокруглая
612	6,8 ± 1,9	4,5 ± 0,4	темно-красная	плотная, хрящеватая	сухой	сердцевидная
459	6,7 ± 1,7	4,4 ± 0,3	оранжево-красная	средняя	сухой	сердцевидная
653	6,7 ± 0,9	4,4 ± 0,5	красная	плотная, хрящеватая	сухой	округлая
613	6,4 ± 0,8	4,7 ± 0,2	бордовая	очень плотная, хрящеватая	сухой	округлая
Med	7,3	4,56				
Min	6,0	4,2				
Max	8,4	4,9				
HCP <sub>05</sub>	0,97	0,61				



601



597



320

**Рис. 1. Перспективные крупноплодные селекционные формы черешни**

**Fig. 1. Promising large-fruited breeding forms of sweet cherry**

**Таблица 3. Хозяйственно-биологические особенности исследуемых селекционных форм черешни в степном Крыму, 2012–2021 гг.**

**Table 3. Agronomic and biological features of the studied sweet cherry forms in the Crimean steppe, 2012–2021**

Сорт, селекционная форма / Cultivar, breeding form	Урожай, кг с 1 дерева / Yield, kg per 1 tree	Повреждение отрицательными температурами, % / Damage from freezing temperatures, %		Поражение коккомикозом, балл / Damage from <i>Cylindrosporium</i> spot, points	Поражение монилиозом, балл / Damage from <i>Monilia</i> blight, points
		(-25,6°C) февраль 2012 / (-25.6°C) February 2012	(-9,7°C) март 2016 / (-9.7°C) March 2016		
Durona di Vignola 2*	52,4 ± 5,7	40	35	4,0 ± 1,0	2,5 ± 1,3
Земфира*	53,0 ± 6,0	18	28	4,0 ± 0,5	1,0 ± 1,0
320	69,7 ± 8,5	20	28	2,5 ± 1,0	1,0 ± 0,8
343	53,2 ± 5,0	59	28	1,5 ± 1,0	2,0 ± 1,0
353	49,9 ± 3,5	63	30	2,0 ± 0,5	1,5 ± 0,7
355	44,5 ± 6,6	20	21	2,0 ± 1,1	2,0 ± 1,0
366	46,0 ± 8,1	65	30	1,5 ± 0,9	2,0 ± 0,5
387	48,4 ± 6,5	62	23	1,5 ± 1,0	3,0 ± 1,0
434	58,7 ± 11,0	25	10	3,5 ± 0,4	3,0 ± 1,0
453	46,0 ± 9,6	38	21	2,0 ± 0,8	3,0 ± 1,5
459	52,0 ± 5,5	26	10	1,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0
460	55,1 ± 7,1	89	48	1,0 ± 0,5	2,0 ± 1,5
593a	58,0 ± 6,2	50	21	2,5 ± 1,0	2,0 ± 1,7
597	69,0 ± 8,0	10	29	2,5 ± 1,1	0,1 ± 0,1
600	63,0 ± 9,0	55	40	3,0 ± 1,3	2,0 ± 1,7
601	70,3 ± 5,8	46	20	1,0 ± 0,7	2,0 ± 1,2
602	64,0 ± 7,7	20	18	1,5 ± 1,0	1,5 ± 1,0
607	67,5 ± 5,9	25	28	1,5 ± 0,8	2,0 ± 0,8
612	49,3 ± 10,6	20	29	2,0 ± 1,0	1,5 ± 1,0
613	41,1 ± 10,0	49	10	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,2
653	44,0 ± 12,2	7	40	2,0 ± 1,5	3,0 ± 1,4
843	48,0 ± 9,8	40	25	1,0 ± 0,7	0,5 ± 0,2
Med	54,6	38,5	26	2,1	1,9
Min	41,1	7	10	1,0	0,1
Max	70,3	89	48	4,0	3,0
НСР <sub>05</sub>	5,3	31,2	15,7	1,23	1,11

Примечание: \* – материнская форма.

Note: \* – maternal form

Установлено, что селекционные формы из разных гибридных семей имели неодинаковую зимо- и морозостойкость. Климатические условия степного Крыма в целом благоприятны для возделывания черешни. Зимы с критическими отрицательными температурами бывают довольно редко. В такие годы можно выделить сорта и формы с неповрежденными генеративными органами и дающие полноценный урожай. В то же время имеются отдельные формы черешни, у которых в суровые годы генеративные почки значительно подмерзают, и такие деревья плодоносят очень слабо. За период изучения в течение десяти лет самые низкие отрицательные температуры в январе – феврале отмечены дважды: в 2012 г. ( $-25,6^{\circ}\text{C}$ ) и в 2015 г. ( $-24,1^{\circ}\text{C}$ ) (по данным метеостанции «Степное отделение»). К тому же резкое понижение температуры воздуха было, как правило, после оттепелей. В связи с этим выявлена гибель генеративных органов от 3 до 90% у различных сортов и форм черешни. Выделены наиболее устойчивые, с минимальными повреждениями генеративных почек (до 10%), селекционные формы: 597 и 653, а с подмерзанием от 11 до 25% – формы 602, 607, 355, 320, 612. Установленные различия могут быть связаны с биологическими особенностями каждого генотипа, его морфофизиологическими характеристиками (Genkel, Oknipa, 1964).

Значительно чаще генеративные органы черешни повреждаются поздними весенними (возвратными) заморозками. За изучаемый период заморозки наблюдали шесть раз: в 2013, 2016, 2017, 2019, 2020 и 2021 г. Наиболее критичными они были в 2016 и 2020 г. В 2016 г., когда развитие генеративных почек находилось в фазе «мейоз – двухклеточная пыльца», абсолютный минимум температуры воздуха составил 16 марта  $-8,5^{\circ}\text{C}$  и 20 марта  $-9,7^{\circ}\text{C}$  (с учетом микроклиматической поправки местности). В 2020 г. растения находились в фазе обособления бутонов; в результате понижения температуры воздуха 16 и 17 марта до  $-6,8^{\circ}\text{C}$  и  $-9,1^{\circ}\text{C}$  соответственно у них было зафиксировано значительное повреждение генеративных органов низкими отрицательными температурами. Выявлено, что высокой морозостойкостью (повреждение до 25%) выделились селекционные формы 434, 355, 387, 459, 593а, 602, 613 и 843 (рис. 2).

Выявленные различия по морозостойкости могут быть связаны как с индивидуальными особенностями

селекционных форм (сроки выхода из состояния покоя, темпы развития цветковых почек), так и с реализацией физиолого-биохимических защитных механизмов (Smykov, Gorina, 2018).

Коккомикоз и монилиоз являются наиболее распространенными заболеваниями черешни. В результате исследования выявлено, что изучаемые генотипы отличаются различной устойчивостью к вредоносным патогенам – от 0,1 балла до 4 баллов. Следует отметить, что степень поражения патогенами колебалась в различные годы в зависимости от сложившихся погодных-климатических условий. Выделены наиболее устойчивые (толерантные) к заболеванию коккомикозом (возбудитель – *Cylindrosporium hiemale* Higg.) селекционные формы: 459, 460, 601 и 843. По устойчивости к заболеванию монилиальным ожогом (возбудитель – *Monilia cinerea* Bonord.) отобраны генотипы 320, 597 и 843, у них за годы исследований поражение не превышало 1 балл.

### Заключение

Проведенное исследование позволило выявить, что все 20 изученных селекционных форм черешни из пяти гибридных семей, полученных в Никитском ботаническом саду с использованием метода культуры *in vitro*, в условиях степного Крыма отличаются очень ранними и ранними сроками созревания плодов, особенно 353, 387, 600, 343, 366, 453, 459, 460, 602, 612, 653 и 843.

Наиболее урожайными из их числа были: 320, 460, 597, 600, 601, 602 и 607.

Отобраны пять перспективных форм с поздним цветением и крупными высококачественными плодами: 353, 460, 607, 597 и 843.

Высокой зимо- и морозоустойчивостью отличаются селекционные формы 355, 434, 459, 597, 602.

По устойчивости к заболеванию коккомикозом отобраны формы 459, 460, 601 и 843; монилиальным ожогом – 597, 843 и 320.

По комплексу признаков (позднее цветение, крупноплодность, высокое качество плодов, урожайность, устойчивость к основным заболеваниям) отобраны перспективные селекционные формы 460 и 602. Выделенные генотипы представляют интерес для использования в дальнейшей селекционной работе и внедрения в производство.



355



602



387

**Рис. 2.** Селекционные формы черешни с высокой морозостойкостью (фото Л. А. Черненкокого)

**Fig. 2.** Breeding forms of sweet cherry with high frost resistance (photo by L. A. Chernenkiy)

## References / Литература

- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (*Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]*). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Eremina O.V., Sivoplyasov V.I. New early maturing clonal rootstocks for sweet cherry from perspective forms of species *P. mahaleb* L. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2020;65(5):32-45. [in Russian] (Еремина О.В., Сивоплясов В.И. Новые скороплодные клоновые подвои для черешни из перспективных форм вида *P. mahaleb* L. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2020;65(5):32-45). DOI: 10.30679/2219-5335-2020-5-65-32-45
- Genkel P.A., Oknina E.Z. Dormancy and frost resistance of fruit plants (*Sostoyaniye pokoya i morozoustoychivost plodovykh rasteniy*). Moscow: Nauka; 1964. [in Russian] (Генкель П.А., Окнина Е.З. Состояние покоя и морозостойкость плодовых растений. Москва: Наука; 1964).
- Gorina V., Lukicheva L., Grigoriev A., Chernen'ky L., Sokolovskaya J. Genetic resources are the base for improving the assortment of sweet cherry and large fruit cherry plum. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:01023. DOI: 10.1051/e3sconf/202125401023
- Karomatov I.D., Karomatov S.I. Medical meaning (importance) of a *Prunus cerasus* L., *Prunus avium* L. (review of the literature). *Biology and Integrative Medicine*. 2016;(2):162-179. [in Russian] (Кароматов И.Д., Кароматов С.И. Медицинское значение вишни, черешни (обзор литературы). *Биология и интегративная медицина*. 2016;2:162-179).
- Lukicheva L.A., Chernenky L.A. Frost and drought resistance of cultivars and breeding forms of sweet cherries under the conditions of the steppe Crimea. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020;(85):124-129. [in Russian] (Лукичева Л.А., Черненко Л.А., Скрипка А.О. Морозостойкость и засухоустойчивость сортов и селекционных форм черешни в условиях степного Крыма. *Труды Кубанского Государственного аграрного университета*. 2020;(85):124-129). DOI: 10.21515/1999-1703-85-124-129
- Lukicheva L.A., Sotnik A.I. Improvement of sweet cherry assortment in the Crimea (*Sovershenstvovaniye sortimenta chereschni v Krymu*). In: *Scientific Support for Sustainable Development of Pomiculture and Ornamental Horticulture: collection of scientific papers of the All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops (Nauchnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya plodovodstva i dekorativnogo sadovodstva: sbornik nauchnykh trudov VNIITsiSK)*. Sochi; 2019. p.243-248. [in Russian] (Лукичева Л.А., Сотник А.И., Совершенствование сортимента черешни в Крыму. В кн.: *Научное обеспечение устойчивого развития плодоводства и декоративного садоводства: сборник научных трудов ВНИИЦиСК*. Сочи; 2019. С.243-248).
- Lukichova L.A., Tarasova E.V. Selectional possibilities of creation of the varieties and forms of sweet cherry resistant to the *Coccomyces* blight. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2016;(60):169-172. [in Russian] (Лукичева Л.А., Тарасова Е.В. Селекционные возможности создания сортов и форм черешни, устойчивых к коккомикозу. *Труды Кубанского Государственного аграрного университета*. 2016;(60):169-172).
- Mitrofanova O.V., Mitrofanova I.V., Smykov A.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P. Methods of biotechnology in breeding and propagation of subtropical and stone fruit crops (*Metody biotekhnologii v selektsii i razmnzhenii subtropicheskikh i kostochkovykh plodovykh kultur*). *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 1999;118:189-199. [in Russian] (Митрофанова О.В., Митрофанова И.В., Смыков А.В., Лесникова-Седошенко Н.П. Методы биотехнологии в селекции и размножении субтропических и косточковых плодовых культур. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 1999;118:189-199).
- Prichko T.G., Alekhina E.M. Quality parameters of the fruits of new cherries varieties. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2018;(6):45-48. [in Russian] (Причко Т.Г., Аলেখина Е.М. Показатели качества плодов новых сортов черешни. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018;(6):45-48). DOI: 10.30850/vrsn/2018/6/45-48
- Richter A.L.A., Richter B.A., Richter An.A. Plant embryo culture in the development of new cultivars: a monograph (*Embriokultura rasteniy v sozdanii novykh sortov: monografiya*). Simferopol: ARIAL; 2022. [in Russian] (Рихтер Ал.А., Рихтер В.А., Рихтер Ан.А. Эмбриокультура растений в создании новых сортов: монография. Симферополь: АРИАЛ; 2022).
- Ryabov I.N. Variety studies and primary variety testing of stone fruit crops in the State Nikita Botanical Gardens (*Sortoizucheniye i pervichnoye sortoispytaniye kostochkovykh plodovykh kultur v Gosudarstvennom Nikitskom botanicheskom sadu*). *Trudy VASKhNIL = Proceedings of the Lenin All-Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1961;(41):5-83. [in Russian] (Рябов И.Н. Сортоизучение и первичное сортоиспытание косточковых плодовых культур в Государственном Никитском ботаническом саду. *Труды ВАСХНИЛ*. 1961;(41):5-83).
- Samigullina N.S. Practical guide on breeding and cultivar development of fruit and berry crops (*Praktikum po selektsii i sortovedeniyu plodovykh i yagodnykh kultur*). Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University; 2006. [in Russian] (Самигуллина Н.С. Практикум по селекции и сортоведению плодовых и ягодных культур. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет; 2006).
- Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (*Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur*). Orel: VNIISPК; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Smykov A.V. The use of new methods in the breeding of fruit crops (*Ispolzovaniye novykh metodov v selektsii plodovykh kultur*). *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2004;122:15-19. [in Russian] (Смыков А.В. Использование новых методов в селекции плодовых культур. *Сборник научных трудов Никитского ботанического сада*. 2004;122:15-19).
- Smykov A.V., Gorina V.M. Assessment of the correlation between the productivity of some stone fruit crops and the climatic conditions of the Southern Coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2018;(129):115-121. [in Russian] (Смыков А.В., Горина В.М. Оценка взаимосвязи продуктивности некоторых косточковых культур с климатическими условиями

- южного берега Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2018;(129):115-121. DOI: 10.25684/NBG.boolt.129.2018.17
- Turovtsev N.I., Turovtseva V.A. Sweet cherry (Chereshnya). In: V.V. Pavlyuk (ed.). *Pomology. Vol. 4. Plum, sour and sweet cherries (Pomologiya. T. 4. Sliva, vishnya, chereshnya)*. Kyiv: Urozhay; 2004. p.151-267. [in Russian] (Туровцев Н.И., Туровцева В.А. Черешня. В кн.: *Помология. Т. 4. Слива, вишня, черешня* / под ред. В.В. Павлюка. Киев: Урожай; 2004. С.151-267).
- Useynov D.R., Lukicheva L.A. Efficiency of introduced sweet cherry cultivars used in breeding. *Acta Horticulturae*. 2021;1324:259-264. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1324.40
- Yushev A.A., Vytkovsky V.L., Korneychuk V.A., Blažek J., Paprstein F. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors for the genus *Cerasus* Mill. [SPECIES *C. avium* (L.) Moench, *C. vulgaris* Mill., *C. fruticosa* Pall.] (Широкий унифицированный классификатор SEV рода *Cerasus* Mill. [VIDY *C. avium* (L.) Moench, *C. vulgaris* Mill., *C. fruticosa* Pall.]). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Cerasus* Mill. [ВИДЫ *C. avium* (L.) Moench, *C. vulgaris* Mill., *C. fruticosa* Pall.] / сост. А.А. Юшев, В.Л. Витковский, В.А. Корнейчук, Я. Блажек, Ф. Папрштейн. Ленинград: ВИР; 1989).
- Zdryukovskaya-Richter A.I. Culture of embryos in artificial conditions as a method of breeding early-ripening cultivars of cherries, peaches and pears (Kultura zarodyshey v iskusstvennykh usloviyakh kak metod selektsii ranosozrevayushchikh sortov chereshni, persika i grushi). *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 1964;37:256-259. [in Russian] (Здруйковская-Рихтер А.И. Культура зародышей в искусственных условиях как метод селекции раносозревающих сортов черешни, персика и груши. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 1964;37:256-259).
- Zdryukovskaya-Richter A.I. Embryo culture of isolated embryos, generative structures, and production of new plant forms (Embriokultura izolirovannykh zarodyshey, generativnykh struktur i polucheniye novykh form rasteniy). Yalta; 2003. [in Russian] (Здруйковская-Рихтер А.И. Эмбриокультура изолированных зародышей, генеративных структур и получение новых форм растений. Ялта; 2003).
- Zhao Y., Tan D.X., Lei Q., Chen H., Wang L., Li Q.T. et al. Melatonin and its potential biological functions in the fruits of sweet cherry. *Journal of Pineal Research*. 2013;55(1):79-88. DOI: 10.1111/jpi.12044

### Информация об авторах

**Леонид Александрович Черненко**, аспирант, младший научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, Leonid\_chernenkiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4396-1189>

**Любовь Алексеевна Лукичева**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, luk-lubov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7982-885X>

### Information about the authors

**Leonid A. Chernenkiy**, Postgraduate Student, Associate Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, Leonid\_chernenkiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4396-1189>

**Lubov A. Lukicheva**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head of a Laboratory, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, luk-lubov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7982-885X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 22.01.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 22.01.2024; approved after reviewing on 15.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 574/577

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-138-146



## Влияние локусов *Ant25*, *Ant26*, *Ant27*, контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя (*Hordeum vulgare* L.), на рост и развитие растений

И. В. Тоцкий<sup>1</sup>, Ж. Ли<sup>2</sup>, О. Ю. Шоева<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия<sup>2</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

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

**Актуальность.** Зерно ячменя содержит флавоноидные соединения – проантоцианидины. Положительно влияя на адаптацию растений, они могут ухудшать качество сырья, используемого в производстве кормов и в пищевой промышленности. В этой связи создание беспроантоцианидиновых сортов является актуальной задачей. В качестве доноров рецессивных аллелей генов, специфически контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне, могут использоваться мутанты по локусам *Ant25*, *Ant26*, *Ant27*, молекулярные функции которых неизвестны. В представленной работе исследовано влияние мутантных аллелей в указанных локусах на показатели роста и развития растений ячменя и на основании полученных результатов сделан вывод об их функциональной роли в биосинтезе флавоноидов, а также о целесообразности использования мутантов по этим локусам в селекции беспроантоцианидиновых сортов.

**Материалы и методы.** У выращенных в гидропонной теплице мутантов и исходных сортов измеряли массу зерен, корней, побегов, длину главного побега и подсчитывали количество боковых побегов. Индекс урожая рассчитывали как отношение массы зерна к общей биомассе растения. Различия между генотипами оценивали с помощью критерия Манна – Уитни.

**Результаты.** Мутанты *ant25.264* и *ant27.488* характеризовались меньшими значениями всех анализируемых параметров по сравнению с исходными сортами 'Secobra18193' и 'Zenit'. Мутант *ant27.2043* имел меньшую длину главного побега, массу зерен и индекс урожая по сравнению с сортом 'Arena' и не отличался от исходного сорта по массе корней, массе побегов и их количеству. Мутанты по локусу *Ant26* не отличались от исходного сорта 'Grit' по всем параметрам, за исключением мутанта *ant26.486*, который имел большую массу корней по сравнению с сортом.

**Заключение.** Установлено влияние локусов *Ant25* и *Ant27* на рост и развитие растений. Мутанты по локусу *Ant26*, ввиду отсутствия негативного влияния на развитие растений, являются перспективными донорами для селекции беспроантоцианидиновых сортов ячменя.

**Ключевые слова:** *Anthocyanin-less*-мутанты, конденсированные танины, флавоноиды, пивоваренный сорт

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 21-76-10024). Выращивание растений в тепличном комплексе ЦКП «Ливр» было поддержано бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0017.

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

**Для цитирования:** Тоцкий И.В., Ли Ж., Шоева О.Ю. Влияние локусов *Ant25*, *Ant26*, *Ant27*, контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя (*Hordeum vulgare* L.), на рост и развитие растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):138-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-138-146

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-138-146

## The effect of the *Ant25*, *Ant26* and *Ant27* loci controlling proanthocyanidin synthesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) grain on plant growth and development

Igor V. Totsky<sup>1</sup>, Ruixuan Li<sup>2</sup>, Olesya Yu. Shoeva<sup>1,2</sup><sup>1</sup> *Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*<sup>2</sup> *Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia***Corresponding author:** Olesya Yu. Shoeva, olesya\_ter@bionet.nsc.ru

**Background.** Barley grain contains such flavonoid compounds as proanthocyanidins. Despite their positive effect on plant adaptation to environmental conditions, they can worsen the quality of raw materials used in barley products. In this context, releasing proanthocyanidin-free cultivars is an important task. Mutants at the *Ant25*, *Ant26* and *Ant27* loci with unknown molecular functions can be used as donors of recessive alleles of the genes specifically controlling proanthocyanidin synthesis in barley grain. This study explored the effect of these loci on barley plant growth and development. A conclusion was made about their functional role in the biosynthesis of flavonoids and the expediency of using such mutants in the breeding of proanthocyanidin-free cultivars.

**Materials and methods.** The weight of grains, roots and shoots, the length of the main shoot, and the number of lateral shoots were measured in mutants and original cultivars grown in a hydroponic greenhouse. The harvest index was calculated as the ratio of grain weight to total plant biomass. Differences between genotypes were assessed using the Mann–Whitney *U*-test.

**Results.** The *ant25.264* and *ant27.488* mutants showed lower values of all analyzed characters than the parental cultivars ‘Secobra18193’ and ‘Zenit’, respectively. The *ant27.2043* mutant had a shorter main shoot, less grain weight, and lower harvest index compared to cv. ‘Arena’, but did not differ from the original cultivar in other characters. Mutants at the *Ant26* locus demonstrated no differences from the parental cultivar ‘Grit’ in all parameters, except the *ant26.486* mutant whose root weight exceeded the cultivar’s value.

**Conclusion.** The effect of the *Ant25* and *Ant27* loci on plant growth and development was proved. Mutants at the *Ant26* locus, with no negative effect on plant development, may be recommended to barley breeders as promising donors for the development of proanthocyanidin-free cultivars.

**Keywords:** Anthocyanin-less mutants, condensed tannins, flavonoids, malting cultivar

**Acknowledgements:** the study was funded by the Russian Science Foundation (Grant No. 21-76-10024). Cultivation of barley plants at the greenhouse facility was supported under the project of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (FWNR-2022-0017).

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

**For citation:** Totsky I.V., Li R., Shoeva O.Yu. The effect of the *Ant25*, *Ant26* and *Ant27* loci controlling proanthocyanidin synthesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) grain on plant growth and development. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):138-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-138-146

## Введение

Ячмень – одна из важнейших зерновых культур. В нашей стране она занимает второе место по площадям посевов после пшеницы. Ячмень выращивают для производства кормов, а также как сырье для пивоваренной и пищевой промышленности. К качеству зерна ячменя, в зависимости от его целевого использования, предъявляют разные требования, что приводит к появлению специализированных сортов. В частности, наличие в зерне проантоцианидинов (ПА) по-разному влияет на качество сырья и определяет направление, в котором такое сырье будет использоваться.

ПА относятся к полимерным флавоноидным соединениям, образованным молекулами катехина, эпикатехина и галлокатехина. У растений эти соединения синтезируются, как правило, в листьях, цветках, плодах, семенах, коре и корнях (Abeyapaya et al., 2011; Yu et al., 2020). Они играют важную роль в регуляции роста и развития растений, а также состояния покоя и прорастания семян (Yu et al., 2020). Кроме этого, ПА обуславливают устойчивость растений к различным типам стресса, оказывают сдерживающее действие на травоядных насекомых и хищничество птиц (Xie et al., 2019; Yu et al., 2020; Lam et al., 2023).

Положительно влияя на адаптацию растений, ПА могут ухудшать качество сырья, используемого в кормовой и пищевой промышленности. Поскольку ПА способны образовывать комплексы с пролин-богатыми белками, в том числе с пищеварительными ферментами, они негативно влияют на усвояемость белков, снижая продуктивность сельскохозяйственной птицы. К примеру, цыплята, в рационе которых присутствовало высокое содержание ПА, показали меньшую продуктивность, чем цыплята, в рационе которых ПА не было либо их содержание было ниже (Nyamambi et al., 2000). Однако отрицательно влияя на продуктивность молодых цыплят, ПА способствовали повышению продуктивности кур при их добавлении вместо антибиотиков в рацион взрослых птиц (Huang et al., 2018; Kumar et al., 2022). Интересно, что в природе птицы предпочитают беспроантоцианидиновое зерно сорго (Xie et al., 2019). Кроме этого, способность ПА образовывать нерастворимые комплексы с белками отрицательно влияет на качество пива, обуславливая его коллоидное помутнение. Для решения этой проблемы были созданы сорта, не накапливающие ПА в зерне (Von Wett-

stein, 2007). Помимо пивоваренной промышленности, такие сорта находят свое применение при производстве продуктов питания. На рынке особую популярность приобретают крупы на основе беспроантоцианидиновых сортов ячменя, приготовленные каши из которых не приобретают непривлекательного для потребителя серого оттенка (Tonooka et al., 2010; Yanagisawa et al., 2011; Lee et al., 2016).

Все созданные к настоящему моменту беспроантоцианидиновые сорта ячменя были получены на основе *Anthocyanin-less (Ant)*-мутантов ячменя с нарушенным синтезом флавоноидов. Сегодня коллекция таких мутантов насчитывает более 700 линий, сгруппированных с помощью тестов на аллелизм в 30 групп комплементации, или локусов (Lundqvist, 2014). Как показал мировой опыт, большинство мутантных аллелей из этой коллекции не могут быть использованы в селекции беспроантоцианидиновых сортов, поскольку приводят к существенному снижению урожайности и качества зерна (Von Wettstein, 2007). Среди локусов, успешно использованных в селекции, можно отметить *Ant28* и *Ant29*, мутации в которых специфически нарушают синтез ПА, но не влияют (либо влияют незначительно) на синтез других флавоноидных соединений (Shoeva, 2021). Для локуса *Ant28* была установлена молекулярная функция; показано, что он кодирует транскрипционный фактор с регуляторным доменом R2R3-MYB (Himi et al., 2012).

К локусам, специфически контролирующим синтез ПА, относятся также *Ant25*, *Ant26*, *Ant27*. Однако их молекулярные функции до сих пор не установлены, как и не определено их влияние на ростовые параметры растений. В представленной работе проводится исследование влияния мутаций в этих локусах на показатели роста и развития растений, что позволит не только определить молекулярные функции этих локусов, но и выявить перспективные доноры для селекции беспроантоцианидиновых сортов ячменя.

## Материалы и методы

### Растительный материал

Для оценки влияния мутаций в локусах *Ant25*, *Ant26* и *Ant27* на показатели роста и развития растений использовались индуцированные азидом натрия мутанты по этим локусам и их исходные сорта (табл. 1). Все изучаемые в работе мутанты характеризовались отсутствием

**Таблица 1. Используемые в работе беспроантоцианидиновые мутанты**

**Table 1. Proanthocyanidin-free mutants used in the study**

Мутант / Mutant	Исходный сорт / Original cultivar	Каталожный номер в генбанке NordGen / NordGen catalog No.	Год выделения / Year of obtaining
<i>ant25.264</i>	'Secobra18193'	NGB 13706	1988
<i>ant26.483</i>	'Grit'	NGB 13707	1991
<i>ant26.485</i>	'Grit'	NGB 13708	1991
<i>ant26.486</i>	'Grit'	NGB 23025	1991
<i>ant26.2002</i>	'Grit'	NGB 23027	1993
<i>ant26.2004</i>	'Grit'	NGB 23028	1993
<i>ant27.488</i>	'Zenit'	NGB 13709	1991
<i>ant27.2043</i>	'Arena'	NGB 13710	1993

ПА в зерне и наличием антоцианов в вегетативных органах (Jende-Strid, 1993). Зерна изучаемых генотипов были получены из генбанка NordGen (<https://www.nordgen.org>, Альнари, Швеция).

Для оценки показателей роста и развития растения анализируемых генотипов выращивали в ваннах гидропонной теплицы Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН), заполненных керамзитом, при температуре 18–24°C и 16-часовом освещении с помощью газоразрядных натриевых ламп ДНАТ-600 В. Растения высаживали по одному ('Secobra18193', *ant25.264* – осень 2021 г.; 'Grit', *ant26.483*, *ant26.485*, *ant26.486*, *ant26.2002*, *ant26.2004* – весна 2022 г.) или по два ряда ('Zenit', *ant27.488*, 'Arena', *ant27.2043* – осень 2022 г.) по 15 зерен в каждом. По завершении вегетации растения, включая корни, высушивали при комнатной температуре в течение семи дней. Рощие у краев ванны растения в анализе не использовались. В итоге для каждого генотипа проанализировали по 10–25 растений.

#### Фенотипирование

Наличие антоцианов в основаниях листовых влагалищ растений оценивали визуально на стадии кущения. Собранные с выращенных растений зерно тестировали на наличие ПА с помощью качественной реакции, которую проводили, помещая зерна на 8 часов в 1 н. раствор NaOH с 0,01% TritonX. Тестирование проводили с использованием не менее пяти зерен каждого генотипа. О наличии ПА судили по появлению коричневой окраски зерна, тогда как желтый его цвет свидетельствовал об отсутствии этих соединений (Himi, Taketa, 2015).

#### Анализ показателей роста

У мутантных растений и растений исходных сортов проводили определение массы зерен с растения, измерение длины главного побега и подсчет количества боковых побегов согласно методическим указаниям (Loskutov et al., 2012). Определение массы сухих побегов и корней и расчет «индекса урожая» проводили согласно методическим рекомендациям (Нау, 1995). «Индекс урожая» рассчитывали как отношение массы зерна к общей биомассе, включающей массу зерна, стеблей и корней (Нау, 1995). Различия между исходными сортами и мутантами указывались в процентах, за 100% принимали показатели исходных сортов. Значимость различий между исходными сортами и мутантными образцами, а также различия между мутантами по локусу *Ant26*, полученными на одном генетическом фоне, оценивали с помощью критерия Манна – Уитни (*U*-теста), считая различия значимыми при  $p < 0,05$ . Статистический анализ проводился в программе Statistica v. 6.1 (StatSoft, Inc., Талса, Оклахома, США).

## Результаты

#### Фенотипирование

Все исследуемые мутанты и исходные сорта были протестированы на наличие антоцианов в основаниях листовых влагалищ и ПА в зерне (рисунок). Антоциановая пигментация в основаниях листовых влагалищ выявлялась у всех исследуемых мутантов и исходных сортов. Зерна сортов 'Secobra18193', 'Grit', 'Zenit', 'Arena' после 8-часовой обработки 1 н. раствором NaOH с 0,01% TritonX приобретали коричневую окраску, что свидетельствует о наличии в них ПА, тогда как зерна мутантных образцов, полученных на основе этих сортов, оставались желтыми, что указывает на отсутствие этих соединений. При этом

отмечено, что некоторые из протестированных зерен мутантов по локусу *Ant26* имели повреждения, которые также окрашивались в коричневый цвет.

Таким образом, все проанализированные мутанты имеют фенотип, описанный для них ранее.

#### Показатели роста

Для определения влияния мутаций в локусах *Ant*, контролирующих синтез ПА в зерне, на рост и развитие растений ячменя оценили и сравнили ростовые параметры у взрослых растений сортов ячменя, синтезирующих ПА в зерне, и полученных на их основе беспротоантоциановых мутантов (табл. 2).

#### Локус *Ant25*

Мутанты *ant25.264* имели значимо меньшую массу корней, побегов, зерна, меньшее количество боковых побегов и индекс урожая по сравнению с исходным сортом 'Secobra18193'. Масса корней и побегов у мутантов была снижена соответственно на 29% и 28% по сравнению с сортом 'Secobra18193' (0,12 vs 0,17 г; 14,54 vs 20,27 г), количество боковых побегов – на 30% (11,60 vs 16,67 шт.), масса зерна – на 41% (4,78 vs 8,12 г), индекс урожая – на 18% (0,23 vs 0,28). По длине главного побега мутантные растения не отличались от сорта 'Secobra18193' (79,8 vs 79,75 см).

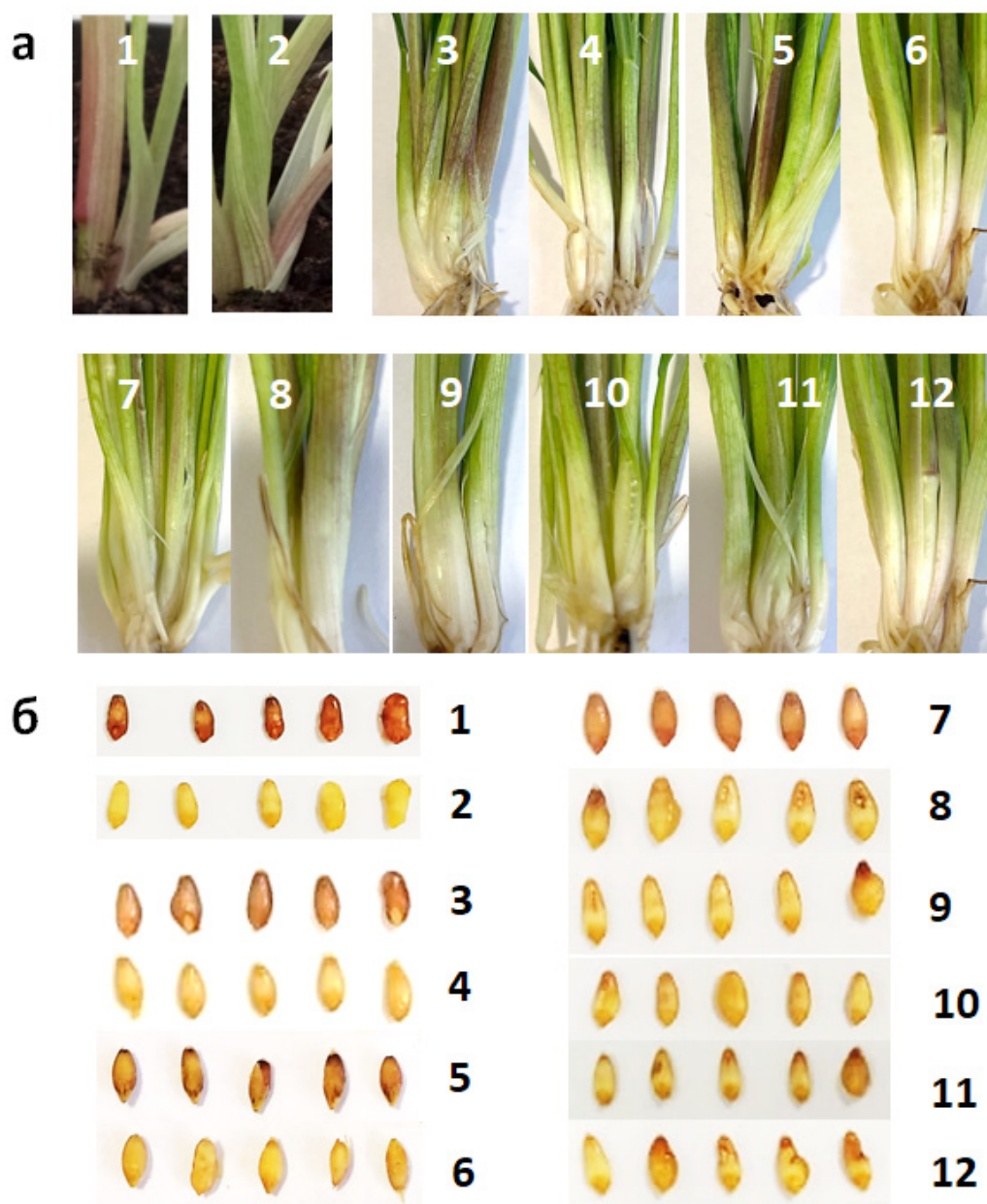
#### Локус *Ant26*

Мутанты по локусу *Ant26* не отличались от исходного сорта 'Grit' по изучаемым параметрам, за исключением *ant26.486*, имевшего большую длину корней по сравнению с контролем. Масса зерен у мутантов варьировала от 3,29 до 4,94 г, причем наименьшее значение зафиксировано у *ant26.485*, а наибольшее – у *ant26.483*; у сорта 'Grit' она составила 3,48 г. Индекс урожая варьировал от 0,26 у мутанта *ant26.483* и сорта 'Grit' до 0,29 у мутантов *ant26.2002* и *ant26.2004*. Среднее количество боковых побегов на растение у мутантов составило 9,46–14,92 шт. с наименьшим значением у *ant26.2004* и наибольшим – у *ant26.486*; у растений сорта 'Grit' этот показатель составил 11,18 шт. Масса побегов у мутантов составила 8,39–12,60 г с наименьшим значением у *ant26.485* и наибольшим – у *ant26.486*; у растений сорта 'Grit' масса побегов составила 9,69 г. Масса корней у мутантов варьировала от 0,14 до 0,20 г с наименьшим значением у мутанта *ant26.2004* и наибольшим – у *ant26.483*; у сорта 'Grit' масса корней составила 0,15 г. Масса корней у мутанта *ant26.486* составила 0,24 г, что было на 60% больше, чем у растений исходного родительского сорта.

#### Локус *Ant27*

Растения мутанта *ant27.488* по всем анализируемым признакам имели значимо меньшие показатели, чем растения сорта 'Zenit'. Масса корней и побегов у мутанта *ant27.488* была снижена на 55 и 61% соответственно по сравнению с сортом 'Zenit' (0,19 vs 0,42 г; 10,9 vs 27,66 г), длина главного побега – на 19% (90,68 vs 111,68 см), количество боковых побегов – на 44% (14,77 vs 26,52 шт.), масса зерен – на 73% (2,16 vs 8,09 г), индекс урожая – на 40,91% (0,13 vs 0,22).

Растения мутанта *ant27.2043* значимо отличались от растений сорта 'Arena' по длине главного побега, массе зерен и индексу урожая. Высота растений мутанта *ant27.2043* была меньше на 15% по сравнению с сортом 'Arena' (85 vs 100,37 см), масса зерен – на 41% (3,95 vs 6,74 г), индекс урожая – на 31% (0,18 vs 0,26). Масса корней и побегов значимо не различалась между мутантом *ant27.2043* и сортом 'Arena' (0,26 vs 0,23 г; 16,53 vs 18,38 г). Также значимых различий между ними не было выявлено по количеству боковых побегов (24,14 vs 20,21 шт.).



**Рисунок.** Фенотип мутантов ячменя по локусам *Ant25*, *Ant26*, *Ant27* и их родительских сортов: а – основания листовых влагалищ; б – зерна после их тестирования на наличие проантоцианидинов; 'Secobra18193' (1); *ant25.254* (2); 'Zenit' (3); *ant27.488* (4); Arena (5); *ant27.2043* (6); 'Grit' (7); *ant26.483* (8); *ant26.485* (9); *ant26.486* (10); *ant26.2002* (11); *ant26.2004* (12)

**Figure.** Leaf sheath bases (a) and seeds after testing for proanthocyanidins (б) of proanthocyanidin-free barley mutants at the *Ant25*, *Ant26* and *Ant27* loci and their parental cultivars: 'Secobra18193' (1); *ant25.254* (2); 'Zenit' (3); *ant27.488* (4); Arena (5); *ant27.2043* (6); 'Grit' (7); *ant26.483* (8); *ant26.485* (9); *ant26.486* (10); *ant26.2002* (11); *ant26.2004* (12)

**Таблица 2. Фенотипические показатели мутантов и исходных сортов ячменя**  
(данные представлены как среднее  $\pm$  стандартная ошибка)

**Table 2. Phenotypic characteristics of barley mutants and original cultivars**  
(the data are presented as the mean  $\pm$  the standard error)

Образцы / Samples	Масса кор- ня, г / Root weight, g	Масса побе- гов, г / Shoot weight, g	Длина главно- го побега, см / Main shoot length, cm	Количество боковых побе- гов, шт. / Num- ber of lateral shoots, pcs.	Масса зерен, г / Grain weight, g	Индекс уро- жая / Harvest index
Secobra18193	0,17 $\pm$ 0,018	20,27 $\pm$ 1,371	79,75 $\pm$ 1,498	16,67 $\pm$ 1,339	8,12 $\pm$ 0,570	0,28 $\pm$ 0,005
ant25.264	0,12 $\pm$ 0,016*	14,54 $\pm$ 2,077*	79,8 $\pm$ 1,999	11,60 $\pm$ 1,821*	4,78 $\pm$ 1,030*	0,23 $\pm$ 0,020*
Grit	0,15 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	9,69 $\pm$ 1,809 <sup>ab</sup>	90,0 $\pm$ 2,981 <sup>ab</sup>	11,18 $\pm$ 1,91 <sup>ab</sup>	3,48 $\pm$ 0,715 <sup>ab</sup>	0,26 $\pm$ 0,013 <sup>abc</sup>
ant26.483	0,20 $\pm$ 0,058 <sup>a</sup>	10,78 $\pm$ 1,581 <sup>ab</sup>	95,17 $\pm$ 1,632 <sup>ab</sup>	11,92 $\pm$ 2,234 <sup>ab</sup>	3,88 $\pm$ 0,535 <sup>ab</sup>	0,26 $\pm$ 0,011 <sup>a</sup>
ant26.485	0,16 $\pm$ 0,016 <sup>a</sup>	8,39 $\pm$ 0,936 <sup>a</sup>	92,58 $\pm$ 0,609 <sup>a</sup>	13,33 $\pm$ 1,597 <sup>a</sup>	3,29 $\pm$ 0,398 <sup>a</sup>	0,28 $\pm$ 0,005 <sup>ac</sup>
ant26.486	0,24 $\pm$ 0,029 <sup>b</sup>	12,60 $\pm$ 1,421 <sup>b</sup>	96,08 $\pm$ 1,730 <sup>b</sup>	14,92 $\pm$ 2,608 <sup>ab</sup>	4,94 $\pm$ 0,559 <sup>b</sup>	0,28 $\pm$ 0,008 <sup>abc</sup>
ant26.2002	0,18 $\pm$ 0,030 <sup>ab</sup>	10,10 $\pm$ 1,142 <sup>ab</sup>	96,46 $\pm$ 2,625 <sup>b</sup>	11,62 $\pm$ 1,457 <sup>ab</sup>	4,10 $\pm$ 0,418 <sup>b</sup>	0,29 $\pm$ 0,006 <sup>b</sup>
ant26.2004	0,14 $\pm$ 0,016 <sup>a</sup>	9,31 $\pm$ 0,849 <sup>a</sup>	96,15 $\pm$ 0,854 <sup>b</sup>	9,46 $\pm$ 1,185 <sup>b</sup>	3,77 $\pm$ 0,311 <sup>ab</sup>	0,29 $\pm$ 0,006 <sup>bc</sup>
Zenit	0,42 $\pm$ 0,061	27,66 $\pm$ 2,894	111,68 $\pm$ 0,867	26,52 $\pm$ 3,664	8,09 $\pm$ 0,874	0,22 $\pm$ 0,008
ant27.488	0,19 $\pm$ 0,037 <sup>@</sup>	10,9 $\pm$ 1,893 <sup>@</sup>	90,68 $\pm$ 1,014 <sup>@</sup>	14,77 $\pm$ 2,464 <sup>@</sup>	2,16 $\pm$ 0,671 <sup>@</sup>	0,13 $\pm$ 0,017 <sup>@</sup>
Arena	0,23 $\pm$ 0,050	18,38 $\pm$ 2,624	100,37 $\pm$ 1,122	20,21 $\pm$ 2,353	6,74 $\pm$ 1,171	0,26 $\pm$ 0,005
ant27.2043	0,26 $\pm$ 0,032	16,53 $\pm$ 1,694	85,0 $\pm$ 4,072 <sup>#</sup>	24,14 $\pm$ 2,153	3,95 $\pm$ 0,482 <sup>#</sup>	0,18 $\pm$ 0,008 <sup>#</sup>

Примечание: \* – достоверные различия между сортом 'Secobra 18193' и мутантом *ant25.264*; <sup>abc</sup> – одинаковыми надстрочными буквами отмечены образцы из группы мутантов по локусу *Ant26*, достоверно не отличающиеся друг от друга, разными – образцы, между которыми были выявлены достоверные отличия; <sup>@</sup> – достоверные различия между сортом 'Zenit' и мутантом *ant27.488*; <sup>#</sup> – достоверные различия между сортом 'Arena' и мутантом *ant27.2043*

Note: \* – significant differences between cv. 'Secobra18193' and the *ant25.264* mutant; <sup>abc</sup> – identical superscript letters indicate the samples from the group of *Ant26* mutants that are not significantly different from each other, while different letters indicate the samples with significant differences identified between them; <sup>@</sup> – significant differences between cv. 'Zenit' and the *ant27.488* mutant; <sup>#</sup> – significant differences between cv. 'Arena' and the *ant27.2043* mutant

### Обсуждение

Как показало проведенное исследование, мутации в локусах *Ant25* и *Ant27* не только приводят к отсутствию ПА в зерне, но также негативно влияют на показатели роста растений, в отличие от мутаций в локусе *Ant26*, которые не влияют на рост и развитие растений.

В ранее проведенных исследованиях также наблюдали негативное влияние мутаций в генах синтеза флавоноидов на рост и развитие растений (Von Wettstein et al., 1977; Von Wettstein, 2007). Однако молекулярные механизмы, обуславливающие снижение ростовых параметров у мутантов по разным *Ant*-локусам, различны. Как известно, синтез флавоноидов контролируется у растений структурными генами, кодирующими ферменты метаболического пути, и регуляторными генами, регулирующими экспрессию структурных генов (Adzhieva et al., 2015). Если мутации, обуславливающие нарушение синтеза флавоноидов, произошли в структурном гене, то путь биосинтеза прерывается на веществе, являющемся субстратом фермента, кодируемого этим геном. Биохимический анализ таких мутантов позволил выявить нарушения в ферментативной активности и определить таким образом молекулярные функции *Ant*-локусов.

Так, повышенное накопление дигидрокверцетина у мутантов по локусу *Ant18* позволило установить, что

данный локус кодирует дигидрофлавонол-4-редуктазу (DFR), катализирующую реакцию восстановления дигидрофлавонолов до соответствующих флаван-3,4-диолов (Kristiansen, 1984). Накопление у мутантов по локусам *Ant17* и *Ant22* нехарактерных для ячменя дикого типа производных трицина и хризозериола (Nakano et al., 2011), а у мутантов по локусу *Ant30* – изосалипурпозиды (Reuber et al., 1997) свидетельствует о прерывании пути биосинтеза в первом случае на нарингенине, а во втором – 4,2',4',6'-тетрагидроксихалконе. Перечисленные вещества являются субстратами флаванон-3-гидроксилазы (F3H) и халконфлаванонизомеразы (CHI), которые кодируются указанными локусами (Druka et al., 2003; Himi, Takeda, 2015).

Как видно из приведенных примеров, несмотря на то что все мутанты по локусам *Ant* характеризуются отсутствием конечных продуктов биосинтеза – ПА и/или антоцианов, они имеют различные профили флавоноидных соединений, при этом образуемые у мутантов в избыточном количестве промежуточные либо нехарактерные для дикого типа соединения обладают разной биологической активностью. Так, при изучении устойчивости мутантов *ant13.152*, *ant17.148*, *ant18.159*, *ant22.1508*, *ant25.264*, *ant26.485*, *ant27.489*, *ant28.484* и *ant29.2110* к грибам из рода *Fusarium* было установлено токсическое действие на данные патогены дигидрокверцетина, на-

капливаемого в избытке в зерне мутанта по локусу *Ant18* (Skadhauge et al., 1997).

Мутации в регуляторных генах приводят к отсутствию или снижению содержания флавоноидных соединений, включая антоцианы, ПА и их предшественников, что обуславливает пониженную адаптацию растений. К примеру, мутации в локусе *Ant13*, кодирующем регуляторный белок WD40, который совместно с транскрипционными факторами bHLH и R2R3-MYB активирует транскрипцию структурных генов биосинтеза флавоноидов, помимо отмеченной выше неустойчивости к фузариозу, обуславливали пониженную скорость роста корней и листьев у растений (Shoeva et al., 2023). Беспроантоцианидиновые селекционные линии, полученные на основе мутанта *ant13*, характеризовались пониженной на 20–25% урожайностью по сравнению с родительским сортом 'Foma' (Von Wettstein et al., 1977; Von Wettstein, 2007).

Снижение ростовых параметров у мутантов может происходить не только из-за уменьшения концентрации флавоноидных соединений, но и по причине нарушений в других физиологических процессах, в контроле которых участвуют мутированные гены. Так, показано, что ген *TTG1* арабидопсиса, кодирующий WD40, помимо регуляции синтеза флавоноидов, также участвует в регуляции образования трихом и корневых волосков (Walker et al., 1999; Ramsay, Glover, 2005). Кроме этого, ухудшение роста и развития мутантных растений по сравнению с родительскими образцами может быть связано с мутациями в генах, не связанных с синтезом ПА. По оценкам, частота возникновения мутаций в геноме ячменя при использовании азида натрия достигает 1/374 тпн, что составляет 15 тысяч мутаций на геном (Talamè et al., 2008).

Наблюдаемое снижение параметров роста у мутанта *ant25.264* по сравнению с сортом 'Secobra18193' предполагает, что кодируемый локусом *Ant25* белок является регуляторным и, помимо участия в образовании ПА, также контролирует развитие растений. Ранее регуляторную функцию данного локуса в синтезе ПА также предполагали на основе биохимического анализа, который выявил снижение содержания катехина и ПА в зерне и ферментативной активности DFR и лейкоантоцианидинредуктазы (LCR), полностью отсутствовавшей у мутантов (Jende-Strid, 1993). Полученные в ходе проведенного исследования данные указывают, что мутация в локусе *Ant25* может иметь плеiotропное влияние на развитие растений, однако нельзя исключать, что причинами наблюдаемого угнетения роста могут быть мутации в других генах, не связанных с синтезом ПА. Анализ роста и развития дополнительных независимых мутантов по данному локусу позволит уточнить его влияние на развитие растений.

По локусу *Ant27* в работе были проанализированы два мутанта. Оба имели пониженные показатели длины главного побега, массы зерен с растения и индекса урожая по сравнению с их исходными сортами, тогда как другие параметры были снижены у мутанта *ant27.488* и не отличались от исходного сорта у мутанта *ant27.2043*. Ранее биохимический анализ выявил следовое количество катехинов и отсутствие ПА в зерне мутантов по локусу *Ant27*, а также сниженную ферментативную активность DFR и LCR, на основании чего было сделано предположение, что данный локус является регуляторным (Jende-Strid, 1993). Поскольку снижение показателей роста было отмечено у двух независимо полученных мутантов, наиболее вероятным является то, что плеи-

тропное влияние на развитие растений имеет локус *Ant27*, а не дополнительные мутации, которые могли произойти в генах, не связанных с синтезом флавоноидов, но участвующих в развитии растений.

По локусу *Ant26* были проанализированы пять независимых мутантов. Как было показано ранее, мутанты по данному локусу синтезируют антоцианы, катехины и имеют ферментативную активность DFR и LCR, сходную с диким типом, однако у них отсутствуют ПА в зерне. На этом основании сделали предположение, что локус *Ant26* кодирует фермент, катализирующий полимеризацию катехинов в ПА (Jende-Strid, 1993). Ни у одного из проанализированных в данном исследовании мутантов не наблюдалось снижения ростовых параметров по сравнению с родительским сортом 'Grit'. Из этого следует, что мутация, скорее всего, действительно затронула фермент, катализирующий заключительные этапы синтеза ПА, либо ген, кодирующий регуляторный фактор, контролирующий его экспрессию, но при этом не оказывающий плеiotропного влияния на развитие растений. Другие мутации, которые могли бы появиться под действием мутагена, либо отсутствуют, либо являются нейтральными.

## Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено различное влияние мутаций в локусах *Ant25*, *Ant26*, *Ant27* на рост и развитие растений. Отсутствие негативного влияния мутаций в локусе *Ant26* на развитие растений делает мутанты по данному локусу перспективными донорами для селекции высокоурожайных беспроантоцианидиновых сортов ячменя. Кроме этого, полученные данные позволили сделать предположения о молекулярных функциях анализируемых локусов, ценные для дальнейшей верификации генов-кандидатов для данных локусов.

## References / Литература

- Abeynayake S.W., Panter S., Mouradov A., Spangenberg G. A high-resolution method for the localization of proanthocyanidins in plant tissues. *Plant Methods*. 2011;7(1):13. DOI: 10.1186/1746-4811-7-13
- Adzhieva V.F., Babak O.G., Shoeva O.Y., Kilchevsky A.V., Khlestkina E.K. Molecular-genetic mechanisms underlying fruit and seed coloration in plants. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(5):561-573. [in Russian] (Аджиева В.Ф., Бабак О.Г., Шоева О.Ю., Кильчевский А.В., Хлесткина Е.К. Молекулярно-генетические механизмы формирования окраски плодов и семян растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(5):561-573). DOI: 10.18699/VJ15.073
- Druka A., Kudrna D., Rostoks N., Brueggeman R., von Wettstein D., Kleinhofs A. Chalcone isomerase gene from rice (*Oryza sativa*) and barley (*Hordeum vulgare*): physical, genetic and mutation mapping. *Gene*. 2003;302(1-2):171-178. DOI: 10.1016/S0378-1119(02)01105-8
- Hay R.K.M. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*. 1995;126(1):197-216. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1995.tb05015.x
- Himi E., Taketa S. Barley *Ant17*, encoding flavanone 3-hydroxylase (F3H), is a promising target locus for attaining anthocyanin/proanthocyanidin-free plants without pleiotropic reduction of grain dormancy. *Genome*. 2015;58(1):43-53. DOI: 10.1139/gen-2014-0189

- Himi E., Yamashita Y., Haruyama N., Yanagisawa T., Mae-kawa M., Taketa S. *Ant28* gene for proanthocyanidin synthesis encoding the R2R3 MYB domain protein (*Hvmyb10*) highly affects grain dormancy in barley. *Euphytica*. 2012;188(1):141-151. DOI: 10.1007/s10681-011-0552-5
- Huang Q., Liu X., Zhao G., Hu T., Wang Y. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*. 2018;4(2):137-150. DOI: 10.1016/j.aninu.2017.09.004
- Jende-Strid B. Genetic control of flavonoid biosynthesis in barley. *Hereditas*. 1993;119(2):187-204. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1993.00187.x
- Kristiansen K.N. Biosynthesis of proanthocyanidins in barley: Genetic control of the conversion of dihydroquercetin to catechin and procyanidins. *Carlsberg Research Communications*. 1984;49:503. DOI: 10.1007/BF02907552
- Kumar K., Sinha R.R.K., Kumar S., Nirala R.K., Kumari S., Sahu S.P. Significance of tannins as an alternative to antibiotic growth promoters in poultry production. *The Pharma Innovation Journal*. 2022;11(11):1435-1440.
- Lam L.P.Y., Wang L., Lui A., Liu H., Umezawa T., Tobimatsu Y. et al. Flavonoids in major cereal grasses: distribution, functions, biosynthesis, and applications. *Phytochemistry Reviews*. 2023;22(5):1399-1438. DOI: 10.1007/s11101-023-09873-0
- Lee M.J., Kim Y.K., Kim K.H., Seo W.D., Kang H.J., Park J.C. et al. Quality characteristics and development of naked waxy barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar "Yeongbaekchal" without discoloration of cooked barley. *Korean Journal of Breeding Science*. 2016;48(4):529-534. DOI: 10.9787/KJBS.2016.48.4.529
- 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 sokhraneniyyu 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).
- Lundqvist U. Scandinavian mutation research in barley – a historical review. *Hereditas*. 2014;151(6):123-131. DOI: 10.1111/hrd2.00077
- Nakano H., Kawada N., Yoshida M., Ono H., Iwaura R., Tonooka T. Isolation and identification of flavonoids accumulated in proanthocyanidin-free barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(17):9581-9587. DOI: 10.1021/jf2019819
- Nyamambi B., Ndlovu L.R., Read J.S., Reed J.D. The effects of sorghum proanthocyanidins on digestive enzyme activity *in vitro* and in the digestive tract of chicken. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000;80(15):2223-2231. DOI: 10.1002/1097-0010(200012)80:15<2223::AID-JSFA768>3.0.CO;2-I
- Ramsay N.A., Glover B.J. MYB-bHLH-WD40 protein complex and the evolution of cellular diversity. *Trends in plant Science*. 2005;10(2):63-70. DOI: 10.1016/j.tplants.2004.12.011
- Reuber S., Jende-Strid B., Wray V., Weissenböck G. Accumulation of the chalcone isosalipurposide in primary leaves of barley flavonoid mutants indicates a defective chalcone isomerase *Physiolgia Plantarum*. 1997;101(4):827-832. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb01070.x
- Talamè V., Bovina R., Sanguineti M.C. Tuberosa R., Lundqvist U., Salvi S. TILLMore, a resource for the discovery of chemically induced mutants in barley. *Plant Biotechnology Journal*. 2008;6(5):477-485. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2008.00341.x
- Shoeva O.Yu. The world experience of malting barley cultivars breeding based on proanthocyanidin-free mutants. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(1):23-33. [in Russian] (Шоева О.Ю. Мировой опыт создания пивоваренных сортов ячменя на основе беспроантоцианидиновых мутантов. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(1):23-33). DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-04
- Shoeva O.Yu., Mukhanova M.A., Zakhrabekova S., Hansson M. *Ant13* encodes regulatory factor WD40 controlling anthocyanin and proanthocyanidin synthesis in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023;71(18): 6967-6977. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c09051
- Skadhauge B., Thomsen K.K., Von Wettstein D. The role of the barley testa layer and its flavonoid content in resistance to *Fusarium* infections. *Hereditas*. 1997;126(2):147-160. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1997.00147.x
- Tonooka T., Kawada N., Yoshida M., Yoshioka T., Oda S., Hatta K. et al. Breeding of a new food barley cultivar "Shiratae Nijo" exhibiting no after-cooking discoloration. *Breeding Science*. 2010;60(2):172-176. DOI: 10.1270/jsbbs.60.172
- Von Wettstein D. From analysis of mutants to genetic engineering. *Annual Review of Plant Biology*. 2007;58:1-19. DOI: 10.1146/annurev.arplant.58.032806.104003
- Von Wettstein D., Jende-Strid B., Ahrenst-Larsen B., Sorensen J.A. Biochemical mutant in barley renders chemical stabilization of beer superfluous. *Carlsberg Research Communications*. 1977;42:341-351. DOI: 10.1007/BF02906119
- Walker A.R., Davison P.A., Bolognesi-Winfield A.C., James C.M., Srinivasan N., Blundell T.L. et al. The TRANSPARENT TESTA GLABRA1 locus, which regulates trichome differentiation and anthocyanin biosynthesis in Arabidopsis, encodes a WD40 repeat protein. *The Plant Cell*. 1999;11(7):1337-1349. DOI: 10.1105/tpc.11.7.1337
- Xie P., Shi J., Tang S., Chen C., Khan A., Zhang F. et al. Control of bird feeding behavior by Tannin1 through modulating the biosynthesis of polyphenols and fatty acid-derived volatiles in sorghum. *Molecular Plant*. 2019;12(10):1315-1324. DOI: 10.1016/j.molp.2019.08.004
- Yanagisawa T., Nagamine T., Takahashi A., Takayama T., Doi Y., Matsunaka H. et al. Breeding of Kirari-mochi: A new two-rowed waxy hull-less barley cultivar with superior quality characteristics. *Breeding Science*. 2011;61(3):307-310. DOI: 10.1270/jsbbs.61.307
- Yu D., Huang T., Tian B., Zhan J. Advances in biosynthesis and biological functions of proanthocyanidins in horticultural plants. *Foods*. 2020;9(12):1774. DOI: 10.3390/foods9121774

### Информация об авторах

**Игорь Васильевич Тоцкий**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, totskey@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5565-9097>

**Ли Жуйсюань**, студент магистратуры, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, z.li2@g.nsu.ru

**Олеся Юрьевна Шоева**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, старший преподаватель, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, olesya\_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

#### *Information about the authors*

**Igor V. Totsky**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090 Russia, [totsky@g.nsu.ru](mailto:totsky@g.nsu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5565-9097>

**Li Ruixuan**, M. Sc. student, Novosibirsk State University, 1 Pirogova St., Novosibirsk 630090, Russia, [z.li2@g.nsu.ru](mailto:z.li2@g.nsu.ru)

**Olesya Yu. Shoeva**, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090 Russia, Senior Lecturer, Novosibirsk State University, 1 Pirogova St., Novosibirsk 630090, Russia, [olesya\\_ter@bionet.nsc.ru](mailto:olesya_ter@bionet.nsc.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

**Вклад авторов:** Тоцкий И. В. – измерения морфометрических параметров растений ячменя; анализ полученных данных; подготовка черновика рукописи. Ли Ж. – участие в измерении морфометрических параметров растений ячменя. Шоева О. Ю. – инициация исследования; общее руководство работой; оценка фенотипа растений; редактирование чернового варианта рукописи.

**Contribution of the authors:** Totsky I. V. – measurement of morphometric parameters of barley plants; data analysis; preparation of the draft manuscript. Li R. – participation in the measurement of morphometric parameters of barley plants. Shoeva O. Yu. – initiation of the study; general supervision of the work; assessment of the plant phenotype; revision of the draft manuscript.

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

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

Статья поступила в редакцию 27.02.2024; одобрена после рецензирования 06.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 27.02.2024; approved after reviewing on 06.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 581.412

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-147-156



## Побеговые комплексы верхушечной части кроны генеративных деревьев *Fraxinus excelsior* L.

И. С. Антонова, М. С. Телевинова

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Сергеевна Антонова, [ulmaceae@mail.ru](mailto:ulmaceae@mail.ru)

**Актуальность.** *Fraxinus excelsior* L. – распространенный лесообразователь Среднерусской возвышенности, выращиваемый для получения ценной древесины и широко используемый в озеленении. Массовая гибель вида под действием грибов и насекомых определяет актуальность его подробных исследований. Особенности развития кроновой системы дерева играют важнейшую роль в его существовании как в плотном сообществе, так и при открытом произрастании.

**Материалы и методы.** На материале побегов и крупных ветвей верхушечной части кроны, собранном в течение десяти лет в Белгородской и Ленинградской областях, исследовались длины междоузлий и побегов, количество листьев, количество разветвлений (с учетом их положения), особенности разворачивания побегов от почки до зрелого состояния. Изучение верхушек деревьев проведено при помощи беспилотного летательного аппарата. Комплексы крупных ветвей периферии крон разных возрастных состояний (g1, g2, g3) исследованы как прямым измерением, так и с помощью фотографий. Для оценки влияния температурного фактора на длины и количество листьев проведен двухфакторный дисперсионный анализ.

**Результаты.** Длины побегов *F. excelsior* значимо меньше при высоких среднедекадных температурах второй декады июня. Количество листьев на них значимо больше при высоких температурах второй декады мая. Шести-восьмиллистные побеги составляют восходящую часть кривой последовательности длин междоузлий максимально развитых побегов. В онтогенетических состояниях g1 и g2 поверхность кронового комплекса представлена округлыми частями крупных ветвей. В состоянии g3 они распадаются на комплексы слабо ветвящихся мелких шарообразных структур. Верхушечные ветви зонтиковидной кроны генеративного ясеня представляют собой обратноконусовидные побеговые комплексы со сходным характером развития.

**Заключение.** Строение и развитие ветвей *F. excelsior* характеризует экологические особенности вида, что проявляется в отсутствии явных порядков ветвления и сочетается с обратноконусовидной формой крупной ветви.

**Ключевые слова:** структура кроны, форма кроны, побеговая система, побег, ветвь, температура, *Fraxinus excelsior* L.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках гранта РФФИ, проект № 16-04-01617.

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

**Для цитирования:** Антонова И.С., Телевинова М.С. Побеговые комплексы верхушечной части кроны генеративных деревьев *Fraxinus excelsior* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):147-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-147-156

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-147-156

### Shoot complexes on the apical part of the crown of generative *Fraxinus excelsior* L. trees

Irina S. Antonova, Maria S. Televinova

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Irina S. Antonova, [ulmaceae@mail.ru](mailto:ulmaceae@mail.ru)

**Background.** *Fraxinus excelsior* L. is a common forest species in the Central Russian Upland, used to produce valuable lumber and for landscaping. Mass mortality of this species due to fungi and insects determines the relevance of its detailed research. Tree crown development features play an important role in the tree's life in both dense communities and open spaces.

**Materials and methods.** Shoots and large branches were collected from the apical part of the crown for ten years in Belgorod and Leningrad Provinces. The lengths of internodes and shoots, the numbers of leaves and branchings, and shoot development patterns were analyzed. An unmanned aerial vehicle was employed to examine the treetops. The complexes of large branches on the crown periphery in different age states (g1, g2, and g3) were studied both by direct measurement and using photographs. The effect of temperatures on the length and number of leaves was assessed with a two-way analysis of variance (ANOVA).

**Results.** Shoots of *F. excelsior* are significantly shorter at high mean temperatures in the second ten-day period of June. The number of leaves on them is significantly greater at high temperatures in the second ten-day period of May. Six-to-eight-leafed shoots make up the ascending part on the curve of the sequence of internode lengths for the most developed shoots. In ontogenetic states g1 and g2, the crown surface is represented by sections of large branches. In the g3 state, they break up into complexes of small weakly branching spherical structures. The apical branches of the umbrella-shaped crown of generative ash trees are inverted cone-shaped shoot complexes with a similar development pattern.

**Conclusion.** The structure and development of *F. excelsior* branches characterizes the ecological features of the species, manifested through the absence of obvious branching orders and combined with the inverted conical shape of large branches.

**Keywords:** crown structure, crown shape, shoot system, shoot, branch, temperature, *Fraxinus excelsior* L.

**Acknowledgements:** the study was performed within the framework of a grant from the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 16-04-01617.

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

**For citation:** Antonova I.S., Televinova M.S. Shoot complexes on the apical part of the crown of generative *Fraxinus excelsior* L. trees. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):147-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-147-156

## Введение

Строение кроны определяет успешность существования особи в лесном сообществе, в плантационном насаждении и в городском озеленении. Очевидна актуальность вопросов вклада биомассы дерева в биогеохимический круговорот экосистем, особенно с учетом климатических изменений (Wenyan et al., 2022). Постоянно расширяются возможности математического аппарата и инструментальной базы, позволяющие анализировать процессы развития кроны. Для идентификации отдельных крон деревьев первого яруса в сомкнутом древостое по фотографиям, полученным при помощи беспилотного летательного аппарата, в настоящее время используются методы глубокого машинного обучения (Gan et al., 2023). Разрабатываются способы оценки состава древесных видов нижних ярусов путем обработки данных лазерного сканирования крон (Huo et al., 2022). Анализ точности метода наземного лазерного сканирования при 3D-моделировании кроны *Fraxinus excelsior* L. показал значительное количество ошибок при автоматическом подходе определения характеристик побегов малого диаметра, которые составляют основной объем кроны (Demol et al., 2022). В недавнем исследовании влияния густоты древостоя на структуру кроны сопоставляются характеристики древостоя и условия окружающей среды, что приводит авторов к мысли о различных стратегиях роста деревьев в зависимости от условий (Li et al., 2022).

При всем многообразии и несомненной пользе современных методов исследования крон зачастую остаются нерешенными вопросы длительных прогнозов развития особи. Это нередко отмечают сами авторы, предлагая читателям результаты исследований для дальнейшей доработки и уточнения используемых параметров (Crimaldi et al., 2023).

Морфологический подход, широко развитый в советской ботанике, дает возможность рассматривать крону древесного растения с учетом процессов, происходящих не только в пространстве, но и во времени онтогенеза (Zaugolnova, 1968). Индуктивный и дедуктивный подходы дополняют друг друга в процессе научного познания. С этой позиции к строению кроны дерева можно подходить как к реализации программы развития иерархически организованной системы модульных единиц (Antonova, Fatianova, 2016).

Ясень высокий (*F. excelsior*) – одноствольное дерево первого яруса, крона которого в генеративном возрастном состоянии вследствие светолюбия высоко поднята (Smirnova, 2004). Средняя продолжительность жизни ясеня достигает 200–300 лет, что характеризует его как быстрорастущий древесный вид с относительно коротким жизненным циклом. Вид имеет важнейшее значение для биоразнообразия естественных сообществ, а также как ценный источник древесины (Dobrowolska et al., 2011).

Ясень широко используется в озеленении на разных континентах. Однако в настоящее время в Канаде, США и Европе насаждения и естественные сообщества ясеня находятся под угрозой исчезновения. Сокращение ясеневых насаждений, выраженное в Европе, в настоящее время наблюдается и на территории России. Деревья гибнут от комплекса грибковых заболеваний и от инвазионного вредителя – изумрудной узкотелой ясеневой златки (Herms, McCullough, 2014; Coker et al., 2019). Комплекс заболеваний проявляется в прогрессирующем изрежива-

нии кроны, а также в повреждении корней, вызванном вторичными грибными инфекциями.

За рубежом активно исследуются различные методы сохранения и восстановления ясеневых насаждений. Рассматриваются генетические, морфологические и анатомические особенности устойчивых особей (Mosaffaei, Jahani, 2021; Doonan et al., 2023).

Уточнение данных о строении кронового комплекса ясеня высокого является в настоящее время актуальной задачей.

Цель данной работы – исследовать особенности строения кроны *Fraxinus excelsior* L. на основе представлений о ее иерархической пространственно-временной организации.

## Материалы и методы

Основной материал собрали в 2007–2017 гг. в Белгородской области на территории заповедника «Белогорье» в естественном дубово-ясеновом лесу и на его опушке, выходящей в заброшенный яблоневый сад. С помощью беспилотного летательного аппарата DJI Spark исследована поверхность леса в районе стационарной пробной площади, заложенной в 1970–1980-х годах Ю. Н. Нешатаевым (Neshataev, 1986), и на прилежащих к ней участках. Изучена поверхность крон деревьев иматурного (im), виргинильного (v), раннего генеративного (g1), среднего генеративного (g2) и позднего генеративного (g3) онтогенетических состояний. Профиль и поверхность крон фиксировали также с земли с помощью фотоаппарата Pentax K-70 (объектив 4.5-6.3/55-300). Повторность особей каждого онтогенетического состояния составила не менее 10, а для ранних возрастных состояний – более 20. Крона естественно выпавшего из-за ветровала дерева предоставила возможность провести измерения ветвей, осей и побегов, а также расстояний между ними для неповрежденной части верхних ветвей. Выборка побегов дистальной олистивной части кроны составила 170 штук. Для побегов измерены длины междоузлий и длина побега, количество листьев, количество ветвлений. Для ветвей – количество разветвлений и расстояние между ними. Молодые особи онтогенетических состояний im и v измерены по всей протяженности надземной части по тем же показателям.

Для сравнения с полученными в Белгородской области результатами в 2023 г. на территории старовозрастного парка на Крестовском острове Санкт-Петербурга изучены ветви деревьев в онтогенетическом состоянии g2 (6 штук) и на южном берегу Финского залива в 6 километрах от Петергофа в парке «Сергиево». Здесь рассмотрены три дерева в онтогенетическом состоянии g3, одно в g2 и одно в g1. Для этих растений также были получены профильные изображения при помощи фотоаппарата Pentax K-70 (объектив 4.5-6.3/55-300).

Для особей g1 исследовано разворачивание почек. Изучены листья и междоузлия шести- и восьмилистных побегов от разворачивания почек до достижения окончательного размера органа. От первой декады мая до первой декады июля включительно с двухдневным интервалом проведено измерение длин междоузлий и листьев.

Онтогенетическое состояние особей определено на основе описаний Л. Б. Заугольной, приведенных для ясеня (Zaugolnova, 1968), и с учетом классификации «Диагнозы и ключи возрастных состояний» (Chistyakova et al., 1989). Полученные фотографии крон в безлистном

состоянии обрабатывались в программе ImageJ, отмечались места всех разветвлений скелетных осей, их расположение относительно друг друга.

Все исследованные растения не обнаружили суховершинности и других признаков заболеваний.

По открытым данным метеостанции г. Белгорода рассчитаны среднедекадные, среднемесячные и среднегодовые температуры за десять лет. Проведены расчеты влияния этих показателей на количество листьев и длину развивающихся побегов. Значимые результаты получены с использованием среднедекадных температур.

Двухфакторный дисперсионный анализ (two-way ANOVA) был применен для оценки и сравнения влияния факторов среднедекадных температур по двум градациям и их взаимодействия. В качестве откликов использовались длина и количество листьев побегов разных лет. Для проверки однородности дисперсии и нормальности распределения применялись тесты Левена и Колмогорова-Смирнова. Использован пакет компьютерных программ STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc.).

### Результаты

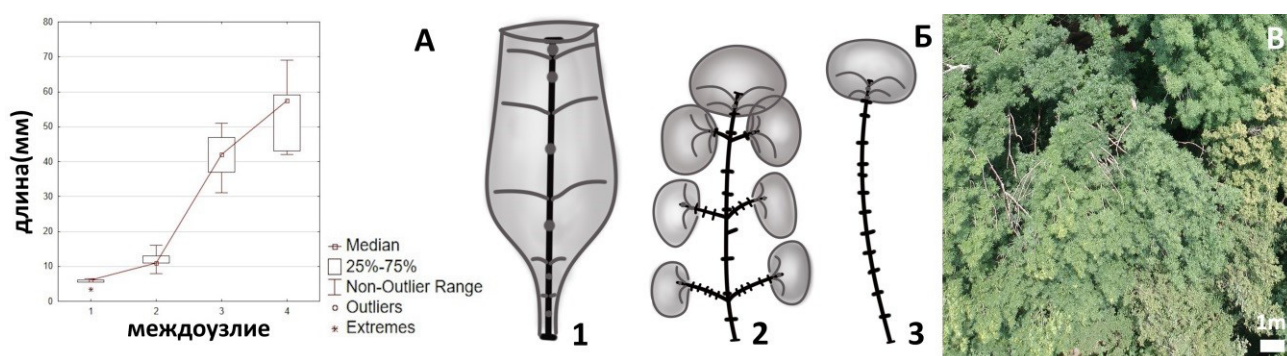
Общие особенности формы кроны ясеня в разных онтогенетических состояниях описаны Л. Б. Заугольной (Zaugolnova, 1968). В онтогенетических состояниях *im*, *v* и *g1* у растений хорошо выделяется вертикальная ось. Впоследствии она теряется в результате торможения роста ствола и энергичного роста крупных боковых ветвей второго порядка. В состояниях *g2* и *g3* крона имеет зонтиковидные очертания.

Организация кроны ясеня тесно связана с характеристиками биологических особенностей побегов. Побеги характеризуются значительной толщиной и крупными размерами листовых пластинок (Zaugolnova, 1971). Сочетание значительной толщины побега и крупных листьев отражается на пространственной структуре дерева в каждом онтогенетическом состоянии. В онтогенетических состояниях *im*, *v* и *g1* ростовые побеги ясеня несут до 8–10 пар листьев. Распределение длин междоузлий на этих побегах имеет куполообразную форму. Их размеры сильно варьируют, такие побеги составляют

скелетную часть кроны. Наиболее крупные листья они формируют в нижней трети (рис. 1Б, 1). Побеги, несущие 3–4(5) пары листьев, образуют только восходящую часть кривой длин междоузлий (рис. 1А). Они имеют меньшие размеры, которые менее изменчивы относительно размеров скелетных побегов. При этом коэффициент вариации длин таких побегов превышает 40%.

В онтогенетических состояниях *g2* и *g3* дистальная олиственная часть кроны дерева состоит из побегов, длины которых последовательно уменьшаются в составе осей. На таких побегах сближенно расположены по 3–4(5) пары листьев. Ветвятся такие побеги редко. Чаще всего ветвятся десятилистные побеги или наиболее длинные из восьмилистных. Шестилистные побеги не ветвятся. При ветвлении осевых побегов возникают короткие четырех- или шестилистные короткоживущие боковые побеги (продолжительность жизни не более 5 лет). Комплекс таких побегов имеет в очертаниях цилиндрическую форму (рис. 1Б, 2). После отмирания боковых побегов и осей на побеговом комплексе развиваются только верхушечные короткие осевые побеги, сближенные листовые пластинки которых образуют почти шарообразную структуру (рис. 1Б, 3). Между соседними структурами, образованными скоплениями листьев, в этом онтогенетическом состоянии наблюдаются просветы. Комплекс таких структур формирует общий полусферовидный абрис кроны дерева. При переходе к состоянию *g3* количество побеговых комплексов второго типа (рис. 1Б, 3) увеличивается.

Известно, что ясень, как представитель семейства *Oleaceae*, – наиболее теплолюбивый и довольно засухоустойчивый древесный вид Среднерусской возвышенности. По этой причине в качестве возможного внешнего фактора, влияющего на развитие побега, исследовались именно температурные показатели в течение 10 лет. Изучены все побеги ветви дерева онтогенетического состояния *g2*, произраставшего в Белгородской области. Двухфакторный дисперсионный анализ проведен отдельно для длины и количества листьев на побеге. Признаки среднедекадных температур были использованы в виде двух градаций. В I группу признака вошли среднедекадные температуры 10–18°C и 15–19,5°C для мая



**Рис. 1.** Побеги и побеговые комплексы верхней части кроны *Fraxinus excelsior* L.: А – длины междоузлий восьмилистных побегов; Б – олиственные побеги верхней части кроны (схема): 1 – многолиственный скелетный побег дерева в *g1*; 2 – побеги в составе многолетних осей цилиндрического побегового комплекса верхней части кроны дерева *g2*; 3 – побеги в составе многолетней оси побегового комплекса верхней части кроны дерева *g3*;

Б – вид сверху на насаждение *F. excelsior* (*g2*–*g3*)

**Fig. 1.** Shoots and shoot complexes on the upper part of the *Fraxinus excelsior* L. crown: А – lengths of internodes for eight-leafed shoots; Б – leafy shoots on the upper part of the crown (diagram): 1 – a multi-leafed skeletal shoot of a *g1* tree; 2 – shoots as part of perennial axes in the cylindrical shoot complex on the upper part of the *g2* tree crown; 3 – shoots as part of the perennial axis in the shoot complex on the upper part of the *g3* tree crown; Б – top view of an *F. excelsior* plantation (*g2*–*g3*)

и июня соответственно. Во II группу признака вошли среднедекадные температуры 18–24°C и 19,5–24°C для мая и июня соответственно. Признаки длины и количества листьев исследовались в логарифмическом масштабе. Проверки на нормальность и гомогенность дисперсии подтвердили правомерность использования метода.

Первоначально в дисперсионном анализе в качестве отклика был выбран признак длины побега. В таблице 1 приведен результат этого анализа, показывающий значимое влияние на длину побега только среднедекадной температуры второй декады июня. Совместное действие факторов не выявлено. При высоких температурах в период с 11 до 20 июня формируются побеги со значительно меньшими длинами.

стовые пластинки, а после, в конце весны и начале лета, постепенно дорастают междоузлия, увеличивая длину побега. В почке ясеня в разной степени заложены все листовые зачатки, разворачивающиеся в этом году. Наибольший вклад в размеры восьмиллистных побегов вносит последнее верхнее междоузлие (см. рис. 1А). Его разворачивание приходится на вторую декаду июня, что показывает значимость этого промежутка времени для общей длины побега. Можно предположить, что недостаток воды при высоких температурах приводит к меньшей длине разворачивающегося побега.

Важно, что листовые пластинки последней пары листьев восьмиллистных побегов по отношению к остальным листьям имеют некоторую паузу (задержку) во вре-

**Таблица 1. Значения F-статистики и статистическая значимость факторов двухфакторного дисперсионного анализа при сравнении длин групп побегов *Fraxinus excelsior* L., сформировавшихся в годы с разными среднедекадными температурами мая и июня (n = 170)**

**Table 1. F-statistics values and statistical significance of the two-way ANOVA factors when comparing the lengths in the groups of *Fraxinus excelsior* L. shoots formed in years with different mean ten-day temperatures in May and June (n = 170)**

Факторы / Factors	F	p
Средняя температура 2-й декады мая / Mean temperature in the 2nd ten-day period of May	F(169,1) = 0,58	0,45
Средняя температура 2-й декады июня / Mean temperature in the 2nd ten-day period of June	<b>F(169,1) = 9,32</b>	<b>0,003</b>
Взаимодействие / Interaction	F(169,1) = 1,99	0,2

Примечание: F – статистика критерия с соответствующими степенями свободы; p – уровень значимости критерия; статистически значимые различия показаны полужирным шрифтом

Note: F – criterion statistics with corresponding degrees of freedom; p – criterion significance level; statistically significant differences are boldfaced

Затем в качестве отклика было использовано количество образующихся на побеге листьев. Значимое влияние в этом случае отмечено для среднедекадной температуры второй декады мая (табл. 2). Совместное действие факторов не выявлено. При высоких температурах в период с 11 по 20 мая формируются побеги с большим количеством листьев.

Полученный результат вполне согласуется с биологическими особенностями ясеня, у которого на ранних этапах вегетационного сезона энергично развиваются ли-

мени разворачивания. У крупных побегов ясеня именно из пазушных почек последней пары листьев образуются наиболее крупные долгоживущие боковые побеги. По Л. Б. Заугольной, в почках ясеня v и g1–g3 заложено не менее пяти пар листовых зачатков (Зауголнова, 1971). Теплые температуры второй декады мая способствуют разворачиванию этих листовых зачатков в настоящие листовые пластинки. При этом ясно, что увеличение общей длины побега оказывается пропорционально как количеству листьев на нем, так и их размерам. Это яв-

**Таблица 2. Значения F-статистики и статистическая значимость факторов двухфакторного дисперсионного анализа при сравнении количества листьев групп побегов *Fraxinus excelsior* L., сформировавшихся в годы с разными среднедекадными температурами мая и июня (n = 170)**

**Table 2. F-statistics values and statistical significance of the two-way ANOVA factors when comparing the number of leaves in the groups of *Fraxinus excelsior* L. shoots formed in years with different mean ten-day temperatures in May and June (n = 170)**

Факторы / Factors	F	p
Средняя температура 2-й декады мая / Mean temperature in the 2nd ten-day period of May	<b>F(169,1) = 7,66</b>	<b>0,006</b>
Средняя температура 2-й декады июня / Mean temperature in the 2nd ten-day period of June	F(169,1) = 2,92	0,09
Взаимодействие / Interaction	F(169,1) = 2,66	0,1

Примечание: F – статистика критерия с соответствующими степенями свободы; p – уровень значимости критерия

Note: F – criterion statistics with corresponding degrees of freedom; p – criterion significance level

ляется основной причиной того, что на более развитые побеги температура и освещение действуют больше, чем на короткие.

В кронах g2 развиваются в основном побеги, имеющие от шести до десяти листьев (3–4(5) пары супротивных листьев). Более крупные побеги с 16(12)–20 листьями чаще присутствуют на стадиях формирования скелета кроны дерева (v, g1) в основании крупных ветвей. У деревьев g2, g3 побеги с 6–8 листьями преобладают в периферической части кроны.

Особенности отдельных ветвей кроны ясеня проявляются в состоянии насаждения, когда дерево выходит в первый ярус. При взгляде сверху на дубово-ясеневый лес (см. рис. 1В) куполообразность отдельных крон ясеня отчетливо видна. В данном сообществе растения находятся в основном в онтогенетическом состоянии g3, о чем свидетельствуют также наличие окон в первом ярусе и стволы упавших деревьев на пробной площади.

Остановимся подробнее на структуре ветвей кроны этого вида. Известно, что внутренняя часть кроны ясеня представлена оголенными скелетными осями с небольшим количеством олиственных побеговых комплексов. Современные технические средства (в виде беспилотного летательного аппарата) позволили рассмотреть формирование поверхности кроны ясеня в разных онтогенетических состояниях на виде сверху. В онтогенетических состояниях im и раннем v верхушка дерева имеет четко выраженный единственный многолистный побег. В v-состоянии центральный побеговый комплекс представлен более мощной частью, возвышающейся над несколькими боковыми скелетными осями, обычно расположенными несимметрично (рис. 2А, а.3). Крупные боковые побеговые комплексы здесь имеют тенденцию к спиральному расположению (рис. 2А, а.1). У растений в онтогенетическом состоянии im два мощных супротивных боковых побега развиты в равной степени.

Дерево в онтогенетическом состоянии g2 имеет на виде сверху отчетливо выраженные комплексы отдельных ветвей (рис. 2Б). Центральный побеговый комплекс входит в общий контур кроны по высоте (рис. 2Б, б.1). Размер этого комплекса у разных деревьев меняется. В целом в этом онтогенетическом состоянии присутствует несколько более или менее равнозначных ветвей, хорошо определяемых на виде сверху (рис. 2Б, б.2). Здесь же видны расположенные ниже по стволу более мелкие ветви прежних онтогенетических состояний (рис. 2Б, б.3). Поверхность каждой из боковых ветвей постепенно разделяется на округлые олиственные комплексы, которые отмечены на рисунке 2 стрелками.

В онтогенетическом состоянии g3 на виде сверху уже не представляется возможным выделить крупные ветви (рис. 2В). Видны отдельные мелкие округлые и цилиндрические структуры, образующие в целом полушаровидное очертание кроны (рис. 2В, в.1; 2В). Важно отметить, что в этом онтогенетическом состоянии сверху просматриваются участки подкронового пространства, что говорит о минимальном количестве листьев и разреженности внутреннего купола кроны. Сформированная крона ясеня несет листья в основном на периферической части, что согласуется с высоким светолюбием, характерным для вида. Это проявляется в необходимом и естественном отмирании побегов и побеговых комплексов разного иерархического уровня.

Лесные и посаженные на плантациях деревья имеют более вытянутую сжатую крону. В густом древостое сохраняется верхняя часть кроны, представляющая со-

бой собрание крупных обратноконусовидных ветвей (рис. 2Б, б.2). У таких деревьев хорошо выражено отмирание боковых ветвей, образовавшихся в предшествующих онтогенетических состояниях (рис. 2Б, б.3). У опушечных и отдельно стоящих деревьев отмирания нижних боковых не происходит, выражены оба типа ветвей.

Для анализа процессов формирования кроны ясеня исследовались крупные обратноконусовидные скелетные ветви деревьев генеративных онтогенетических состояний (рис. 3А). Ветви выбирали случайным образом, стараясь избежать их пересечения с другими ветвями при фотографировании. Учитывалось положение каждого разветвления скелетных побегов. Ветвь делилась на 6 равных частей от нижнего разветвления до верхней границы ветви, затем учитывалось количество разветвлений в каждой части (рис. 3Б).

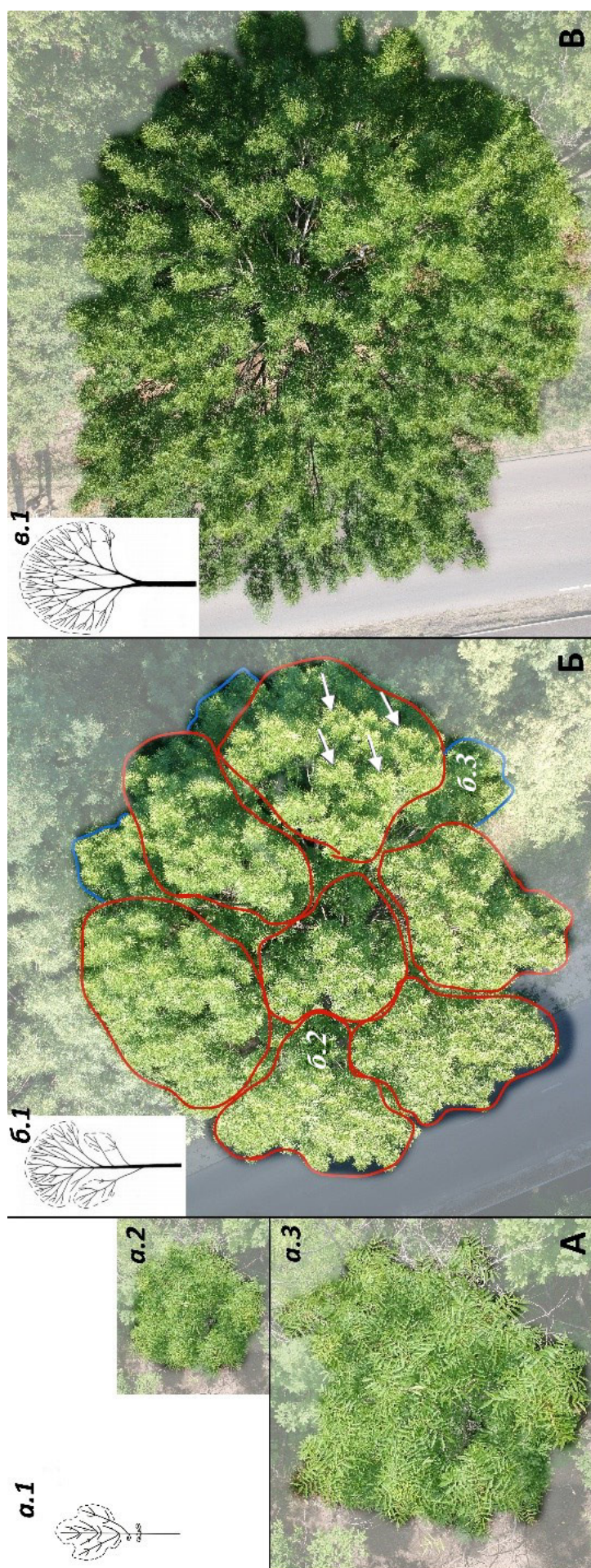
Количество разветвлений центральной верхушечной ветви кроны дерева g1 практически совпадает с таковым для обратноконусовидной ветви дерева g2 (рис. 4А). Важно отметить, что календарный возраст исследуемых ветвей различается. В случае дерева в онтогенетическом состоянии g1 ветвь развивалась в течение восьми лет, а для дерева в g2 – в течение тринадцати лет.

В целях проверки полученного результата на территории Санкт-Петербурга проанализированы еще четыре многолетних ветви деревьев двух разных насаждений. Возраст одного дерева соответствовал онтогенетическому состоянию g2, двух других – g3. Абсолютный возраст ветвей составлял от 16 до 20 лет. Оси каждой из ветвей в верхней части завершались последовательностью из 6–8 неветвящихся побегов. Скелетная часть ветви имела возраст от 10 до 12 лет. На рисунке 4 представлен результат изменения количества разветвлений в составе этих шести ветвей, включены выборки как из Белгородской, так и из Ленинградской области (рис. 4Б).

Таким образом, на стадиях генеративных онтогенетических состояний программа развития скелета обратноконусовидной верхушечной ветви кроны ясеня сходна. Путем подсчета количества разветвлений в пространстве ветви можно визуализировать некоторые особенности протекания этой программы во времени. Мелкие неветвящиеся побеги верхушечной части ветви и короткоживущие, образующиеся в качестве боковых на крупных ростовых побегах, мало влияют на ход развития скелетной части ветви. Такое сходство и однообразный характер развития ветвей связаны с высокой скоростью роста, свойственной в целом кроне ясеня.

## Обсуждение

Надпобеговый уровень структуры дерева привлекал внимание плодородия как наиболее значимый качественный аспект организации кроны, о чем однозначно свидетельствуют работы П. Г. Шитта (Shitt, Metlitsky, 1940). Морфологические характеристики растений в большей степени связаны с наиболее масштабными перестройками онтогенеза и отражают общую программу развития. В настоящее время активно обсуждаются вопросы взаимосвязи популяционной биологии и онтогенетических закономерностей развития в контексте модульной организации растений (Marfenin, 2008; Notov, Zhukova, 2022). Индивидуальное развитие древесного организма происходит, с одной стороны, согласно генетической программе развития, с другой – в условиях меняющейся среды. Для наглядного представления сути



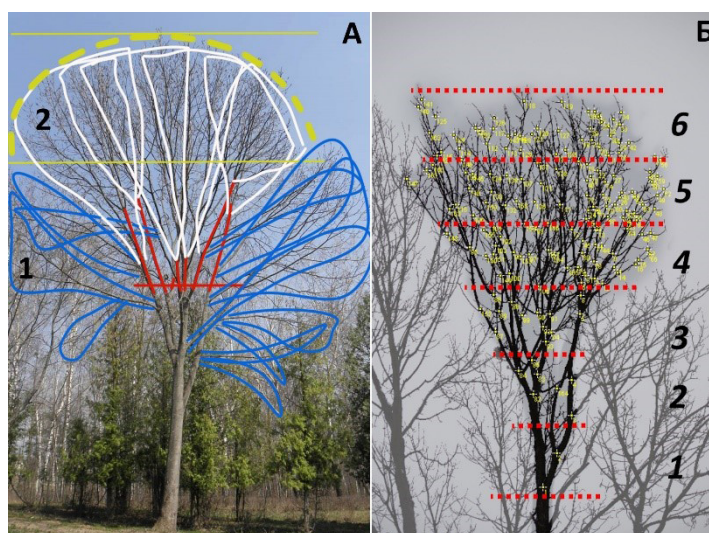
**Рис. 2.** Вид сверху на крону *Fraxinus excelsior* L. в различных онтогенетических состояниях:

**А** – виргинильная (v) крона: **a.1** – профиль кроны (v); **a.2** – вид сверху на олиственную крону дерева в масштабе; **a.3** – увеличение вида кроны сверху;

**Б** – крона g2: **б.1** – профиль кроны g2; **б.2** – побеговые комплексы верхушечных ветвей; **б.3** – нижние ветви кроны, стрелками отмечены отдельные округлые олиственные комплексы; **Б** – крона g3: **г.1** – профиль кроны g3

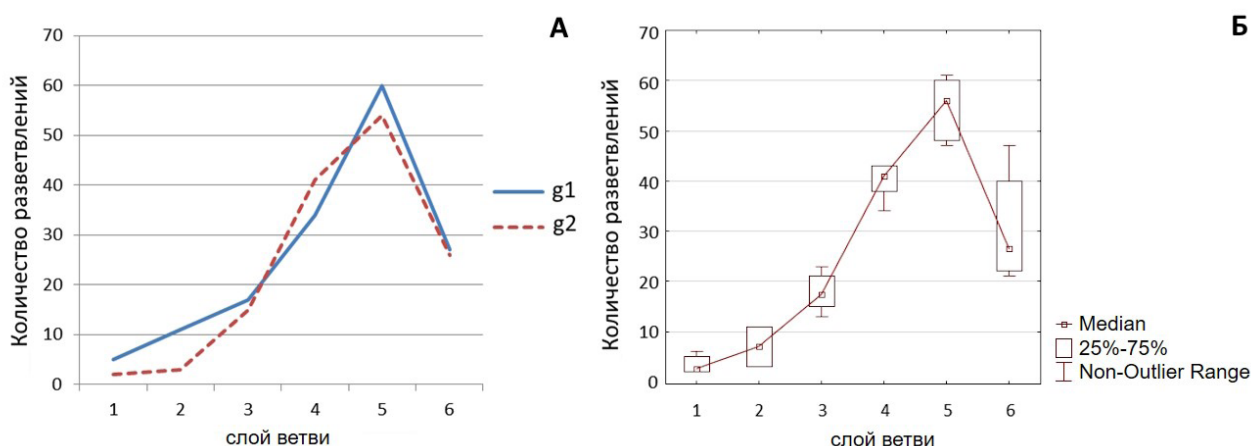
**Fig. 2.** Top view of the *Fraxinus excelsior* L. crown in various ontogenetic states:

**A** – virginal (v) crown: **a.1** – crown profile (v); **a.2** – top view of the leafy crown of a tree adjusted to scale; **a.3** – enlarged view of the crown from above; **Б** – g2 crown: **б.1** – g2 crown profile; **б.2** – shoot complexes of apical branches; **б.3** – lower branches of the crown, arrows mark individual rounded leafy complexes; **Б** – g3 crown: **г.1** – g3 crown profile



**Рис. 3.** Ветви в составе кроны дерева *Fraxinus excelsior* L.: А – крона дерева (g2); 1 – ветви нижней части кроны; 2 – ветви верхней части кроны; Б – разделение обратноконусовидной ветви на равные слои

**Fig. 3.** Branches in the crown of a *Fraxinus excelsior* L. tree: А – tree crown (g2); 1 – branches on the lower part of the crown; 2 – branches on the upper part of the crown; Б – division of an inversed cone-shaped branch into equal layers



**Рис. 4.** Количество разветвлений для ветвей верхней части кроны *Fraxinus excelsior* L.:

А – количество разветвлений для шести выделенных слоев ветви, ветви в g1 и g2 соответственно; Б – медианы и разброс для шести ветвей по слоям

**Fig. 4.** Number of branchings for the branches on the upper part of the crown of *Fraxinus excelsior* L.:

А – number of branches for the selected six layers of the branch, branches in g1 and g2, respectively; Б – medians and scattering for six branches across layers

онтогенетического развития полезно использовать метафору эпигенетического ландшафта, введенную Конрадом Уоддингтоном (Waddington, 1957). Согласно этому воззрению, развитие объекта можно представить как движение шарика сверху вниз по наклонной поверхности. Шарик катится по ложбинкам, олицетворяющим программу развития. В определенных местах пути существуют предусмотренные этой программой точки разветвления, позволяющие сменить траекторию. Таким образом, с одной стороны, цель развития определена конечной формой, с другой – существует «множество» предусмотренных вариантов дифференциации. Если расширить данную метафору и использовать ее для древесного организма в целом, то такой подход хорошо иллюстрирует финальное многообразие крон, даже в пределах вида. «Развилки» онтогенеза, которые предполагают выбор из нескольких возможных путей развития, происходят на

различных уровнях формирования кронового комплекса и возможны в разное время. В соответствии с этим присутствует регуляторная соподчиненность иерархических уровней. Например, ствол дерева определяет появление ветви в конкретном ее проявлении. В то же время в ходе развития ветви в дистальных ее частях формируется «кружево кроны» (мелкие короткоживущие побеги и побеговые комплексы) (Antonova et al., 2012). Размерные характеристики побегов и побеговых систем «кружева» гораздо более жестко определены в качественном и количественном отношении, хотя бы их более мелкими размерами. Пластичность кронового комплекса выражается в возможности внешних условий влиять на выбор той или иной траектории. При этом внешнее воздействие на формирование кронового комплекса на разных этапах онтогенеза будет приводить к различным результатам и, соответственно, различному внешнему

виду дерева. Таким образом, еще раз выявляется значение фактора времени в формировании побегового комплекса кроны дерева.

Форма кроны отражает онтогенетическое состояние дерева, что многократно было показано в работах О. В. Смирновой, ее учеников и последователей (Zaugolnova, 1968; Chistyakova et al., 1989; Smirnova, 2004; Evstigneev, Korotkov, 2016). У модульных организмов, причем у дерева как формы с одревесневающими, а значит фиксированными в определенное время органами, этот путь развития можно проследить, рассматривая структуру ветвей. Морфологическое исследование ветвей позволяет оценить успешность существования дерева в различных экологических условиях (Stamenov, 2023). Детали поливариантности развития онтогенеза дерева выражены в изменениях его формы через развитие структуры. При этом общий канон развития формы кроны для вида, хоть и в широких пределах, успешно сохраняется. Границы варьирования признаков ветвей у разных видов различны, что определяет их способность к выживанию. Сходство структуры более мелких побеговых комплексов выявляется явственнее. У деревьев умеренной зоны, несмотря на большое разнообразие пространственных реализаций длин ростовых побегов и их междоузлий, зависящих от размера листа и общего онтогенетического разнообразия листовых органов, имеется показанное нами ранее сходство основных типов двулентных побеговых систем (Antonova, Fatianova, 2016).

### Заключение

Строение верхушечных ветвей *F. excelsior* в онтогенетических состояниях g2 и g3 сходно. В нижней части ветви присутствуют оголенные крупные малочисленные скелетные побеги, постепенно переходящие в составе осей к более коротким побегам. У ветвей теряется лидирующая ось, в связи с чем порядок ветвления у таких побеговых комплексов в обычном понимании выделить не удастся уже на четвертый год развития. Для модульных организмов открытый рост сочетается с регулярным отчуждением части модулей. У древесных растений это выражается в необходимом и естественном изреживании побеговых комплексов разного иерархического уровня. Листья у *F. excelsior* несут только верхушечные побеги ветвей, образующие периферический слой. Длительность жизни особи ясеня связана с успешностью существования этого слоя в условиях сообщества, где постепенно происходит израстание осей, проявляющееся в смене 8–10-листных побегов на 6–8-листные с чрезвычайно короткими междоузлиями (до 10 мм). Эти особенности определяют постоянство форм ветвей и в конечном итоге кроны ясеня в онтогенетических состояниях g2 и g3, что выделяет его среди других менее светолюбивых широколиственных видов.

### References / Литература

- Antonova I.S., Fatianova E.V. On the system of levels of the crown structure in temperate zone trees. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2016;101(6):628-649. [in Russian] (Антонова И.С., Фатьянова Е.В. О системе уровней строения кроны деревьев умеренной зоны. *Ботанический журнал*. 2016;101(6):628-649). DOI: 10.1134/S000681361606003X
- Antonova I.S., Fatianova E.V., Zaytseva Yu.V., Gnilyovskaya A.A. Multiscale shoot systems of some temperate trees (diversity, classification, terminology) (Multimasshtabnost pobegovykh sistem nekotorykh derevyev umerennoy zony [raznoobrazie, klassifikatsiya, terminologiya]). In: N.P. Savinykh (ed.). *Current Problems of Modern Biomorphology (Aktualnye problemy sovremennoy biomorfologii)*. Kirov: Raduga-PRESS; 2012. p.390-403. [in Russian] (Антонова И.С., Фатьянова Е.В., Зайцева Ю.В., Гниловская А.А. Мультимасштабность побеговых систем некоторых деревьев умеренной зоны (разнообразие, классификация, терминология). В кн.: *Актуальные проблемы современной биоморфологии* / под ред. Н.П. Савиных. Киров: Радуга-ПРЕСС; 2012. С. 390-403).
- Chistyakova A.A., Zaugolnova L.B., Poltinkina I.V. Diagnoses and keys of the age states for forest plants. Trees and shrubs (Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyaniy lesnykh rasteniy. Derevy i kustarniki). Moscow: Prometei; 1989. [in Russian] (Чистякова А.А., Заугольнова Л.Б., Полтинкина И.В. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. Москва: Прометей; 1989).
- Coker T.L.R., Rozsypálek J., Edwards A., Harwood T.P., Butfoy L., Buggs R.J.A. Estimating mortality rates of European ash (*Fraxinus excelsior*) under the ash dieback (*Hymenoscyphus fraxineus*) epidemic. *Plants, People, Planet*. 2019;1(1):48-58. DOI: 10.1002/ppp3.11
- Crimaldi M., Cartenì F., Bonanomi G., Giannino F. Integration of a system dynamics model and 3D tree rendering – VISmaF Part II: Model development, results and potential agronomic applications. *Agronomy*. 2023;13(1):218. DOI: 10.3390/agronomy13010218
- Demol M., Wilkes P., Raunonen P., Krishna Moorthy S.M., Calders K., Gielen B. et al. Volumetric overestimation of small branches in 3D reconstructions of *Fraxinus excelsior*. *Silva Fennica*. 2022;56(1):10550. DOI: 10.14214/sf.10550
- Dobrowolska D., Hein S., Oosterbaan A., Wagner S., Clark J., Skovsgaard J.P. A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2011;84(2):133-148. DOI: 10.1093/forestry/cpr001
- Doonan J.M., Budde K.B., Kosawang C., Lobo A., Verbylaite R., Brealey J.C. et al. Multiple, single trait GWAS and supervised machine learning reveal the genetic architecture of *Fraxinus excelsior* tolerance to ash dieback in Europe. *bioRxiv: The Preprint Server for Biology*. [preprint] 2023. DOI: 10.1101/2023.12.11.570802
- Evstigneev O.I., Korotkov V.N. Ontogenetic stages of trees: an overview. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2016;1(2):1-31. DOI: 10.21685/2500-0578-2016-2-1
- Gan Y., Wang Q., Iio A. Tree crown detection and delineation in a temperate deciduous forest from UAV RGB imagery using deep learning approaches: Effects of spatial resolution and species characteristics. *Remote Sensing*. 2023;15(3):778. DOI: 10.3390/rs15030778
- Herms D.A., McCullough D.G. Emerald ash borer invasion of North America: history, biology, ecology, impacts, and management. *Annual Review of Entomology*. 2014;59:13-30. DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-162051
- Huo L., Lindberg E., Holmgren J. Towards low vegetation identification: A new method for tree crown segmentation from LiDAR data based on a symmetrical structure detection algorithm (SSD). *Remote Sensing of Environment*. 2022;270:112857. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112857
- Li Q., Liu Z., Jin G. Impacts of stand density on tree crown structure and biomass: A global meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022;326:109181. DOI: 10.1016/j.agrfor.2022.109181

- Marfenin N.N. Fundamental laws of modular organization in biology (Fundamentalnye zakonomernosti modulnoy organizatsii v biologii). *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2008;(9):147-161. [in Russian] (Марфенин Н.Н. Фундаментальные закономерности модульной организации в биологии. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: биология и экология*. 2008;(9):147-161).
- Mosaffaei Z., Jahani A. Modeling of ash (*Fraxinus excelsior*) bark thickness in urban forests using artificial neural network (ANN) and regression models. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2021;7(4):1443-1452. DOI: 10.1007/s40808-020-00869-9
- Neshataev Yu.N. Geobotanical characteristics of forest types in the *Les Na Vorskle* Nature Reserve (Geobotanicheskaya kharakteristika tipov lesa zapovednika "Les na Vorskle"). In: Yu.N. Neshataev (ed.). *Comprehensive Studies on Biogeocenoses of Forest-Steppe Oak Forests (Kompleksnye issledovaniya biogeotsenozov lesostepnykh dubrav)*. Leningrad; 1986. p.32-43. [in Russian] (Нешатаев Ю.Н. Геоботаническая характеристика типов леса заповедника «Лес на Ворскле». В кн.: *Комплексные исследования биогеоценозов лесостепных дубрав* / под ред. Ю.Н. Нешатаева. Ленинград; 1986. С.32-43).
- Notov A.A., Zhukova L.A. Modular organisms as objects of population biology. *Wulfenia*. 2022;29:9-27. Available from: [https://www.zobodat.at/pdf/Wulfenia\\_29\\_0009-0027.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Wulfenia_29_0009-0027.pdf) [accessed Nov. 15, 2023].
- Shitt P.G., Metlitsky Z.A. Fruit growing (Plodovodstvo). Moscow: Selkhozgiz; 1940. [in Russian] (Шитт П.Г., Метлицкий З.А. Плодоводство. Москва: Сельхозгиз; 1940).
- Smirnova O.V. (ed.). East European forests: history in the Holocene, and the present (Vostochnoevropeyskiye lesa: istoriya v golotsene i sovremennost). Moscow: Nauka; 2004. [in Russian] (Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / под ред. О.В. Смирновой. Москва: Наука; 2004).
- Stamenov M. Crown architecture in virginal and young reproductive individuals of *Quercus robur* L. on the southeast border of its area (on the example of the Volgograd region). *Steppe Science*. 2023;(4):90-105. [in Russian] (Стаменов М. Архитектура кроны у виргинильных и молодых генеративных особей *Quercus robur* L. на юго-восточной границе ареала (на примере Волгоградской области). *Вопросы степеведения*. 2023;(4):90-105). DOI: 10.24412/2712-8628-2023-4-90-105
- Waddington C.H. The strategy of the genes. A discussion of some aspects of theoretical biology. London: George Allen & Unwin, Ltd.; 1957.
- Wenyan X., Weiwei Z., Yunming C. Climate mediates the effects of forest gaps on tree crown allometry. *Forest Ecology and Management*. 2022;525:20563. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120563
- Zaugolnova L.B. Age stages in the ontogenesis of the common ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) (Vozrastnye etapy v ontogeneze yasenya obyknovennogo [*Fraxinus excelsior* L.]). In: A.A. Uranov (ed.). *Issues of Morphogenesis in Flowering Plants and Structure of Their Populations (Voprosy morfogeneza tsvetkovykh rasteniy i stroyeniya ikh populyatsiy)*. Moscow: Nauka; 1968. p.81-102. [in Russian] (Заугольнова Л.Б. Возрастные этапы в онтогенезе ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.). В кн.: *Вопросы морфогенеза цветковых растений и строения их популяций* / под ред. А.А. Уранова. Москва: Наука; 1968. С.81-102).
- Zaugolnova L.B. Anatomical and morphological structure of leaves and buds in different age groups of common ash (*Fraxinus excelsior* L.) (Anatomo-morfologicheskoye stroyeniye listyev i pochek u raznykh vozrastnykh grupp yasenya obyknovennogo [*Fraxinus excelsior* L.]). *Biologicheskiye nauki = Biological Sciences*. 1971;9(93):56-64. [in Russian] (Заугольнова Л.Б. Анатомо-морфологическое строение листьев и почек у разных возрастных групп ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.). *Биологические науки*. 1971;9(93):56-64).

### Информация об авторах

**Ирина Сергеевна Антонова**, кандидат биологических наук, доцент, старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, ulmaceae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3810-0333>

**Мария Сергеевна Телевинова**, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, m\_s\_t@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0066-7887>

### Information about the authors

**Irina S. Antonova**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Senior Lecturer, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, ulmaceae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3810-0333>

**Maria S. Televinova**, Postgraduate Student, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, m\_s\_t@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0066-7887>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 17.02.2024; одобрена после рецензирования 31.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 17.02.2024; approved after reviewing on 31.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 581.5:581.93(477.75)

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166



### Особенности адаптации инвазионных видов *Berberis aquifolium* Pursh и *Daphne laureola* L. в лесных сообществах Южного берега Крыма

Н. А. Багрикова, З. Д. Бондаренко

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталия Александровна Багрикова, nbagrik@mail.ru

**Актуальность.** Во многих регионах особое внимание уделяется инвазионным видам, которые в условиях вторичного ареала внедряются в естественные сообщества. Актуальность исследований по изучению степени натурализации *Berberis aquifolium* Pursh и *Daphne laureola* L. на территории Крымского полуострова определена тем, что в настоящее время эти виды отмечаются в разных типах лесной растительности, в том числе на особо охраняемых природных территориях.

**Материалы и методы.** Объектами исследований являлись лесные сообщества с участием *Berberis aquifolium* и *Daphne laureola*. Геоботаническое обследование проведено в 2019–2021 гг. в соответствии с эколого-флористическим подходом Ж. Брауна-Бланке. Кластерный анализ выполнен с помощью программы JUICE и алгоритма PC-ORD 5.0, ординационный анализ – на основе программы PAST 3.26. Рассмотрены 12 факторов: освещенность (Lc), терморегим (Tm), аридность/гумидность (Om), криорежим (Cr), континентальность климата (Kn), увлажнение почвы (Hd), переменность увлажнения (fH), кислотность субстрата (Rc), солевой режим (анионный состав) (Tr), содержание карбонатов (Ca), содержание минерального азота (Nt), гранулометрический состав субстрата (Ae). Параметры экологических ниш определены методом фитоиндикации.

**Результаты.** Установлено, что сообщества с участием *Berberis aquifolium*, *Daphne laureola* на Южном берегу Крыма относятся к классам растительности *Quercetea pubescentis* и *Erico-Pinetea*. Наибольшее распространение виды имеют в сосново-дубово-грабовых, дубово-грабово-кизильных сообществах, где они произрастают в основном по руслам рек, у источников, по днищам балок. По большинству эдафо-климатических факторов условия местообитаний соответствуют параметрам фундаментальных ниш изученных видов, что определяет высокую степень их адаптации к природным условиям Южного берега Крыма.

**Ключевые слова:** чужеродные растения, кластерный анализ, ординационный анализ, растительные сообщества, факторы среды, экологические шкалы, Крымский полуостров

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзаданий Никитского ботанического сада – Национального научного центра РАН.

Авторы признательны доктору биологических наук, профессору В. В. Корженевскому за помощь в определении параметров экологических ниш изученных инвазионных видов и сообществ с их участием.

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

**Для цитирования:** Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д. Особенности адаптации инвазионных видов *Berberis aquifolium* Pursh и *Daphne laureola* L. в лесных сообществах Южного берега Крыма. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):157-166. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166

### Adaptation features of the invasive species *Berberis aquifolium* Pursh and *Daphne laureola* L. in forest communities on the Southern Coast of Crimea

Nataliya A. Bagrikova, Zoya D. Bondarenko

Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

**Corresponding author:** Nataliya A. Bagrikova, nbagrik@mail.ru

**Background.** Special attention is paid in many regions to invasive plant species introduced into natural plant communities. Studying the degree of naturalization of *Berberis aquifolium* Pursh and *Daphne laureola* L. on the Crimean Peninsula is important because these species are currently observed in different types of forest vegetation, including Protected Areas.

**Materials and methods.** Forest plant communities with *B. aquifolium* and *D. laureola* served as the research target. A geobotanical survey was conducted in 2019–2021 using the Braun-Blanquet approach. The JUICE platform and the PC-ORD 5.0 algorithm were employed to perform the cluster analysis, and the PAST 3.26 software for the ordination analysis. Twelve factors were considered: soil humidity (Hd), humidity fluctuation (fH), substrate acidity (Rc), anionic composition (Tr), carbonate content (Ca), nitrogen content (Nt), granulometric (mechanical) composition of the substrate (Ae), illuminance of the community (Lc), thermal regime (Tm), aridity/humidity (Om), cryoregime (Cr), and climate continentality (Kn). Phytoindication technique was used to determine the parameters of ecological niches.

**Results and conclusion.** The communities with *B. aquifolium* and *D. laureola* on the Southern Coast of Crimea were found to belong to the *Quercetea pubescentis* and *Erico-Pinetea* classes of vegetation. The species appeared to be most widespread in the pine-oak-hornbeam and oak-hornbeam-dogwood forest communities where they occurred mainly along riverbeds, near springs, and along gully bottoms. According to a majority of edaphoclimatic factors, their habitat conditions corresponded to the parameters of the fundamental niches for the studied species, which explains their high degree of adaptation to the natural environments on the Southern Coast of Crimea.

**Keywords:** alien plants, cluster analysis, ordination analysis, plant communities, environmental factors, ecological scales, Crimean Peninsula

**Acknowledgements:** the study was conducted within the framework of the state tasks assigned to the Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the RAS.

The authors are grateful to Prof. V. V. Korzhenevsky, Dr. Sci. (Biology), for his assistance in determining the parameters of ecological niches for the studied invasive species and communities.

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

**For citation:** Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D. Adaptation features of the invasive species *Berberis aquifolium* Pursh and *Daphne laureola* L. in forest communities on the Southern Coast of Crimea. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):157-166. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166

## Введение

Во многих регионах особое внимание при изучении вопросов адвентизации флоры и растительности уделяется инвазионным видам, которые не только натурализовались в условиях вторичного ареала, но и внедряются в естественные сообщества. Результаты многолетних исследований показали, что среди инвазионных видов растений в разных типах растительности на Южном берегу Крыма значительный процент участия приходится на интродуцированные виды (Bagrikova, Skurlatova, 2021), среди которых выделяются вечнозеленые листовые деревья и кустарники. Изучение биологических, экологических, ценологических особенностей этих видов, включая применение методов фитоиндикации с использованием различных экологических шкал, позволяет определить их положение на градиентах эдафо-климатических факторов, выявить механизмы их адаптации к различным условиям, а также прогнозировать изменения растительного покрова в будущем.

В результате проведенных в последние годы исследований, в том числе изучения распространения, возрастной структуры популяций, эколого-биологических особенностей сообществ с участием *Berberis aquifolium* Pursh, *Bupleurum fruticosum* L., *Clematis flammula* L., *Daphne laureola* L., *Rhamnus alaternus* L., *Quercus ilex* L., установлено, что эти виды проходят все стадии онтогенеза, произрастают в разных по видовому составу фитоценозах в лесных сообществах Горного Крыма и имеют 1-й или 2-й инвазионный статус (Rasevich, Didukh, 2007; Bondarenko, Bagrikova, 2021; Bagrikova et al., 2021a, 2021b, 2021c; Plugatar et al., 2022; Bondarenko, 2023; etc.).

Цель работы – выявить особенности адаптации *Berberis aquifolium* и *Daphne laureola* к условиям разных типов лесных сообществ на основе применения методов ординации и фитоиндикации.

## Материалы и методы

Объектами исследований являлись лесные сообщества на двух особо охраняемых природных территориях Горного Крыма (государственный природный заповедник «Ялтинский горно-лесной» и природный парк «Мыс Мартыан»). Геоботаническое обследование проведено в 2019–2021 гг. по общепринятым методикам, при описании выявляли полный флористический состав, участие видов оценивали по шкале обилия/покрытия Ж. Брауна-Бланке (Mirkin et al., 2001): г – вид встречен единично; + – вид встречается редко 3–10 шт. (ПП 3–5%); 1 – число особей велико (до 100 шт.) (ПП 5%); 2 – от 6 до 25%; 3 – от 26 до 50%; 4 – от 51 до 75%; 5 – выше 75%. Анализ распространения *Berberis aquifolium* и *Daphne laureola* показал, что на территории «Мыса Мартыан» эти виды встречаются с незначительным обилием, поэтому для выявления особенностей их адаптации к условиям Южного берега Крыма в комплексный анализ включены 85 геоботанических описаний, выполненных в нижнем и среднем лесных поясах на территории ГПЗ «Ялтинский горно-лесной» (Bondarenko, 2023).

В программе TURBOVEG 2.0 (Hennekens, Schaminée, 2001) создана база данных описаний. Кластерный анализ проведен с помощью программы JUICE (Tichý, 2002) и интегрированного в нее алгоритма PC-ORD 5.0 (McCune, Mefford, 2006), ординационный анализ – на основе программы PAST версия 3.26 (Hammer et al., 2001). Статистическая обработка данных выполнена с помощью паке-

тов программ MS Excel 2010, STATISTICA 10 (Bondarenko, 2023). Интерпретация коэффициента корреляции дана исходя из уровня силы связи:  $r > 0,01 \leq 0,29$  – слабая положительная связь;  $r > 0,30 \leq 0,69$  – умеренная положительная связь;  $r > 0,70 \leq 1,00$  – сильная положительная связь;  $r > -0,01 \leq -0,29$  – слабая отрицательная связь;  $r > -0,30 \leq -0,69$  – умеренная отрицательная связь;  $r > -0,70 \leq -1,00$  – сильная отрицательная связь (Lakin, 1990).

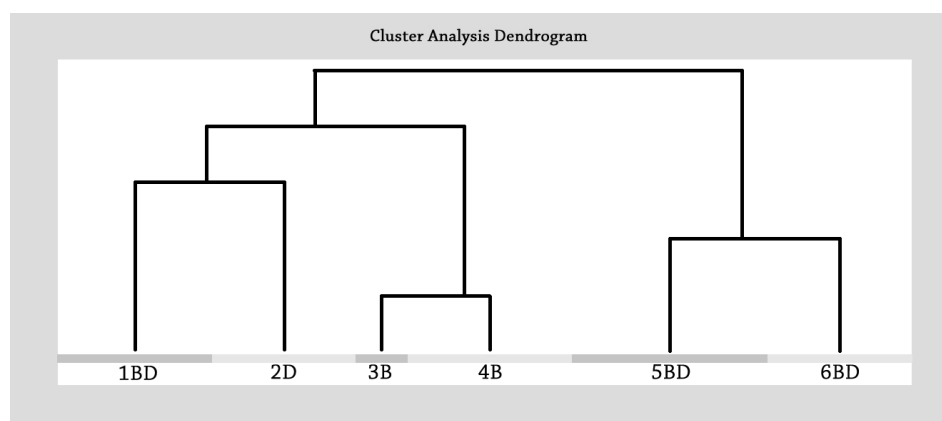
Экологические амплитуды сообществ приведены по шкалам Г. Элленберга (Ellenberg et al., 2001), В. В. Корженевского (Korzhenevsky, 1990; Korzhenevskii, 1999). Расчеты параметров фундаментальной (потенциальной) ниши видов и реализованной ниши фитоценозов выполнены по оригинальной программе Power, унифицированная информация о размещении видов растений на градиентах факторов среды извлечена из базы данных «Экодата» (Korzhenevsky, 1990; Korzhenevskii, 1999). Рассмотрены 12 факторов, в том числе геоклиматические: освещенность ценозов (Lc), терморегим (Tm), омброрегим, аридность/гумидность (Om), криорегим (Cr), континентальность климата (Kn), а также эдафические: увлажнение почвы (Hd), переменность увлажнения (fH), кислотность субстрата (Rc), солевой режим (анионный состав) (Tr), содержание карбонатов (Ca), содержание минерального азота (Nt), гранулометрический состав (порозность) субстрата (Ae). Лимитирующие факторы определялись по положению инвазионных видов на градиентах отдельных факторов, то есть их диапазонные значения от точки минимума до точки максимума (фундаментальные значения) в границах реализованных ниш описанных фитоценозов, а также по распределению описаний в ординационной матрице (Bondarenko, 2023).

Названия высших единиц растительности приведены согласно EuroVegChecklist (Mucina et al., 2016), названия видов – по базе данных Plants of the World Online (<http://www.plantsoftheworldonline.org/>).

## Результаты и обсуждение

По результатам флористических исследований, а также обработки геоботанических описаний установлено, что на Южном берегу Крыма натурализовавшиеся растения *Berberis aquifolium*, *Daphne laureola* распространены в основном в нарушенных местообитаниях (вдоль дорог, в хозяйственных и рекреационных зонах), но встречаются также в природных и полустественных фитоценозах на высоте от 120 до 530 м н. у. м. в смешанных лесах, которые согласно эколого-флористической классификации рассматриваются в составе двух классов растительности – *Quercetea pubescentis* Doing-Kraft ex Scamoni et Passarge 1959 и *Erico-Pinetea* Horvat 1959 (Bondarenko, 2022, 2023; Bondarenko, Bagrikova, 2022). При сравнении сходства флористического состава по результатам кластерного анализа выделено шесть фитоценозов (рис. 1).

Четыре фитоценоза (1BD, 2D, 3B, 4B) входят в состав класса *Erico-Pinetea*, поэтому они объединились в первую группу. В них в первом ярусе с обилием от 2 до 4 баллов отмечена *Pinus pallasiana* D. Don., встречаются также другие диагностические виды порядка *Pinetalia pallasianae-kochianae* Korzhenevsky 1998 (во втором ярусе – *Acer campestre* L., в кустарниковом – *Euonymus verrucosa* Scop., в травяно-кустарниковом покрове – *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Rubus caesius* L., *Physospermum cornubiense* (L.) DC., *Primula vulgaris* Huds., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce,



**Рис. 1.** Дендрограмма дифференциации сообществ с участием *Berberis aquifolium* Pursh и *Daphne laureola* L. (кластерный анализ, PC-ORD)

**Fig. 1.** Dendrogram showing differentiation of plant communities with *Berberis aquifolium* Pursh and *Daphne laureola* L. (cluster analysis, PC-ORD)

*Teucrium chamaedrys* L.) и союза *Pinion pallasianae* Korzhenevsky 1998 (в древесном ярусе – *Torminalis glaberrima* (Gand.) Sennikov & Kurtto, в кустарниковом – *Pyracantha coccinea* M. Roem., среди травянистых видов – *Lotus herba-ceous* (Vill.) Jauzein., *Carex halleriana* Asso, *Euphorbia amygdaloides* L., *Viola sieheana* V. Becker, *V. alba* Besser) (Bondarenko, 2023).

В первой группе выделяются сообщества, в которых встречается один из двух инвазионных видов. В сосново-грабово-кленовых лесах, объединенных в фитоценоз 2D, отсутствует *Berberis aquifolium*, тогда как *Daphne laureola* представлена разновозрастными особями с обилием от 1 до 3 баллов. Эти фитоценозы описаны в урочище Багреевка, окрестностях пос. Куйбышево, в основании Штангеевской тропы и ниже водопада Учан-Су (Ливадийское лесничество), на высоте 310–420 м н. у. м., в основном на склонах юго-западных, южных и юго-восточных экспозиций. В них в первом ярусе доминантом является *Pinus pallasiana* (обилие 3–4 балла), содоминантами – *Carpinus betulus* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Fraxinus excelsior* L. (с обилием 1–2 балла). Во втором ярусе отмечены *Acer campestre* (с обилием до 3 баллов), *Cornus mas* L., *Torminalis glaberrima* (с обилием 1–2 балла), в травяном покрове при общем проективном покрытии 50–60% выделяются *Hedera helix* L., *Cardamine quinquefolia* (M. Bieb.) Schmalh., *Lathyrus aureus* (G. Lodd. ex Drapiez) D. Brândză, *Viola sieheana* (Bondarenko, Bagrikova, 2022; Bondarenko, 2023).

Сообщества с участием только *Berberis aquifolium* (с обилием от 2 до 4 баллов) описаны в окрестностях пгт Советское (Гурзуфское лесничество) – в районе Лесхоза (3B) и санатория «Долоссы» (4B) на высоте 325–535 м н. у. м. Растительность в районе Лесхоза (3B) представлена сосново-грабово-кленово-кизильовыми сообществами, в них в первом ярусе также доминирует *Pinus pallasiana*, значительный процент участия приходится на *Carpinus betulus* и на чужеродный вид *Acer platanoides* L., хорошо выражен второй ярус с участием *Cornus mas*, в травяно-кустарниковом покрове доминируют *Ruscus aculeatus* L., *Arum orientale* subsp. *orientale*, *Tamus communis* L., *Hedera helix*.

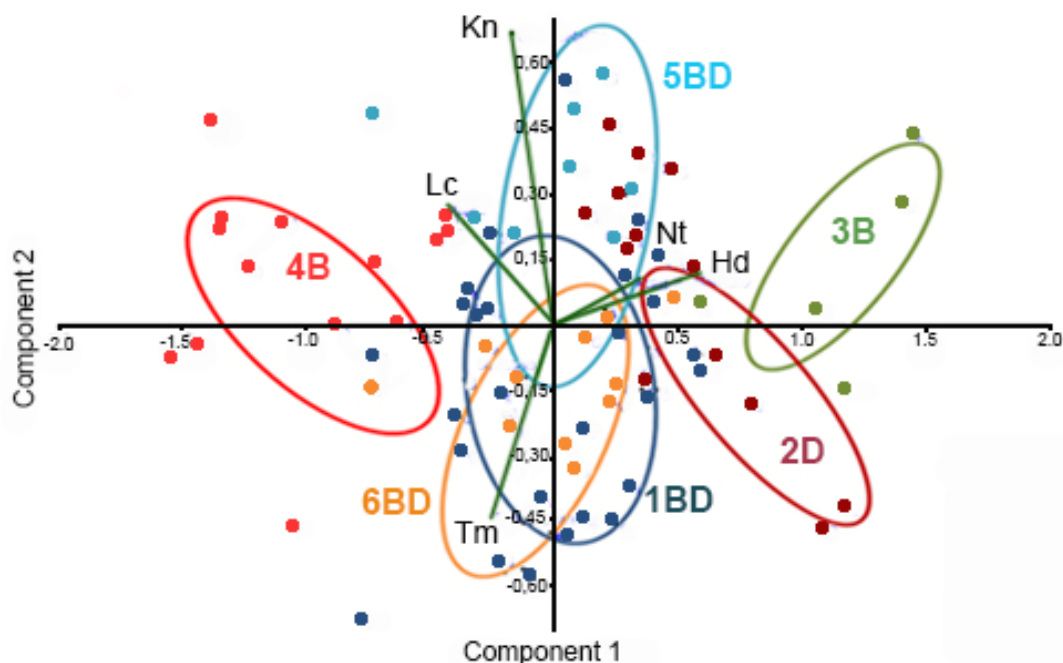
Растительность в окрестностях санатория «Долоссы» (4B) выше глубокой балки представлена сосново-дубово-грабинниково-кизильовыми сообществами, в которых в первом и втором ярусе доминируют *Pinus pallasiana*, *Quercus pubescens*, *Cornus mas*, *Carpinus orientalis* Mill.,

в подлеске с высоким постоянством и обилием до 2 баллов отмечен *Juniperus deltoides* R.P. Adams, в травяном покрове при общем проективном покрытии 40–60% с высоким постоянством и обилием встречаются *Carex halleriana*, *Teucrium chamaedrys*, *Rubus caesius*, разные представители рода *Viola*. Большинство этих видов характерны для более ксерофитных местообитаний по сравнению с сообществами, объединенными в фитоценозы 2D и 3B (Bondarenko, 2023).

По результатам ординационного анализа (рис. 2), сообщества с участием *Berberis aquifolium* в окрестностях пгт Советское в Лесхозе (3B), *Daphne laureola* в урочище Багреевка и в окрестностях водопада Учан-Су (2D) занимают крайнее правое положение в матрице. По данным фитоиндикации и использования экологических шкал Элленберга, они отличаются наибольшими значениями по фактору увлажнения (Hd) – от 10,4 до 11,4 и содержанию минерального азота в почве (Nt) – от 5,4 до 6,8 и наименьшими по освещенности ценозов (Lc) – от 4,6 до 5,5 (рис. 3), так как сообщества формируются в балках и на склонах тальвегов, в которых достаточный уровень увлажнения в корнеобитаемом слое почвы обеспечивается дождевыми и талыми водами. В них произрастает наибольшее количество мезофитных растений – 63 и 58% соответственно. Кроме того, высокий показатель сомкнутости древостоя 0,8–0,9 обуславливает наименьшие показатели освещенности (Lc) в этих фитоценозах (см. рис. 3). Ведущим фактором дифференциации сообществ, рассматриваемых в рамках фитоценона 2D, является также континентальность климата (Kn), так как многие описания расположились в верхней части вдоль оси 1.

Произрастающие на водоразделе сообщества, описанные в окрестностях пгт Советское и санатория «Долоссы» (4B), напротив, характеризуются достаточно широкой амплитудой и высокими значениями (от 5,6 до 6,4) на градиенте освещенности (Lc) (см. рис. 3). Здесь отмечены минимальные значения показателей, характеризующих эдафотоп: увлажнение (Hd) и содержание минерального азота (Nt) в почве. Поэтому по результатам ординационного анализа они разместились в крайней левой части матрицы вдоль оси 2 (см. рис. 2).

В трех остальных фитоценозах (1BD, 5BD, 6BD) в описанных сообществах произрастают оба инвазионных вида, но на северных и северо-восточных склонах горы Ай-Никола (окрестности пос. Ореанда, Алушкинское лес-



**Рис. 2.** Ординационный анализ сообществ с участием *Berberis aquifolium* Pursh (B) и *Daphne laureola* L. (D) (PAST 3.26)

**Fig. 2.** Ordination analysis of plant communities with *Berberis aquifolium* Pursh (B) and *Daphne laureola* L. (D) (PAST 3.26)

ничество) на высоте 215–320 м н. у. м. в сосново-дубово-грабниково-кизильовых сообществах, объединенных в фитоценоз 1BD, доминирует *Berberis aquifolium* (с обилием до 2 баллов), тогда как *Daphne laureola* встречается реже. В фитоценозе 1BD с высоким постоянством в древесном ярусе отмечены *Pinus pallasiana*, *Tilia cordata* Mill., *Quercus petraea*, хорошо выражен второй ярус с участием *Carpinus orientalis*, *Cornus mas*. С высоким постоянством и обилием до 2 баллов в кустарниковом ярусе отмечены *Euonymus europaeus* L., *Euonymus verrucosus*, в травяно-кустарниковом покрове – *Aegonychon purpureo-caeruleum* (L.) Holub., *Ruscus hypoglossum* L., *Dictamnus albus* L., *Sanicula europaea* L., *Primula vulgaris*, а также представители семейства Orchidaceae (Bondarenko, 2023). По комплексу диагностических видов они отнесены к классу *Erico-Pinetea*, но в них достаточно большое долевое участие приходится на виды, характерные для пушистодубово-грабниковых лесов. По сходству видового состава они объединились в первую группу (см. рис. 1). Их положение в центральной части ординационной матрицы подтверждает переходный характер описанных сообществ между двумя классами растительности (см. рис. 2).

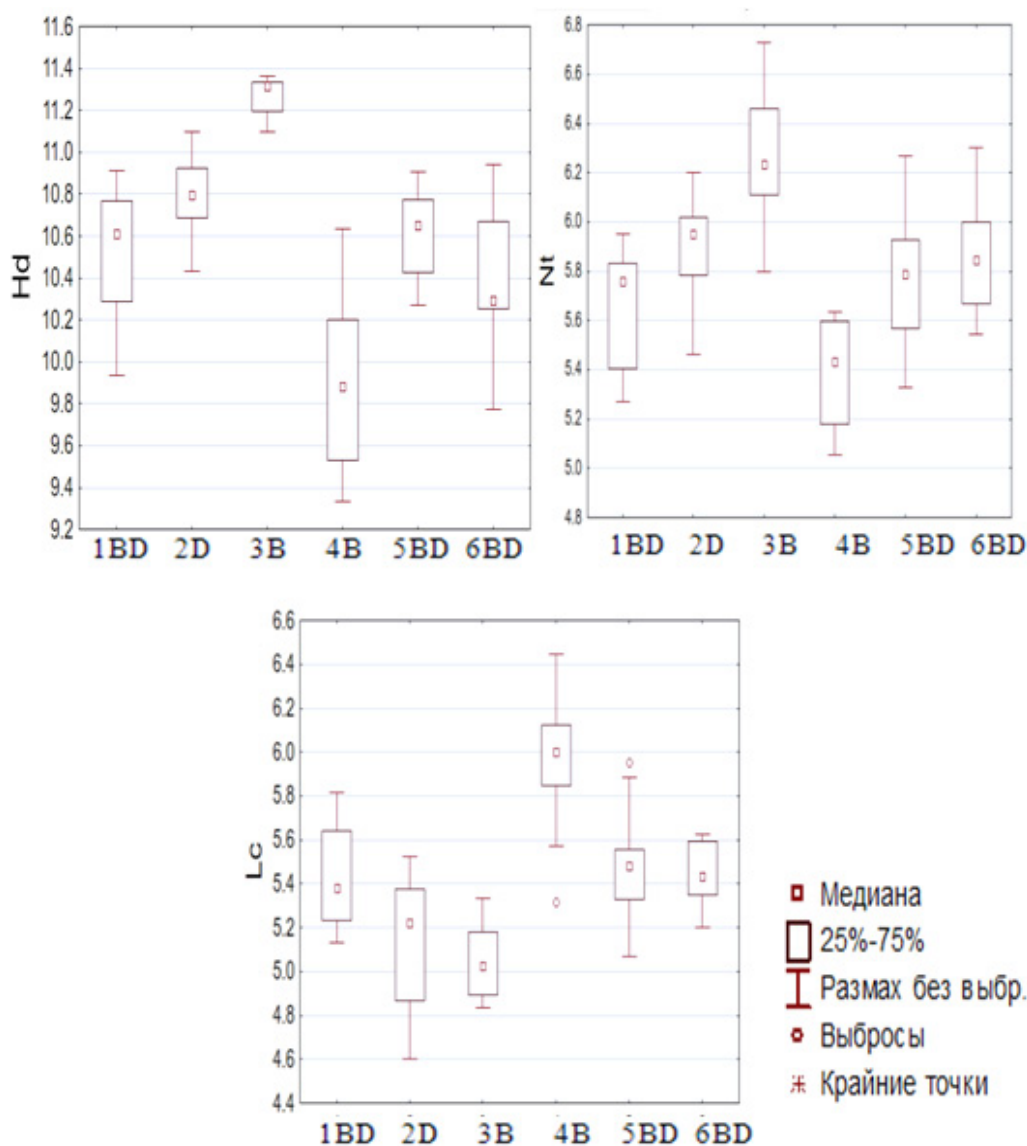
Фитоценозы 5BD и 6BD, объединенные во вторую группу по результатам кластерного анализа (см. рис. 1), по комплексу диагностических видов отнесены к классу *Quercetea pubescentis*, который включает сообщества пушистодубово-грабниковых лесов, распространенных на Южном берегу Крыма в нижнем и среднем поясе. Описанные фитоценозы распространены на высоте от 165 до 490 м н. у. м. В древесном ярусе с обилием 2–3 балла доминируют *Quercus pubescens*, *Cornus mas*, *Carpinus orientalis*. В кустарниковом ярусе произрастают оба инвазивных вида, но преобладает *Daphne laureola*, в травяно-кустарниковом покрове при общем проективном покрытии 40–70% с высоким постоянством и обилием 1–2 балла отмечены *Ruscus aculeatus*, *Hedera helix*, кроме них часто

встречаются *Lapsana communis* L., виды рода *Viola* (Bondarenko, 2023).

В фитоценоз 5BD вошли сообщества, описанные в Алуштинском лесничестве от пос. Стройгородок до пос. Ореанда – в балке между горами Ай-Никола и Хачла-Каясы, в основании горы Ай-Никола (200–215 м н. у. м.), а также вдоль «Солнечной тропы» (165–185 м н. у. м.). В древесном ярусе с высоким постоянством, кроме вышеприведенных видов, отмечены *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre*, *Torminalis glaberrima*, в кустарниковом ярусе часто встречаются натурализовавшиеся растения *Laburnum anagyroides* Medik., в травянистом покрове – *Aegonychon purpureo-caeruleum*, *Ornithogalum ponticum* Zahar. Группа описаний, объединенных в фитоценоз 5BD, занимает верхнюю часть в ординационной матрице и расположена вдоль оси 1 (см. рис. 2). Таким образом, ведущими факторами его выделения являются континентальность климата (Kn) и освещенность ценозов (Lc) (Bondarenko, 2023).

В фитоценоз 6BD объединены сообщества, описанные в Оползневском лесничестве в окр. пос. Бекетово, Олива, Санаторное, у тропы «Шайтан-Мердвень» (или «Чертова лестница») (400–490 м н. у. м.), а также в окрестностях пос. Горное (280–300 м н. у. м.) в Ливадийском лесничестве. В них с высоким постоянством в травянистом покрове отмечены *Ranunculus constantinopolitanus* (DC.) d'Urv., *Lathyrus laxiflorus* (Desf.) Kuntze, *Scilla bifolia* L., *Cardamine graeca* L., *Carex divisa* Huds. Фитоценоз занимает нижнюю часть в ординационной матрице и расположен вдоль оси 2; ведущим фактором его выделения является температурный режим (Tm) (см. рис. 2) (Bondarenko, 2023).

Проведенный ординационный анализ (см. рис. 2) подтвердил правомерность выделения фитоценозов по результатам кластерного анализа (см. рис. 1). По значениям экологических шкал Элленберга (см. рис. 3) наибольшее сходство эдафо-климатических условий по ре-



**Рис. 3.** Экологические амплитуды сообществ с участием *Berberis aquifolium* Pursh (B) и *Daphne laureola* L. (D) по экологическим шкалам Элленберга

**Fig. 3.** Ecological amplitudes of plant communities with *Berberis aquifolium* Pursh (B) and *Daphne laureola* L. (D) according to the Ellenberg ecological scales

жиму увлажнения почвы (Hd), освещенности ценозов (Lc), содержанию азота в почве (Nt) выявлено для сообществ с участием двух изученных инвазионных видов (фитоценозы 1BD, 5BD, 6BD). Сообщества с участием одного из двух видов, напротив, отличаются по этим факторам (Bondarenko, 2023).

Из таблицы следует, что во всех описанных сообществах выявлена достаточно сильная ( $r = 0,77$ ) положительная корреляция между показателями увлажнения и содержания азота в почве. Достаточно сильная, но отрицательная связь установлена между увлажнением почвы и освещенностью ценозов ( $r = -0,74$ ), умеренная связь выявлена между освещенностью сообществ и содержанием азота в почве, температурным режимом и увлажнением почвы ( $r = -0,68$ ), температурным режимом и реакцией субстрата ( $r = 0,62$ ) (Bondarenko, 2023).

По результатам популяционных исследований (Bondarenko, Bagrikova, 2021, Bondarenko, 2022, 2023), полные по возрастному спектру ценопопуляции выявлены в лесных сообществах, произрастающих на склонах

или по днищам балок. Поэтому соответствие параметров фундаментальной ниши инвазионных видов *Berberis aquifolium* и *Daphne laureola* было рассмотрено в границах реализованной ниши сообществ в этих биотопах. Для этого были построены лепестковые диаграммы, которые представляют собой плоскостное отражение гиперобъема экологической ниши, организованного градиентами факторов среды (Bondarenko, 2023).

Объем фундаментальной ниши *Daphne laureola* соответствует параметрам реализованной ниши смешанных сосново-лиственных лесов на следующих градиентах: криорежим (Cr), континентальность климата (Kn), переменность увлажнения (fh), реакция субстрата (Rc), содержание азота (Nt) и карбонатов (Ca) в почве. Фундаментальная ниша вида смещена в нижнюю часть реализованной ниши фитоценоза на градиентах: терморегим (Tm), увлажнение почвы (Hd); анионный состав (Tr). Лимитирующими факторами для произрастания вида на Южном берегу Крыма являются освещенность ценозов (Lc), омброрегим (Om) и гранулометрический состав

**Таблица. Корреляционная матрица параметров эдафо-климатических факторов****Table. Correlation matrix of the parameters of edaphoclimatic factors**

	Hd	Tm	Lc	Nt	Rc
Hd					
Tm	-0,6728				
Lc	-0,7362	0,32683			
Nt	0,77209	-0,54019	-0,67702		
Rc	-0,3864	0,61978	0,17514	-0,31704	
Kn	-0,3604	0,09859	0,33219	-0,24318	0,15959

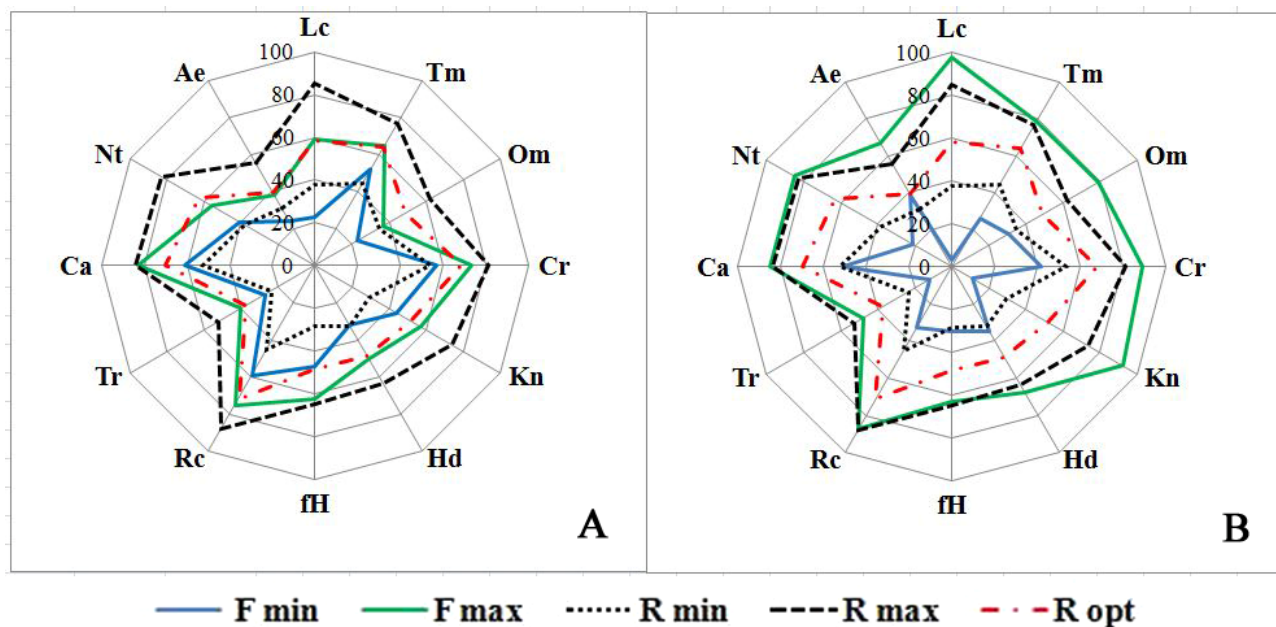
Примечание: расшифровка условных обозначений дана в разделе «Материалы и методы»

Note: the symbols are decoded in the *Materials and methods* section

субстрата (Ae), так как минимальные значения фундаментальной ниши вида находится в зоне пессимума на градиентах этих факторов (рис. 4) (Bondarenko, 2023).

В природном ареале в южных регионах в Западной Европе *Daphne laureola* является диагностическим видом класса *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968, объединяющего буковые, дубово-буковые леса, отличающиеся высокой сомкнутостью древостоя. Сообщества с его участием приурочены как к хвойным, так и листопадным лесам, в том числе вид произрастает в дубово-кедровых лесах, поднимающихся до субальпийского пояса, в сухих буковых, в буковых и смешанных буково-пихтовых лесах, рассматриваемых в составе класса *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968, сосновых лесах класса *Erico-Pinetea*, в пойменных лесах с *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus* L., в березовых и осиновых лесах (Bagrikova et al., 2021a, 2021b). Наибольшие по площади и численности ценопопуляции вида на Южном берегу Крыма выявлены в смешанных сосново-дубово-грабовых, дубово-грабово-кизильовых лесах, произрастающих в основном по руслам рек, у источников, по днищам балок и относящихся к классу *Erico-Pinetea*, но вид отмечается и в нижнем лесном поясе в составе сообществ, относящихся к классу *Quercetea pubescentis* (Bagrikova et al., 2021b; Bondarenko, Bagrikova, 2022).

*Berberis aquifolium* имеет гораздо более широкую фундаментальную нишу, которая по минимальным и максимальным показателям находится за пределами реализованной ниши описанных фитоценозов практически на

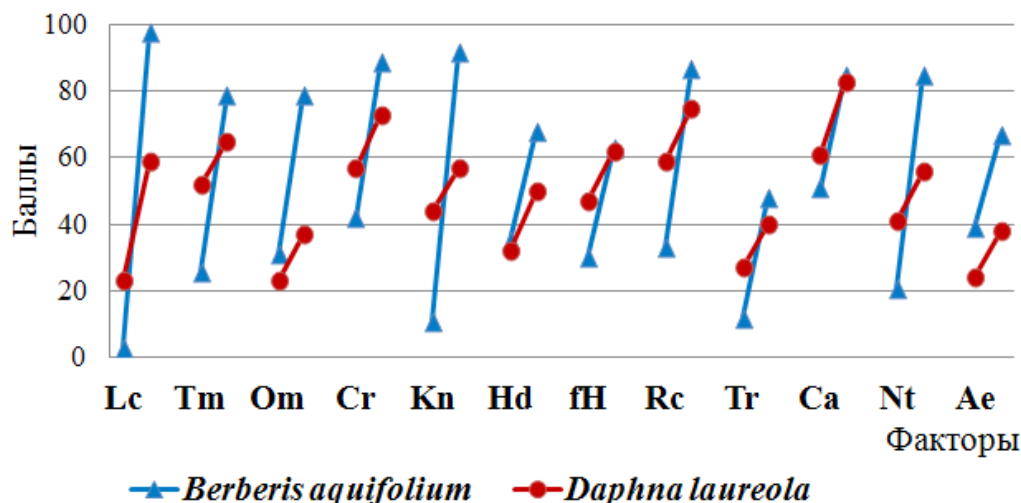


**Рис. 4.** Проекция фундаментальных ниш *Daphne laureola* L. (A) и *Berberis aquifolium* Pursh (B) и реализованной ниши фитоценоза на градиентах факторов среды (Фундаментальная ниша вида: F min – минимальное значение на градиенте; F max – максимальное значение. Реализованная ниша фитоценоза: R min – минимальное значение на градиенте; R max – максимальное значение; R opt – оптимальное значение)

**Fig. 4.** Projection of the fundamental niches of *Daphne laureola* L. (A) and *Berberis aquifolium* Pursh (B) and the realized niche of the phytocenosis on gradients of environmental factors (Fundamental niche of the species: F min – minimum value on the gradient; F max – maximum value. Realized niche of the phytocenosis: R min – minimum value on the gradient; R max – maximum value; R opt – optimal value)

всех градиентах факторов среды, за исключением увлажнения почвы (Hd), содержания карбонатов (Ca) и гранулометрического состава субстрата (Ae). Поэтому можно предположить, что именно последние три фактора могут быть лимитирующими для адаптации вида к условиям произрастания во вторичном ареале (рис. 5). Но именно широкий размах показателей по большинству факторов определяет внедрение вида в разные по эдафо-климатическим характеристикам местообитания. Нами установлено, что вид на Южном берегу Крыма отмечается в сообществах разных классов растительности, отличающихся по увлажнению, освещенности ценозов, порозности субстратов (Bondarenko, 2023).

или влажных, часто в затененных условиях, заселяют широкий спектр различных биотопов и выявлены в типах растительности, сходных с таковыми в природном ареале (Bagrikova et al., 2021a, 2021c; Bondarenko, 2023). Из всего разнообразия природных и полустественных растительных сообществ с участием *Berberis aquifolium*, описанных на Южном берегу Крыма, растения данного вида с обилием от единичных особей (+) до 4 баллов произрастают в хвойных или смешанных лесах на высоте от 120 до 535 м н. у. м., относящихся к двум классам растительности. Предпочитают сообщества, относящиеся к классу *Erico-Pinetea*, произрастающие в среднем лесном поясе, но встречаются и в нижнем лесном поясе в составе



**Рис. 5. Экологические параметры фундаментальных ниш инвазивных видов**  
(расшифровка условных обозначений дана в разделе «Материалы и методы»)

**Fig. 5. Ecological parameters of the fundamental niches for the studied invasive species**  
(the symbols are decoded in the *Materials and methods* section)

Результаты наших исследований подтверждают высокую степень адаптации *Berberis aquifolium* к разным условиям произрастания, так как и в природном ареале в западной части Северной Америки вид встречается в разных типах растительности на высоте до 2100 м н. у. м. и является диагностическим видом в сообществах хвойных лесов классов *Tsugetea mertensiano-heterophyllae* Rivas-Martínez, Sánchez-Mata & Costa 1999 и *Linnaeo americanae-Piceetea marianae* Rivas-Martínez, Sánchez-Mata & Costa 1999. Во вторичном ареале отмечается в полустественных и природных биотопах на участках от бедных до богатых питательными веществами почвах, встречается в разных типах лесной растительности: пойменные леса, хвойные леса класса *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939, смешанные широколиственные леса класса *Carpino-Fagetea sylvaticae*, а также сухие дубовые леса, в том числе ксеротермные дубравы с преобладанием *Quercus cerris* L. и *Quercus frainetto* Ten., относящихся к классу *Quercetea pubescentis*. Вид выявлен в составе луговой растительности, а также в открытых или древесно-кустарниковых сообществах прибрежных авантюн, в том числе с участием *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson или *Salix repens* L. С высоким обилием достаточно часто отмечается в антропогенно нарушенных местообитаниях, в том числе в сообществах, относящихся к классу *Robinietae* Jurko ex Hadác et Sofron 1980, *Rhamno-Prunetea* Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962.

Таким образом, во вторичном ареале натурализовавшиеся растения *Berberis aquifolium* могут расти в сухих

фитоценозов класса *Quercetea pubescentis*, которые отличаются неоднородностью, мозаичностью древостоя и подлеска.

Для выявления сходства и отличий экологических требований изученных инвазивных видов построена сравнительная схема их размещения на градиентах эдафо-климатических факторов. Из рисунка 5 следует, что на градиентах большинства факторов (освещенность ценозов, температурный режим, криорежим, континентальность климата, переменность увлажнения; кислотность субстрата, анионный состав, содержание карбонатов и минерального азота в почве) фундаментальная ниша *Berberis aquifolium* гораздо шире, чем у *Daphne laureola*. Диапазоны асимметричны по отношению друг к другу и ниже у *Daphne laureola* по омбродрежиму, увлажнению почвы и порозности субстрата (Bondarenko, 2023).

Определение параметров фундаментальных и реализованных ниш изученных видов в описанных фитоценозах показало, что *Berberis aquifolium* является эвритопом, так как имеет гораздо более широкую фундаментальную нишу, которая по минимальным и максимальным показателям находится за пределами реализованной ниши сообществ практически на всех градиентах факторов среды, за исключением увлажнения, содержания карбонатов в почве и гранулометрического состава субстрата. *Daphne laureola* является в большей степени стенотопом, так как ниша вида находится в границах реализованной ниши фитоценоза по большинству параметров (континентальность климата, температурный режим, криорежим, переменность увлажнения; кислотность субстрата, анионный состав, содержание карбонатов и минерального азота в почве).

ментальность климата, переменность увлажнения, реакция субстрата, анионный состав, содержание карбонатов и азота в почве); смещена в нижнюю часть на трех градиентах (терморезим, криорезим, увлажнение почвы); находится в зоне пессимума по освещенности ценозов, омброрезиму и гранулометрическому составу субстрата (Bondarenko, 2023).

### Заключение

На Южном берегу Крыма растения *Berberis aquifolium* и *Daphne laureola* в природных и полуестественных биотопах в нижнем и среднем лесном поясах натурализовались в смешанных и сосновых лесах на высотах от 120 до 535 м н. у. м. Наибольшее распространение виды имеют в травяно-кустарниковом ярусе в сосново-дубово-грабовых, дубово-грабово-кизильовых лесах, произрастающих в основном по руслам рек, у источников, по днищам балок на высоте более 200 м н. у. м. По большинству эдафоклиматических факторов условия местообитаний соответствуют параметрам экологических ниш видов, что подтверждает их 2-ой инвазионный статус в условиях Южного берега Крыма. Изученные виды довольно близки по требованиям к большинству геоэкологических факторов, наибольшие отличия выявлены по режиму увлажнения, нитрификации почвы и освещенности ценозов. Параметры фундаментальных экологических ниш изученных видов и реализованных ниш сообществ отражают высокую степень адаптации видов к условиям изученных биотопов.

### References / Литература

- Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D., Reznikov O.N. About naturalization of *Berberis aquifolium* in the territory of Nature Reserves of the Southern Coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2021a;(139):17-28. [in Russian] (Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д., Резников О.Н. О натурализации *Berberis aquifolium* на территории заповедников Южного берега Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2021a;(139):17-28). DOI: 10.36305/0513-1634-2021-139-17-28
- Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D., Reznikov O.N. About the invasion of *Daphne laureola* (Thymellaceae) in plant communities in the Nature Reserves of the Southern Coast of Crimea. *Science of the South of Russia*. 2021b;17(3):72-79. [in Russian] (Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д., Резников О.Н. Об инвазии *Daphne laureola* (Thymellaceae) на территориях заповедников Южного берега Крыма. *Наука Юга России*. 2021b;17(3):72-79). DOI: 10.7868/S25000640210309
- Bagrikova N.A., Plugatar Yu.V., Bondarenko Z.D., Reznikov O.N. The most dangerous invasive plant in Protected Areas of the Mountain Crimea. *Scientific Notes of the "Cape Martyan" Nature Reserve*. 2021c;(12):114-148. [in Russian] (Багрикова Н.А., Плугатарь Ю.В., Бондаренко З.Д., Резников О.Н. Наиболее опасные инвазионные виды растений на особо охраняемых природных территориях Горного Крыма. *Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан»*. 2021c;(12):114-148). DOI: 10.36305/2413-3019-2021-12-114-148
- Bagrikova N.A., Skurlatova M.V. The materials to the "Black Book" of the flora of the Crimean Peninsula. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2021;12(3):244-257. DOI: 10.1134/S2075111721030036
- Bondarenko Z.D. Adventation of the floras in the Specially Protected Areas (a case study of the Yalta Mountain-Forest Nature Reserve) (Adventizatsiya flor osobo okhranyayemykh prirodnnykh territoriy [na primere prirodnogo zapovednika "Yaltinskiy gorno-lesnoy"]) [dissertation]. Yalta: NBS-NRC; 2023. [in Russian] (Бондаренко З.Д. Адвентизация флор особо охраняемых природных территорий (на примере природного заповедника «Ялтинский горно-лесной»: дис. ... канд. биол. наук. Ялта: НБС – ННЦ; 2023).
- Bondarenko Z.D., Bagrikova N.A. Ecological and biological features of communities with the *Daphne laureola* in the Yalta Mountain-Forest Nature Reserve. In: *Cooperation of Botanical Gardens in the Field of Conservation of Valuable Plant Gene Pool. Proceedings of International Scientific Conference dedicated to the 10th anniversary of the IAAS Council of the Botanical Gardens of Commonwealth of Independent States*. Moscow: Kim L.A.; 2022. p.257-260. [in Russian] (Бондаренко З.Д., Багрикова Н.А. Эколого-биологические особенности сообществ с участием *Daphne laureola* на территории природного заповедника «Ялтинский горно-лесной». В кн.: *Сотрудничество ботанических садов в сфере сохранения ценного растительного генофонда. Материалы Международной научной конференции, посвященной 10-летию Совета ботанических садов стран СНГ при МААН*. Москва: Ким Л.А.; 2022. С.257-260). DOI: 10.35102/cbg.2022.76.16.046
- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3rd ed. *Scripta Geobotanica*. 2001;18:1-262. [in German]
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: paleontological statistics software. Package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9. Available from: <http://palaeo-electronica.org/2001.1/past/past.pdf> [accessed Feb. 06, 2024].
- Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*. 2001;12(4):589-591. DOI: 10.2307/3237010
- Korzhenevskii V.V. A new method for graphical representation of the relationships of species diversity and complex environmental gradients. *Russian Journal of Ecology*. 1999;30(3):193-195.
- Korzhenevsky V.V. About a simple way of interpreting environmental scales (Ob odnom prostom sposobe interpretatsii ekologicheskikh shkal). *Russian Journal of Ecology*. 1990;(6):60-63. [in Russian] (Корженевский В.В. Об одном простом способе интерпретации экологических шкал. *Экология*. 1990;(6):60-63).
- Lakin G.F. Biometrics: a manual for biological university specialties (Biometriya: uchebnoye posobiye dlya biologicheskikh spetsialnostey vuzov). 4th ed. Moscow: Vysshaya Shkola; 1990. [in Russian] (Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е изд. Москва: Высшая школа; 1990).
- McCune B., Mefford M.J. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 5.0 for Windows. Gleneden Beach, OR: MjM Software; 2006.
- Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. Modern science on vegetation (Sovremennaya nauka o rastitelnosti). Moscow: Logos; 2001. [in Russian] (Миркин Б.М. Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва: Логос; 2001).
- Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.P., Raus T., Čarni A. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen,

- and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016;19 Suppl 1:3-264. DOI: 10.1111/avsc.12257
- Plants of the World Online. Kew Royal Botanic Gardens: [site]. Available from: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> [accessed Jan. 22, 2024].
- Plugatar Yu.V., Korzhenevsky V.V., Abramnikov A.A. Shibliak or maquis? On the introduction of *Quercus ilex* L. in phyto-coenosis of the Southern Coast of the Crimea. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2022;3(164):6-19. [in Russian] (Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Абраменков А.А. Шибляк или маквис? О внедрении *Quercus ilex* L. в фитоценозы южного берега Крыма. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2022;3(164):6-19). DOI: 10.36305/2712-7788-2022-3-164-6-19
- Protopopova V.V., Shevera M.V., Bagrikova N.A., Ryff L.E. Transformer species in the flora of the South Coast of Crimea. *Ukrainian Botanical Journal*. 2012;69(1):54-68. [in Ukrainian] (Протопопова В.В., Шевера М.В., Багрикова Н.О., Рыфф Л.Е. Види-трансформери у флорі Південного берега Криму. *Український ботанічний журнал*. 2012;69(1):54-68).
- Rasevich V.V., Didukh Ya.P. The structure of *Daphne laureola* L. populations at the border of their range. *Ukrainian Botanical Journal*. 2007;64(3):393-410. [in Ukrainian] (Расевич В.В., Дідух Я.П. Структура популяцій *Daphne laureola* L. на межі їх ареалу. *Український ботанічний журнал*. 2007;64(3):393-410).
- Tichý L. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*. 2002;13(3):451-453. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2002.tb02069.x

### Информация об авторах

**Наталья Александровна Багрикова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, nbagrrik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

**Зоя Дмитриевна Бондаренко**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, dreada2803@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1572-8355>

### Information about the authors

**Nataliya A. Bagrikova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, nbagrrik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

**Zoya D. Bondarenko**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center of the Russian Academy of Sciences, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, dreada2803@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1572-8355>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 05.03.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 05.03.2024; approved after reviewing on 08.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 581.48:582.975

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-167-181



### Сравнительная характеристика морфологических признаков плодов некоторых видов рода *Valeriana* L.

М. М. Ишмуратова<sup>1</sup>, А. Р. Ишбирдин<sup>1</sup>, Э. Н. Сулейманова<sup>2</sup>, Н. И. Барышникова<sup>3</sup><sup>1</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия<sup>2</sup> Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия<sup>3</sup> Академический лицей города Магнитогорска, Магнитогорск, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Майя Мунировна Ишмуратова, [ishmuratova@mail.ru](mailto:ishmuratova@mail.ru)

В статье на примере 33 ценопопуляций (Южный Урал, Центральная Якутия) и 8 гербарных образцов представлены результаты сравнительного анализа качественных (форма, цвет, опушенность) и количественных морфологических признаков (длина, ширина, индекс – отношение длины к ширине), а также массы 1000 плодов видов *Valeriana officinalis* L., *V. alternifolia* Ledeb., *V. dubia* Bunge, *V. wolgensis* Kazak. и *V. tuberosa* L.

Установлено, что относительно легкими и мелкими являются плоды *V. officinalis*, относительно тяжелыми – *V. alternifolia* и *V. tuberosa*, крупными – *V. wolgensis*. Индекс плодов *V. officinalis* и *V. wolgensis* больше 2, остальных видов – около 2. Показана зависимость размерных характеристик плодов от высотных, широтных и погодных условий.

Внутрипопуляционная изменчивость морфологических признаков плодов, как правило, низкого уровня. Уровень изменчивости показателя «длина плода» у большинства видов ниже изменчивости показателей «ширина» и «индекс плода». Вклад межвидовой изменчивости в варьирование количественных признаков плода превышает вклад межпопуляционной изменчивости. Качественные и количественные характеристики плодов видов рода *Valeriana* L. могут быть использованы в качестве дополнительных таксономических признаков для их дифференциации. Даны ключи для определения видов по признакам плод.

**Ключевые слова:** популяции, таксономия, изменчивость, репродуктивные признаки

**Благодарности:** работа выполнена в рамках тем научной школы «Разнообразие, популяционные и онтогенетические механизмы устойчивости, охрана, воспроизводство и рациональное использование растительных ресурсов» Уфимского университета науки и технологий.

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

**Для цитирования:** Ишмуратова М.М., Ишбирдин А.Р., Сулейманова Э.Н., Барышникова Н.И. Сравнительная характеристика морфологических признаков плодов некоторых видов рода *Valeriana* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):167-181. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-167-181

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-167-181

## Some species of *Valeriana* L.: comparative description of fruit morphology

Maya M. Ishmuratova<sup>1</sup>, Ayrat R. Ishbirdin<sup>1</sup>, Elvira N. Suleymanova<sup>2</sup>, Nadezhda I. Baryshnikova<sup>3</sup><sup>1</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia<sup>2</sup> Bashkir State Medical University, Ufa, Russia<sup>3</sup> Academic Lyceum of the City of Magnitogorsk, Magnitogorsk, Russia**Corresponding author:** Maya M. Ishmuratova, [ishmuratova@mail.ru](mailto:ishmuratova@mail.ru)

A case study of 33 cenopopulations (South Urals, and Central Yakutia) and 8 herbarium specimens of *Valeriana* L. was used to make a comparative analysis of qualitative (fruit shape, color, and pubescence) and quantitative (fruit length, width, and length-to-width ratio) morphological characters, and 1000 fruit weight among the species *Valeriana officinalis* L., *V. alternifolia* Ledeb., *V. dubia* Bunge, *V. wolgensis* Kazak. and *V. tuberosa* L.

Fruits of *V. officinalis* were found to be relatively light and small, those of *V. alternifolia* and *V. tuberosa* were relatively heavy, and those of *V. wolgensis* were large. Fruit indices (length-to-width ratios) of *V. officinalis* and *V. wolgensis* were higher than 2, while those of the remaining species were about 2. Dependence of fruit size characteristics on altitudes, latitudes, and weather conditions was shown.

Intrapopulation variability of morphological features in fruits was, as a rule, low or very low. Fruit length variability was lower in most species than the variability of their fruit widths or fruit indices. The contribution of interspecific variability to the variation in the quantitative traits of fruits exceeded the contribution of interpopulation variability. Qualitative and quantitative fruit characters of *Valeriana* L. spp. can be used as additional taxonomic indicators for their differentiation. The keys are provided for identification of species according to their fruit characters.

**Keywords:** populations, taxonomy, variability, reproductive traits

**Acknowledgements:** the study was performed within the framework of the topics of the scientific school “Diversity, population and ontogenetic resistance mechanisms, protection, reproduction and rational use of plant resources” of the Ufa University of Science and Technology.

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

**For citation:** Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R., Suleymanova E.N., Baryshnikova N.I. Some species of *Valeriana* L.: comparative description of fruit morphology. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):167-181. DOI:10.30901/2227-8834-2024-2-167-181

## Введение

Под *Valeriana* L. (сем. Valerianaceae Batsch) насчитывается около 200 видов. Ю. Н. Горбунов (Gorbunov, 2002) разделил род на три секции: sect. 1. *Tuberosae* (Hoeck) Grub. (3 вида, в том числе исследованный нами вид *V. tuberosa* L.), sect. 2. *Alliariifoliae* (Mikheev) Gorbunov с 2 видами и sect. 3. *Valeriana* Mikheev с 29 видами из 4 подсекций. К подсекции *Alpestres* Mikheev отнесены 4 вида, к подсекции *Altaicae* Gorbunov – 5, к подсекции *Sisymbroiifoliae* Mikheev – 5 и к подсекции *Valeriana* Mikheev – 15 видов.

Наибольший практический интерес как лекарственные растения представляют виды подсекции *Valeriana*, в том числе 4 вида, результаты изучения которых представлены в данной работе: *V. officinalis* L., *V. alternifolia* Ledeb., *V. dubia* Bunge, *V. wolgensis* Kazak.

Многие виды рода *Valeriana* подсекции *Valeriana* широко используются в качестве дополнительного источника сырья седативного действия (Lomagina, Danchul, 1990; Gorbunov, 2002; Semenova, Egorova, 2013). Несмотря на то что близкородственные виды подсекции *Valeriana* рекомендованы к использованию в фармакопее, качественный и количественный компонентный состав видов различен (Fursa, Gorbunov, 1979; Gorbunov, 2002; Panchenko et al., 2012; Fursa, Karavanova, 2013). В то же время виды близки морфологически и одновременно обладают высокой изменчивостью морфологических признаков вегетативных и репродуктивных органов, что затрудняет их таксономическую идентификацию. В связи с этим появляется необходимость поиска дополнительных признаков для дифференциации близкородственных видов.

Эколого-фитоценоотические, популяционные и фенологические (Ishmuratova et al., 2011, 2017) характеристики, поливариантность развития и особенности биологии семян (Baryshnikova, Ishmuratova, 2017) видов рода *Valeriana* в естественных условиях обитания и при интродукции также демонстрируют высокую степень изменчивости. Изменчивость параметров плодов можно рассматривать как реализацию адаптивной стратегии: так, например, показано (Harrasova et al., 2011), что при интродукции мезо- и мезогигрофитных видов *V. wolgensis* и *V. officinalis* в условия засушливой степной зоны Башкирского Зауралья размеры плодов уменьшаются.

В работе Ю. Н. Горбунова (Gorbunov, 2002) рекомендовано использовать морфологические признаки плодов для дифференциации видов. Однако установлено (Karcz, 1996; Bell, Donoghue, 2005; Kutschker, 2008, 2010; Jacobs et al., 2010; Kutschker, Morrone, 2012; Bach et al., 2014), что для видов сем. *Valerianaceae*, в том числе и для видов рода *Valeriana*, характерна значительная изменчивость анатомо-морфологических признаков репродуктивных органов – цветка, плода. В связи с этим представляют интерес исследования внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков плодов видов рода *Valeriana*.

Цель данной работы – выявление внутривидовой и межпопуляционной изменчивости, а также межвидовых различий качественных и количественных морфологических признаков плодов пяти видов рода *Valeriana*.

## Материалы и методы исследования

Для сравнительного анализа изменчивости качественных и количественных характеристик плодов видов подсекции *Valeriana* использован материал, собранный в естественных местах обитания: 24 ценопопуляции (ЦП)

*V. officinalis*, *V. wolgensis* и *V. dubia* на Южном Урале, 5 ЦП *V. alternifolia* в Центральной Якутии, а также плоды этих видов из 8 гербарных образцов с Алтая (*V. dubia*), из Забайкалья, Прибайкалья (Иркутская обл.), Якутии (*V. alternifolia*) (ЛЕ, БИН им. В.Л. Комарова РАН) и Европейской части РФ (*V. officinalis* и *V. wolgensis*) (СЫКО, Коми НЦ УрО РАН). Для оценки применимости признаков плодов при дифференциации таксонов выше ранга вида были изучены плоды *V. tuberosa* (секция *Tuberosae*) из естественных мест обитания (4 ЦП на Южном Урале). В каждой ценопопуляции плоды собирали с 30 генеративных растений, находящихся в фазе массового плодоношения. Исследования проведены в 2006–2017 гг. Места сбора образцов плодов представлены в таблице 1.

Изученные виды различаются по местообитаниям и фенологии. *Valeriana tuberosa* – тип ареала средиземноморский, Европ. ч.: Ц.; З. (Днепр.; Молд.; Причерн.); В.; К.; Кавказ: Предкавказье, Даг.; Зап. Сибирь: Верх.-Тоб., Ирт.; Ср. Азия: Арало-Касп. (сев.), Прибалх. (сев.) (Gorbunov, 2002), степное растение, ксеромезофит; в условиях Южного Урала цветет в первой-второй декадах мая, плодоносит с третьей декады мая по вторую декаду июня. *V. dubia* – тип ареала евразийский, Европ. ч.: Ц. (Верх.-Волж.; Волж.-Кам.; Волж.-Дон.); З. (Днепр.: Вост.); В. (Заволж.); Зап.-Си.: Верх.-Тоб., Ирт., Обск., Алт.; Вост. Си.: Анг.-Саян.; Ср. Азия: Дж.-Тарб., Тянь-Шан. (Gorbunov, 2002), степной и горно-степной вид, петрофит, ксеромезофит; в условиях Южного Урала цветет со второй декады мая по вторую декаду июня, плодоносит со второй декады мая по вторую декаду июня. *V. wolgensis* – тип ареала восточноевропейский, Европ. ч.: А. (Аркт.-Евр.); С. (Дв.-Печ.); Ц. (Верх.-Днепр.; Верх.-Волж.; Волж.-Кам.; Волж.-Дон.); З. (Днепр.); В. Зап.-Сиб. (Gorbunov, 2002), опушечно-лесной вид, мезофит; в условиях Южного Урала цветет со второй декады июня по вторую декаду июля, плодоносит в июле. *V. officinalis* – тип ареала среднеевропейский, Европ. ч.: С. (Дв.-Печ.: юг); П.; Ц.; З. (Карп.; Днепр.; Молд.); В. (Ниж.-Дон.; Заволж.) (Gorbunov, 2002), влажнолуговой и лугово-болотный вид, мезогигрофит; в условиях Южного Урала цветет с конца третьей декады июня по первую декаду августа, плодоносит с третьей декады июля по третью декаду августа. *V. alternifolia* – тип ареала ангарский, Зап. Сиб.: Обск. (Вост.); Ирт.; Вост. Сиб.: Анг. Саян.; Енис.; Даур.; Лен.-Кол.; Дальн. Вост.: Охот. (Южн.); Зее-Бур.; Удск.; Уссури. (Gorbunov, 2002), луговой и лугово-степной вид, мезофит; в условиях Центральной Якутии цветет в июле, плодоносит в августе.

У представителей рода *Valeriana* плод односемянный, трехчленный, синкарпный, «морфологически своеобразен, что заслуживает специального названия “аггедула”» (Gorbunov, 2002, р. 42).

При описании плодов учитывали следующие признаки: длина и ширина (мм), отражающий форму индекс плода (отношение длины к ширине), масса 1000 шт. плодов (г), опушенность и цвет. Случайным образом отбирали по 100 шт. из выборки плодов каждой ЦП. В гербарных образцах измеряли все доступные для измерения плоды. Измерения проводили с использованием мерной лупы (×10) по ГОСТ 8309-57 (1973) с точностью до 0,1 мм. Массу 1000 шт. плодов измеряли на электронных весах HL 400 EX фирмы A&D Company (Япония), повторность измерений трехкратная.

Первичный материал обрабатывали вариационно-статистическими методами в программе Excel for Windows (Microsoft Office 2010) и с использованием пакета программ STATISTICA (10.0.228.2).

**Таблица 1. Места сбора плодов видов рода *Valeriana* L.****Table 1. Fruit collection sites for *Valeriana* L. spp.**

Номер образца / Sample No.	Место сбора плодов / Fruit collection site
<i>Valeriana wolgensis</i> Kazak.	
1.1	Южный Урал, Белорецкий р-н, Южно-Уральский государственный природный заповедник (ЮУГПЗ): хр. Малый Ямантау, 54°19'24.79" с. ш., 57°47'45.49" в. д., 450 м н. у. м. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Small Yamantau Ridge, 54°19'24.79"N, 57°47'45.49"E, 450 MASL
1.2	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Малый Ямантау, 54°15'00.50" с. ш., 57°57'34.66" в. д., 550 м н. у. м., 113 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Small Yamantau Ridge, 54°15'00.50"N, 57°57'34.66"E, 550 MASL, 123 sq.
1.3	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: окраина г. Межгорье, 54°19'07.22" с. ш., 57°44'35.43" в. д., 700 м н. у. м., 70 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: outskirts of Mt. Mezghorye, 54°19'07.22"N, 57°44'35.43"E, 700 MASL, 70 sq.
1.4	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Юша, г. Дунав-Суйган, 54°04'15.05" с. ш., 57°52'37.01" в. д., 975 м н. у. м., 56 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Yusha Ridge, Mt. Dunan Suigan, 54°04'15.05"N, 57°52'37.01"E, 975 MASL, 56 sq.
1.5	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Юша, 53°35'18.80" с. ш., 58°04'28.97" в. д., 900 м н. у. м., 42 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Yusha Ridge, 53°35'18.80"N, 58°04'28.97"E, 900 MASL, 42 sq.
1.6	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Юша, 53°35'09.18" с. ш., 58°04'04.06" в. д., 870 м н. у. м., поляна «Зимовка», 28 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Yusha Ridge, 53°35'09.18"N, 58°04'04.06"E, 870 MASL, Zimovka Glade, 28 sq.
1.7	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Юша, г. Кайын-тубэ, 53°35'28.55" с. ш., 58°04'29.98" в. д., 920 м н. у. м., 27 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Yusha Ridge, Mt. Kaiyn-tube, 53°35'28.55"N, 58°04'29.98"E, 920 MASL, 27 sq.
1.8	Южный Урал, Уфимский р-н: п. Локотки, 54°33'20.53" с. ш., 55°56'25.53" в. д., 97 м н. у. м. / South Urals, Ufimsky District: Lokotki Settlement, 54°33'20.53"N, 55°56'25.53"E, 97 MASL
1.9	Южный Урал, Уфимский р-н: пойма р. Уфимка, 54°43'03.94" с. ш., 56°01'38.15" в. д., 94 м н. у. м. / South Urals, Ufimsky District: Ufimka River Floodplain, 54°43'03.94"N, 56°01'38.15"E, 94 MASL
1.10	Южный Урал, Белорецкий район, ЮУГПЗ: хр. Нары, 54°12'56.90" с. ш., 57°46'02.86" в. д., 500 м н. у. м., 65 кв. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Nary Ridge, 54°12'56.90"N, 57°46'02.86"E, 500 MASL, 65 sq.
1.11	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУГПЗ: хр. Зильмердак, 54°29'03.68" с. ш., 57°29'39.59" в. д., 700 м н. у. м. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: Zilmerdak Ridge, 54°29'03.68"N, 57°29'39.59"E, 700 MASL
1.12	Республика Коми, Усть-Куломский р-н, прав. бер. р. Вычегда: кустарник; гербарный образец (SYKO) / Komi Republic, Ust-Kulomsky District, Vychegda River right bank: shrubbery; herbarium specimen (SYKO)
1.13	Республика Коми, Усть-Цилемский р-н, р. Пижма, 196 км от устья; гербарный образец (SYKO) / Komi Republic, Ust-Tsilemsky District, Pizhma River, 196 km from the estuary; herbarium specimen (SYKO)

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continued

Номер образца / Sample No.	Место сбора плодов / Fruit collection site
<i>Valeriana officinalis</i> L.	
2.1	Южный Урал, Архангельский р-н: поймар. Аскын, заболоченный луг, 54°23'52.44" с. ш., 56°49'46.62" в. д., 131 м н. у. м. / South Urals, Arkhangelsky District: Askin River floodplain, wetland meadow, 54°23'52.44"N, 56°49'46.62"E, 131 MASL
2.2	Южный Урал, Архангельский р-н: обочина лесной дороги, 55°28'00.44" с. ш., 57°05'22.66" в. д., 139 м н. у. м. / South Urals, Arkhangelsky District, swampy forest roadside, 55°28'00.44"N, 57°05'22.66"E, 139 MASL
2.3	Южный Урал, Архангельский р-н: опушка пойменной уремы, 54°28'51.30" с. ш., 57°04'25.45" в. д., 138 м н. у. м. / South Urals, Arkhangelsky District: floodplain forest edge, 54°28'51.30"N, 57°04'25.45"E, 138 MASL
2.4	Южный Урал, Архангельский р-н: поймар. Инзер, заболоченный луг, 54°29'01.72" с. ш., 56°51'46.61" в. д., 118 м н. у. м. / South Urals, Arkhangelsky District: Inzer River floodplain, wetland meadow, 54°29'01.72"N, 56°51'46.61"E, 118 MASL
2.5	Южный Урал, Баймакский р-н: окрестности с. Туркменово, влажный луг, 52°52'42.37" с. ш., 58°29'28.21" в. д., 397 м н. у. м. / South Urals, Baymasksky District: vicinity of Turkmenovo Village, wet meadow, 52°52'42.37"N, 58°29'28.21"E, 397 MASL
2.6	Южный Урал, Баймакский р-н: д. Мукасово-1, влажный луг, 52°46'02.31" с. ш., 58°35'56.78" в. д., 417 м н. у. м. / South Urals, Baymasksky District: Mukasovo-1 Village, wet meadow, 52°46'02.31"N, 58°35'56.78"E, 417 MASL
2.7	Южный Урал, Бурзянский р-н: опушка леса, 53°02'06.08" с. ш., 57°04'15.00" в. д., 280 м н. у. м. / South Urals, Burzyansky District: forest edge, 53°02'06.08"N, 57°04'15.00"E, 280 MASL
2.8	Южный Урал, Бурзянский р-н: пойма р. Белая, луг, 53°02'12.72" с. ш., 57°03'45.83" в. д., 291 м н. у. м. / South Urals, Burzyansky District: Belaya River floodplain, meadow, 53°02'12.72"N, 57°03'45.83"E, 291 MASL
2.9	Южный Урал, Белорецкий р-н, ЮУПЗ: вырубка, 54°11'30.41" с. ш., 57°37'55.01" в. д., 349 м н. у. м. / South Urals, Beloretsky District, South-Ural State Nature Reserve: cutover patch, 54°11'30.41"N, 57°37'55.01"E, 349 MASL
2.10	Южный Урал, Архангельский р-н: влажный луг, 54°24'00.90" с. ш., 56°50'11.28" в. д., 131 м н. у. м. / South Urals, Arkhangelsky District: wet meadow, 54°24'00.90"N, 56°50'11.28"E, 131 MASL
2.11	Южный Урал, Баймакский р-н: д. Ахмерово, влажный луг, 52°51'09.67" с. ш., 58°33'03.54" в. д., 377 м н. у. м. / South Urals, Baymasksky District: Akhmerovo Village, wet meadow, 52°51'09.67"N, 58°33'03.54"E, 377 MASL
2.12	Вологодская обл., Тотемский р-н, с. Никольское: пойма р. Толшма, заболоченный луг; гербарный образец (SYKO) / Vologda Province, Totemsky District, Nikolskoye Village: Tolshma River floodplain, swampy meadow; herbarium specimen (SYKO)
<i>Valeriana dubia</i> Bunge	
3.1	Южный Урал, Баймакский р-н: д. Старый Сибай, горная степь, 52°41'40.80" с. ш., 58°30'58.47" в. д., 635 м н. у. м. (2006 г.) / South Urals, Baymasksky District: Stary Sibai Village, mountain steppe, 52°41'40.80"N, 58°30'58.47"E, 635 MASL (2006)
3.2	Южный Урал, Баймакский р-н: д. Старый Сибай, горная степь, 52°41'40.80" с. ш., 58°30'58.47" в. д., 635 м н. у. м. (2017 г.) / South Urals, Baymasksky District: Stary Sibai Village, mountain steppe, 52°41'40.80"N, 58°30'58.47"E, 635 MASL (2017)

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

Номер образца / Sample No.	Место сбора плодов / Fruit collection site
<b><i>Valeriana dubia</i> Bunge</b>	
3.3	Алтай: Кош-Агачский р-н, Мохро-Оюк, субальпийский пояс скалы; гербарный образец (ЛЕ, БИН) / Altai Republic: Kosh-Agachsky District, Mokhro-Oyuk, rock subalpine zone; herbarium specimen (LE, Komarov Botanical Institute)
<b><i>Valeriana tuberosa</i> L.</b>	
4.1	Южный Урал, Баймакский р-н: д. Старый Сибай, петрофитная степь, 52°41'00.14" с. ш., 58°32'59.38" в. д., 490 м н. у. м. (2006 г.) / South Urals, Baymaksky District: Stary Sibai Village, petrophyte steppe, 52°41'00.14"N, 58°32'59.38"E, 490 MASL (2006)
4.2	Южный Урал, Баймакский р-н: окр. д. Старый Сибай, петрофитная степь, 52°41'00.14" с. ш., 58°32'59.38" в. д., 490 м н. у. м. (2007 г.) / South Urals, Baymaksky District, vicinity of Stary Sibai Village, petrophyte steppe, 52°41'00.14"N, 58°32'59.38"E, 490 MASL (2007)
4.3	Южный Урал, Баймакский р-н: окр. д. Кусеево, петрофитная степь, 52°59'04.34" с. ш., 58°25'03.66" в. д., 439 м н. у. м. / South Urals, Baymaksky District, vicinity of Kuseyevo Village: petrophyte steppe, 52°59'04.34"N, 58°25'03.66"E, 439 MASL
4.4	Южный Урал, Хайбуллинский р-н: окр. с. Самарское, петрофитная степь, 52°01'09.97" с. ш., 58°09'01.63" в. д., 327 м н. у. м. / South Urals, Khaybullinsky District: vicinity of Samarskoye Village, petrophyte steppe, 52°01'09.97"N, 58°09'01.63"E, 327 MASL
<b><i>Valeriana alternifolia</i> Ledeb.</b>	
5.1	Якутия, Чурапчинский р-н: пойма р. Туйма, 62°20'52.64" с. ш., 131°11'52.14" в. д., 161 м н. у. м. / Yakutia, Churapchinsky District: Tuyma River floodplain, 62°20'52.64"N, 131°11'52.14"E, 161 MASL
5.2	Якутия, Чурапчинский р-н, местность Бахсы, 62°16'51.83" с. ш., 131°47'07.90" в. д., 244 м н. у. м. / Yakutia, Churapchinsky District, Bakhsy area, 62°16'51.83"N, 131°47'07.90"E, 244 MASL
5.3	Якутия, Таттинский улус, окрестности с. Харбалах: берег р. Амги, остепненные луга, 62°11'39.00" с. ш., 134°19'06.54" в. д., 127 м н. у. м. / Yakutia, Tattinsky District, vicinity of Kharbalakh Village, Amga River bank, steppe meadows, 62°11'39.00"N, 134°19'06.54"E, 127 MASL
5.4	Якутия, Таттинский улус: пойма р. Амги, 62°09'06.80" с. ш., 134°22'49.53" в. д., 117 м н. у. м. / Yakutia, Tattinsky District: Amga River floodplain, 62°09'06.80"N, 134°22'49.53"E, 117 MASL
5.5	Якутия, окрестности пос. Чычымах: пойма р. Амги, 62°06'26.43" с. ш., 134°23'34.51" в. д., 119 м н. у. м. / Yakutia, vicinity of Chychymakh Settlem.: Amga River floodplain, 62°06'26.43"N, 134°23'34.51"E, 119 MASL
5.6	Забайкальский край: Нерченский р-н, село Горный Зерентуй; гербарный образец (ЛЕ, БИН) / Transbaikal Territory: Nerchensky District, Gorny Zerentuy Village; herbarium specimen (LE, Komarov Botanical Institute)
5.7	Забайкальский край: курорт Олентуй, березняк с примесью лиственницы; гербарный образец (ЛЕ, БИН) / Transbaikal Territory: Olentuy Resort, birch forest mixed with larch; herbarium specimen (LE, Komarov Botanical Institute)
5.8	Якутия: окрестности поселка Нижний Бестях; гербарный образец (ЛЕ, БИН) / Yakutia: vicinity of Nizhny Bestyakh Settlem.; herbarium specimen (LE, Komarov Botanical Institute)
5.9	Иркутская область: окрестности поселка Култук; гербарный образец (ЛЕ, БИН) / Irkutsk Province: vicinity of Kultuk Settlem.; herbarium specimen (LE, Komarov Botanical Institute)]

Для каждого количественного признака определяли среднее арифметическое значение, ошибку, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, оценивали вклад в варьирование признаков внутри- и межпопуляционных различий. Уровни варьирования признаков приняты по Г. Н. Зайцеву (Zaitsev, 1973):  $CV < 10\%$  – низкий,  $CV = 11\text{--}20\%$  – средний,  $CV > 20\%$  – высокий. Статистическую значимость различий средних значений и коэффициентов вариации оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента.

### Результаты исследования и обсуждение

Плоды видов рода *Valeriana* мелкие. Количественные морфологические характеристики плодов исследованных видов рода *Valeriana* представлены в таблице 2. Растения *V. wolgensis* из Предуралья (Уфимский р-н) (образцы 1.8, 1.9) характеризуются более мелкими плодами, чем растения из природных популяций горно-лесной зоны Южного Урала (образцы 1.1–1.7, 1.10, 1.11) – различия по длине и ширине статистически значимы ( $p < 0,01$ ). На градиенте высотности от низкогорных (образцы 1.1, 1.2, 1.10) до горных (образцы 1.3–1.7, 1.11) популяций размеры плодов *V. wolgensis* значимо увеличиваются, например для образцов 1.1 и 1.4 ( $p < 0,01$ ). Плоды *V. wolgensis* из Республики Коми (образцы 1.12, 1.13) крупнее плодов растений из природных популяций Южного Урала, например для образцов 1.6 и 1.13 ( $p < 0,01$ ). *V. wolgensis* имеет восточноевропейский тип ареала, в пределах России с севера на юг вид распространен от Арктики (Мурманская обл., Ненецкий автономный округ) до Нижней Волги (Волгоградская обл., Астраханская обл.) (Gorbunov, 2002). Вид имеет широкий эколого-ценотический ареал, в Республике Башкортостан произрастает в различных сообществах (разреженные леса, опушки, лесные луга, подгольцовые луга и луговины), поднимаясь до высоты 1500 м н. у. м. (Ishbirdin et al., 1996; Mirkin, 2008; Ishmuratova et al., 2011). Экологическая пластичность вида определяется в том числе и высокой адаптивной изменчивостью размерных параметров плодов. Размеры плодов зависят от тепло- и влагообеспеченности территорий произрастания, что определяется и географическим происхождением плодов, высотным положением местопроизрастаний и, вероятно, погодными условиями отдельных лет.

Количественные морфологические характеристики плодов *V. officinalis* представлены в таблице 2. Плоды *V. officinalis* различного географического происхождения, собранные в горно-лесной зоне Южного Урала (образцы 2.1–2.4, 2.7–2.10), в Башкирском Зауралье (образцы 2.5, 2.6, 2.10) и в Вологодской обл. (образец 2.12), имеют близкие, не имеющие статистически значимых различий размеры. Это указывает на то, что в отличие от *V. wolgensis* у этого стенотопного вида произошла морфологическая адаптация, в том числе плодов, к условиям экотопа со свежими и влажными почвами.

Характеристика морфологических признаков плодов *V. dubia* представлена в таблице 2. Плоды *V. dubia* из природных популяций Южного Урала (образцы 3.1, 3.2) статистически значимо ( $p < 0,01$ ) уступают по всем размерным показателям плодам алтайского происхождения (образец 3.3). Плоды, собранные в одной популяции, но в разные годы (образцы 3.1, 3.2), также значимо отличаются по длине ( $p < 0,01$ ). Поскольку сбор в этой ценопопуляции проводили в фазу массового плодоношения, когда плоды достигли предельных размеров, можно полагать,

что разногодичные и географические (Южный Урал, Алтай) различия параметров плодов определяются почвенно-климатическими условиями их формирования.

Плоды *V. tuberosa*, собранные в разные годы и в разных популяциях Башкирского Зауралья, характеризуются различными размерами (см. табл. 2). В целом размерные характеристики плодов, собранных в Башкирском Зауралье, мельче размерных характеристик плодов *V. tuberosa* иного географического происхождения, указанных в работе Ю. Н. Горбунова (Gorbunov, 2002) –  $3,9 (3,4\text{--}4,6) \times 2,1 (1,6\text{--}2,6)$  мм.

Плоды *V. alternifolia* различного географического происхождения (Иркутская область, Забайкалье, Якутия) отличаются размерами (см. табл. 2). Самые мелкие (образец 5.1) и крупные (образец 5.4) плоды *V. alternifolia* собраны в разных ЦП в районах Центральной Якутии в один год исследования и статистически значимо отличаются по размерным показателям ( $p < 0,01$ ).

Относительные размеры и форма плодов исследованных видов рода *Valeriana* представлены на рисунке 1, характеризующие форму индексы семян – в таблице 2. У *V. tuberosa*, *V. alternifolia* и *V. dubia* индекс плодов – около 2, форма от яйцевидной до продолговато-яйцевидной. Индекс плодов *V. officinalis* – 2,2, форма продолговато-яйцевидная. Индекс плодов *V. wolgensis* – 2,5, форма от продолговато-яйцевидной до продолговатой. Различия индекса плода между всеми парами видов, кроме пары *V. tuberosa* и *V. alternifolia*, статистически значимы для  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$ .

Уровень внутривидовой изменчивости морфологических признаков плодов исследованных видов рода *Valeriana* преимущественно низкий, а для *V. officinalis* преобладают выборки с очень низким уровнем изменчивости длины плода. Для большинства ЦП всех видов уровень изменчивости показателя «длина семени» ниже изменчивости показателей «ширина» и «индекс плодов» (см. табл. 2). Вероятно, это связано с отмеченной ранее заметной изменчивостью степени редукции стерильных гнезд завязи у видов рода *Valeriana* (Bell, Donoghue, 2005; Bell, 2007) и большей генетической детерминированностью показателя длины плода.

Анализ вклада в изменчивость признаков внутри- и межпопуляционных различий (однофакторный дисперсионный анализ) показал для всех параметров плодов всех видов статистически значимое влияние факторов ( $p < 0,01$ ). Но только для длины и ширины плода *V. wolgensis* основным источником варьирования была межпопуляционная изменчивость (табл. 3), что указывает на большую среди анализируемых видов адаптивную изменчивость *V. wolgensis* по отношению к определяемым экотопическими (от суходольных лугов до заболоченных лесов) (Gorbunov, 2002) и широтно-географическими (от Аркт.-Евр. до Днепр. флористического районов) (Gorbunov, 2002) факторами условиям.

Для всех видов выявлено статистически значимое влияние факторов как межпопуляционной, так и межвидовой изменчивости. Однако вклад межвидовой изменчивости в варьирование признаков плодов примерно в 2 раза превышает вклад межпопуляционной (внутривидовой) изменчивости, что подтверждает применимость признаков морфологии плодов для таксономической дифференциации видов (табл. 4).

По размерным характеристикам плодов (длина и ширина) исследованные виды рода *Valeriana* различаются (рис. 2). Самые мелкие среди исследованных видов плоды у *V. officinalis*. Плоды *V. wolgensis* крупные и значитель-

Таблица 2. Морфологические характеристики плодов видов рода *Valeriana* L.  
Table 2. Fruit morphological characteristics of *Valeriana* L. spp.

Номер образца / Sample No.	Признак / Character											
	Длина, мм / Length, mm			Ширина, мм / Width, mm					Индекс / Index			
	M ± m	Min	Max	CV ± m, %	M ± m	Min	Max	CV ± m, %	M ± m	Min	Max	CV ± m, %
Valeriana wolgensis Kazak.												
1.1	3,31 ± 0,05	2,90	3,90	8,49 ± 0,60	1,35 ± 0,03	1,00	1,60	11,79 ± 0,83	2,48 ± 0,05	2,07	3,00	11,11 ± 0,79
1.2	3,32 ± 0,04	2,90	3,70	6,10 ± 0,43	1,39 ± 0,02	1,10	1,60	9,03 ± 0,64	2,40 ± 0,05	2,06	3,09	11,60 ± 0,82
1.3	3,76 ± 0,05	3,40	4,40	6,80 ± 0,48	1,69 ± 0,03	1,30	2,00	11,03 ± 0,78	2,26 ± 0,07	1,75	3,08	16,28 ± 1,15
1.4	3,53 ± 0,04	3,20	3,90	6,10 ± 0,43	1,57 ± 0,02	1,30	1,70	7,92 ± 0,56	2,26 ± 0,03	2,00	2,69	7,79 ± 0,55
1.5	3,84 ± 0,07	2,90	4,70	10,28 ± 0,73	1,68 ± 0,03	1,30	1,90	8,82 ± 0,62	2,30 ± 0,05	1,83	2,94	11,04 ± 0,78
1.6	3,96 ± 0,06	3,40	4,50	7,64 ± 0,54	1,65 ± 0,03	1,40	2,20	10,86 ± 0,77	2,42 ± 0,05	1,94	3,00	10,84 ± 0,77
1.7	3,92 ± 0,05	3,30	4,60	7,17 ± 0,51	1,68 ± 0,02	1,30	1,90	8,03 ± 0,57	2,35 ± 0,05	1,94	3,23	10,67 ± 0,75
1.8	3,06 ± 0,05	2,60	4,00	9,54 ± 0,67	1,18 ± 0,03	1,00	1,50	12,37 ± 0,87	2,61 ± 0,05	2,07	3,00	10,82 ± 0,77
1.9	3,07 ± 0,05	2,60	3,50	8,03 ± 0,57	1,17 ± 0,03	1,00	1,50	12,53 ± 0,89	2,66 ± 0,06	2,00	3,30	13,16 ± 0,93
1.10	3,61 ± 0,06	2,90	4,50	9,74 ± 0,69	1,28 ± 0,06	1,10	1,60	11,50 ± 0,81	2,85 ± 0,07	2,23	3,64	13,96 ± 0,99
1.11	3,53 ± 0,06	3,10	4,70	9,41 ± 0,67	1,51 ± 0,04	1,30	2,60	15,19 ± 1,07	2,37 ± 0,05	1,54	3,36	12,20 ± 0,86
1.12*	4,33 ± 0,09	3,70	5,90	11,83	1,59 ± 0,05	1,10	2,60	18,35	2,78 ± 0,08	1,58	3,69	16,50
1.13*	4,36 ± 0,14	4,00	4,90	8,47	1,96 ± 0,08	1,60	2,20	10,16	2,24 ± 0,07	2,00	2,50	8,34
Valeriana officinalis L.												
2.1	2,67 ± 0,03	2,40	3,00	6,02 ± 0,43	1,13 ± 0,02	1,00	1,30	8,14 ± 0,58	2,36 ± 0,03	2,17	2,70	6,62 ± 0,47
2.2	2,55 ± 0,03	2,20	2,80	6,32 ± 0,45	1,09 ± 0,02	0,90	1,30	8,12 ± 0,57	2,35 ± 0,03	2,00	2,70	7,41 ± 0,52
2.3	2,69 ± 0,02	2,50	2,90	4,97 ± 0,35	1,24 ± 0,03	1,00	1,60	11,70 ± 0,83	2,19 ± 0,05	1,56	2,64	11,92 ± 0,84
2.4	2,67 ± 0,02	2,50	2,90	4,91 ± 0,35	1,08 ± 0,02	0,80	1,30	9,02 ± 0,64	2,50 ± 0,04	2,15	3,38	9,04 ± 0,64
2.5	2,69 ± 0,02	2,40	3,00	5,06 ± 0,36	1,25 ± 0,02	1,00	1,70	11,03 ± 0,78	2,17 ± 0,04	1,47	2,70	11,20 ± 0,79
2.6	2,63 ± 0,03	2,40	3,10	6,93 ± 0,49	1,13 ± 0,02	1,00	1,40	9,87 ± 0,70	2,35 ± 0,04	1,79	2,80	8,76 ± 0,62
2.7	2,56 ± 0,02	2,30	2,90	4,96 ± 0,35	1,39 ± 0,02	1,20	1,70	8,93 ± 0,63	1,86 ± 0,03	1,53	2,17	9,02 ± 0,64
2.8	2,80 ± 0,03	2,60	3,40	5,51 ± 0,39	1,21 ± 0,02	1,10	1,40	6,86 ± 0,49	2,33 ± 0,03	1,93	2,64	7,22 ± 0,51
2.9	2,52 ± 0,01	2,40	2,70	3,20 ± 0,23	1,19 ± 0,01	1,10	1,30	5,79 ± 0,41	2,12 ± 0,02	1,92	2,36	5,67 ± 0,40
2.10	2,91 ± 0,05	2,50	3,50	9,34 ± 0,66	1,32 ± 0,02	1,10	1,50	9,34 ± 0,66	2,21 ± 0,04	1,87	2,73	9,73 ± 0,69

Таблица 2. Окончание  
Table 2. The end

Номер образца / Sample No.	Признак / Character													
	Длина, мм / Length, mm				Ширина, мм / Width, mm				Индекс / Index					
	M ± m	Min	Max	CV ± m, %	M ± m	Min	Max	CV ± m, %	M ± m	Min	Max	CV ± m, %	CV ± m, %	
Valeriana officinalis L.														
2.11	2,52 ± 0,04	1,90	2,90	7,69 ± 0,54	1,18 ± 0,02	1,00	1,60	10,19 ± 0,42	2,14 ± 0,04	1,63	2,60	9,05 ± 0,64		
2.12*	2,56 ± 0,02	2,50	2,60	2,14	1,14 ± 0,07	0,90	1,30	13,30	2,28±0,16	2,00	2,89	15,50		
Valeriana dubia Bunge														
3.1	3,01 ± 0,05	2,20	3,70	8,47 ± 0,60	1,52 ± 0,02	1,10	1,70	8,39 ± 0,59	1,99 ± 0,05	1,57	3,09	13,69 ± 0,97		
3.2	3,20 ± 0,05	2,60	3,70	9,15 ± 0,65	1,56 ± 0,02	1,40	1,90	7,09 ± 0,50	2,06 ± 0,03	1,73	2,40	8,94 ± 0,63		
3.3*	3,65 ± 0,08	3,00	4,50	12,50	2,02 ± 0,04	1,70	2,40	9,75	1,82 ± 0,05	1,36	2,35	14,49		
Valeriana tuberosa L.														
4.1	2,99 ± 0,05	2,50	3,80	9,38 ± 0,66	1,74 ± 0,04	1,30	2,10	11,56 ± 0,82	1,74 ± 0,05	1,32	2,38	14,87 ± 1,05		
4.2	3,19 ± 0,07	2,50	3,90	11,45 ± 0,81	1,59 ± 0,04	1,20	2,00	12,29 ± 0,87	1,8 ± 0,18	1,52	2,15	10,16 ± 0,72		
4.3	3,30 ± 0,08	2,30	4,10	13,00 ± 0,92	1,75 ± 0,05	1,20	2,20	14,00 ± 0,99	1,8 ± 0,25	1,47	2,33	13,84 ± 0,98		
4.4	3,19 ± 0,08	2,50	4,00	12,98 ± 0,92	1,62 ± 0,07	1,00	2,70	22,43 ± 1,59	1,97 ± 0,23	1,45	2,64	11,90 ± 0,84		
Valeriana alternifolia Ledeb.														
5.1	2,82 ± 0,04	2,00	3,30	8,46 ± 0,60	1,46 ± 0,02	1,20	1,70	7,92 ± 0,56	1,93 ± 0,03	1,43	2,31	8,23 ± 0,58		
5.2	3,06 ± 0,06	2,60	3,80	10,48 ± 0,74	1,57 ± 0,03	1,30	2,00	11,29 ± 0,80	1,97 ± 0,04	1,53	2,62	12,32 ± 0,87		
5.3	3,08 ± 0,04	2,80	3,60	6,9 5± 0,49	1,77 ± 0,04	1,40	2,10	11,27 ± 0,80	1,76 ± 0,04	1,43	2,40	13,95 ± 0,99		
5.4	3,67 ± 0,05	2,90	4,10	7,45 ± 0,53	1,90 ± 0,03	1,60	2,30	8,56 ± 0,61	1,94± 0,04	1,45	2,38	11,23 ± 0,79		
5.5	3,35 ± 0,05	2,90	3,80	7,52 ± 0,53	1,82 ± 0,03	1,30	2,00	8,31 ± 0,59	1,85 ± 0,04	1,61	2,62	10,46 ± 0,74		
5.6*	3,11 ± 0,06	2,60	4,00	9,37	1,87 ± 0,07	1,30	2,70	18,44	1,70 ± 0,05	1,15	2,08	12,54		
5.7*	3,18 ± 0,12	2,90	5,00	15,71	1,64 ± 0,05	1,30	2,00	12,16	1,94 ± 0,06	1,63	2,50	12,16		
5.8*	3,42 ± 0,06	2,90	4,00	9,29	1,70 ± 0,02	1,50	2,00	7,97	2,02 ± 0,02	1,71	2,31	6,71		
5.9*	3,44 ± 0,04	3,00	3,90	6,46	1,70±0,03	1,40	2,10	9,73	2,04 ± 0,04	1,52	2,71	9,45		

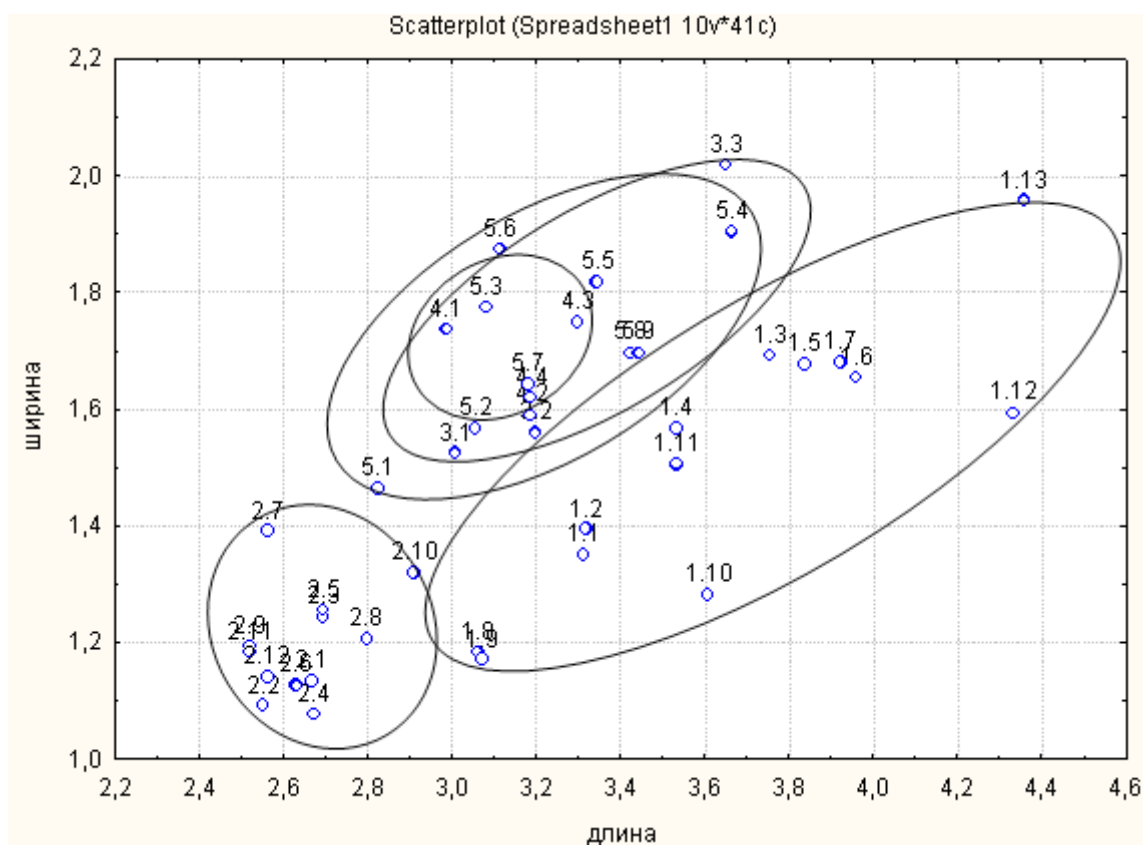
Примечание: M ± m – среднее арифметическое значение (± – ошибка среднего арифметического значения); Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; CV (%) – коэффициент вариации (± – ошибка); \* – гербарные образцы  
Note: M ± m – arithmetic mean value (± – error of the arithmetic mean); Min – minimum value; Max – maximum value; CV (%) – coefficient of variation (± – error); \* – herbarium specimens



**Рис. 1.** Форма и относительные размеры плодов некоторых видов рода *Valeriana* L. (сверху вниз: *V. officinalis* L., *V. wolgensis* Kozak., *V. dubia* Bunge, *V. alternifolia* Ledeb., *V. tuberosa* L.)

**Fig. 1.** Fruit shape and relative fruit size for some *Valeriana* L. spp.

(top to bottom: *V. officinalis* L., *V. wolgensis* Kozak., *V. dubia* Bunge, and *V. alternifolia* Ledeb., *V. tuberosa* L.)



**Рис. 2.** Средние значения длины и ширины плодов некоторых видов рода *Valeriana* (по оси X – длина, мм; по оси Y – ширина, мм): *V. wolgensis* – 1.1–1.13; *V. officinalis* – 2.1–2.12; *V. dubia* – 3.1–3.3; *V. tuberosa* – 4.1–4.4; *V. alternifolia* – 5.1–5.9

**Fig. 2.** Mean values of fruit length and width for some *Valeriana* L. spp.

(the X-axis shows the length, mm; the Y-axis shows the width, mm): *V. wolgensis* – 1.1–1.13; *V. officinalis* – 2.1–2.12; *V. dubia* – 3.1–3.3; *V. tuberosa* – 4.1–4.4; *V. alternifolia* – 5.1–5.9

**Таблица 3.** Степень влияния внутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости на общую изменчивость признаков плода видов рода *Valeriana* L.

**Table 3.** Effect size percentage for the influence of intra- and interpopulation variability on the general variability of fruit characters in *Valeriana* L. spp.

Вид / Species	Признак / Character	Степень влияния внутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости, % / Effect size for the influence of intra- and interpopulation variability, %	
		внутрипопуляционная / intrapopulation	межпопуляционная / interpopulation
<i>Valeriana wolgensis</i>	Длина / Length	36	64
	Ширина / Width	40	60
	Индекс / Index	76	24
<i>Valeriana officinalis</i>	Длина / Length	75	25
	Ширина / Width	58	42
	Индекс / Index	55	45
<i>Valeriana dubia</i>	Длина / Length	62	38
	Ширина / Width	38	62
	Индекс / Index	58	42
<i>Valeriana alternifolia</i>	Длина / Length	56	44
	Ширина / Width	64	36
	Индекс / Index	78	22
<i>Valeriana tuberosa</i>	Длина / Length	70	30
	Ширина / Width	93	7
	Индекс / Index	90	10

Примечание: для всех случаев влияние фактора достоверно ( $p < 0,01$ )

Note: the effect size is significant for all cases ( $p < 0.01$ )

**Таблица 4.** Степень влияния межвидовой и внутривидовой изменчивости на общую изменчивость признаков плода видов рода *Valeriana* L.

**Table 4.** Effect size percentage for the influence of inter- and intraspecies variability on the general variability of fruit characters in *Valeriana* L. spp.

Признак / Character	Степень влияния межвидовой и внутривидовой (межпопуляционной) изменчивости, % / Effect size for the influence of inter- and intraspecies (interpopulation) variability, %	
	межвидовая / interspecies	межпопуляционная (внутривидовая) / interpopulation (intraspecies)
Длина, мм / Length, mm	66	34
Ширина, мм / Width, mm	61	39
Индекс / Index	64	36

Примечание: для всех случаев влияние фактора статистически значимо ( $p < 0,01$ )

Note: the effect size is significant for all cases ( $p < 0.01$ )

но отличаются по размерам и форме от плодов других исследованных видов. Плоды *V. alternifolia*, *V. dubia* и *V. tuberosa* схожи по размерам (длина и ширина) и форме (см. рис. 1, 2), несмотря на то что виды относятся к двум разным секциям.

Характеристика качественных (форма, цвет, опушенность) признаков и масса плодов исследованных видов представлены в таблице 5. Относительно легкими и мелкими являются плоды *V. officinalis*, относительно тяжелыми – *V. alternifolia* и *V. tuberosa*, крупными – *V. wolgensis*. Плоды *V. officinalis* имеют светло-коричневую или темно-коричневую окраску. Верхняя сторона плодов с редкими волосками, нижняя опушенная. Плоды *V. wolgensis*

светло-коричневые, с верхней стороны опушены редкими волосками, с нижней всегда опушенные. Плоды *V. alternifolia* желто-коричневые или коричневые, с обеих сторон опушенные. Плоды *V. dubia* рыжевато-коричневые, верхняя сторона плодов голая или очень редко с редкими волосками, нижняя опушенная. Плоды *V. tuberosa* коричневые, с обеих сторон опушенные. Плоды у видов рода *Valeriana* имеют различия и достоверно отличаются массой, размерами и формой.

Анализ качественных и количественных характеристик некоторых видов рода *Valeriana* позволил нам выделить дополнительные признаки для таксономической дифференциации видов по плодам.

**Таблица 5. Качественные характеристики и масса плодов видов рода *Valeriana* L.**

**Table 5. Qualitative characteristics and fruit weight of *Valeriana* L. spp.**

Признак / Character	Вид / Species				
	<i>V. officinalis</i> L.	<i>V. wolgensis</i> Kozak.	<i>V. dubia</i> Bunge	<i>V. alternifolia</i> Ledeb.	<i>V. tuberosa</i> L.
Форма / Shape	продолговато-яйцевидная / oblong-ovoid	от продолговато-яйцевидной до продолговатой / from oblong-ovoid to oblong	от яйцевидной до продолговато-яйцевидной / from ovoid to oblong-ovoid	от яйцевидной до продолговато-яйцевидной / from ovoid to oblong-ovoid	продолговато-яйцевидная / oblong-ovoid
Цвет / Color	светло-коричневый или темно-коричневый / light brown or dark brown	светло-коричневый / light brown	рыжевато-коричневый / reddish-brown	желто-коричневый или коричневый, пятнистые / tan or brown, spotty	коричневый / brown
Опушенность / Pubescence	верхняя сторона с редкими волосками, нижняя опушенная / the upper side is with sparse hairs, and the lower side is pubescent	верхняя сторона с редкими волосками, нижняя опушенная / the upper side is with sparse hairs, and the lower side is pubescent	верхняя сторона голая или очень редко с редкими волосками, нижняя опушенная / the upper side is bare or very rarely with sparse hairs, and the lower side is pubescent	с обеих сторон густо опушенные / densely pubescent on both sides	с обеих сторон опушенные / pubescent on both sides
Масса 1000 шт. плодов, г / 1000 fruit weight, g	0,41 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,75 ± 0,06	0,86 ± 0,04	0,81 ± 0,03

**Ключ для определения видов рода *Valeriana* по плодам: /  
The key to identification of *Valeriana* spp. according to their fruits:**

1. Плоды опушены с обеих сторон..... 2  
– Плоды с верхней стороны голые или с редким опушением..... 3
2. Плоды коричневые..... ***V. tuberosa***  
***V. tuberosa***. Плоды опушенные с обеих сторон, коричневые, дл. в ср. 3,2 (2,3–4,1) мм, шир. 1,7 (1,0–2,7) мм, индекс меньше 2, форма продолговато-яйцевидная, масса 1000 шт. плодов: 0,81 ± 0,03 г.

- Плоды желто-коричневые или коричневые, неравномерно окрашены ..... *V. alternifolia*  
***V. alternifolia***. Плоды густо опушенные с обеих сторон, желто-коричневые или коричневые, неравномерно окрашены, дл. в ср. 3,2 (2,6–5,0) мм, шир. 1,7 (1,2–2,7) мм, индекс: около 2, форма от яйцевидной до продолговато-яйцевидной, масса 1000 шт. плодов:  $0,86 \pm 0,04$  г.  
 3. Индекс плода около 2 ..... *V. dubia*  
***V. dubia***. Плоды с верхней стороны голые или с редким опушением, с нижней стороны опушенные, рыжевато-коричневые, дл. в ср. 3,1 (2,2–4,5) мм, шир. 1,5 (1,1–2,4) мм, индекс около 2, форма от яйцевидной до продолговато-яйцевидной, масса 1000 шт. плодов:  $0,75 \pm 0,06$  г.  
 – Индекс плода больше 2 ..... 4  
 4. Плоды относительно мелкие, дл. в ср. 2,7 (1,9–3,5) мм, шир. 1,2 (0,8–1,7) мм ..... *V. officinalis*  
***V. officinalis***. Плоды с верхней стороны голые или с редким опушением, с нижней стороны опушенные, относительно мелкие, светло-коричневые или темно-коричневые, дл. в ср. 2,7 (1,9–3,5) мм, шир. 1,2 (0,8–1,7) мм, индекс 2,2, продолговато-яйцевидные, масса 1000 шт. плодов:  $0,41 \pm 0,02$  г.  
 – Плоды относительно крупные, дл. в ср. 3,5 (2,5–5,9) мм, шир. 1,5 (0,9–2,6) мм ..... *V. wolgensis*  
***V. wolgensis***. Плоды с верхней стороны голые или с редким опушением, с нижней стороны опушенные, светло-коричневые, дл. в ср. 3,5 (2,5–5,9) мм, шир. 1,5 (0,9–2,6) мм, индекс 2,5, форма от продолговато-яйцевидной до продолговатой, масса 1000 шт. плодов:  $0,68 \pm 0,02$  г.

### Заключение

Таким образом, качественные (форма, цвет, опушенность) и количественные (длина, ширина, индекс, масса 1000 шт. плодов) характеристики плодов видов рода *Valeriana* (*V. officinalis*, *V. alternifolia*, *V. dubia*, *V. wolgensis* и *V. tuberosa*) могут быть использованы в качестве дополнительных таксономических признаков для дифференциации видов. По-видимому, различия плодов связаны с адаптацией исследованных видов к различным условиям, определяющим, прежде всего, успешность их расселения. Виды полузакрытых пространств (*V. alternifolia*, *V. dubia*, *V. tuberosa*) имеют более тяжелые плоды, у луговых, опушенных и лугово-опушенных видов (*V. wolgensis*, *V. officinalis*) легкие плоды более адаптированы к распространению слабым ветром в полузакрытых местообитаниях. Опушение плодов видов малообеспеченных влагой открытых местообитаний (*V. alternifolia*, *V. dubia*, *V. tuberosa*) защищают, вероятно, от излишнего испарения и перегрева от прямых солнечных лучей.

Отмечены значимые различия количественных параметров плодов изученных видов, а также зависимость размерных характеристик плодов отдельных видов от погодных, высотных и климатических (географических) условий, что указывает на адаптивный характер изменчивости плодов видов валериан. Статистически значимое различие внутрипопуляционной вариабельности признаков, таких как «длина», «ширина» и «индекс плода», оцениваемых по коэффициенту вариации (CV), над межпопуляционной изменчивостью этих признаков, в большей степени выраженное у *V. dubia* (две географически удаленные популяции: Южный Урал и Алтай) и *V. tuberosa*, указывает, вероятно, на более заметное проявление микроэволюционных процессов в популяциях этих видов. *V. officinalis* можно рассматривать как эволюционно стабильный вид – единственный из изученных, для которого нами не установлено статистически значимых различий средних показателей внутрипопуляционной и межпопуляционной вариабельности (CV) исследованных параметров. Подтверждается это стенопотностью и узкой фитоценотической амплитудой вида – приуроченностью исключительно к влажным и заболоченным лугам. Значительное превышение силы влияния факторов, определяющих межпопуляционную изменчивость признаков длины и ширины плода *V. wolgensis*, обусловили широкую эколого-ценотическую нишу и высокую амплитуду широтно-географического ареала вида.

### References / Литература

- Bach H.G., Varela B.G., Fortunato R., Wagner M.L. Pharmacobotany of two *Valeriana* species (Valerianaceae) of Argentinian Patagonia known as "Nancolahuen". *Latin American Journal of Pharmacy*. 2014;33(6):891-896.
- Baryshnikova N., Ishmuratova M. Biology of seeds of some species of the genus *Valeriana* and features of their introduction into culture *in vitro*. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017;19(5):25-29. [in Russian] [Барышникова Н.И., Ишмуратова М.М. Биология семян некоторых видов рода *Valeriana* и особенности введения их в культуру *in vitro*. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2017;19(5):25-29].
- Bell C.D. Phylogenetic placement and biogeography of the North American species of *Valerianella* (Valerianaceae: Dipsacales) based on chloroplast and nuclear DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2007;44(3):929-941. DOI: 10.1016/j.ympev.2007.03.013
- Bell C.D., Donoghue M.J. Phylogeny and biogeography of Valerianaceae (Dipsacales) with special reference to the South American valerians. *Organisms Diversity and Evolution*. 2005;5(2):147-159. DOI: 10.1016/j.ode.2004.10.014
- Fursa N.S., Gorbunov Yu.N. Chemosystematic study of *Valeriana* L. spp. in the vegetation of the Caucasus (Khemosistematicheskoye izucheniye vidov roda *Valeriana* L. flory Kavkaza). *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 1979;15(4):500-506. [in Russian] [Фурса Н.С., Горбунов Ю.Н. Хемосистематическое изучение видов рода *Valeriana* L. флоры Кавказа. *Растительные ресурсы*. 1979;15(4):500-506].
- Fursa N.S., Karavanova E.N. Comparative analysis of element, carbohydrate and amino acid composition of *Valeriana officinalis* underground organs. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2013;21(3):143-147. [in Russian] [Фурса Н.С., Караванова Е.Н. Сравнительный анализ элементного, углеводного и аминокислотного состава подземных органов валерианы лекарственной. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2013;21(3):143-147].
- Gorbunov Yu.N. Valerian flora of Russia and neighboring states: Morphology, systematics, prospects of use (Valerian flory Rossii i sopredelnykh gosudarstv: Morfologiya, sistematika, perspektivy ispolzovaniya). Moscow: Nauka; 2002. [in Russian] [Горбунов Ю.Н. Валерианы флоры России и сопредельных государств: Морфология,

- систематика, перспективы использования. Москва: Наука; 2002).
- GOST 8309-57. USSR State Standard. Measuring magnifiers for general purposes. Official edition. Moscow: Publishers of Standards; 1973. [in Russian] (ГОСТ 8309-57. Государственный стандарт Союза СССР. Лупы измерительные общего назначения. Издание официальное. Москва: Издательство стандартов; 1973).
- Harrasova G.V., Baryshnikova N.I., Ishmuratova M.M. Introduction of species *Valeriana* in the Bashkir Trans-Urals. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(5-3):116-119. [in Russian] (Харрасова Г.В., Барышникова Н.И., Ишмуратова М.М. Интродукция видов рода *Valeriana* в Башкирском Зауралье. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011;13(5-3):116-119).
- Ishbirdin A.R., Mullagulov R.Yu., Yanturin S.I. Vegetation of the Iremel mountain range: syntaxonomy, and protection issues (Rastitelnost gornogo massiva Iremel: sintaksonomiya i voprosy okhrany). Ufa: Print; 1996. [in Russian] (Ишбирдин А.Р., Муллагулов Р.Ю., Янтурин С.И. Растительность горного массива Иремель: синтаксономия и вопросы охраны. Уфа: Принт; 1996).
- Ishmuratova M.M., Harrasova G.V., Suleimanova E.N., Baryshnikova N.I. Phenology of species of genus *Valeriana* in Southern Ural mountains. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;12(131):77-79. [in Russian] (Ишмуратова М.М., Харрасова Г.В., Сулейманова Э.Н., Барышникова Н.И. Фенология видов рода *Valeriana* на Южном Урале. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2011;12(131):77-79).
- Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R., Cherosov M.M., Baryshnikova N.I., Suleimanova E.N. Ecological-phytocenotic, population, and resource characteristics of *Valeriana alternifolia* Ledeb. *Vestnik of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University*. 2017;6(62):18-25. [in Russian] (Ишмуратова М.М., Ишбирдин А.Р., Черосов М.М., Барышникова Н.И., Сулейманова Э.Н. Эколого-фитоценотические, популяционные, ресурсные характеристики *Valeriana alternifolia* Ledeb. *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова*. 2017;6(62):18-25). DOI: 10.25587/SVFU.2017.62.8444
- Jacobs B., Bell C.D., Smets E.F. Fruits and seeds of the *Valeriana* clade (Dipsacales): diversity and evolution. *International Journal of Plant Sciences*. 2010;171(4):421-434. DOI: 10.1086/651243
- Karcz J. Fruit micromorphology and anatomy of *Valeriana officinalis* s. str. (Valerianaceae). *Nordic Journal of Botany*. 1996;16(4):409-419. DOI: 10.1111/j.1756-1051.1996.tb00253.x
- Kutschker A. Fruit morphology in *Valeriana* species (Valerianaceae) from the southern Andes. *Darwiniana*. 2008;46(1):17-35.
- Kutschker A. Revision of genus *Valeriana* (Valerianaceae) in Southern South America. *Gayana Botánica*. 2010;68(2):244-296.
- Kutschker A., Morrone J.J. Distributional patterns of the species of *Valeriana* (Valerianaceae) in southern South America. *Plant Systematics and Evolution*. 2012; 298(3):535-547. DOI: 10.1007/s00606-011-0564-6
- Lomagina Z.V., Danchul T.Yu. Valerianaceae Batsch. family (Semeystvo Valerianaceae Batch.). In: *Plant Resources of the USSR: Flowering Plants, Their Chemical Composition, and Utilization*. Vol. 6. *Caprifoliaceae – Plantaginaceae Families (Rastitelnye resursy SSSR: Tsvetkovye rasteniya, ikh khimicheskij sostav, ispolzovaniye*. T. 6. *Semeystva Caprifoliaceae – Plantaginaceae*). Leningrad: Nauka; 1990. p.20-30. [in Russian] (Ломагина З.В., Данчул Т.Ю. Семейство Valerianaceae Batch. В кн.: *Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование*. Т. 6. *Семейства Caprifoliaceae – Plantaginaceae*. Ленинград: Наука; 1990. С.20-30).
- Mirkin B.M. (ed.). Flora and vegetation of the South-Ural State Nature Reserve (Flora i rastitelnost Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika). Ufa: Gilem; 2008. [in Russian] (Флора и растительность Южно-Уральского государственного природного заповедника / под ред. Б.М. Миркина. Уфа: Гилем; 2008).
- Panchenko S.V., Solennikova S.N., Gorokhova T.A., Kruglov D.S., Kornievskaya V.G., Kornievsky Yu.I. et al. Mass spectrometry determination of chemical elements in rhizomes with roots of four species of *Valeriana officinalis* L. s. l. (Mass-spektrometricheskoye opredeleniye khimicheskikh elementov v kornevishchakh s kornyami chetyrekh vidov *Valeriana officinalis* L. s. l.). *Current Issues in Pharmacy and Medicine: Science and Practice*. 2012;3(10):19-22. [in Russian] (Панченко С.В., Соленикова С.Н., Горохова Т.А., Круглов Д.С., Корниевская В.Г., Корниевский Ю.И. и др. Масс-спектрометрическое определение химических элементов в корневищах с корнями четырех видов *Valeriana officinalis* L. s. l. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*. 2012;3(10):19-22).
- Semenova V.V., Egorova P.S. Polyvariance of ontogenesis of *Valeriana alternifolia* Ledeb. and the structure of its natural cenopopulations in Yakutia (Polivariantnost ontogeneza *Valeriana alternifolia* Ledeb. i struktura yeye prirodnikh tsenopopulyatsiy v Yakutii). Novosibirsk: Nauka; 2013. [in Russian] (Семенова В.В., Егорова П.С. Поливариантность онтогенеза *Valeriana alternifolia* Ledeb. и структура ее природных ценопопуляций в Якутии. Новосибирск: Наука; 2013).
- Zaitsev G.N. Methodology of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany (Metodika biometricheskikh raschetov. Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1973. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1973).

### Информация об авторах

**Майя Мунировна Ишмуратова**, доктор биологических наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, 450076 Россия, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Заки Валиди, 32, ishmuratova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8379-574X>

**Айрат Римович Ишбирдин**, доктор биологических наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, 450076 Россия, Уфа, ул. Заки Валиди, 32, ishbirdin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4815-145X>

**Эльвира Нуритдиновна Сулейманова**, кандидат биологических наук, доцент, Башкирский государственный медицинский университет, 450008 Россия, Уфа, ул. Ленина, 3, e\_suleymanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8883-0049>

**Надежда Ивановна Барышникова**, кандидат биологических наук, доцент, Академический лицей города Магнитогорска, 455038 Россия, Магнитогорск, пр. Ленина, 124/3, barunya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9601-8173>

#### *Information about the authors*

**Maya M. Ishmuratova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Ufa University of Science and Technology, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, ishmuratova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8379-574X>

**Ayrat R. Ishbirdin**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Ufa University of Science and Technology, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, ishbirdin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4815-145X>

**Elvira N. Suleymanova**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Bashkir State Medical University, 3 Lenina St., Ufa 450008, Russia, e\_suleymanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8883-0049>

**Nadezhda I. Baryshnikova**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Academic Lyceum of the City of Magnitogorsk, 124/3 Lenina Ave., Magnitogorsk 455038, Russia, barunya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9601-8173>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 18.01.2024; принята к публикации 05.06.2024  
The article was submitted on 10.05.2023; approved after reviewing on 18.01.2024; accepted for publication on 05.06.2024

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

Научная статья

УДК 581.527.7:524.2, 95:524.441

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-182-188



## Сорные растения поселка Угольные Копи (Анадырский район Чукотского автономного округа)

Е. Г. Николин

Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,  
Институт биологических проблем криолитозоны, Якутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгений Георгиевич Николин, enikolin@yandex.ru

Поселок Угольные Копи (Анадырский район Чукотского автономного округа РФ) расположен в левобережной приустьевой части р. Анадырь, на берегу Анадырского лимана, выходящего в акваторию Берингова моря. Несмотря на относительно низкую широту (64°44' с. ш.), больше соответствующую развитию бореальной растительности, влияние холодных морских воздушных масс формирует в окружении данного населенного пункта растительность, соответствующую подзоне субарктических тундр. Проникновение заносных видов растений, спутников человека, на эту территорию в силу особенностей географического положения весьма ограничено. Предшествующие сведения о составе синантропной флоры пос. Угольные Копи отсутствовали. Некоторые данные о заносных растениях окрестностей г. Анадырь имелись в обзорной работе сотрудников БИН им. В.Л. Комарова РАН – Н. А. Секретаревой и А. А. Коробкова. В результате обследования, проведенного в августе 2021 г., был выявлен сорный компонент флоры окрестностей пос. Угольные Копи в составе 44 видов сосудистых растений. Из них ключевую роль в спонтанном озеленении этого населенного пункта играют 18 видов, заселившихся сюда из окружающей растительности. Еще 7 видов апофитов появились в поселке из более отдаленных уголков Чукотки. Синантропный компонент представляют 7 видов, давно освоивших территорию Чукотки и обычных для нее – *Hordeum jubatum*, *Chenopodium prostratum*, *Descurainia sophioides*, *Erysimum boreale*, *E. cheiranthoides*, *Taraxacum ceratophorum* и *T. officinale* s.l. Чужеродными для данной местности являются *Elytrigia repens*, *Puccinellia borealis*, *Oberna behen*, *Stellaria media*, *Boechera pendula*, *Capsella bursa-pastoris*, *Trifolium repens*, *Lepidothea suaveolens*, *Senecio vulgaris*. Также впервые отмечены на Чукотке *Lappula anisacantha*, *L. heteracantha* и *Senecio dubitabilis*.

**Ключевые слова:** сорные, синантропные, адвентивные, инвазионные виды сосудистых растений, апофиты, Анадырь, Чукотка

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзаданий Минобрнауки России по проектам «Популяции и сообщества животных водных и наземных экосистем криолитозоны восточного сектора российской Арктики и Субарктики: разнообразие, структура и устойчивость в условиях естественных и антропогенных воздействий», номер госрегистрации: 0297-2021-0044, руководитель: И. М. Охлопков, к. б. н., и «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование», номер госрегистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190038-0, руководитель: П. А. Ремигайло, к. б. н., с применением оборудования ЦКП ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Выражаю глубокую признательность за техническое обеспечение работ родовой общине коренных малочисленных народов Чукотки «Иннекей» и лично Валерию Александровичу, Эдуарду Валерьевичу и Александру Валерьевичу Домрачевым, а также сотруднику ИБПК ЯНЦ СО РАН, зоологу Н. В. Мамаеву.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Николин Е.Г. Сорные растения поселка Угольные Копи (Анадырский район Чукотского автономного округа). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):182-188. DOI:10.30901/2227-8834-2024-2-182-188

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-182-188

## Weedy plants at Ugolnye Kopi Village, Anadyrsky District, Chukotka Autonomous Area

Evgenii G. Nikolin

*Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Yakutsk, Russia*

**Corresponding author:** Evgenii G. Nikolin, [enikolin@yandex.ru](mailto:enikolin@yandex.ru)

The village of Ugolnye Kopi (Anadyrsky District, Chukotka Autonomous Area, Russia) is located in the left-bank estuary part of the Anadyr River; on the shore of the Anadyr Firth, overlooking the Bering Sea. Despite a relatively low latitude (64°44'N), more suitable for the development of boreal vegetation, the effect of cold-sea air masses on the environments of this locality forms vegetation more typical of the Subarctic tundra subzone. Penetration of adventive plant species, human satellites, into this area is very limited. There has been no previous information about the composition of the synanthropic flora at Ugolnye Kopi Village. Some data concerning adventive plants in the vicinity of the town of Anadyr were available in the review published by N. A. Sekretareva and A. A. Korobkov from the Komarov Botanical Institute. A survey conducted in August 2021 resulted in identifying an adventive component of the flora in the vicinity of Ugolnye Kopi, consisting of 44 vascular plant species. A key role in the village's spontaneous landscaping has been played by 18 species of apophytes that arrived and settled there from the surrounding vegetation. Seven more apophytic species came to the village from more distant places of Chukotka. The usual synanthropic component, long ago acclimatized in Chukotka, is represented by 7 species: *Hordeum jubatum*, *Chenopodium prostratum*, *Descurainia sophioides*, *Erysimum boreale*, *E. cheiranthoides*, *Taraxacum ceratophorum*, and *T. officinale* s.l. Invasive species alien to this area are *Elytrigia repens*, *Puccinellia borealis*, *Oberna behen*, *Stellaria media*, *Boechera pendula*, *Capsella bursa-pastoris*, *Trifolium repens*, *Lappula anisacantha*, *L. heteracantha*, *Lepidotheca suaveolens*, *Senecio dubitabilis*, and *S. vulgaris*.

**Keywords:** weeds, synanthropes, adventive, invasive vascular plants species, apophytes, Anadyr, Chukotka

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state tasks assigned by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the following projects: "Animal populations and communities of aquatic and terrestrial ecosystems in the cryolithozone of the eastern sector of the Russian Arctic and Subarctic: diversity, structure and sustainability under natural and anthropogenic impacts", State Registration No. 0297-2021-0044, supervisor: I. M. Okhlopkov, Cand. Sci. (Biology), and "Vegetation cover of the cryolithozone in the Yakutian taiga: biodiversity, environment-shaping functions, protection, and sustainable utilization", State Registration No. AAAAA-A21-121012190038-0, supervisor: P. A. Remigailo, Cand. Sci. (Biology), employing the equipment of the Collective Use Center, Yakut Scientific Center, Siberian Branch of the RAS (Grant No. 13.TsKP.21.0016).

The author is deeply grateful for the technical support of the work to the Innekey tribal community of Chukotka indigenous peoples, and personally to Valery A. Domrachev, Eduard V. Domrachev and Alexander V. Domrachev, as well as to N. V. Mamaev, a zoologist at the Institute for Biological Problems of Cryolithozone, YSC SB RAS.

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

**For citation:** Nikolin E.G. Weedy plants at Ugolnye Kopi Village, Anadyrsky District, Chukotka Autonomous Area. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):182-188. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-182-188

## Введение

Структура и разнообразие адвентивных растений северных населенных пунктов является косвенным критерием суровости условий и адаптивного потенциала чужеродных видов, внедряющихся в ту или иную местность. В условиях мягкого климата активность синантропных видов весьма высока и видовое разнообразие их тоже обретает высокие значения. Однако по мере повышения широты местности в Арктическом бассейне параметры этих показателей сильно снижаются. Изолированная от крупных промышленных центров и расположенная в зоне прямого влияния холодных арктических масс воздуха территория Чукотки в этом плане является уникальным эталоном для наблюдений за инвазией и успешностью распространения заносных представителей флоры, а также за степенью и быстротой восстановления растительности на антропогенно нарушенных участках местности наиболее активными представителями аборигенных видов растений.

В течение прошлого столетия, начиная с 1964 г., флора Чукотки плотно изучалась сотрудниками лаборатории Крайнего Севера Ботанического института

им. В.Л. Комарова РАН и, несколько позднее, специалистами Института биологических проблем Севера ДВО РАН. Как итог этих исследований было опубликовано многотомное издание «Арктическая флора СССР» (Tolmachev, Yurtsev, 1960–1987), «Флора Магаданской области» (Khokhryakov, 1985), «Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий» (Sekretareva, 2004), «Конспект флоры Чукотской тундры» (Yurtsev et al., 2010), «Конспект флоры Севера Дальнего Востока России (сосудистые растения)» (Polezhaev, Berkutenko, 2015) и др. В этих работах приводится общий список видов, населяющих ту или иную местность, без особого обсуждения флоры населенных пунктов и заноса в них чужеродных инорайонных элементов.

Поселок Угольные Копи, расположенный на берегу Анадырского залива Берингова моря, напротив г. Анадырь, представляет собой спутник этого города, где находится основной аэропорт и некоторые другие сопутствующие учреждения (рис. 1, 2). Ранее здесь проводилась добыча и транспортировка угля для обеспечения г. Анадырь. Это один из наиболее удаленных северо-восточных уголков Российской Федерации, находящийся в координатах 64°44' с. ш., 177°40' в. д.



**Рис. 1. Поселок Угольные Копи и окружающая растительность**

**Fig. 1. Ugnynye Kopi Village and the surrounding vegetation**



**Рис. 2. Разнотравно-злаковое рудеральное сообщество на обочине одной из центральных дорог поселка Угольные Копи**

**Fig. 2. Ruderal plant community on a roadside at Ugnynye Kopi Village**

Сведения об адвентивном компоненте флоры этого поселка ранее не публиковались, но в обзоре флоры бассейна р. Анадырь А. А. Коробков и Н. А. Секретарева приводят известные на тот момент сорные растения низовья данной реки (Korobkov, Sekretareva, 2007). В этой статье авторы опираются на флористические исследования А. А. Коробкова и Б. А. Юрцева, проведенные в 1977 г. на северо-западной оконечности хребта Рарыткин и на мысе Американская Кошка (70 км западнее пос. Угольные Копи). Ими приводятся также и сведения по окрестностям г. Анадырь и пос. Шахтерский. Для бассейна р. Анадырь они выделяли 48 исключительно заносных (сорных и рудеральных) видов: 12 видов из семейства Gramineae (Poaceae); по 7 – Polygonaceae и Cruciferae (Brassicaceae); 6 – Compositae (Asteraceae); 4 – Caryophyllaceae; по 2 – Leguminosae (Fabaceae), Boraginaceae и Scrophulariaceae; по 1 – Urticaceae, Chenopodiaceae, Rosaceae, Umbelliferae (Apiaceae), Labiatae (Lamiaceae) и Plantagiaceae.

### Материалы и методы исследования

Наблюдения за составом флоры пос. Угольные Копи проведены в августе 2021 г. Растения населенного пункта собирались в гербарий либо фиксировались фотосъемкой. Образцы гербария переданы в фонды SASU (ИБПК ЯНЦ СО РАН).

Список видов приводится по системе Энглера. В списке апострофом (\*) помечены виды, ранее не отмечавшиеся в низовье р. Анадырь, двумя апострофами (\*\*) – отмеченные на Чукотке впервые.

### Результаты и обсуждение

#### СПИСОК СОРНЫХ ВИДОВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПОС. УГОЛЬНЫЕ КОПИ

##### Сем. 1. Equisetaceae Rich.

- 1(1). *Equisetum arvense* L. – часто; почти повсеместно.

##### Сем. 2. Poaceae Barnh. (Gramineae Juss.)

- 1(2). *Elymus macrourus* (Turcz.) Tzvel. – нередко; пустыри.  
2(3). *Elytrigia repens* (L.) Nevski – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».  
3(4). *Festuca rubra* L. – часто; газоны, откосы и обочины дорог.  
4(5). *Festuca lenensis* Drob. – часто; откосы и обочины дорог, пустыри.  
5(6). *Hordeum jubatum* L. – часто; откосы и обочины дорог, пустыри, тропинки.  
6(7). *Leymus villosissimus* (Schribn.) Tzvel. – часто; пустыри, откосы и обочины дорог.  
7(8). *Poa pratensis* L. – нередко, местами обильно; пустыри, подворья, газоны.  
8(9). *Puccinellia borealis* Swall. – нередко; газоны, пустыри, подворья.  
9(10). *P. hauptiana* V. Krecz. – нередко; пустыри, подворья.

##### Сем. 3. Salicaceae Mirb.

- 1(11). *Salix alaxensis* Coville – часто; пустыри, газоны, откосы и обочины дорог.  
2(12). *S. glauca* L. – довольно редко; откосы дорог, пустыри.  
3(13). *S. hastata* L. – нередко; откосы и обочины дорог.  
4(14). *S. lanata* L. – часто; пустыри, откосы и обочины дорог.  
5(15). *S. reptans* Rupr. – редко; пустыри.

##### Сем. 4. Betulaceae S.F. Gray

- 1(16). *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar – обычный в окружающей растительности вид, заселяющий пустыри.

##### Сем. 5. Polygonaceae Juss.

- 1(17). *Rumex aquaticus* L. – нечасто; отмечен на газонах гостиницы «Норд» и на пустырях (обильно) по правому борту долины р. Речка Первая (рис. 3).



**Рис. 3.** Рудеральное сообщество с *Rumex aquaticus* (зеленые листья) и *Chamaenerion angustifolium* (красные побеги) в долине р. Речка Первая

**Fig. 3.** Ruderal plant community with *Rumex aquaticus* (green leaves) and *Chamaenerion angustifolium* (red shoots) in the valley of the Pervaya Rechka River

**Сем. 6. Chenopodiaceae Vent.**

1(18). *Chenopodium prostratum* Bunge s.l. – нередко; газоны, дворовые площадки, пустыри.

**Сем. 7. Caryophyllaceae Juss.**

1(19). *\*Oberna behen* (L.) Ikonn. – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».

2(20). *Stellaria media* (L.) Vill. – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».

**Сем. 8. Cruciferae Juss. (Brassicaceae Burnett)**

1(21). *\*Boechera pendula* (L.) V. I. Dorof. (*Arabis pendula* L., *Catolobus pendulus* (L.) Al-Shehbaz) – очень редко; подворья, газоны.

2(22). *\*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».

3(23). *Descurainia sophioides* (Fisch. ex Hook.) O.E. Schulz – довольно часто; газоны, дворовые площадки, пустыри.

4(24). *Erysimum boreale* C.A. Mey. – довольно редко; обочины дорог, пустыри.

5(25). *E. cheiranthoides* L. – редко; там же.

**Сем. 9. Fabaceae Lindl. (Leguminosae Juss.)**

1(26). *Oxytropis maydelliana* Trautv. – очень редко; откосы дорог.

2(27). *\*Trifolium repens* L. – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».

**Сем. 10. Onagraceae Juss.**

1(28). *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub – часто; откосы и обочины дорог, газоны, дворовые площадки, окраины взлетно-посадочной полосы (см. рис. 3). Один из наиболее успешных доминирующих видов.

2(29). *C. latifolium* (L.) Holub – часто; там же.

**Сем. 11. Umbelliferae Juss. (Apiaceae Lindl.)**

1(30). *Phlojodicarpus villosus* (Turcz. ex Fisch. et C.A. Mey.) Ledeb. – очень редко, единично; откосы дорог.

**Сем. 12. Primulaceae Batsch ex Bork.**

1(31). *Androsace septentrionalis* L. – редко; обочины дорог.

**Сем. 13. Gentianaceae Juss.**

1(32). *\*Gentianopsis barbata* (Froel.) Ma – довольно редко; пустыри и откосы дорог.

**Сем. 14. Boraginaceae Juss.**

1(33). *\*\*Lappula anisacantha* (Turcz. ex Bunge) Guerke – довольно редко; пустыри, откосы и обочины дорог.

2(34). *\*\*L. heteracantha* (Ledeb.) Borbas – нередко; там же. Встречается и в г. Анадырь. Занос европейско-сибирского вида.

**Сем. 15. Scrophulariaceae Juss.**

1(35). *\*Castilleja hyperborea* Rebr. – редко; обочины дорог.

2(36). *\*C. rubra* (Drob.) Rebr. – редко; там же.

**Сем. 16. Asteraceae Bercht. et G. Presl. (Compositae P. F. Gmel.)**

1(37). *Artemisia tilesii* Ledeb. – часто; газоны, дворовые площадки, пустыри.

2(38). *Lepidotheca suaveolens* (Pursch) Nutt. – довольно редко; подворья, газоны.

3(39). *Ptarmica alpina* (L.) DC. s.l. (*P. camtschatica* (Rupr. ex Heimaerl.) Kom. s.str.) – часто; почти повсеместно.

4(40). *\*\*Senecio dubitabilis* C. Jeffrey et Y.L. Chen – нередко; откосы и обочины дорог (рис. 4).

5(41). *S. vulgaris* L. – редко; отмечен на газоне у главного входа в гостиницу «Норд».

6(42). *\*Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.) DC. – часто; почти повсеместно.

7(43). *\*T. officinale* Wigg. s.l. – нередко; пустыри, откосы дорог.

8(44). *Tripleurospermum hookeri* Sch. Bip. – часто; почти повсеместно.

Адвентивный компонент флоры пос. Угольные Копи составляют 44 вида сосудистых растений. Большинство



**Рис. 4. *Senecio dubitabilis* на обочине дороги (ул. Портовая)**

**Fig. 4. *Senecio dubitabilis* on a roadside of Portovaya Street**

из них представляют собой растения из ближайшего окружающего пространства (апофиты). Весьма активные из них – *Equisetum arvense*, *Festuca rubra*, *Leymus villosissimus*, *Salix alaxensis*, *S. hastata*, *S. lanata*, *Duschekia fruticosa*, *Chamaenerion angustifolium*, *C. latifolium*, *Artemisia tilesii*, *Ptarmica alpina* (s.l.), *Tripleurospermum hookeri* – занимают предназначенные для озеленения поселка пространства, а также пустыри, подворья, обочины и откосы дорог. Эти растения встречаются часто и обильно. Менее активны такие аборигенные виды, как *Elymus macrourus*, *Poa pratensis*, *Salix glauca*, *S. reptans*, *Gentianopsis barbata*, *Castilleja hyparctica*. Из всех этих представителей апофитной флоры более или менее декоративными свойствами с ярким цветением обладают лишь 6 видов (*Chamaenerion angustifolium*, *C. latifolium*, *Gentianopsis barbata*, *Castilleja hyparctica*, *Ptarmica alpina*, *Tripleurospermum hookeri*), один из которых (*Castilleja hyparctica*) является полупаразитом и без сопутствующих видов ив не может использоваться как культивируемый озеленитель. Остальные виды не представляют особой эстетической ценности в озеленении населенного пункта.

Вероятно, с несколько удаленной местности попали в пос. Угольные Копи *Festuca lenensis*, *Puccinellia hauptiana*, *Rumex aquaticus*, *Oxytropis maydelliana*, *Phlojodicarpus villosus*, *Androsace septentrionalis* и *Castilleja rubra*. В непосредственной близости от поселка в естественных сообществах они не встречаются. Из этих растений ярким цветением, привлекающим для озеленения, обладает только *Oxytropis maydelliana*.

Можно считать, что такие известные синантропные виды, обычные на Чукотке, как *Hordeum jubatum*, *Chenopodium prostratum*, *Descurainia sophioides*, *Erysimum boreale*, *E. cheiranthoides*, *Taraxacum ceratophorum* и *T. officinale* s.l., появились в пос. Угольные Копи в результате их заноса из более континентальных пунктов Чукотки. Возможно, со среднего течения р. Анадырь, где они вполне обычны.

Явно чужеродными для данной местности видами являются *Elytrigia repens*, *Puccinellia borealis*, *Oberna behen*, *Stellaria media*, *Boechera pendula*, *Capsella bursa-pastoris*, *Trifolium repens*, *Lepidotheca suaveolens*, *Senecio vulgaris*, а также впервые отмеченные на Чукотке *Lappula anisacantha*, *L. heteracantha* и *Senecio dubitabilis*. Особенный интерес представляет занос европейско-сибирского вида *Lappula anisacantha*, основной ареал которого весьма отдален. Особой активности в продвижении его на север прежде не наблюдалось. Следует пояснить, что ранее для Чукотского автономного округа (ЧАО) и для окрестностей г. Анадырь приводился только один представитель этого рода – *L. squarrosa* (Retz.) Dumort. (Korobkov, Sekretareva, 2007; Yurtsev et al., 2010). Этот вид мне в Анадыре не встретился; впрочем, в самом городе существенных наблюдений не проводилось. Нужно также отметить, что другой из перечисленных инвазионных видов – *Trifolium repens* – ранее указывался как заносное растение для бассейна р. Анадырь (Sekretareva, 2004), однако впоследствии для этой территории Н. А. Секретарева и А. А. Коробков приводили только два других вида – *T. cyathiferum* Lindl. (под вопросом) и *T. pratense* L. s.l. (Korobkov, Sekretareva, 2007). Оба этих вида мне не встречались. По нахождению в г. Анадырь американского бореального вида *T. cyathiferum* в «Арктической флоре СССР» (Tolmachev, Yurtsev, 1960–1987, Fasc. IX, P. 2, Leguminosae, 1986, p. 17) есть такая информация: «Окр. станции Анадырской <...> 64°50' N 178° O (от Гринвича). Около зданий станции в бухте Св. Николая. 12.08.1909 г.; Г.А. Борисов.» За все по-

следующие годы ни разу не был собран на территории СССР и ни для какого пункта не указывался. Видимо был занесен только однажды, в начале века, но не натурализован...». Судя по координатам, этот пункт находился в левобережье р. Анадырь, где-то близ современного пос. Угольные Копи. Строго говоря, это 18 км к северо-востоку от аэропорта, но можно допустить некоторую неточность в указании координат, связанную с возможностями приборов начала XX века.

## Заключение

Окружающая растительность пос. Угольные Копи, находящегося в прибрежной зоне Берингова моря, несмотря на расположение южнее Полярного круга, имеет все признаки подзоны субарктических тундр в виде господствующих влажных и заболоченных тундр, со значительным участием субарктических кустарников (ив и ольховника), выше по горным склонам переходящих в тундры горные и щебнистые. Ввиду отсутствия мероприятий по научно-обоснованному озеленению этого населенного пункта, данную функцию спонтанно замещают наиболее активные представители окружающей растительности, в числе которых выявлено 18 видов (12 видов травянистых растений и 6 видов кустарников). Относительно привлекательными декоративными свойствами из этих растений обладают только 7 видов (*Oxytropis maydelliana*, *Chamaenerion angustifolium*, *C. latifolium*, *Gentianopsis barbata*, *Castilleja hyparctica*, *Ptarmica alpina*, *Tripleurospermum hookeri*).

Чужеродный в пос. Угольные Копи синантропный компонент флоры представлен 19 видами (*Elytrigia repens*, *Hordeum jubatum*, *Puccinellia borealis*, *Chenopodium prostratum*, *Oberna behen*, *Stellaria media*, *Boechera pendula*, *Capsella bursa-pastoris*, *Descurainia sophioides*, *Erysimum boreale*, *E. cheiranthoides*, *Trifolium repens*, *Lappula anisacantha*, *L. heteracantha*, *Castilleja rubra*, *Lepidotheca suaveolens*, *Senecio dubitabilis*, *S. vulgaris*, *Taraxacum ceratophorum* и *T. officinale* s.l.). Из них в ЧАО впервые отмечены *Lappula anisacantha*, *L. heteracantha* и *Senecio dubitabilis*.

## References / Литература

- Khokhryakov A.P. Flora of Magadan Province (Flora Magadanskoy oblasti). Moscow: Nauka; 1985. [in Russian] (Хохряков А.П. Флора Магаданской области. Москва: Наука; 1985).
- Korobkov A.A., Sekretareva N.A. Taxonomical and geographical structure of the flora in the Anadyr river basin (Chukotka Autonomous Area) (Taksonomicheskaya i geograficheskaya struktura flory basseyna r. Anadyr [Chukotskiy avtonomnyy okrug]). *Bulletin of the Botanical Garden-Institute FEB RAS*. 2007;(1):51-70. [in Russian] (Коробков А.А., Секретарева Н.А. Таксономическая и географическая структура флоры бассейна р. Анадырь (Чукотский автономный округ). *Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН*. 2007;(1):51-70).
- Polezhaev A.N., Berkutenko A.N. Conspectus of the flora of the North of the Russian Far East (vascular plants) (Konспект flory Severa Dalnego Vostoka Rossii [sosudistye rasteniya]). St. Petersburg: SINEL; 2015. [in Russian] (Полежаев А.Н., Беркутенко А.Н. Конспект флоры Севера Дальнего Востока России (сосудистые растения). Санкт-Петербург: СИНЭЛ; 2015).
- Sekretareva N.A. Vascular plants of the Russian Arctic and adjacent territories (Sosudistye rasteniya Rossiyskoy

- Arktiki i sopredelnykh territoriy). Moscow: KMK; 2004. [in Russian] (Секретарева Н.А. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. Москва: КМК; 2004).
- Tolmachev A.I., Yurtsev B.A. (eds). Flora Arctica URSS: Revisio critica plantarum vasularium in regione Arctica Unionis rerum publicarum sovieticarum socialisticarum sponte crescentium. Fasc. I–X. Moscow; Leningrad; 1960–1987. [in Russian] (Арктическая флора СССР: критический обзор сосудистых растений, встречающихся в арктических районах СССР. Вып. I–X / под ред. А.И. Толмачева, Б.А. Юрцева. Москва; Ленинград: Наука; 1960–1987).
- Yurtsev B.A., Koroleva T.M., Petrovsky V.V., Polozova T.G., Zhukova P.G., Katenin A.E. Conspectus of the flora of the Chukotka tundra (Konspekt flory Chukotskoy tundry). St. Petersburg: VVM; 2010. [in Russian] (Юрцев Б.А., Королева Т.М., Петровский В.В., Полозова Т.Г., Жукова П.Г., Катенин А.Е. Конспект флоры Чукотской тундры. Санкт-Петербург: ВВМ; 2010).

### *Информация об авторе*

**Евгений Георгиевич Николин**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Институт биологических проблем криолитозоны – обособленное подразделение ЯНЦ СО РАН, 677980 Россия, Республика Саха, Якутск, пр. Ленина, 41, enikolin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0053-6713>

### *Information about the author*

**Evgenii G. Nikolin**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute for Biological Problems of Cryolithozone – subdivision of the YSC SB RAS, 41 Lenina Ave., Yakutsk, Republic of Sakha 677980, Russia, enikolin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0053-6713>

Статья поступила в редакцию 13.03.2023; одобрена после рецензирования 07.03.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 13.03.2023; approved after reviewing on 07.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

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

Научная статья

УДК 634.75:631.526.32

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-189-200



### Сорта земляники с использованием *Fragaria orientalis* Losinsk.

А.А. Харченко<sup>1</sup>, В.И. Белевцова<sup>2</sup>, И.Г. Чухина<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Анатольевна Харченко, akkhara47@yandex.ru

Создание продуктивных сортов земляники, адаптированных к суровым зимним условиям, является актуальной задачей для селекционеров нашей страны. Якутским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова (Якутский НИИСХ) созданы сорта с использованием дикорастущих форм земляники, сочетающих в себе ряд ценных хозяйственно-биологических признаков, прежде всего устойчивость к экстремальным условиям среды. Для сохранения разнообразия сортового генофонда Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) разработана и реализуется программа по созданию номенклатурных стандартов отечественных сортов вегетативно размножаемых культур. В статье представлены результаты реализации данной программы. Номенклатурные стандарты сортов земляники 'Александра', 'Покровская', 'Садовоспаская', 'Владыка Зосима', 'Берсенеvская' селекции Якутского НИИСХ оформлены, зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

**Ключевые слова:** номенклатурный стандарт, гербарный образец, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR), межвидовые гибриды, Якутия

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0006 «Раскрытие научного потенциала гербарной коллекции ВИР как особой специфической единицы хранения мирового агробиоразнообразия для научно обоснованной мобилизации, эффективного изучения и сохранения генофонда культурных растений и их диких родичей».

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

**Для цитирования:** Харченко А.А., Белевцова В.И., Чухина И.Г. Сорта земляники с использованием *Fragaria orientalis* Losinsk. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):189-200. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-189-200

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-189-200

## Strawberry cultivars with *Fragaria orientalis* Losinsk. in their pedigrees

Anastasiia A. Kharchenko<sup>1</sup>, Valentina I. Belevtsova<sup>2</sup>, Irena G. Chukhina<sup>1</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia**Corresponding author:** Anastasiia A. Kharchenko, akkhara47@yandex.ru

Development of productive strawberry cultivars adapted to harsh winter conditions is an urgent task for plant breeders in Russia. The M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture has used wild strawberry forms combining several useful agronomic and biological traits, primarily the resistance to extreme environmental conditions, to achieve this objective. In the efforts to preserve the diversity of crop cultivars, the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) has developed and is implementing a program to establish nomenclatural standards for domestic cultivars of vegetatively propagated crops. The results of the implementation of this program are presented. Nomenclatural standards for the strawberry cultivars 'Alexandra', 'Pokrovskaya', 'Sadovospasskaya', 'Vladyka Zosima' and 'Bersenevskaya', released by the M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, have been formalized, registered in the VIR Herbarium Database, and placed for conservation in the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR).

**Keywords:** nomenclatural standard, herbarium specimen, Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR), interspecific hybrids, Yakutia

**Acknowledgements:** the work was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0006 "Disclosing the scientific potential of the herbarium collection at VIR as an independent specific unit of worldwide agricultural biodiversity conservation for scientifically justified mobilization, effective studying and preservation of genetic diversity".

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

**For citation:** Kharchenko A.A., Belevtsova V.I., Chukhina I.G. Strawberry cultivars with *Fragaria orientalis* Losinsk. in their pedigrees. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):189-200. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-189-200

## Введение

Среди видов рода *Fragaria* L. земляника ананасная (*Fragaria × ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) наиболее распространена и занимает ведущее положение в промышленном ягодоводстве. Однако недостаточная зимостойкость является лимитирующим фактором, ограничивающим ареал ее возделывания в нашей стране.

Около 95% сортов земляники ананасной получены с помощью метода внутривидовой гибридизации, однако он не приводит к значительному повышению ее зимостойкости. К наиболее эффективным методам относится отдаленная гибридизация ее с другими высокозимостойкими видами земляники (Zubov, 2004). Один из самых зимостойких видов в роде *Fragaria* – земляника восточная (*F. orientalis* Losinsk.).

Тетраплоидный вид *F. orientalis* широко распространен на азиатской территории Российской Федерации. Его ареал охватывает Сибирь (Забайкалье, южную часть Прибайкалья, Якутию: Алданский, Оленекский, Центрально-Якутский и Верхне-Ленский районы) (Nikolin, 2020), Дальний Восток (Приамурье, Приморье), Монголию, Китай (северо-восток), Корею. Он имеет разнообразие форм, различающиеся по силе роста, урожайности и вкусовым качествам. Ввиду высокой зимостойкости, раннеспелости, устойчивости к грибным болезням, высоким вкусовым качествам земляника восточная представляет ценный исходный генофонд для создания высокозимостойких сортов и гибридов. На перспективность использования в селекции земляники восточной указывали И. В. Мичурин, М. А. Лисавенко, А. А. Зубов и ряд других ученых-селекционеров (Belevtsova, 2014; Belevtsova et al., 2021a; Belevtsova et al., 2021b).

В нашей стране работы по созданию зимостойких сортов на основе *F. orientalis* впервые начаты и проводятся в настоящее время в Якутском научно-исследовательском институте сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова (в настоящее время является обособленным подразделением Якутского научного центра Сибирского отделения РАН) (Belevtsova et al., 2010; Belevtsova, Sorokopudov, 2016). Исследования по изучению якутских ценопопуляций земляники восточной в плодово-ягодном питомнике Якутского НИИСХ (селекционная станция в г. Покровске) начаты в 1999 г. Интродукция позволила выявить у данного вида высокий уровень зимостойкости, иммунитета, продуктивности, отличные вкусовые качества плодов (Belevtsova, 2014). Исследованиями также установлено, что экотипы *F. orientalis* обладают комплексом важнейших признаков, благодаря использованию которых удалось значительно повысить эффективность селекции таких видов земляники, как *F. × ananassa* и *F. vesca* L. subsp. *vesca* f. *semperflorens* Jamin при межвидовых скрещиваниях. Оценка семей гибридного потомства показала, что у гибридных семян повысилась зимостойкость, иммунитет, изменились биохимический состав плодов и вкусовые качества, а продуктивность и масса плодов у некоторых превысила показатели исходных форм (Ivanov, Belevtsova, 2014).

Методом отбора по комплексу хозяйственно-биологических признаков выделены сорта земляники, полученные от свободного опыления земляники ананасной смесью пыльцы земляники восточной (Belevtsova et al., 2010).

## Материалы и методы

Материалом послужили образцы коллекции генетических ресурсов земляники Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), сохраняемые в полевом генбанке научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Образцы пяти сортов земляники (*Fragaria* L.) были получены в результате вегетативного размножения растений, отправленных в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, и переданы в ВИР их автором В. И. Белевцовой в 2021 г. Выбор конкретного растения каждого сорта, их сбор в фазе цветения и плодоношения, а также гербаризацию проводили при непосредственном участии куратора коллекции земляники ВИР А. А. Харченко. Фотосъемку образцов проводили 2 и 7 июня, 4 июля 2022 г., 30 мая и 23 июня 2023 г.

Оформление номенклатурных стандартов проведено в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (International Code of Nomenclature for Cultivated Plants – ICNCP) (Brickell et al., 2016; International Code..., 2022), целью которого является обеспечение точности и стабильности названий сортов.

Гербаризацию побегов выполняли согласно методическим указаниям (Belozor, 1989). Гербарные листы дополнены фотографиями побегов с цветками, плодами, листьями и заверены подписью эксперта и автора сортов В. И. Белевцовой, подтверждающего аутентичность представленного растения. Подготовленные номенклатурные стандарты переданы на хранение в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений ВИР (WIR).

### Помологическое описание сортов, использованных для выполнения работы

‘Владыка Зосима’ – патент на селекционное достижение № 9861, номер каталога ВИР к-49703. Сеянец свободного переопыления *F. × ananassa* сорт ‘Богема’ и отборных форм из якутских ценопопуляций земляники восточной (*F. orientalis*). На выставке «Золотая осень» в 2016 г. сорт награжден дипломом Министерства сельского хозяйства РФ и золотой медалью.

Куст средний, полушаровидный, среднеоблиственный, усов образует много, они средние, бледно-красные, сильно опушенные. Листья средние, сине-зеленые, среднеморщинистые, среднеребристые, вогнутые, опушенные, со слабым блеском. Зубчики листа широкие. Форма средней доли листа овально-ромбическая, форма основания среднего листочка острая. Черешочек средней доли листа длиннее боковых. Черешок листа средний, сильно опушенный, волоски направлены вверх. Прилистники розовые, длинные. Цветки средние, обоополые, с белыми лепестками. Цветоносы длинные, тонкие, расположены выше уровня листьев, густо опушенные. Соцветие раскидистое, многоцветковое. Плодоножки средние, тонкие.

Ягоды почковидной формы, оранжево-красные, равномерно окрашены. Плоды от первых сборов очень крупные, массой более 30 г, максимальная – 52,3 г, ширококонические, ребристые; при массовых сборах – 15,4 г, красные, блестящие, мякоть красная, сочная и нежная, вкус кисло-сладкий с выраженным мускатным ароматом, дегустационная оценка свежих ягод – 4,7 баллов. Семянки поверхностные, ярко-желтые. Содержание витамина

С – 124,5 мг%. Продуктивность на высококультурных почвах – более 400 г/куст (более 15 т/га). Транспортабельность ягод низкая из-за их очень нежной консистенции. Сорт зимостойкий, засухоустойчивость и жаростойкость средние.

Сорт раннего срока созревания, универсального назначения использования.

**‘Александра’** – патент на селекционное достижение № 12591, номер каталога ВИР к-49701. Получен от свободного опыления ремонтантной безусой альпийской земляники лесной *F. vesca* subsp. *vesca* f. *semperflorens* сорт ‘Александрия’ и отборных форм из якутских ценопопуляций земляники восточной (*F. orientalis*). На «Золотой осени» в 2023 г. сорт награжден дипломом Министерства сельского хозяйства РФ и серебряной медалью.

По большинству морфологических признаков и усобиразовательной способности схож с земляникой восточной. Среди полученных межвидовых форм отличается очень высокой зимостойкостью и иммунитетом, не уступающей *F. orientalis*. Ремонтантность материнской формы у сеянцев не наследуется.

Куст сильнорослый, шаровидный, среднеоблиственный, усов образует много, они тонкие, красные, сильно опушенные. Листья средние, темно-зеленые, среднеморщинистые, сильно ребристые, вогнутые, блестящие, острые. Зубчики листа острые. Форма средней доли листа овально-ромбическая, форма основания среднего листочка острая. Черешочек средней доли листа длиннее боковых. Черешок листа тонкий, сильно опушенный, волоски направлены вверх. Прилистники розовые, длинные. Цветки средние, белые, обоеполые. Цветоносы длинные, тонкие, расположены выше уровня листьев, густо опушенные. Соцветие компактное, многоцветковое. Плодоножки средние, тонкие.

Ягоды яйцевидной формы, красные, равномерно окрашены, мелкие (1,4 г), при первых сборах – 2,5–3,0 г, красные, со слабым блеском, мякоть беловато-желтая, сочная, нежная. Форма плодов при первых сборах преимущественно овальная, при массовых – самая разнообразная. Плоды высоких вкусовых качеств с ярко выраженным мускатным ароматом. В них содержится сахара 8,6%, кислоты 1,4%, витамина С 65,7 мг%. Дегустационная оценка свежих ягод – 4,9 баллов. Положение желтоокрашенных семян поверхностное, выше кожицы. Зимостойкий, засухоустойчивость и жаростойкость средние. Продуктивность – 50–170 г/куст (в среднем 5,1 т/га).

Сорт среднего срока созревания, неремонтантный, для десертного потребления ягод и заморозки.

**‘Покровская’** – патент на селекционное достижение № 8723, номер каталога ВИР к-49700. Получен методом аналитической селекции путем многократного отбора из местных ценопопуляций земляники восточной (*F. orientalis*) с последующим выделением перспективных форм. На «Золотой осени» в 2019 г. сорт награжден дипломом Министерства сельского хозяйства РФ и бронзовой медалью.

Куст средний, полураскидистый, хорошо облиственный. Усы тонкие, красные, в большом количестве. Листья средние, зеленые, сильно ребристые, слегка вогнутые, со слабым блеском. Зубчики листа острые, широкие. Форма средней доли листа ромбическая. Черешок листа тонкий, сильно опушенный, волоски неприжатые. Прилистники зеленые, узкие, длинные. Цветки обоеполые, средние, белые, нескрученные. Цветоносы длинные, тонкие, рас-

положены выше листьев. Соцветие раскидистое, многоцветковое. Плодоножки длинные, тонкие.

Ягоды мелкие, сердцевидной формы, без шейки. Ягоды массой от 1,5 до 3,7 г, красные, со слабым блеском. В них содержится сахара 11,8%, кислоты 1,5%, витамина С 58,6 мг%. Вкус ягод сладко-кислый, с гармоничным ароматом. Мякоть желто-розовая, сочная, нежная, дегустационная оценка свежих ягод – 5,0 баллов. Средняя урожайность – 56,6 ц/га. Зимостойкость высокая, засухоустойчивость сорта средняя, слабо переносит жару. Устойчивость к болезням средняя.

Сорт раннего срока созревания, неремонтантный, универсального назначения использования.

**‘Берсенева’** – патент на селекционное достижение № 8968, номер каталога ВИР к-49702. Сеянец свободного опыления от скрещивания *F. × ananassa* сорт ‘Найдена Добрая’ и отборных форм из якутских ценопопуляций земляники восточной (*F. orientalis*).

Куст средний, полураскидистый, среднеоблиственный. Усы средние, бледно-красные, многочисленные. Листья средние, зеленые, слабо морщинистые, слабо ребристые, слегка вогнутые, опушенные, блестящие. Зубчики листа тупые. Форма средней доли листа обратнояйцевидная. Черешочек средней доли листа равен боковым. Черешок листа средний, опушенный средне, волоски неприжатые. Прилистники розовые, узкие, длинные. Цветки обоеполые, средние, белые, нескрученные. Цветоносы средние, расположены ниже уровня листьев, густо опушенные. Соцветие полураскидистое, многоцветковое. Плодоножки длинные и средние, средней толщины.

Ягоды правильной тупоконической формы, красные, блестящие, без шейки. Масса плодов при первых сборах – 8–10 г, максимальная – 11,2 г, средняя масса составляет 5,3 г. В них содержится сахара 9,8%, кислоты 1,3%, витамина С 80,8 мг%. Вкус ягод сладко-кислый, с выраженным гармоничным ароматом. Мякоть красная, сочная, нежная, дегустационная оценка свежих ягод – 4,8 баллов. Средняя урожайность – до 80,2 ц/га. Зимостойкость высокая, засухоустойчивость и жаростойкость средняя. Устойчивость к болезням и вредителям высокая.

Сорт раннего срока созревания, неремонтантный, универсального назначения использования.

**‘Садовоспаская’** – патент на селекционное достижение № 8967, номер каталога ВИР к-49704. Сеянец свободного опыления от скрещивания *F. × ananassa* сорт ‘Танюша’ и отборных форм из якутских ценопопуляций земляники восточной (*F. orientalis*). На российской агропромышленной выставке «Золотая осень» в 2018 г. сорт награжден дипломом Министерства сельского хозяйства РФ и золотой медалью.

Куст мощный, полураскидистый, хорошо облиственный. Усы средние, бледно-красные, и их много. Листья средние, зеленые, слабо морщинистые, слабо ребристые, слегка вогнутые, опушенные, блестящие. Зубчики листа тупые. Форма средней доли листа округлая. Черешочек средней доли листа равен боковым. Черешок листа средний, опушенный средне, волоски неприжатые. Прилистники розовые, узкие, длинные. Цветки обоеполые, средние, белые, нескрученные. Цветоносы средние, расположены ниже уровня листьев, густо опушенные. Соцветие раскидистое, многоцветковое. Плодоножки длинные, средней толщины.

Ягоды сердцевидной формы, средней массой 13,7 г, красные, блестящие. В них содержится сахара 10,4%, кислоты 1,3%, витамина С 97,6 мг%. Вкус ягод сладко-кислый, с гармоничным ароматом. Мякоть красная и оранжево-красная, сочная, нежная, дегустационная оценка свежих ягод – 4,7 баллов. Средняя урожайность – до 72,4 ц/га. Зимостойкость высокая, засухоустойчивость и жаростойкость средняя. Устойчивость к болезням и вредителям высокая.

Сорт среднего срока созревания, неремонтантный, универсального назначения использования.

### Результаты

Результатом совместной работы коллектива ученых Якутского НИИСиХ и ВИР стало создание номенклатурных стандартов для пяти сортов земляники якутской селекции.

**1. *Fragaria orientalis* 'Покровская'**, авторы сорта: В.И. Белевцова, В.Н. Сорокопудов, М.А. Черткова – *Fragaria orientalis* 'Pokrovskaya': V.I. Belevtsova, V.N. Sorokopudov, M.A. Chertkova.

**Nomenclatural standard:** Происхождение: Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова. Репродукция: Ленинградская обл., Павловск, научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 02 VI 2022 (побеги с цветками), 04 VII 2022 (побег с плодами). Собрала Харченко А.А., определила Харченко А.А., к-49700, **WIR-98128** (рис. 1) – Origin: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. Reproduction: Leningrad Province, Pavlovsk, Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 02 VI 2022 (shoots with flowers), 04 VII 2022 (shoots with fruits). Collected by Kharchenko A.A., identified by Kharchenko A.A., k-49700, **WIR-98128** (Fig. 1).

**2. *Fragaria* (*F. vesca* subsp. *vesca* f. *semperflorens* × *F. orientalis*) 'Александра'**, авторы сорта В.И. Белевцова, Е.А. Белевцова – *Fragaria* (*F. vesca* subsp. *vesca* f. *semperflorens* × *F. orientalis*) 'Alexandra', V.I. Belevtsova, E.A. Belevtsova.

**Nomenclatural standard:** Происхождение: Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова. Репродукция: Ленинградская обл., Павловск, научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 02 VI 2022 (побеги с цветками), 04 VII 2022 (побег с плодами). Собрала Харченко А.А., определила Харченко А.А., к-49701, **WIR-98143** (рис. 2) – Origin: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. Reproduction: Leningrad Province, Pavlovsk, Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 02 VI 2022 (shoots with flowers), 04 VII 2022 (shoots with fruits). Collected by Kharchenko A.A., identified by Kharchenko A.A., k-49701, **WIR-98143** (Fig. 2).

**3. *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Найдена Добрая' × *F. orientalis*) 'Берсенеvская'**, автор сорта В.И. Белевцова – *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Naidena Dobraya' × *F. orientalis*) 'Bersenevskaya', V.I. Belevtsova.

**Nomenclatural standard:** Происхождение: Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова. Репродукция: Ленинградская обл., Павловск, научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 07 VI 2022 (побеги с цветками), 04 VII 2022 (побег с плодами). Собрала Харченко А.А., определила Харченко А.А., к-49702, **WIR-98173** (рис. 3) – Origin: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. Reproduction: Leningrad Province, Pavlovsk, Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 07 VI 2022 (shoots with flowers), 04 VII 2022 (shoots with fruits). Collected by Kharchenko A.A., identified by Kharchenko A.A., k-49702, **WIR-98173** (Fig. 3).

**4. *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Борема' × *F. orientalis*) 'Владыка Зосима'**, авторы сорта В.И. Белевцова, Г.Ф. Говорова, В.А. Кокарева, Е.А. Белевцова – *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Bohemia' × *F. orientalis*) 'Vladyka Zosima', V.I. Belevtsova, G.F. Govorova, V.A. Kokareva, E.A. Belevtsova.

**Nomenclatural standard:** Происхождение: Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова. Репродукция: Ленинградская обл., Павловск, научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 30 V 2023 (побеги с цветками), 23 VI 2023 (побег с плодами). Собирали Чухина И.Г., Харченко А.А., определила Харченко А.А., к-49703, **WIR-98243** (рис. 4) – Origin: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. Reproduction: Leningrad Province, Pavlovsk, Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 30 V 2023 (shoots with flowers), 23 VI 2023 (shoots with fruits). Collected by Chukhina I.G., Kharchenko A.A., identified by Kharchenko A.A., k-49703, **WIR-98243** (Fig. 4).

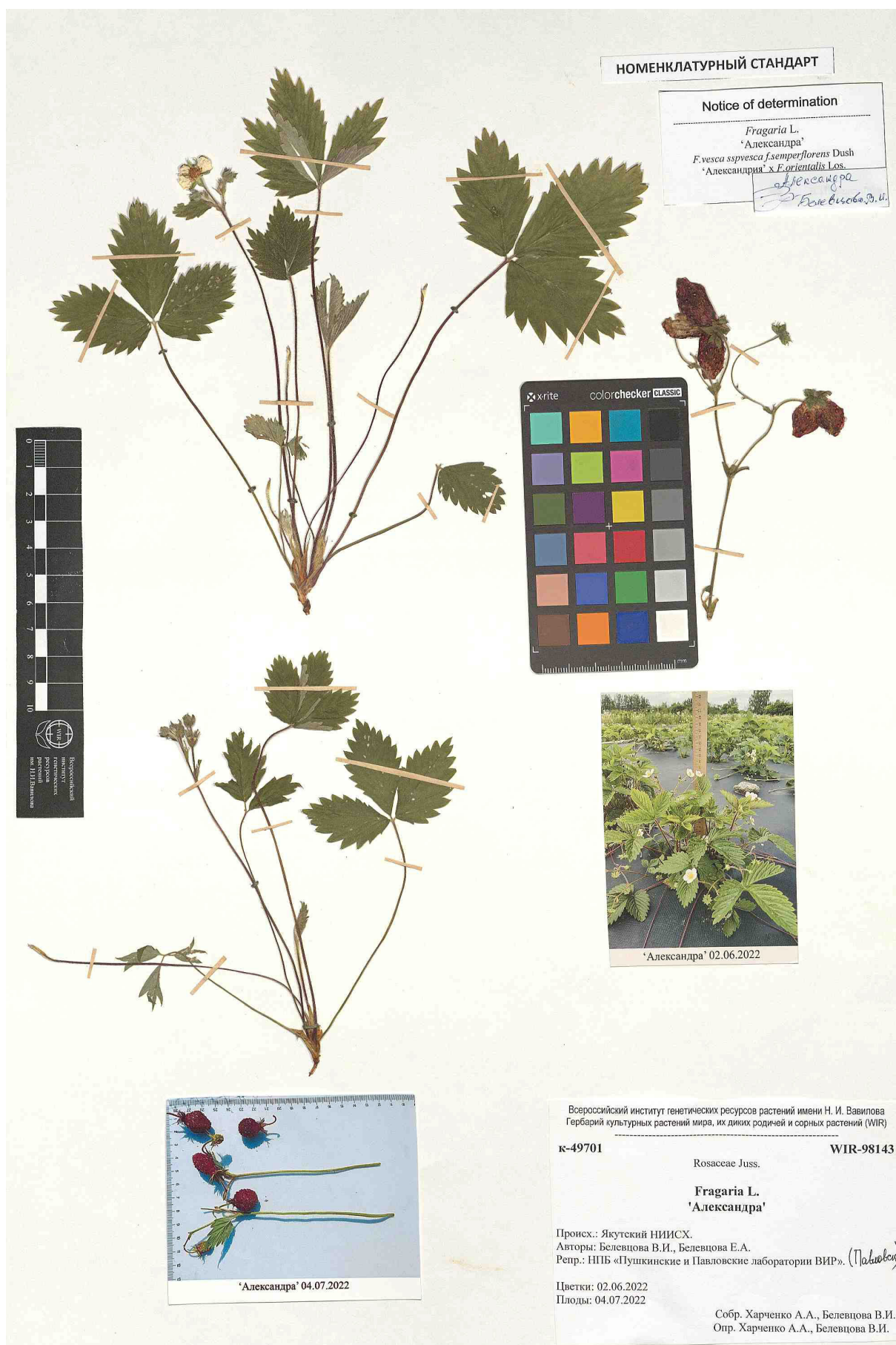
**5. *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Танюша' × *F. orientalis*) 'Садовоспасская'**, авторы сорта В.И. Белевцова, В.Н. Сорокопудов, А.А. Иванов – *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Tanyusha' × *F. orientalis*) 'Sadovospasskaya' V.I. Belevtsova, V.N. Sorokopudov, A.A. Ivanov.

**Nomenclatural standard:** Происхождение: Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова. Репродукция: Ленинградская обл., Павловск, научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 30 V 2023 (побеги с цветками), 23 VI 2023 (побег с плодами). Собирали Чухина И.Г., Харченко А.А., определила Харченко А.А., к-49704, **WIR-98262** (рис. 5) – Origin: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. Reproduction: Leningrad Province, Pavlovsk, Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 30 V 2023 (shoots with flowers), 23 VI 2023 (shoots with fruits). Collected by Chukhina I.G., Kharchenko A.A., identified by Kharchenko A.A., k-49704, **WIR-98262** (Fig. 5).



**Рис. 1. Номенклатурный стандарт *Fragaria orientalis* 'Покровская' (WIR-98128)**

**Fig. 1. Nomenclatural standard of *Fragaria orientalis* 'Pokrovskaya' (WIR-98128)**



**Рис. 2. Номенклатурный стандарт *Fragaria* (*F. vesca* ssp. *vesca* f. *sempervlorens* × *F. orientalis*) 'Александра' (WIR-98143)**

**Fig. 2. Nomenclatural standard of *Fragaria* (*F. vesca* ssp. *vesca* f. *sempervlorens* × *F. orientalis*) 'Alexandra' (WIR-98143)**

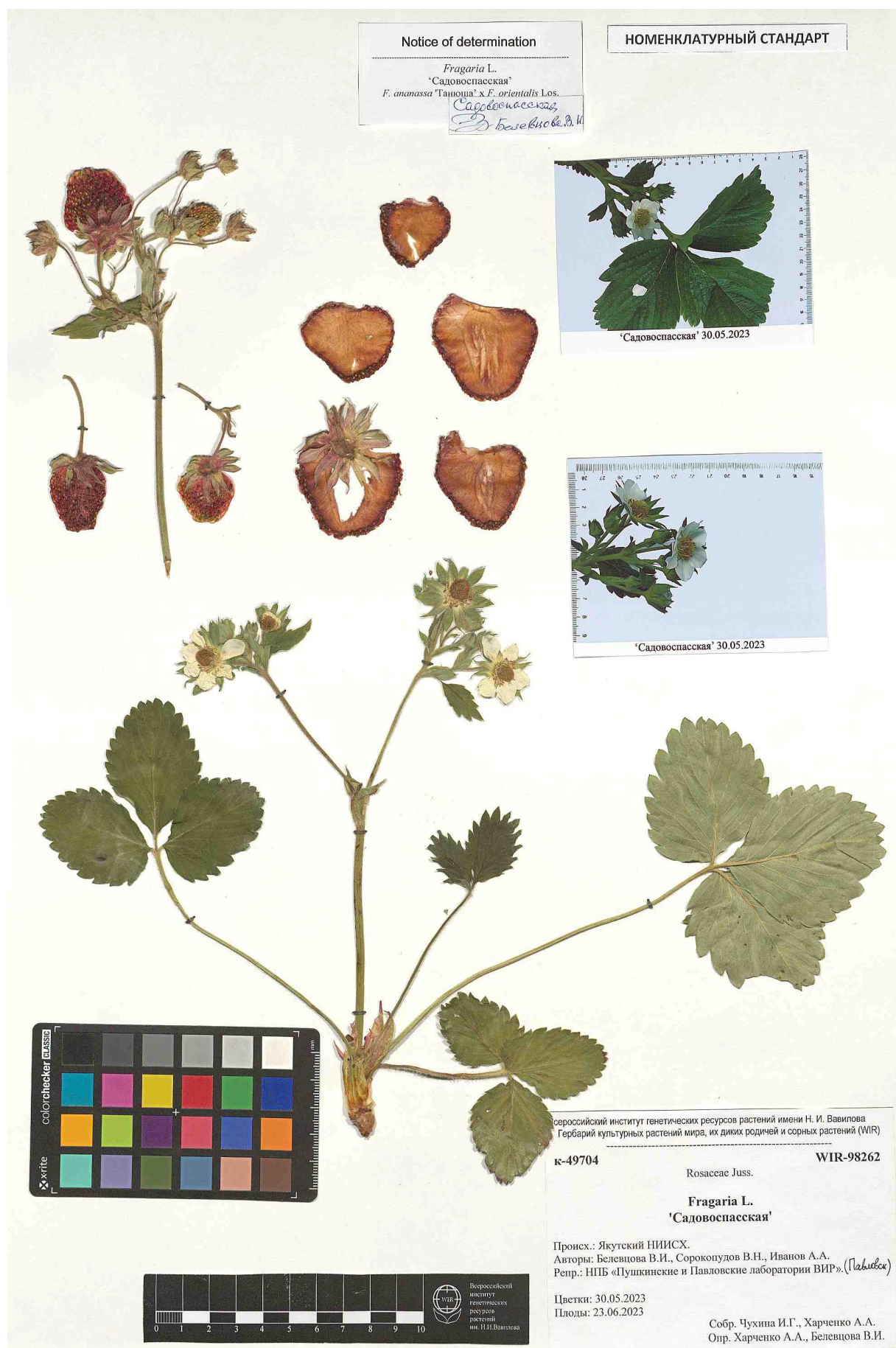


**Рис. 3. Номенклатурный стандарт *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Найдена Добрая' × *F. orientalis*) 'Берсенеvская' (WIR-98173)**

**Fig. 3. Nomenclatural standard of *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Naydena Dobraya' × *F. orientalis*) 'Bersenevskaya' (WIR-98173)**



**Рис. 4.** Номенклатурный стандарт *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Bohema' × *F. orientalis*) 'Владика Зосима' (WIR-98243)  
**Fig. 4.** Nomenclatural standard of *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Bohemia' × *F. orientalis*) 'Vladika Zosima' (WIR-98243)



**Рис. 5. Номенклатурный стандарт *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Танюша' × *F. orientalis*) 'Садовоспасская' (WIR-98262)**  
**Fig. 5. Nomenclatural standard of *Fragaria* (*F. × ananassa* 'Tanyusha' × *F. orientalis*) 'Sadovospasskaya' (WIR-98262)**

## Заключение

В результате проведенной работы загербаризированы, оформлены, зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) номенклатурные стандарты пяти сортов земляники селекции Якутского НИИСК: 'Александра' (WIR-98143), 'Покровская' (WIR-98128), 'Садовоспаская' (WIR-98262), 'Владыка Зосима' (WIR-98243), 'Берсенеvская' (WIR-98173).

## References/Литература

- Belevtsova V.I. Ecological and biological features of the Yakut cenopopulations of Oriental strawberry under the conditions of Central Yakutia (Ekologo-biologicheskiye osobennosti yakutskikh tsenopopulyatsiy zemlyaniki vostochnoy v usloviyakh Tsentralnoy Yakutii). *Nauka i obrazovaniye = Science and Education*. 2014;2(74):32-35. [in Russian] (Белевцова В.И. Эколого-биологические особенности якутских ценопопуляций земляники восточной в условиях Центральной Якутии. *Наука и образование*. 2014;2(74):32-35).
- Belevtsova V.I., Sorokopudov V.N. The use of Eastern wild strawberry (*Fragaria orientalis* Los.) in breeding for creating varieties adapted for Yakutia. *Success of Modern Science and Education*. 2016;8(11):41-43. [in Russian] (Белевцова В. И., Сорокопудов В. Н., Использование земляники восточной (*Fragaria orientalis* Los.) в селекции для создания адаптированных сортов для Якутии. *Успехи современной науки и образования*. 2016;8(11):41-43).
- Belevtsova V.I., Sorokopudov V.N., Mutuzova M.Kh. Prospects of application in the breeding *Fragaria orientalis* Los. in the conditions of permafrost. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021a;848:12230. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012230
- Belevtsova V.I., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A. Strawberry breeding features in the cryolithozone conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021b;8(173):94-100. [in Russian] (Белевцова В. И., Сорокопудов В. Н., Сорокопудова О. А. Особенности селекции земляники в условиях криолитозоны. *Вестник КрасГАУ*. 2021b;8(173):94-100). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-94-100
- Belevtsova V.I., Vasilyeva E.P., Sorokopudov V.N. *Fragaria orientalis* use for the strawberry adapted sortment creation in the Central Yakutiya. *The Bulletin of KrasGAU*. 2010;7(46):35-38. [in Russian] (Белевцова В.И., Васильева Е.П., Сорокопудов В.Н. Использование *Fragaria orientalis* для создания адаптированного сортимента земляники в Центральной Якутии. *Вестник КрасГАУ*. 2010;7(46):35-38).
- Belozor N.I. Herbarization of cultivated plants (Guidelines) (Gerbarizatsiya kulturnykh rasteniy [Metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Белозор Н.И. Гербаризация культурных растений (Методические указания). Ленинград: ВИР; 1989).
- Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Jin X. (eds). International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. 9th ed. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:1-190.
- International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division III-VI, Appendix I-IX. I.G. Chukhina, S.R. Miftakhova, V.I. Dorofeyev (transl.). Transl. of: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70. [in Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть III-VI, Приложение I-IX / перевод с английского И.Г. Чухина, С.Р. Мифтахова, В.И. Дорофеев. Пер. изд.: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70). DOI: 10.30901/2658-3860-2022-1-41-70
- Ivanov A., Belevtsova V. Variety study of honeysuckle and selection of strawberries in Central Yakutia. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philipov*. 2014;4(37):93-99. [in Russian] (Иванов А.А., Белевцова В.И. Сортоизучение жимолости и селекция земляники в условиях Центральной Якутии. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2014;4(37):93-99).
- Nikolin E.G. (ed.). Key to higher plants of Yakutia: identification key (Opredelitel vysshikh rasteniy Yakutii: opredelitel). 2nd ed. Moscow: KMK; Novosibirsk: Nauka; 2020. [in Russian] (Определитель высших растений Якутии: определитель / под ред. Е.Г. Николина. 2-е изд. Москва: КМК; Новосибирск: Наука; 2020).
- Zubov A.A. Theoretical foundations of strawberry breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii zemlyaniki). Michurinsk; 2004. [in Russian] (Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. Мичуринск; 2004).

## Информация об авторах

**Анастасия Анатольевна Харченко**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

**Валентина Ивановна Белевцова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова – обособленное подразделение ЯНЦ СО РАН, 677001 Россия, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, vibvega@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7560-6228>

**Ирена Георгиевна Чухина**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

## Information about the authors

**Anastasiia A. Kharchenko**, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

**Valentina I. Belevtsova**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Senior Researcher, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – division of the YSC SB RAS, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia, vibvega@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7560-6228>

**Irena G. Chukhina**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.04.2024; одобрена после рецензирования 08.05.2024; принята к публикации 05.06.2024.  
The article was submitted on 02.04.2024; approved after reviewing on 08.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

# ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья  
УДК 631.21:632:526  
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209



## Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans*

Н. М. Зотеева, О. С. Косарева, Е. В. Рогозина, Н. А. Чалая

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

Автор, ответственный за переписку: Надежда Мубаровна Зотеева, [nzoteyeva@gmail.com](mailto:nzoteyeva@gmail.com)

**Актуальность.** *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary – широко известный патоген, поражающий растения картофеля. В результате изменений, произошедших в популяциях патогена, фитофтороз остается трудным для фитосанитарного контроля. Экономические потери обусловлены чувствительностью к патогену как ботвы, так и клубней, причем эти признаки часто не связаны. Число возделываемых сортов, устойчивых к *P. infestans*, все еще недостаточно для того, чтобы снизить потери урожая.

**Материал и методы.** В полевых и лабораторных опытах по устойчивости к фитофторозу оценили 682 сорта и 20 гибридных клонов из коллекции картофеля ВИР. Оценку осуществляли с использованием общепринятых методов. При изучении устойчивости растений как в поле, так и при искусственном заражении использовали шкалу от 1 до 9 баллов, где балл 9 означает устойчивость.

**Результаты.** Полученные результаты указывают на высокий инфекционный фон, сложившийся на протяжении четырех полевых сезонов. Проявление симптомов болезни на ботве варьировало от 1 до 8 баллов. Доля сортов с сильным поражением ботвы варьировала по годам от 55% до 66%. Сорта с умеренной чувствительностью составляли от 17% до 23%. Совместимость с местной популяцией *P. infestans* в течение четырех полевых сезонов у большого числа сортов различного происхождения свидетельствует о чрезвычайно жестком инфекционном фоне. В результате оценки выделены сорта, проявившие высокую (баллы 7–8) и умеренную (балл 6) устойчивость. В 2020–2023 гг. часть устойчивых сортов, выделенных нами ранее (2017–2019 гг.), переместилась в группу умеренно чувствительных и чувствительных. В лабораторных опытах выявили генотипы, устойчивые к фитофторозу клубней.

**Ключевые слова:** *Solanum*, фитофтороз, устойчивость ботвы и клубней, сезонные колебания

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

**Для цитирования:** Зотеева Н.М., Косарева О.С., Рогозина Е.В., Чалая Н.А. Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):201-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

### Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans*

Nadezhda M. Zoteyeva, Olga S. Kosareva, Elena V. Rogozina, Nadezhda A. Chalaya

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

**Corresponding author:** Nadezhda M. Zoteyeva, [nzoteyeva@gmail.com](mailto:nzoteyeva@gmail.com)

**Background.** *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary is a well-known pathogen affecting potato plants. Due to the changes in the pathogen population, the late blight disease caused by *P. infestans* is still difficult to manage. Economic losses are caused by the susceptibility of potato foliage or tubers to late blight, and both expressions of susceptibility are often not interconnected. Potato cultivars resistant to *P. infestans* are still too few to ensure reduction of harvest losses.

**Material and methods.** In total, 682 potato cultivars and 20 hybrid clones from the VIR collection were screened in field and laboratory tests. They were assessed by conventional techniques. A score scale of 1–9 points was used both in the field and the laboratory, with 9 corresponding to disease resistance.

**Results.** The results showed high infection pressure in the field during all four growing seasons of the experiment. The degrees of damage on the foliage varied from 1 to 8 points. The percentage of cultivars with strongly damaged foliage ranged from 55% in 2020 to 66% in 2023. From 17% to 23% of cultivars were assessed as moderately susceptible. The fact that many cultivars of various origin manifested compatibility with the local population of *P. infestans* during four growing seasons confirms its high and stable pathogenicity. Cultivars with high (points 7–8) or moderate (point 6) resistance were identified across the four years of testing. The part of the cultivars recognized as resistant earlier in 2017–2019 appeared to be moderately resistant or moderately susceptible in 2020–2023. Laboratory tests succeeded to identify genotypes with tuber resistance to late blight.

**Keywords:** *Solanum*, late blight, foliar and tuber resistance, seasonal variations

**Acknowledgements:** the study was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0004 “Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding”.

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

**For citation:** Zoteyeva N.M., Kosareva O.S., Rogozina E.V., Chalaya N.A. Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):201-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

## Введение

В России картофель является одной из основных продовольственных культур. Его ценность обусловлена широтой использования как для продовольственных, так и для технических целей. К сожалению, урожайность и качество продукции, зависящее от уровня агротехники, условий хранения и распространения болезней, все еще остаются невысокими. Для снижения потерь от различных болезнетворных инфекций необходимо выращивание устойчивых сортов.

Одной из основных причин снижения эффективности картофелеводства является ежегодное распространение фитофтороза (возбудитель – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary). Борьба с патогеном усложнена тем, что он поражает как ботву, так и клубни картофеля. После миграции новых штаммов *P. infestans* в Европу в 1976 г. и появления типа совместимости A2 стало возможным половое размножение патогена, что привело к росту числа высокопатогенных рас. Проведенные ранее исследования показали, что популяции Северо-Восточной Европы характеризуются наличием обоих типов совместимости, которые обеспечивают процесс полового размножения оомицета (Cooke et al., 2012). Половой процесс воспроизводства патогена происходит непрерывно. Высокая изменчивость в популяциях *P. infestans* поддерживает разнообразие расового состава (Cooke et al., 2011; Elansky et al., 2015; Runno-Paurson et al., 2022).

Использование сортов картофеля с длительной устойчивостью к фитофторозу может сократить применение фунгицидов, и их выведение уже давно является важной составляющей селекционных программ (Inglis et al., 1996; Milczarek et al., 2017). С этой целью необходим поиск новых источников устойчивости к болезни, который в настоящее время осуществляется среди образцов коллекции ВИР (Beketova et al., 2021; Zoteyeva, Kosareva, 2021; Zoteyeva et al., 2022).

Генетическую устойчивость картофеля к фитофторозу традиционно относят к двум типам: качественная (расоспецифическая, вертикальная) и количественная (горизонтальная, полигенная) устойчивость. Расоспецифическая устойчивость контролируется чаще всего доминантными генами (*R*) и вызывает реакцию сверхчувствительности (Dangl, Jones, 2001); горизонтальная же устойчивость замедляет развитие симптомов болезни. Для повышения длительности устойчивости картофеля к *P. infestans* были разработаны различные стратегии селекции. Одна из них – выстраивание пирамид генов *Rpi* (Tan et al., 2010; Stefańczyk et al., 2020), другая опирается на горизонтальный тип устойчивости. Эпидемии, вызванные вновь возникающими генотипами *P. infestans*, могут привести к смещению акцента в селекционных программах, основанных на той или иной стратегии, в пользу их объединения (Bradshaw et al., 1995). В проявлении устойчивости к фитофторозу у картофеля важно аддитивное действие генов, что продемонстрировано в ряде исследований (Bradshaw et al., 1995; Haynes et al., 2008). При сравнении данных молекулярного и фитопатологического скрининга встречаются расхождения результатов, вызывающие сомнения в эффективности молекулярных маркеров. Получение информации о генах, влияющих на количественную устойчивость, также затруднено (Gebhardt, Valkonen, 2001). Фитопатологическая оценка остается актуальным инструментом для выявления устойчивых сортов, гибридов и образцов видов *Solanum* L. с целью использования их в селекции.

Целью данной работы было выявление устойчивых к фитофторозу сортов и селекционных клонов среди коллекционных образцов, поддерживаемых в ВИР, в условиях инфекционных фонов 2020–2023 гг.

## Материал и методы

Работу проводили с 2020 по 2023 г. с использованием коллекционных образцов, поддерживаемых на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, г. Пушкин), где климат способствует ежегодному интенсивному проявлению инфекции *P. infestans*. Оценивали устойчивость ботвы и клубней образцов сортовой коллекции ВИР: в 2020 г. – 642 образца, в 2021 г. – 637, в 2022 г. – 682 и в 2023 г. – 680. За период исследований в условиях ППЛ ВИР метеорологические условия различались по годам, но способствовали распространению инфекции *P. infestans* в течение полевых сезонов 2020–2023 гг. (таблица). Среди материала, оценивавшегося в 2023 г., предварительная характеристика устойчивости к фитофторозу (первый год изучения) получена для вновь поступивших в коллекцию сортов.

### Полевая оценка

Устойчивость ботвы образцов картофеля к фитофторозу оценивали на естественном инфекционном фоне по методике, опубликованной в методических указаниях СЭВ (Unified broad COMECON list..., 1977), с использованием шкалы 1–9 баллов, где балл 9 означает наивысшую степень устойчивости.

Оценку осуществляли каждые пять дней с начала появления симптомов *P. infestans* на ботве чувствительных контрольных сортов. В качестве контролей использовали устойчивые сорта 'Sarpö Mira' и 'Alouette' и чувствительные – 'Ломоносовский' и 'Desirée'.

### Лабораторная оценка

Метод оценки устойчивости клубней картофеля к фитофторозу описан Н. Зотеевой и Е. Зимнох-Гузовской (Zoteyeva, Zimnoch-Guzowska, 2004). Этот метод позволяет отдельно оценивать интенсивность роста мицелия *P. infestans* и размер инфекционного пятна. В опыте использовали две повторности. В пластиковые кюветы, выстланные влажной фильтровальной бумагой, выкладывали клубни, делали небольшой срез верхней части клубня, на который наносили каплю инокулюма, и накрывали стеклами для создания условий повышенной влажности. Для заражения использовали смесь двух изолятов *P. infestans*, выделенных из листьев пораженных растений в 2023 г. В качестве контролей использовали устойчивый сорт 'Alouette' (к-25544) и 'Невский' (к-10736), а также чувствительный сорт 'Dorisa' (к-19526). Во всех опытах 'Невский' и 'Dorisa' проявляли типичную для них реакцию на заражение *P. infestans*. Средняя пораженность клубней сорта 'Alouette' составляла 5,4 балла, что не предполагает его использование в качестве устойчивого контроля в дальнейшем. Клубни инкубировали при температуре 17°C.

Интенсивность роста мицелия оценивали на 6-е сутки после заражения по оригинальной шкале от нуля до трех баллов, где 0 означает отсутствие мицелия, балл 3 – плотный мицелий, покрывающий всю площадь среза на клубне. Площадь инфекционного пятна на продольном разрезе клубня определяли на 12-е сутки по шкале от 1 до 9 баллов, где балл 9 означает отсутствие симптомов, балл 1 – от 97 до 100% пораженной поверхности.

**Таблица.** Среднесуточные показатели температуры воздуха и количества осадков, 2020–2023 гг., Санкт-Петербург, Пушкин**Table.** Mean daily air temperatures and precipitation amounts in 2020–2023, Pushkin, St. Petersburg

Показатели				
Год	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура воздуха, средняя (°C)				
2020	17,9	16,1	15,7	12,7
2021	19,7	21,3	16,3	9,9
2022	16,0	17,6	17,6	7,9
2023	16,3	17,0	17,5	13,8
Среднее многолетнее	16,6	19,2	17,2	11,9
Количество осадков (мм)				
2020	66,8	90,6	97,2	31,0
2021	10,7	5,7	122,5	40,6
2022	34,1	65,7	138,5	67,8
2023	68,1	35,2	29,0	27,7
Среднее многолетнее	66,0	75,2	79,7	55,3
Отклонение от среднего многолетнего				
Температура воздуха (°C)				
2020	+1,3	–3,1	–1,5	–0,8
2021	+3,1	+2,1	–0,9	–2,0
2022	–0,6	–1,6	+0,4	–4,0
2023	–0,3	–2,2	+0,3	+1,9
Количество осадков (мм)				
2020	+0,8	+15,4	+17,5	–24,3
2021	–55,3	–69,5	+42,8	–14,7
2022	–31,9	–9,5	+58,8	+12,5
2023	+2,1	–40,0	–50,7	–27,6

При оценке устойчивости как ботвы, так и клубней устойчивыми считали растения, средняя пораженность которых составляла 7–9 баллов, умеренно устойчивыми – 6 баллов, умеренно чувствительными – 5, чувствительными – 4 балла и ниже.

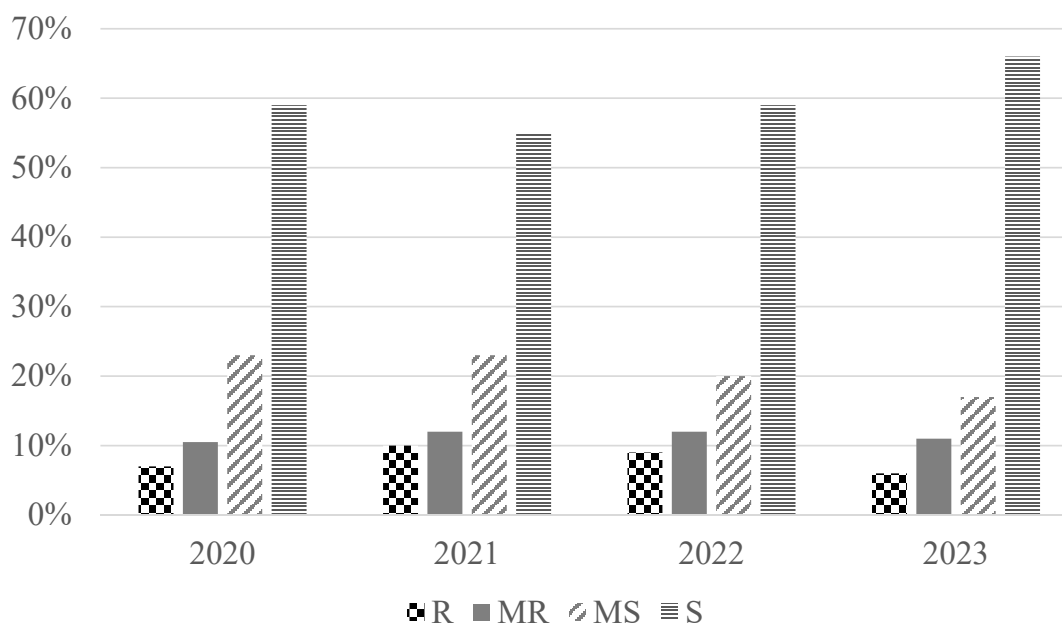
### Результаты

В течение четырех лет наблюдений естественный инфекционный фон был достаточно высоким. На растениях неустойчивых сортов первые симптомы болезни появлялись в 2020 г. в конце второй декады июля, в 2021 г. – в конце августа, 2022 г. – в конце июля и в 2023 г. – в середине июля. В годы с более высоким инфекционным фоном (2020 и 2023) зафиксировано большое количество осадков, выпавших в июне и августе. Весь полевой сезон 2020 г. отмечались очень высокая влажность и невысо-

кая температура воздуха (см. табл. 1). Долгий период воздействия патогена на картофель вследствие его раннего проявления определил высокую долю чувствительных и умеренно чувствительных растений в 2023 г.

На рисунке представлено распределение образцов сортовой коллекции с разной степенью проявления симптомов болезни в течение четырех полевых сезонов. Поскольку в разные годы число образцов несколько различалось, доли устойчивых, умеренно устойчивых, умеренно чувствительных и чувствительных даны в процентах от общего числа образцов, высаженных в каждом отдельном году. Более низкие доли устойчивых и умеренно устойчивых растений в 2020 и 2023 г. свидетельствуют о более высоких инфекционных фонах в эти годы. Наиболее сильный инфекционный фон отмечен в 2023 г.

Популяции *P. infestans* в последние годы полевых обследований оказались более патогенными, чем в преды-



**Рисунок.** Распределение образцов по группам устойчивости к фитофторозу ботвы в 2020–2023 гг.: R – устойчивые, MR – умеренно устойчивые, MS – умеренно чувствительные, S – чувствительные (научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»)

**Figure.** Distribution of potato accessions among the groups of foliar late blight resistance/susceptibility in 2020–2023: R – resistant; MR – moderately resistant; MS – moderately susceptible; S – susceptible (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR)

дущие годы изучения. Часть сортов, классифицированных как устойчивые в 2017–2019 гг., переместилась в категорию умеренно чувствительных и чувствительных.

Высокую устойчивость (балл 7–8) до конца периода оценки (2023 г.) сохраняли среднеранние сорта 'Baszta' (к-24067, Польша) и 'Caprice' (к-25193, Германия); среднеспелые – 'Аспия' (к-11995), 'Кабардинский' (к-10151) (Россия); среднепоздние – 'Астра' (к-10697, Латвия), 'Ania' (к-24063, Польша), 'Західна' (к-24796, Украина), 'Кристалл' (к-10774, Россия), местный (к-25329, Грузия), 'Рашт' (к-25423, Таджикистан), 'Удовичкий' (к-25260, Казахстан), а также сорта поздних сроков спелости – 'Атлант' (к-11922, Беларусь), 'Dunajec' (к-24074), 'Bzura' (к-22154), 'Meduza' (к-24082) (Польша), 'Clarissa' (к-21770, Германия), 'Elles' (к-22879) и 'Proton' (к-20381) (Нидерланды).

Устойчивость среднеранних сортов 'Albatros' (к-24180), 'Caprice' (Германия), 'Mors' (к-24083, Польша), 'Red Fantasy' (к-25324, Германия); среднеспелых – 'Гусар' (к-25436, Россия), 'Айтмурат' (к-25248), 'Нур-Алем' (к-25253), 'Сеним' (к-25306) (Казахстан), 'Montana' (к-11251, Германия), 'Луговской' (к-11658), 'Нестеровский' (к-11294) (Украина); среднепоздних – 'Вектор' (к-25200), 'Мусинский' (к-25312), 'Рапсодия' (к-25130) (Россия), 'Сеянец Лаптева' (к-25161, Казахстан), 'Когa' (к-24174, Польша) и двух местных сортов из Грузии (к-25298, к-25326), а также сорта с поздним сроком созревания 'Брянский Красный' (к-12161, Россия) не снижалась ниже умеренной в течение четырех лет оценки.

В период трехлетнего изучения (2021–2023 гг.) высокой устойчивостью характеризовались: среднеранний сорт 'Reet' (к-25247, Эстония), среднеспелые – 'Галичанка' (к-24999, Украина), 'Valetta' (к-21769, Германия) и среднепоздние – 'Гасцінец' (к-25264, Беларусь), 'Кристалл' (Россия), 'Ракурс' (к-25098, Украина), 'Таджикистан' (к-25424, Таджикистан). Высокая устойчивость от-

мечена у вновь поступивших в коллекцию отечественных сортов 'Кумач' (к-25503), 'Розовый Чародей' (к-25536), 'Третьяковка' (к-25501) и сорта 'Bavator' (к-25540) из Германии, изученных только в 2023 г.

Заметно снизили устойчивость позднеспелые сорта 'Ceres' (к-10305, Германия), 'Karnico' (к-22883, Нидерланды) и 'Slaney' (к-25238, Ирландия) (ранее – 7 баллов и 6,0–5,5 в 2023 г.). Потеря устойчивости в полевом сезоне 2023 г. отмечена у среднеранних сортов 'Дина' (к-11925, Беларусь); среднеспелых – 'Билина' (к-24785), 'Слава' (к-11667) (Украина), 'Ручеек' (к-12213), 'Утро' (к-25219) (Россия); среднепоздних – 'Брянский Надежный' (к-12160), 'Ветеран' (к-12210), 'Звездочка' (к-25209), 'Никулинский' (к-12171) (Россия), 'Вихола' (к-11270), 'Воловецкий' (к-11651) (Украина), 'Журавинка' (к-12106, Беларусь), 'Матс' (к-11288, Эстония); позднеспелых – 'Выток' (к-11897) и 'Синтез' (к-11666) (Беларусь).

В 2020–2023 гг. на двух разных полях сорт 'Сударыня' (к-12206), проявлявший ранее высокую устойчивость к болезни, поражаемая фитофторозом. Поражение его ботвы составляло 4–6 баллов в 2021 и 2022 гг. и 1–4 – в 2023 г. На другом поле растения сильно поражались в 2021 и 2022 гг. (в 2023 г. сорт не высаживался). В период хранения симптомы фитофтороза отмечены лишь на единичных клубнях сорта 'Сударыня' в 2020 г., а в 2021 г. их число составило около четверти. Симптомы фитофтороза на клубнях в период уборки не отмечали до 2023 г. В этот год инфицированные клубни встречались как при уборке, так и в период хранения.

В лабораторных опытах устойчивость клубней выявлена у сортов 'Астра', 'Західна', 'Кабардинский', местный (к-25328а) из Грузии, 'Сеянец Лаптева', 'Ania', 'Bavator', 'Elles', 'Meduza', 'Proton' и 'Valor' (к-24041).

Результаты оценки устойчивости к фитофторозу оригинальных гибридов, поддерживаемых в коллекции отдела генетических ресурсов картофеля ВИР, позволили

выявить клоны, характеризующиеся устойчивостью ботвы и/или клубней. Среди них – 918-3-7-2018, который является потомком от скрещивания клона 171-3 с устойчивостью ботвы, сильно зависящей от условий сезона, и устойчивостью клубней с образцом 'Magelanes' вида *S. chilotanum* Hawk. 'Magelanes', обладающий устойчивостью клубней, служил материнской формой гибрида (Rogozina et al., 2021). Всего оценили устойчивость 9 клонов этой гибридной комбинации. Семь клонов проявляли чувствительность ботвы в поле и клубней – в лаборатории. Клон 918-3-7-2018 проявлял устойчивость клубней (балл 7,0) при искусственном заражении патогеном; в течение трех лет у него отсутствовали клубни с симптомами фитофтороза при хранении. Клон 999-31-2020, также отобранный в потомстве от скрещивания 'Magelanes' × 171-3, проявил умеренную устойчивость клубней (балл 6) в лабораторных опытах. Устойчивость его ботвы сильно зависела от условий года (7 баллов в 2021 г. и менее 5 в остальные годы).

Устойчивость клубней отмечена у клона 15/13-09, в родословной которого присутствуют четыре вида – *S. pinnatisectum* Dun., *S. polytrichon* Rydb., *S. verrucosum* Schlecht. и *S. simplicifolium* Bitt. (Rogozina et al., 2021). В течение двух полевых сезонов устойчивость его ботвы соответствовала шести (2023 г.) и семи (2021 г.) баллам. Клон 16/27-09 по реакции клубней на заражение *P. infestans* охарактеризован как умеренно чувствительный. Устойчивость его ботвы в 2021–2023 гг. соответствовала устойчивости контрольного сорта 'Alouette'. Из двух клонов (954-1-2017 и 954-3-2017), отобранных в потомстве гибрида 16/27-09 × 15/13-09, клон 954-1-2007 проявлял умеренную устойчивость листьев (балл 6) и умеренную чувствительность клубней (балл 5). У второго клона (954-3-2017) листья и клубни восприимчивы к фитофторозу.

Пять образцов из коллекции гибридов получены от реципрокных скрещиваний селекционных клонов 8-08 и 8-09 с сортом 'Наяда' (к-12157), использованным в качестве опылителя в четырех комбинациях. Сорт 'Наяда' характеризуется устойчивостью к фитофторозу ботвы (Amelushkina, 2019). При заражении клубней сорт проявлял умеренную устойчивость (Zoteyeva et al., 2017). По устойчивости ботвы гибридное потомство 'Наяда' × 8-08 расщеплялось на два фенотипа с устойчивостью, стабильной по годам, и три чувствительных фенотипа. Клон 913-4-2018, где сорт 'Наяда' был материнским родителем, был устойчив (7 и 8 баллов) в течение всех четырех лет изучения. Такие же показатели имел клон 912-6-2018; у трех остальных обнаружена чувствительность к болезни. Устойчивость клубней всех клонов, полученных от этих родителей, была на уровне сорта 'Наяда': у них отсутствовали клубни с симптомами фитофтороза в период хранения.

### Обсуждение

Трудность достижения стабильной устойчивости картофеля к фитофторозу состоит в том, что *P. infestans* является высокоадаптивным патогеном (Fry, 2008; Naas et al., 2009). Ранее некоторые селекционеры при выведении сортов опирались на горизонтальный тип устойчивости (Van Der Plank, 1971); в настоящее время считают, что к стабильной устойчивости приведет накопление *R*-генов (Zhu et al., 2014). При изучении генетического контроля признака проблемы в основном связаны с отсутствием информации о генах, обеспечивающих гори-

зонтальный тип устойчивости (Gebhardt, Valkonen, 2001). Лучшим способом выявления устойчивых фенотипов является традиционная полевая оценка на высоких инфекционных фонах. Среди коллекционных образцов не так много сортов, характеризующихся высокой устойчивостью ботвы, особенно сортов ранних сроков спелости.

В 2020–2023 гг. выявлено снижение уровня устойчивости многих сортов. Часть образцов с умеренной чувствительностью сместилась в группу чувствительных. Характеристику интродуцированных сортов, проявивших высокую устойчивость в течение сравнительно короткого периода изучения (3 года), следует рассматривать только как предварительную. У некоторых сортов потеря устойчивости происходит в течение сравнительно короткого промежутка времени. Пример такой динамики наблюдали при оценке устойчивости сорта 'Сударыня', который в опытах 2017–2019 гг. оценивали баллами 8,0 (Gavrilenko et al., 2018) и 7,0 (Beketova et al., 2021). Потеря устойчивости может быть связана со сроками спелости сортов, она чаще наблюдается у ранних. Примером могут служить среднеранний сорт 'Сударыня' и среднеспелый сорт 'Аврора' (к-12188).

Устойчивость листьев и клубней, выявленную ранее (Zoteyeva, Kosareva, 2021), сохранил до 2023 г. среднепоздний сорт 'Західна'. Высокая устойчивость была отмечена у польских сортов 'Bzura' и 'Meduza' с поздними сроками созревания, которые использовались в качестве устойчивых контролей еще в начале 2000-х годов (Lebecka et al., 2006). Сорта 'Sárpo Mira' и 'Bzura' остаются одними из немногих европейских сортов, отличающихся высоким уровнем длительной устойчивости к фитофторозу. Обе родительские формы сорта 'Bzura', выведенного в 1986 г., являются носителями генов *S. demissum* (Plich et al., 2015). У 'Bzura' подтверждено присутствие гена *R1* от этого вида (Gebhardt et al., 2004). Позднее у него был идентифицирован ген устойчивости *R2-like* (Plich et al., 2015). Позднеспелый сорт 'Sárpo Mira' также долгое время сохраняет высокую устойчивость к фитофторозу (White, Shaw, 2009; Haverkort et al., 2016). Предполагается, что кластер генов устойчивости, локализованных на хромосоме XI, отвечает за количественную устойчивость листьев (Tomczyńska et al., 2014). У этого сорта идентифицирован также ген устойчивости к фитофторозу *Rpi-smira1* (Rietman et al., 2012).

Резкое снижение устойчивости происходит вследствие преодоления патогеном действия *R*-гена/генов. У сортов 'Сударыня' и 'Аврора' детектированы маркеры гена *Rpi-blb1* (Antonova et al., 2018). Присутствие этого гена не защищает растения сорта 'Аврора' от фитофтороза в поле (Zoteyeva et al., 2022), то же наблюдается и у сорта 'Сударыня'. По-видимому, защитная функция гена преодолена вирулентными изолятами, появившимися в местной популяции *P. infestans*.

У клона 171-3 детектирован маркер гена *Rpi-R3b*, у образца 'Magelanes' – маркер гена *Rpi-R1* (Rogozina et al., 2021). Связь устойчивости к фитофторозу ботвы и клубней у клонов 918-3-7-2018 и 999-31-2020, отобранных в поколении  $F_1$  ('Magelanes' × 171-3), с наличием маркеров генов *Rpi-R1* и *Rpi-R3b* еще предстоит исследовать.

Результаты оценки клона 15/13-09 по устойчивости к фитофторозу в условиях ППЛ ВИР хорошо согласуются с результатами многолетних испытаний гибридов картофеля из коллекции ВИР во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии (ВНИИФ, Московская обл.). Высокую устойчивость (не ниже 6–7 баллов) ботвы к фитофторозу ежегодно отмечали в полевых

и лабораторных опытах в 2014–2020 гг. (Rogozina et al., 2018, Rogozina et al., 2021). Клубни клона 15/13-09 были устойчивы к фитофторозу (6,7 балла). У этого клона детектированы маркеры четырех генов устойчивости к фитофторозу: *Rpi-R2*, *Rpi-R3b*, *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1* и *Rpi-blb2*, которые, очевидно, и обеспечивают длительную устойчивость к фитофторозу (Rogozina et al., 2021).

Клон 16/27-09 в полевых и лабораторных опытах ВНИИФ по устойчивости ботвы также охарактеризован как устойчивый (6–7 баллов), имеет маркеры генов *Rpi-R1*, *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1* и *Rpi-blb2* (Rogozina et al. 2021).

В годы появления в популяции патогена рас, совместимых с растениями-хозяевами, их устойчивость в разной степени снижается. В ППЛ ВИР ежегодно выращивается большое количество сортов, образцов из коллекций широкого ряда видов и гибридов картофеля, что приводит к необходимости *P. infestans* приспосабливаться к ним, продуцируя новые патогенные штаммы. В этой связи складывающийся инфекционный фон позволяет проводить достоверную полевую оценку устойчивости к фитофторозу.

Приведенные нами данные показывают, что высокоустойчивые сорта картофеля, снизившие устойчивость из-за появления совместимых изолятов *P. infestans*, нередко проявляют умеренный уровень остаточной устойчивости, которую также можно рассматривать как полезную. Они могут быть использованы в селекции, особенно если обладают устойчивостью к другим патогенам или имеют хорошие агрономические характеристики.

С целью создания устойчивых сортов проводят скрещивания с выделенными по устойчивости сортами, селекционными клонами и образцами различных видов картофеля. В скрещиваниях, проведенных в отделе генетических ресурсов картофеля, использован образец 'Magelanes' вида *S. chilotanum*. Ценность этого вида состоит в том, что он проявляет нейтральную фотопериодическую реакцию и обладает высокой экологической пластичностью. Образцы этого вида с 1967 г. поддерживаются в клубневой репродукции в ППЛ ВИР в условиях продолжительного светового дня и короткого вегетационного периода. По данным J. K. Tiwari (Tiwari, 2022), *S. chilotanum* включает устойчивые к фитофторозу местные сорта. В расщепляющейся по устойчивости популяции гибрида, полученного от скрещивания сорта 'Magelanes' с клоном 171-3, найдено растение, сочетающее устойчивость листьев и клубней. Использование в гибридизации сорта 'Наяда' с устойчивостью ботвы к фитофторозу явилось результатом получения клонов со стабильно проявляющейся высокой устойчивостью ботвы в условиях жестких инфекционных фонов и отсутствием клубней с симптомами фитофтороза при хранении.

### Заключение

Значительное число сортов с низким уровнем устойчивости к фитофторозу выявлено в течение четырех лет изучения в ППЛ ВИР, что указывает на ежегодный высокий инфекционный фон *P. infestans*. Результаты работы свидетельствуют об утрате устойчивости к болезни у ряда сортов, подчеркивая необходимость включения в селекционные программы только образцов с устойчивостью, стабильно проявляющейся в течение нескольких полевых сезонов в условиях благоприятствующих распространению инфекции. Сорта, сохранившие устойчивость к болезни в течение продолжительного периода

изучения, чаще характеризуются более поздними сроками созревания. В этой связи актуально выведение устойчивых к фитофторозу среднеранних и среднеспелых сортов для использования в зонах с коротким периодом вегетации. В условиях жесткого инфекционного фона и при искусственном заражении выделены сорта и гибриды картофеля с устойчивостью ботвы и/или клубней.

### References/Литература

- Amelushkina T.A. Assessment of potato grades by the complex of its economic character in a seed field. *Vladimir Agricolist*. 2019;(3):35-38. [in Russian] (Амелюшкина Т.А. Оценка сортов картофеля по комплексу хозяйственно-ценных признаков в питомнике экологического испытания. *Владимирский земледелец*. 2019;(3):35-38). DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10079
- Antonova O.Y., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1*-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412
- Beketova M.P., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Gurina A.A., Kuznetsova M.A., Armstrong M. et al. Combination breeding and marker-assisted selection to develop late blight resistant potato cultivars. *Agronomy*. 2021;11:2192. DOI: 10.20944/preprints202110.0209.v1
- Bradshaw J.E., Stewart H.E., Wastie R.L., Dale M.F., Phillips M.S. Use of seedling progeny tests for genetical studies as part of a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995;90(6):899-905. DOI: 10.1007/BF00222029
- Cooke D.E.L., Cano L.M., Raffaele S., Bain R.A., Cooke L.R., Etherington G.J. et al. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. *PLoS Pathogens*. 2012;8(10):1002940. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002940
- Cooke L.R., Schepers H.T.A.M., Hermansen A., Bain R.A., Bradshaw N.J., Ritchie F. et al. Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe. *Potato Research*. 2011;54(2):183-222. DOI: 10.1007/s11540-011-9187-0
- Dangl J.L., Jones J.D. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*. 2001;411(6839):826-833. DOI: 10.1038/35081161
- Elansky S., Pobedinskaya M.A., Kokaeva L., Statsyuk N., Dyakov Y.T. *Phytophthora infestans* populations from the European part of Russia: genotypic structure and metalaxyl resistance. *Journal of Plant Pathology*. 2015;97(3):449-456. DOI: 10.4454/JPP.V97I3.020
- Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9(3):385-402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M. et al. Molecular screening of potato varieties bred in the northwestern zone of the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(1):35-45. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Лебедева В.А., Евдокимова З.З., Гаджиев Н.М. и др. Молекулярный скрининг сортов и гибридов картофеля северо-западной зоны Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):35-45). DOI: 10.18699/VJ18.329
- Gebhardt C., Ballvora A., Walkemeier B., Oberhagemann P., Schuler K. Assessing genetic potential in germplasm collections of crop plants by market-trait association: A case study for potatoes with quantitative variation of resis-

- tance to late blight and maturity type. *Molecular Breeding*. 2004;13(1):93-102. DOI: 10.1023/B:MOLB.0000012878.89855.df
- Gebhardt C., Valkonen J.P.T. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Annual Review of Phytopathology*. 2001;39(1):79-102. DOI: 10.1146/annurev.phyto.39.1.79
- Haas B.J., Kamoun S., Zody M.C., Jiang R.H.Y., Handsaker R.E., Cano L.M. et al. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature*. 2009;461(7262):393-398. DOI: 10.1038/nature08358
- Haverkort A.J., Boonekamp P.M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L.A.P., Kessel G.J.T. et al. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh Project. *Potato Research*. 2016;59(1):35-66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6
- Haynes K.G., Christ B.J., Vinyard B.T. Determining the importance of combining ability for late blight resistance in early generations of potato breeding when susceptible clones are discarded. *American Journal of Potato Research*. 2008;85(6):445-454. DOI: 10.1007/s12230-008-9051-1
- Inglis D.A., Johnson D.A., Legard D.E., Fry W.E., Hamm P.B. Relative resistances of potato clones in response to new and old populations of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*. 1996;80(5):575-578.
- Lebecka R.M., Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E. Resistance of potato tubers to a highly aggressive isolate of *Phytophthora infestans* in relation to tuber age. *Potato Research*. 2006;49(2):99-107. DOI: 10.1007/s11540-006-9009-y
- Milczarek D., Plich J., Tatarowska B., Flis B. Early selection of potato clones with resistance genes: the relationship between combined resistance and agronomical characteristics. *Breeding Science*. 2017;67(4):416-420. DOI: 10.1270/jsbbs.17035
- Plich J., Tatarowska B., Lebecka R., Śliwka J., Zimnoch-Guzowska E., Flis B. R2-like gene contributes to resistance to *Phytophthora infestans* in Polish potato cultivar Bzura. *American Journal of Potato Research*. 2015;92(3):350-358. DOI: 10.1007/s12230-015-9437-9
- Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.R., Vossen J.H., Jacobsen E. et al. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012;25(7):910-919. DOI: 10.1094/MPMI-01-12-0010-R
- Rogozina E.V., Beketova M.P., Muratova O.A., Kuznetsova M.A., Khavkin E.E. Stacking resistance genes in multiparental interspecific potato hybrids to anticipate late blight outbreaks. *Agronomy*. 2021;11(1):115. DOI: 10.3390/agronomy11010115
- Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kuznetsova M.A., Demidova V.N., Rogozin A.N., Smetanina T.I. et al. Late blight resistant potato hybrid clones in the VIR collection of plant genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):278-292. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Рогожин А.Н., Сметанина Т.И. и др. Устойчивые к фитофторозу гибридные клоны картофеля в коллекции генетических ресурсов растений ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):278-292). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-278-292
- Runno-Paurson E., Agho C.A., Zoteyeva N., Koppel M., Hansen M., Hallikma T. et al. Highly diverse *Phytophthora infestans* populations infecting potato crops in Pskov region, North-West Russia. *Journal of Fungi*. 2022;8(5):472. DOI: 10.3390/jof8050472
- Stefańczyk E., Plich J., Janiszewska M., Smyda-Dajmund P., Śliwka J. Marker-assisted pyramiding of potato late blight resistance genes *Rpi-rzc1* and *Rpi-phu1* on di- and tetraploid levels. *Molecular Breeding*. 2020;40(9):89. DOI: 10.1007/s11032-020-01169-x
- Tan M.Y.A., Hutten R.C.B., Visser R.G.F., van Eck H.J. The effect of pyramiding *Phytophthora infestans* resistance genes *Rpi-mcd1* and *Rpi-ber* in potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 2010;121(1):117-125. DOI: 10.1007/s00122-010-1295-8
- Tiwari J.K. Potato improvement in the post-genomics era. Boca Raton, FL: CRC Press; 2022. DOI: 10.1201/9781003260233
- Tomczyńska I., Stefańczyk E., Chmielarz M., Karasiewicz B., Kamiński P., Jones J.D.G. et al. A locus conferring effective late blight resistance in potato cultivar Sarpo Mira maps to chromosome XI. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014;127(3):647-657. DOI: 10.1007/s00122-013-2248-9
- Unified broad COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for potato species of the section *Tuberosum* (Dun.) Buk., genus *Solanum* L. (Shirokiy unifikatsionnyy klassifikator SEV i mezhdunarodny klassifikator SEV vidov kartofelya sekcii *Tuberosum* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberosum* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Ленинград: ВИР; 1977).
- Van Der Plank J.E. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in cultivars without R genes. *Potato Research*. 1971;14(4):263-270. DOI: 10.1007/BF02355989
- White S., Shaw D. The usefulness of late-blight resistant Sarpo cultivars – a case study. *Acta Horticulturae*. 2009;834:161-166. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.834.17
- Zhu X., Richael C., Chamberlain P., Busse J.S., Bussan A.J., Jiang J. et al. Vacuolar invertase gene silencing in potato (*Solanum tuberosum* L.) improves processing quality by decreasing the frequency of sugar-end defects. *PLoS One*. 2014;9(4):93381. DOI: 10.1371/journal.pone.0093381
- Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A. Markers of genes for resistance to late blight, potato virus Y and potato cyst nematode identified in advanced interspecific potato hybrids. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):5-16. [in Russian] (Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А. Маркеры генов устойчивости к фитофторозу, Y вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде у перспективных клонов межвидовых гибридов картофеля. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):5-16). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01
- Zoteyeva N.M., Kosareva O.S. Assessment of the varieties from the VIR's potato collection for resistance to *Phytophthora infestans* in laboratory assays. *Plant Protection News*. 2021;104(2):113-119. [in Russian] (Зотеева Н.М., Косарева О.С. Оценка устойчивости сортов картофеля из коллекции ВИР к *Phytophthora infestans* в лабораторном изучении. *Вестник защиты растений*. 2021;104(2):113-119). DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-14616
- Zoteyeva N.M., Kosareva O.S., Evdokimova Z.Z. Search for source material with late blight resistance among potato varieties and clones. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(4):120-126. [in Russian] (Зотеева Н.М., Косарева О.С., Евдокимова З.З. Поиск устойчивого к фитофторозу исходного материала для селек-

ции среди сортов и клонов картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(4):120-126). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-119-126

Zoteyeva N.M., Zimnoch-Guzowska E.M. A new method for evaluation of potato tubers resistance to *Phytophthora*

*infestans*. *Mycology and Phytopathology*. 2004;38(1):89-93. [in Russian] (Зотеева Н.М., Зимнох-Гузовская Е.М. Новый метод изучения устойчивости клубней картофеля к фитофторозу. *Микология и фитопатология*. 2004;38(1):89-93).

#### Информация об авторах

**Надежда Мубаровна Зотеева**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, nzoteyeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

**Ольга Сергеевна Косарева**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, okosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

**Елена Вячеславовна Рогозина**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

**Надежда Александровна Чалая**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

#### Information about the authors

**Nadezhda M. Zoteyeva**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, nzoteyeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

**Olga S. Kosareva**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, okosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

**Elena V. Rogozina**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

**Nadezhda A. Chalaya**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 02.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 25.03.2024; approved after reviewing on 02.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 634.222:632.4:631.524.86(470.621)

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-210-218



### Устойчивость сливы домашней к грибным болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи

В. В. Шерстобитов, М. А. Колесова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений  
имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, Майкоп, Россия

Автор, ответственный за переписку: Мария Анатольевна Колесова, markolesova@yandex.ru

**Актуальность.** Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) – широко распространенная плодовая косточковая культура Краснодарского края и Адыгеи. Поражение сливы грибными болезнями, в том числе монилиозом, класстероспориозом, полистигмозом и ржавчиной, приводит к значительному снижению урожая и качества плодов *P. domestica*. Поэтому селекция на резистентность к этим заболеваниям имеет большое значение для закладки высокопродуктивных садов сливы домашней. Цель работы – идентификация устойчивых к четырем грибным болезням сортов *P. domestica* в условиях предгорной зоны Адыгеи.

**Материалы и методы.** Материал исследования включал 25 сортов *P. domestica*, произрастающих в коллекционном саду Майкопской опытной станции – филиала ВИР. Устойчивость образцов к грибным болезням оценивали в 2011–2022 гг. по общепринятой шкале.

**Результаты и выводы.** Установлено, что природно-климатические условия в периоды цветения, роста и созревания плодов влияют на степень поражения сливы домашней грибными болезнями. По данным многолетних исследований выделены сорта *P. domestica*, обладающие различным уровнем устойчивости к монилиозу, класстероспориозу и ржавчине. Десять сортов *P. domestica* характеризовались групповой устойчивостью к вышеперечисленным болезням: 'Анна Шпет' (к-3325), 'Венгерка Ранняя' (к-3459), 'Венгерка Итальянская' (к-3444), 'Муса Джалиев' (к-26994), 'Венгерка Вкусная' (к-43323), 'Персиковая Мичурина' (к-30706), 'Чернослив Адыгейский' (к-23743), 'Чернослив Шунтукский' (к-23707), 'Екатерина' (желтая) (к-3520) и 'Vascova' (к-27639). Они рекомендуются для привлечения в селекцию при выведении сортов *P. domestica* с групповой устойчивостью к болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи.

**Ключевые слова:** *Prunus domestica* L., резистентность, ржавчина, монилиоз, класстероспориоз, полистигмоз

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

**Для цитирования:** Шерстобитов В.В., Колесова М.А. Устойчивость сливы домашней к грибным болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):210-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-210-218

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-210-218

### Resistance of European plum to fungal diseases in the foothill zone of Adygea

Vasiliy V. Sherstobitov, Maria A. Kolesova

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station – branch of VIR, Maikop, Russia***Corresponding author:** Maria A. Kolesova, [markolesova@yandex.ru](mailto:markolesova@yandex.ru)

**Background.** European plum (*Prunus domestica* L.) is a widespread stone fruit crop in Krasnodar Territory and Adygea. Development of fungal diseases, including brown rot, shot hole, red leaf spot, and rust, leads to a significant decrease in the harvest and marketable quality of *P. domestica* fruits. Therefore, breeding for resistance to these diseases is very important for planting highly productive European plum orchards. The objective of this study was to identify *P. domestica* cultivars resistant to four fungal diseases under the conditions of the foothill zone of Adygea.

**Materials and methods.** The research material included 25 *P. domestica* cultivars from the collection orchard of Maikop Experiment Station of VIR. Resistance to fungal diseases was assessed in 2011–2022 using a conventional scale.

**Results and conclusions.** Weather and climate conditions during the flowering, fruit growth and ripening periods of European plum affected the degree of damage inflicted by fungal diseases. Many years of testing resulted in identifying *P. domestica* cultivars with different scores of resistance to brown rot, shot hole, and rust. Ten *P. domestica* cultivars were characterized by group resistance to the abovementioned diseases: 'Anna Shpet' (k-3325), 'Vengerka Rannyaya' (k-3459), 'Vengerka Italyanskaya' (k-3444), 'Musa Dzhaliev' (k-26994), 'Vengerka Vkusnaya' (k-43323), 'Persikovaya Michurina' (k-30706), 'Chernosliv Adygeyskiy' (k-23743), 'Chernosliv Shuntukskiy' (k-23707), 'Yekaterina' (yellow) (k-3520), and 'Vascova' (k-27639). They can be recommended to plum breeders for the development of *P. domestica* cultivars with group resistance to fungal diseases in the foothill zone of Adygea.

**Keywords:** *Prunus domestica* L., resistance, rust, brown rot, shot hole, red leaf spot

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding".

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

**For citation:** Sherstobitov V.V., Kolesova M.A. Resistance of European plum to fungal diseases in the foothill zone of Adygea. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):210-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-210-218

## Введение

Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) – широко распространенная плодовая косточковая культура Краснодарского края (Zaremuk, Bogatyreva, 2012; Sherstobitov et al., 2022) и Адыгеи (Sherstobitov et al., 2022). Плоды сливы содержат органические сахара, витамины, кислоты, макро- и микроэлементы, а также множество других веществ, полезных для человека (Nicolae et al., 2008; Morozova, Simonov, 2019).

Поражение сливы грибными болезнями, в том числе монилиозом плодов [возбудители – *Monilia laxa* (Aderh. & Ruhland) Honey (syn. *M. cinerea* Bonord.) и *M. fructigena* Pers.], кластероспориозом (*Clasterosporium carpophilum* (Lev.) Aderh.), ржавчиной (*Tranzschelia pruni-spinosae* Pers.) и полистигмозом (*Polystigmia rubra* (Pers.) Sacc.), приводит к значительному снижению урожая (Gatina, 1989; Poniatowska et al., 2013; Hrutić et al., 2015; Mitre Jr. et al., 2015; Guinet et al., 2016; Lino et al., 2016; Ahmad et al., 2020; Rasool et al., 2020; Stefanova et al., 2021; Yakovleva, 2021) и товарного качества плодов *P. domestica* (Sedov, Ogoltsova, 1999; Guinet et al., 2016; Ahmad et al., 2020; Mishchenko, 2021; Stefanova et al., 2021). При сильном развитии болезней снижается ассимиляционная поверхность листьев сливы домашней, что способствует преждевременному листопаду и ослаблению деревьев. Сниженная зимостойкость плодовых деревьев может привести к их гибели (Gatina, 1989).

Для борьбы с болезнями используются различные методы, однако большое значение для закладки высокопродуктивных садов сливы имеет внедрение в производство сортов, устойчивых к болезням (Gatina, 1989; Topr et al., 2012; Mitre Jr. et al., 2015; Efremov et al., 2019; Stefanova et al., 2021). Для селекции резистентных сортов необходимо наличие разнообразного исходного материала, источником которого является коллекция *P. domestica* Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), поддерживаемая в живом виде на Майкопской опытной станции – филиале ВИР (МОС ВИР). В коллекции станции находятся 402 образца *P. domestica* различного эколого-географического происхождения, в том числе двадцать сортов селекции МОС ВИР.

Цель работы – идентификация устойчивых к четырем грибным болезням (монилиозу плодов, кластероспориозу, ржавчине и полистигмозу) сортов сливы домашней в условиях предгорной зоны Адыгеи.

## Материалы и методы

Материал исследования включал 25 сортов *P. domestica* из коллекции МОС ВИР, семь из которых – ‘Анастасия’ (к-43479), ‘Венгерка Вкусная’ (к-43323), ‘Венгерка Сизая’ (к-43328), ‘Чернослив Адыгейский’ (к-23743), ‘Чернослив Шунтукский’ (к-23707), ‘Лакомка’ (к-43471) и ‘Нектар’ (к-43473) – были созданы сотрудниками станции (табл. 1).

**Таблица 1. Сорта сливы домашней, изученные по устойчивости к болезням**  
(Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 2011–2022 гг.)

**Table 1. European plum cultivars studied for disease resistance**  
(Maikop Experiment Station of VIR, 2011–2022)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Происхождение / Origin
3399	‘Великий Герцог’	Англия
3325	‘Анна Шпет’	Германия
3459	‘Венгерка Ранняя’	«
13764	‘Ренклюд Альтана’	«
3444	‘Венгерка Итальянская’	Италия
26994	‘Муса Джалиев’	Киргизия
27000	‘Шамси’	«
19995	‘Память Вавилова’	Молдавия
43479	‘Анастасия’	СССР
43323	‘Венгерка Вкусная’	«
43328	‘Венгерка Сизая’	«
14073	‘Венгерка Сладкая’	«
20065	‘Кабардинская Ранняя’	«
23743	‘Чернослив Адыгейский’	«
23707	‘Чернослив Шунтукский’	«
43471	‘Лакомка’	«
43473	‘Нектар’	«

Таблица 1. Окончание  
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Происхождение / Origin
30706	‘Персиковая Мичурина’	«
3581	‘Исполинская’	США
3972	‘Ренклюд Фиолетовый’	Украина
27611	‘Ренклюд Карбышева’	«
3520	‘Екатерина’ (желтая)	Франция
12858	‘Венгерка Ажанская Синяя’	«
27639	‘Vascova’	«
28380	‘Calben 208’	«

В коллекционном саду МОС ВИР образцы сливы выращиваются на участке без орошения с 2002 г., схема посадки – 5 × 3 м.

Устойчивость *P. domestica* к болезням оценивали в 2011–2022 гг. на трех деревьях каждого сорта по общепринятой шкале (Sedov, Ogoltsova, 1999):

0 – отсутствие симптомов поражения на листьях/плодах, 1 – поражено менее 1% поверхности листьев/плодов, 2 – поражено 1–10% поверхности органов, 3 – поражено 11–25% листьев/плодов, 4 – поражено 26–50% листьев/плодов, 5 – поражено более 50% поверхности листьев/плодов.

Оценку резистентности образцов к болезням проводили по максимальному баллу поражения. В качестве контроля использовали сильно восприимчивые к болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи сорта сливы домашней: монилиоз плодов – ‘Колумбия’ (к-3617), ‘Арвита’ (к-28409), ‘Монфор’ (к-3765); клостероспориоз – ‘Арвита’, ‘Колумбия’, ‘Венгерка Вангенгейма’ (к-3426); ржавчина – ‘Монфор’; полистигмоз – ‘Венгерка Вангенгейма’.

Характеристика уровня влагообеспеченности предгорной зоны Адыгеи в периоды цветения, роста и созревания плодов сливы домашней приведена в таблице 2. Значения среднемесячных температур воздуха за годы проведения экспериментов на МОС ВИР представлены в таблице 3.

## Результаты и обсуждение

### Монилиоз плодов

Симптомы поражения плодовой гнилью были обнаружены на всех изучаемых образцах *P. domestica*, высокоустойчивых к болезни сортов не выявлено. Средним уровнем резистентности к болезни (балл 3) характеризовались десять сортов *P. domestica* (табл. 4), три из которых были созданы сотрудниками МОС ВИР.

Показано, что климатические условия могут оказывать влияние на степень поражения сливы домашней грибными болезнями (Sedov, Ogoltsova, 1999; Topp et al., 2012; Radchenko, 2017; Stefanova et al., 2021; Yakovleva, 2021). Результаты наших многолетних наблюдений показывают, что образцы *P. domestica* сильнее поражаются плодовой гнилью в годы с наиболее сырыми и холодными погодными условиями в периоды цветения, роста и созревания плодов (апрель – октябрь). Эпифитотия болезни в условиях предгорной зоны Адыгеи наблюдалась в 2016 г.: гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова в рассматриваемый период был ниже нормы только в апреле, июле и октябре; среднемесячная температура воздуха была ниже нормы в мае, июле и в осенние месяцы (см. табл. 2, 3). В этом году было отмечено максимальное поражение образцов болезнью: контроль (сорт сливы ‘Колумбия’) характеризовался высоким уровнем восприимчивости (балл 5), а сорта ‘Анна Шпет’ (к-3325),

Таблица 2. Гидротермический коэффициент Селянинова в предгорной зоне Адыгеи, 2011–2022 гг.  
Table 2. Selyaninov's hydrothermal coefficient for the foothill zone of Adygea, 2011–2022

Год / Year		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Норма / Norm
Месяц / Month	IV	3,4	1,3	1,2	2,6	4,0	1,4	2,7	1,4	2,2	0,6	3,4	1,4	2,0
	V	3,8	2,6	0,3	2,6	1,2	4,1	4,2	1,1	1,1	2,1	2,3	2,0	1,8
	VI	2,6	1,9	1,7	1,8	3,0	2,8	1,2	1,4	0,4	1,2	2,9	1,0	1,8
	VII	0,9	0,8	2,2	1,9	1,2	0,6	1,1	1,0	1,8	1,2	0,5	1,0	1,2
	VIII	0,4	1,4	0,9	0,1	0,9	2,4	0,6	0,4	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2
	IX	1,4	0,3	4,3	1,3	0,6	2,7	0,5	1,9	1,4	0,9	0,9	0,9	1,4
	X	4,9	0,8	1,5	3,9	0,8	2,4	1,4	3,9	1,6	1,2	1,2	1,2	2,6

**Таблица 3. Среднемесячная температура воздуха за годы проведения экспериментов в предгорной зоне Адыгеи, °C****Table 3. Mean monthly air temperatures over the years of experiments in the foothill zone of Adygea, °C**

Год / Year	Месяц / Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>2011</b>	-0,4	-2,6	3,6	8,5	14,8	18,8	23,0	20,1	15,5	9,2	-0,6	5,8
<b>2012</b>	-2,0	-5,5	0,8	13,6	17,4	20,1	21,7	20,8	17,5	14,0	7,2	3,2
<b>2013</b>	1,7	4,2	6,2	11,8	17,8	19,2	20,6	20,7	13,7	9,5	7,0	1,1
<b>2014</b>	0,0	1,6	6,8	10,8	16,9	19,0	21,8	22,2	17,1	8,6	4,0	-3,1
<b>2015</b>	-0,3	2,2	6,6	8,4	15,2	19,6	20,9	21,4	18,8	8,9	6,9	3,3
<b>2016</b>	-1,2	5,5	7,3	12,4	14,8	20,0	21,2	22,9	15,4	9,3	5,0	2,0
<b>2017</b>	-6,0	-0,4	7,3	10,3	14,6	19,1	23,4	23,2	18,9	10,5	5,1	-3,0
<b>2018</b>	1,7	3,5	7,0	12,7	17,9	21,2	23,5	22,7	17,6	12,3	4,0	4,3
<b>2019</b>	2,5	3,2	5,0	10,3	17,3	22,5	20,6	21,5	16,2	12,3	6,2	1,7
<b>2020</b>	0,6	2,0	8,5	9,1	14,9	20,1	23,7	20,9	19,7	14,4	4,2	2,7
<b>2021</b>	1,9	1,0	2,9	10,3	16,3	19,6	23,1	23,3	19,7	14,7	6,2	1,8
<b>2022</b>	0,7	3,7	1,9	13,2	13,0	20,8	21,2	23,8	16,9	11,9	7,5	4,1
<b>Норма</b>	-1,1	0,3	4,2	11,2	15,8	19,2	21,6	20,9	16,1	10,4	5,5	1,1

**Таблица 4. Характеристика сортов *Prunus domestica* L. по устойчивости к болезням, балл (Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 2011–2022 гг.)****Table 4. Disease resistance characteristics of *P. domestica* cultivars, score (Maikop Experiment Station of VIR, 2011–2022)**

Сорт / Cultivar	Поражение / Damage from			
	монилиозом / brown rot	клястероспориозом / shot hole	полистигмозом / red leaf spot	ржавчиной / rust
‘Великий Герцог’	4	3	2	4
‘Анна Шпет’	3	3	2	3
‘Венгерка Ранняя’	3	2	2	3
‘Ренклод Альтана’	4	3	2	2
‘Венгерка Итальянская’	3	3	2	2
‘Муса Джалиев’	3	3	1	2
‘Шамси’	4	2	2	2
‘Память Вавилова’	4	3	1	2
‘Анастасия’	4	2	1	2
‘Венгерка Вкусная’	3	2	2	2
‘Венгерка Сизая’	4	3	2	2
‘Венгерка Сладкая’	4	2	2	2
‘Кабардинская Ранняя’	4	2	2	3

Таблица 4. Окончание  
Table 4. The end

Сорт / Cultivar	Поражение / Damage from			
	монилиозом / brown rot	клястероспориозом / shot hole	полистигмозом / red leaf spot	ржавчиной / rust
‘Чернослив Адыгейский’	3	2	1	1
‘Чернослив Шунтукский’	3	2	2	1
‘Лакомка’	4	2	2	2
‘Нектар’	4	2	1	2
‘Персиковая Мичурина’	3	3	1	3
‘Исполинская’	4	4	2	2
‘Ренклюд Фиолетовый’	4	2	1	2
‘Ренклюд Карбышева’	4	2	1	2
‘Екатерина’ (желтая)	3	3	2	3
‘Венгерка Ажанская синяя’	4	3	2	2
‘Vascova’	3	2	1	2
‘Calben 208’	4	2	1	2
‘Арвита’ (контроль)	4	5	2	2
‘Венгерка Вангенгейма’ (контроль)	3	4	3	3
‘Колумбия’ (контроль)	5	4	2	3
‘Монфор’ (контроль)	4	3	2	5

‘Венгерка Ранняя’ (к-3459), ‘Венгерка Итальянская’ (к-3444), ‘Муса Джалиев’ (к-26994), ‘Венгерка Вкусная’, ‘Чернослив Адыгейский’ (к-23743), ‘Чернослив Шунтукский’, ‘Персиковая Мичурина’ (к-30706), ‘Екатерина’ (желтая) (к-3520) и ‘Vascova’ (к-27639) поражались на балл 3. На рисунке 1 представлены симптомы поражения плодов сливы домашней монилиозом.

**Клястероспориоз**

Только сорт ‘Исполинская’, был восприимчивым к клястероспориозу (балл 4); остальные образцы характе-

ризовались различным уровнем резистентности к *Clasterosporium carpophilum* (см. табл. 4).

Клястероспориоз в 2011, 2014–2016 и 2021 г. поражал листья сортов сливы сильнее, чем в остальные годы проведения исследования. Эпифитотии болезни в предгорной зоне Адыгеи наблюдались в 2016 и 2021 г. В эти годы ГТК Селянинова и температура воздуха в периоды цветения, роста и созревания плодов были наиболее благоприятными для развития заболевания: 2016 г. оказался дождливым и прохладным, в 2021 г. ГТК Селянинова был выше нормы с апреля по июнь, среднемесячная темпера-



Рис. 1. Симптомы поражения монилиозом плодов *Prunus domestica* L.: сорт ‘Колумбия’  
Fig. 1. Brown rot symptoms on *Prunus domestica* L. fruits: cv. ‘Columbia’

тура воздуха была ниже нормы только в апреле (см. табл. 2, 3). Следует отметить, что чем старше плодовые деревья, тем они восприимчивее к *C. carpophilum*. Так, в 2011 и 2015 г. все изучаемые образцы характеризовались высокой и повышенной устойчивостью к *C. carpophilum*, а в годы эпифитотий у восприимчивого контроля 'Арвита' наблюдался наибольший балл поражения болезнью; сорта 'Венгерка Ранняя', 'Шамси' (к-27000), 'Анастасия', 'Венгерка Вкусная', 'Венгерка Сладкая' (к-14073), 'Кабардинская Ранняя' (к-20065), 'Чернослив Адыгейский', 'Чернослив Шунтукский', 'Лакомка', 'Нектар', 'Ренклюд Фиолетовый' (к-3972), 'Ренклюд Карбышева' (к-27611), 'Vascova' и 'Calben 208' (к-28380) характеризовались повышенной устойчивостью к *C. carpophilum* (балл 2). На рисунке 2 представлены симптомы поражения клястероспориозом листьев двух сортов *P. domestica* из коллекции МОС ВИР.



а



б

**Рис. 2.** Симптомы поражения клястероспориозом листьев двух сортов *Prunus domestica* L.: а – 'Чернослив Адыгейский', б – 'Арвита' (контроль)

**Fig. 2.** Shot hole symptoms on the leaves of two *Prunus domestica* L. cultivars: а – 'Chernosliv Adygeyskiy', б – 'Arvita' (control)

#### Полистигмоз

Все изученные образцы в условиях предгорной зоны Адыгеи характеризовались высокой (балл 1) и повышенной (балл 2) устойчивостью к *Polystigmia rubra* (см. табл. 4). Полистигмоз на листьях исследуемых образцов *P. domestica* наблюдался с середины июля по сентябрь в 2011, 2013, 2014–2016 и 2021 г., однако эпифитотии болезни в эти годы не отмечались. Вероятно, это связано с природно-климатическими условиями: жаркая и сухая погода (см. табл. 2, 3) сдерживала развитие патогена на листьях сливы домашней. Перспективность выделенных по устойчивости сортов *P. domestica* требует дальнейше-

сяных температур воздуха относительно норм, а ГТК Селянинова в июле и октябре значительно превышал норму (см. табл. 2, 3). Погодные условия, сложившиеся в 2016 г., также оказались благоприятными для развития патогена: сорт сливы 'Монфор' (контроль) был высоковосприимчив к болезни (балл 5).

Следует отметить, что образцы сливы домашней с 2017 г. стали меньше поражаться *T. pruni-spinosae*. Очевидно, этому способствует высокая температура воздуха и малое количество осадков в летне-осенний период (см. табл. 2, 3). Симптомы поражения ржавчиной листьев двух сортов сливы домашней представлены на рисунке 4.



**Рис. 3.** Симптомы поражения листа *Prunus domestica* L. полистигмозом: сорт 'Чернослив Адыгейский'

**Fig. 3.** Red leaf spot symptoms on a leaf of *Prunus domestica* L.: cv. 'Chernosliv Adygeyskiy'



**Рис. 4.** Симптомы поражения ржавчиной листьев двух сортов *Prunus domestica* L.: а – ‘Анна Шпет’, б – ‘Монфор’ (контроль)

**Fig. 4.** Rust symptoms on the leaves of two *Prunus domestica* L. cultivars: а – ‘Anna Shpet’, б – ‘Monfor’ (control)

### Заключение

Установлено, что природно-климатические условия в периоды цветения, роста и созревания плодов влияют на степень поражения сливы домашней грибными болезнями. По данным многолетних исследований выделены сорта *P. domestica*, обладающие различным уровнем устойчивости к монилиозу, клястероспориозу и ржавчине. Десять образцов *P. domestica* – ‘Анна Шпет’ (к-3325), ‘Венгерка Ранняя’ (к-3459), ‘Венгерка Итальянская’ (к-3444), ‘Муса Джалиев’ (к-26994), ‘Венгерка Вкусная’ (к-43323), ‘Персиковая Мичурина’ (к-30706), ‘Чернослив Адыгейский’ (к-23743), ‘Чернослив Шунтукский’ (к-23707), ‘Екатерина’ (желтая) (к-3520) и ‘Vascova’ (к-27639) – характеризовались групповой устойчивостью к вышеперечисленным болезням. Они рекомендуются для привлечения в селекцию при выведении сортов *P. domestica* с групповой устойчивостью к болезням в условиях предгорной зоны Адыгеи.

### References / Литература

- Ahmad J., Jan B., Farman H., Ahmad W., Ullah A. Disease detection in plum using convolutional neural network under true field conditions. *Sensors*. 2020;20(19):5569. DOI: 10.3390/s20195569
- Efremov I.N., Gulyaeva A.A., Berlova T.N., Bezlepkina E.V. Resistance of forms of cherry and plum to fungal diseases. *Bulletin of Agrarian Science*. 2019;3(78):17-22. [in Russian] (Ефремов И.Н., Гуляева А.А., Берлова Т.Н., Безлепкина Е.В. Устойчивость форм вишни и сливы к грибным заболеваниям. *Вестник аграрной науки*. 2019;3(78):17-22). DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.17
- Gatina E.S. Plum diseases and pests in Moldavia (Bolezni i vrediteli slivy v Moldavii). Chişinău: Ştiinţă; 1989. [in Russian] (Гатина Э.Ш. Болезни и вредители сливы в Молдавии. Кишинев: Штиинца; 1989).
- Guinet C., Fourrier-Jeandel C., Cerf-Wendling I., Ioos R. One-step detection of *Monilinia fructicola*, *M. fructigena*, and *M. laxa* on *Prunus* and *Malus* by a multiplex real-time PCR assay. *Plant Disease*. 2016;100(12):2465-2474. DOI: 10.1094/PDIS-05-16-0655-RE
- Hrustić J., Delibašić G., Stanković, I., Grahovac M., Krstić B., Bulajić A. et al. *Monilinia* spp. causing brown rot of stone fruit in Serbia. *Plant Disease*. 2015;99(5):709-717. DOI: 10.1094/PDIS-07-14-0732-RE
- Lino L.O., Pacheco I., Mercier V., Faoro F., Bassi D., Bornard I. et al. Brown rot strikes *Prunus* fruit: an ancient fight almost always lost. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016;64(20):4029-4047. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b00104
- Mishchenko I.G. Bioecological features of monilia of plum agents in the Krasnodar region. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2021;69(3):215-225. [in Russian] (Мищенко И.Г. Биоэкологические особенности возбудителей монилиоза сливы в Краснодарском крае. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021;69(3):215-225). DOI: 10.30679/2219-5335-2021-3-69-215-225
- Mitre Jr. I., Tripon A., Mitre I., Mitre V. The response of several plum cultivars to natural infection with *Monilinia laxa*, *Polystigma rubrum* and *Stigmata carpophila*. *Notulae Scientiae Biologicae*. 2015;7(1):136-139. DOI: 10.15835/nsb.7.1.9555
- Morozova N.G., Simonov V.S. New varieties stone fruits derived in FGBNU VSTISP. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2019;6(2):79-83. [in Russian] (Морозова Н.Г., Симонов В.С. Перспективные сорта косточковых культур для Центрального региона России. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019;6(2):79-83).
- Nicolae S., Paul-Bădescu A., Nicola C., Pârvan C. Chemical and biochemical components in fruit and their role in the human health. *Scientific Papers of the Research Institute for Fruit Growing Pitesti, Romania*. 2008;24:138-143.
- Poniatowska A., Michalecka M., Bielenin A. Characteristic of *Monilinia* spp. fungi causing brown rot of pome and stone fruits in Poland. *European Journal of Plant Pathology*. 2013;135(4):855-865. DOI: 10.1007/s10658-012-0130-2
- Radchenko O.E. Screening of the gene pool of *Prunus domestica* L. for resistance against *Monilia* in breeding. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;144(1):235-239. [in Russian] (Радченко О.Е. Скрининг генофонда *Prunus domestica* L. в селекции на устойчивость к монилиозу. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2017;144(1):235-239).
- Rasool R.S., Padder B.A., Wani A.A., Shah M.D., Masoodi K.Z., Khan N.A. et al. *Thyrostoma carpophilum* insertional mutagenesis: A step towards understanding its pathogenicity mechanism. *Journal of Microbiological Methods*. 2020;171:105885. DOI: 10.1016/j.mimet.2020.105885
- 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: VNIISP; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).

- Sherstobitov V.V., Bandurko I.A., Ozerski P.V. Analysis of the data obtained while studying European plum (*Prunus domestica* L.) cultivars developed at Maikop Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):113-121. [in Russian] (Шерстобитов В.В., Бандурко И.А., Озерский П.В. Анализ данных сортоизучения сливы домашней (*Prunus domestica* L.) селекции Майкопской опытной станции – филиала ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(2):113-121). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-113-121
- Stefanova B., Minkov P., Popski G. Monitoring of *Polistigma rubrum*, *Tranzschelia pruni spinose*, *Stigmima carpophila* in plum rootstock–cultivar combinations for the Troyan region. *Scientific Papers. Series B. Horticulture*. 2021;65(1):243-250.
- Topp B.L., Russell D.M., Neumüller M., Dalbó M.A., Liu W. Plum. In: M.L. Badenes, D.H. Byrne (eds). *Handbook of Plant Breeding. Vol. 8. Fruit Breeding*. Boston, MA: Springer; 2012. p.571-622. DOI: 10.1007/978-1-4419-0763-9\_15
- Yakovleva V.V. Resistance sources to fungal diseases for the creation of new plum varieties in the conditions of the south of Primorye. *Far East Agrarian Bulletin*. 2021;4(60):65-71. [in Russian] (Яковлева В.В. Источники устойчивости к грибным болезням для создания новых сортов сливы в условиях юга Приморья. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2021;4(60):65-71). DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-65-71
- Zaremuk R.Sh., Bogatyreva S.V. Creation of adaptive and productive grades of plum house in the south of Russia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(5):18-20. [in Russian] (Заремук Р.Ш., Богатырёва С.В. Создание адаптивных и продуктивных сортов сливы домашней на юге России. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(5):18-20).

### Информация об авторах

**Василий Васильевич Шерстобитов**, заведующий питомником, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Научная, 1, scherstobitow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8308-5107>

**Мария Анатольевна Колесова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Научная, 1, markolesova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6310-127X>

### Information about the authors

**Vasiliy V. Sherstobitov**, Head of the Nursery, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station – branch of VIR, 1 Nauchnaya St., Maikop 385746, Russia, scherstobitow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8308-5107>

**Maria A. Kolesova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station – branch of VIR, 1 Nauchnaya St., Maikop 385746, Russia, markolesova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6310-127X>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 21.10.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 21.10.2023; approved after reviewing on 13.03.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

# ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Научная статья

УДК 581.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-219-228



## Вклад Владимира Александровича Кошкина в развитие физиологии растений ВИР

**Б. В. Ригин<sup>1</sup>, И. Г. Лоскутов<sup>1,2</sup>, И. И. Матвиенко<sup>1</sup>, З. А. Щедрина<sup>1</sup>, Р. А. Абдуллаев<sup>1</sup>, Е. В. Зуев<sup>1</sup>, Е. Е. Радченко<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, [abdullaev.1988@list.ru](mailto:abdullaev.1988@list.ru)

Владимир Александрович Кошкин был ярким представителем школы физиологов растений Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Он подробно исследовал интенсивность фотосинтеза, а также распространение фотопериодической чувствительности и скорости развития среди видового разнообразия растений. Впервые он детально исследовал и выявил связь углекислотного компенсационного пункта с температурой листьев у растений с  $C_3$ - и  $C_4$ -стадиями фотосинтеза. Согласно В. А. Кошкину, в эволюции родов *Triticum* L. и *Aegilops* L. не произошло смены знака фотопериодической реакции, при этом в приэкваториальной зоне нашей планеты широко распространены слабочувствительные к фотопериоду формы яровой мягкой и твердой пшеницы. В работе с ресурсными отделами ВИР Владимир Александрович интересовался проблемами селекции в связи с особенностями создания более скороспелых сортов зерновых культур с определенной их реакцией на фотопериод. В этом направлении эффективными были его совместные научные проекты с рядом селекционных учреждений России. Участвовал в экспедициях по странам Латинской Америки (Куба, Мексика, Колумбия, Бразилия). Награжден Золотой медалью имени К.А. Тимирязева. Им опубликовано 163 научные статьи, а также оформлено около 20 авторских свидетельств и патентов на изобретения, сорта и линии сельскохозяйственных растений. В. А. Кошкин быстро вникал в сущность проблемы и для ее реализации использовал современные адекватные методы постановки и анализа четкого эксперимента.

**Ключевые слова:** ВИР, физиология растений, фотопериодическая чувствительность, скорость развития, генетические ресурсы культурных растений

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Ригин Б.В., Лоскутов И.Г., Матвиенко И.И., Щедрина З.А., Абдуллаев Р.А., Зуев Е.В., Радченко Е.Е. Вклад Владимира Александровича Кошкина в развитие физиологии растений ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):219-228. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-219-228

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-219-228

### Contribution of Dr. Vladimir A. Koshkin to the development of plant physiology at VIR

Boris V. Rigin<sup>1</sup>, Igor G. Loskutov<sup>1, 2</sup>, Inna I. Matvienko<sup>1</sup>, Zoya A. Shchedrina<sup>1</sup>,  
Renat A. Abdullaev<sup>1</sup>, Evgeny V. Zuev<sup>1</sup>, Evgeny E. Radchenko<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Renat A. Abdullaev, abdullaev.1988@list.ru

Vladimir Aleksandrovich Koshkin was a prominent representative of the school of plant physiologists at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). He introduced his ideas on the mechanisms of photosynthesis intensity as well as the distribution of photoperiod sensitivity and the rate of development among plant species diversity. He was the first to examine in detail and disclose the relationship between the carbon dioxide compensation point and leaf temperature in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. According to Dr. Koshkin, there was no change in the sign of the photoperiodic reaction in the generic evolution of *Triticum* L. and *Aegilops* L., while the spring forms of bread and durum wheat widespread in the equatorial zone demonstrated weak photoperiod sensitivity. In his work with the resource departments of VIR, Dr. Koshkin was interested in plant breeding problems in the context of developing earlier-ripening cereal cultivars with a certain reaction to the photoperiod. His joint research projects with a number of breeding centers in Russia on this problem proved effective. He participated in collecting missions in Latin American countries (Cuba, Mexico, Colombia, and Brazil) and was awarded a Timiryazev Gold Medal. Dr. Koshkin was the author of 163 scientific publications and had about 20 certificates of authorship and patents for inventions, crop cultivars and lines. Dr. Vladimir Koshkin was quick to perceive the essence of any problem and used adequate modern methods to set up and analyze high-precision experiments.

**Keywords:** VIR, plant physiology, photoperiod sensitivity, development rate, crop genetic resources

**Acknowledgements:** the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Rigin B.V., Loskutov I.G., Matvienko I.I., Shchedrina Z.A., Abdullaev R.A., Zuev E.V., Radchenko E.E. Contribution of Dr. Vladimir A. Koshkin to the development of plant physiology at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):219-228. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-219-228

Владимир Александрович Кошкин был видным представителем школы физиологов растений, которая сформировалась в стенах Всероссийского института растениеводства (ныне Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова) (ВИР) под влиянием идей Н. И. Вавилова и при непосредственном его руководстве.

Основным научным направлением работы ВИР является поиск, сохранение, изучение генетических ресурсов растений и использование их в селекционном процессе (Konarev, 1994; Loskutov, 2009). Кроме того, в число задач этой важной работы входит теоретическое обоснование механизмов повреждения и защиты растений в условиях экстремальных абиотических стрессов и формирование нового исходного материала для селекции на адаптивность. Отдельно следует отметить работы по фотопериодизму и влиянию длины дня на формирование вегетативных и генеративных органов растений, а также исследование реакции сортового разнообразия культур на яровизацию (Razumov, 1961; Moshkov, 1987), что обусловило в дальнейшем познание физиолого-генетических механизмов, лежащих в основе фотопериодизма и яровизации. Проводивший эти работы В. И. Разумов, помимо великолепного знания биологии растений, был хорошим методистом. Как впоследствии вспоминал Владимир Александрович Кошкин, ему крайне повезло работать под руководством этого ученого и познать методы научно-исследовательской работы.

Так сложилось, что в этот интеллектуальный процесс В. А. Кошкин (рис. 1) внес свое представление о механизмах интенсивности фотосинтеза и пределах распространения фотопериодической чувствительности и скорости развития этих важных особенностей растений. С приходом Владимира Александровича в ВИР стали активно развиваться исследования по биологии растений, которые можно определить, по мнению заведующей отделом физиологии растений ВИР (Kosareva, 2012), как формирование нового направления науки – экологической физиологии растений.

В. А. Кошкин родился 13 сентября 1941 г. в деревне Маныловцы Зуевского района Кировской области в семье крестьян. До семи классов учился в Рохинской школе Зуевского района Кировской области и в 8–10 классах школы № 1 г. Зуевка, которую успешно окончил в 1958 г.

Затем с отличием окончил агрономический факультет Кировского сельскохозяйственного института (Вятская сельскохозяйственная академия) по специальности «ученый агроном». Потом три года работал главным агрономом колхоза им. Ленина Зуевского района.

В 1966 г. поступил на работу в лабораторию фотосинтеза ВИР на должность младшего научного сотрудника и в этом учреждении прошел путь до ведущего научного сотрудника. В 1970 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Потенциальная интенсивность фотосинтеза яровой пшеницы различного происхождения» по специальности «Физиология растений» под научным руководством д-ра биол. наук О. Д. Быкова (Koshkin, 1970).

В этот период в лаборатории фотосинтеза В. А. Кошкин изучил газообмен растений, потенциальную интенсивность фотосинтеза, фотопериодическую чувствительность и скороспелость большого количества образцов пшеницы, тритикале, ячменя, овса, гречихи, сои, фасоли, льна, кукурузы. Для более глубокого познания этих процессов совместно с О. Д. Быковым разработал уникальную лабораторную установку и термостатирующее устройство. Такая конструкция позволяла задавать необходимую температуру листьев в ассимиляционной камере и определять стационарные процессы фотосинтеза и дыхания в условиях темноты.

В 1998 г. В. А. Кошкин успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Морфофизиологические закономерности развития и продуктивности пшеницы в связи с эволюцией и селекцией» по специальностям 03.00.12 «Физиология растений» и 06.01.05 «Селекция и семеноводство» (Koshkin, 1998). Владимир Александрович впервые детально исследовал и выявил связь углекислотного компенсационного пункта с температурой листьев у растений с двумя разными стадиями процесса фотосинтеза –  $C_3$  и  $C_4$ . Причем это показано у ряда образцов культурных и дикорастущих видов растений: пшеницы, ячменя, овса, гречихи, сои, фасоли, льна, кукурузы и других культур. На рисунке 2 показано разнообразие видов растений, с которыми работал Владимир Александрович.

Существенным для науки является сформулированная ученым система познания фотосинтетического аппарата растений (Koshkin, 2012). По мнению Владимира Александровича, селекция яровой мягкой пшеницы способствовала увеличению ассимиляционной поверхности



**Рис. 1. Владимир Александрович Кошкин (1941–2017)**

**Fig. 1. Dr. Vladimir A. Koshkin (1941–2017)**



**Рис. 2. В. А. Кошкин на фоне своей рабочей коллекции растений**  
(фото из архива отдела физиологии ВИР)

**Fig. 2. Dr. Vladimir Koshkin in front of his working plant collection**  
(photo from the archives of the Physiology Department, VIR)

флаговых листьев и их влагалищ и, как следствие, повышению продуктивности колоса.

Он впервые констатировал, что в процессе эволюции родов *Triticum* L. и *Aegilops* L. не произошло смены знака фотопериодической реакции. Крайне важным для науки и селекции является его заключение о широком распространении в приэкваториальной зоне нашей планеты слабочувствительных к фотопериоду форм яровой мягкой и твердой пшеницы (Koshkin et al., 1991a). В его дальнейших экспериментах показана возможность выделять источники слабой фотопериодической чувствительности и скороспелости также и среди сортимента северных стран: США, Канады, Германии, Норвегии, Швеции, Финляндии, России.

В. А. Кошкин активно интересовался проблемами селекции в связи с особенностями создания более скороспелых сортов с определенной их реакцией на фотопериод. Этот факт отразился на его совместной работе с отделами генетических ресурсов пшеницы, овса, ячменя, ржи, а также зернобобовых, крупяных, технических культур

по оценке скороспелости и фотопериодической чувствительности (рис. 3). В частности, совместно с сотрудниками ресурсных отделов ВИР В. А. Кошкин создал и изучил линии мягкой пшеницы Вировская 1, 2, 3, 4 и Пушкинская 1, 2, 3, 4, которые различаются по морфологическим признакам и реакции на фотопериод (ген *Ppd-D1*). На эти формы получены патенты как на селекционные достижения.

В. А. Кошкин участвовал в отборах ультраскороспелых линий пшеницы, на основе которых были получены ценные для селекции доноры высокой скорости развития (Vrazhnov et al., 2012; Rigin et al., 2022). Эти формы присутствуют в составе генетической коллекции ВИР и доступны для использования в селекции (рис. 4).

В этой области знаний В. А. Кошкин также выполнял работу по гранту РФФИ 09-04-00326-а.

В процессе многолетнего изучения разнообразия образцов овса из коллекции ВИР им выделены генотипы со скороспелостью и слабой фотопериодической чувствительностью, представляющие особую селекционную



**Рис. 3. Сотрудники ВИР: д. б. н. Е. К. Потокينا, к. б. н. Э. Э. Егги, д. б. н. В. А. Кошкин, н. с. И. И. Матвиенко**  
(фото из архива отдела физиологии ВИР)

**Fig. 3. VIR staff researchers: Dr. E. K. Potokina, Dr. E. E. Eggi, Dr. V. A. Koshkin, and Ms. I. I. Matvienko**  
(photo from the archives of the Physiology Department, VIR)



**Рис. 4.** Д. б. н. В. А. Кошкин и проф. Б. В. Ригин знакомятся с новой ультраскороспелой линией мягкой пшеницы Рико (фото из архива отдела физиологии ВИР)

**Fig. 4.** Dr. Vladimir Koshkin and Prof. Boris Rigin familiarize themselves with the new ultra-early bread wheat line Rico (photo from the archives of the Physiology Department, VIR)

ценность, которые в настоящее время вовлекаются в процесс создания новых скороспелых продуктивных сортов овса. Кроме того, созданы доноры овса с различной фотопериодической чувствительностью: слабочувствительные к фотопериоду Скороспелый 1 и Скороспелый 2, а также среднечувствительные – Среднеспелый 1 и Среднеспелый 2 (Loskutov et al., 2019).

С другими научными учреждениями Владимир Александрович работал в форме договоров. Например, эффективными были совместные проекты с учеными Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко по созданию высокоурожайных сортов озимой пшеницы и тритикале, с Челябинским научно-исследовательским институтом по селекции скороспелых сортов яровой пшеницы, а также с Аграрным научным центром Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого по созданию скороспелых сортов ярового овса.

С использованием ценных для селекции форм ячменя, обнаруженных Владимиром Александровичем, сотрудники Кемеровского НИИСХ создали скороспелый сорт 'Кузнецкий' ('Курьер' × 'Centinella'), который в регионах на юго-западе Сибири созревает на неделю раньше, а по продуктивности не уступает другим районированным сортам.

Особое значение для науки имеют работы В. А. Кошкина о связи признаков фотопериодической реакции растений с генетическими детерминантами *Vrn* и *Ppd* (Bespalova et al., 2010; Potokina et al., 2012).

В целом за научные разработки с участием В. А. Кошкина институт в 2016 г. получил 4 серебряных медали на Международных выставках высоких технологий, а сам автор награжден Золотой медалью имени К.А. Тимирязева (07.12.2015). Кроме того, В. А. Кошкину выдан Диплом II степени с вручением серебряной медали за разработку «Изогенные линии яровой пшеницы, различаю-

щиеся по генам фотопериодической чувствительности – *Ppd*».

Результаты оценки морфофизиологических признаков, реакции растений на фотопериод и скорость развития растений исследованных видов изданы в 14 каталогах при жизни автора; в дальнейшем его имя фигурирует в ряде других изданий. В частности, с использованием результатов работы В. А. Кошкина опубликованы «Каталоги мировой коллекции ВИР»: **пшеницы** (Koshkin, Semenova, 1989; Koshkin et al. 1989; Koshkin et al., 1991a; Koshkin et al., 1991b; Koshkin et al., 1992; Koshkin et al., 1995; Koshkin et al., 2000), **ячменя** (Koshkin et al., 1988; Koshkin et al., 2000; Koshkin et al., 2002), **овса** (Koshkin et al., 2002; Koshkin et al., 2003), **ячменя и овса** (Koshkin et al., 2009), **кукурузы** (Kosareva et al., 2010), **гречихи** (Koshkin et al., 2005; Koshkin et al., 2015), **фасоли** (Koshkin et al., 2013b), **льна** (Brutch et al., 2015a).

В. А. Кошкин – автор 163 печатных работ. Некоторые опубликованы с ним в соавторстве (Koshkin et al., 2013a; Kiseleva et al., 2014; Abdullaev et al., 2015; Brutch et al., 2015b; Filobok et al., 2016; Koshkin et al., 2016; Khakimova et al., 2019; Loskutov et al., 2019). В. А. Кошкин был активным участником ряда различного уровня научных конференций и семинаров.

Владимир Александрович отлично владел испанским языком и участвовал в экспедициях по странам Латинской Америки (Куба, Мексика, Колумбия, Бразилия). Этому способствовал его интерес к поиску образцов с ценным для селекции сочетанием признаков и географическому распространению исследуемых им видов растений (Nesterov et al., 1981, 1984; Koshkin et al., 1989) (рис. 5).

На Кубе В. А. Кошкин занимался селекцией сахарного тростника с изучением признака фотопериодической чувствительности и был соруководителем (совместно



**Рис. 5. Д. б. н. В. А. Кошкин и академик ВАСХНИЛ В. Ф. Дорофеев среди селекционеров Мексики**  
(фото из архива отдела физиологии ВИР)

**Fig. 5. Dr. Vladimir Koshkin and Acad. Vladimir Dorofeev among a group of plant breeders from Mexico**  
(photo from the archives of the Physiology Department, VIR)

с О. Д. Быковым) аспирантской работы по этой важной для экономики Кубы культуре (Koshkin, Moralez, 1980). В университете Мехико В. А. Кошкин читал лекции.

В составе экспедиции совместно с Я. С. Нестеровым В. А. Кошкин был в Колумбии и Бразилии (Nesterov et al., 1981, 1984). С их участием в мировую коллекцию ВИР привлечено более 5000 новых образцов семян и посадочного материала культурных и дикорастущих растений. В Мексике В. А. Кошкин курировал селекционную работу по пшенице и дал характеристику морфофизиологических признаков и фотопериодической чувствительности пшеницы и ячменя в условиях этого региона (Koshkin et al., 1988; Koshkin, Semenova, 1989).

Помимо этого, В. А. Кошкин в течение ряда лет активно работал с коллегами из Чехословакии и проводил совместные эксперименты на установках, созданных в ВИР с его участием.

Существенное значение для селекции и научных исследований имеют полученные В. А. Кошкиным около 20 авторских свидетельств и патентов на изобретения, сорта и линии. В частности, авторские свидетельства выданы за разработку способов отбора высокопродуктивных растений зерновых колосовых культур, продуктивных клонов картофеля, форм пшеницы с различной скоростью созревания и фотопериодической чувствительностью.

В. А. Кошкин являлся признанным специалистом по физиологии растений. Существенным для науки был его постоянный интерес к исследованию реакции растений на экстремальные факторы среды и созданию ценного для селекции исходного материала. Он быстро вникал в сущность проблемы и для ее реализации использовал современные адекватные методы постановки и анализа четкого эксперимента. Самое главное – результатам его опытов всегда можно было верить. В настоящее время сотрудники ресурсных отделов ВИР и ученые других сельскохозяйственных учреждений постоянно пользуются итогами экспериментов Владимира Александровича Кошкина и его ценными комментариями к ним.

Владимир Александрович Кошкин ушел из жизни 8 декабря 2017 г.

#### 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).
- Bespalova L.A., Koshkin V.A., Potokina E.K., Filabok V.A., Matvienko I.I., Mitrofanova O.P. et al. Photoperiodic sensitivity and molecular marking of *Ppd* and *Vrn* genes in view of breeding wheat varieties with alternative way of life. *Russian Agricultural Sciences*. 2010;(6):3-6. [in Russian] (Беспалова Л.А., Кошкин В.А., Потоккина Е.К., Филабок В.А., Матвиенко И.И., Митрофанова О.П., Гуенкова Е.А. Фотопериодическая чувствительность и молекулярное маркирование генов *Ppd* и *Vrn* в связи с селекцией сортов пшеницы альтернативного образа жизни. *Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук*. 2010;(6):3-6).
- Brutch N.B., Domantovich A.A., Pavlov A.V., Koshkin V.A., Matvienko I.I. Catalogue of the VIR global collection. Issue 822. Lines of the genetic collection of flax under conditions of long and short days (Linii geneticheskoy kollektsii lna v usloviyakh dlinnogo i korotkogo dnya). St. Petersburg: VIR; 2015a. [in Russian] (Брач Н.Б., Домантович А.А., Павлов А.В., Кошкин В.А., Матвиенко И.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 822. Линии генетической коллекции льна в условиях длинного и короткого дня. Санкт-Петербург: ВИР; 2015a).
- Brutch N.B., Koshkin V.A., Domantovich A.V., Matvienko I.I. Influence of photoperiod on correlations between flax characteristics. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015b;29(7):43-46. [in Russian] (Брач Н.Б., Кошкин В.А., Домантович А.В., Матвиенко И.И. Влияние фотопериода на корреляции признаков льна. *Достижения науки и техники АПК*. 2015b;29(7):43-46).

- Filobok V.A., Guenkova E.A., Bepalova L.A., Koshkin V.A., Potokina E.K. Development of the adapted gene pool for alternative way of living of soft wheat. *Grain Economy of Russia*. 2016;(1):38-42. [in Russian] (Филобок В.А., Гуенкова Е.А., Беспалова Л.А., Кошкин В.А., Потоккина Е.К. Создание адаптированного генофонда альтернативного образа жизни мягкой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(1):38-42).
- Khakimova A.G., Gubareva N.K., Koshkin V.A., Mitrofanova O.P. Genetic diversity and breeding value of synthetic hexaploid wheat introduced into the VIR collection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):738-745. [in Russian] (Хакимова А.Г., Губарева Н.К., Кошкин В.А., Митрофанова О.П. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлеченной в коллекцию ВИР. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):738-745). DOI: 10.18699/VJ19.548
- Kiseleva A.A., Eggi E.E., Koshkin V.A., Potokina E.K., Salina E.A., Roder M. et al. Detection of genetic determinants that define the difference in photoperiod sensitivity of *Triticum aestivum* L. near-isogenic lines. *Russian Journal of Genetics*. 2014;50(7):701-711. DOI: 10.1134/S102279541405007X
- Konarev A.V. Vavilov All-Russia Research Institute of Plant Growing and its input in development of agricultural sciences and breeding in our country. *Agricultural Biology*. 1994;29(3):3-31. [in Russian] (Конярев А.В. Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова и его вклад в развитие сельскохозяйственной науки и селекции страны. *Сельскохозяйственная биология*. 1994;29(3):3-31).
- Kosareva I.A. Department of Plant Physiology: past and present (Otdel fiziologii rasteniy: proshloye i nastoyashcheye). In: *Pushkin Laboratories of VIR (1922–2012): a collection of articles and memoirs dedicated to the 90th anniversary of Pushkin Laboratories of VIR (Pushkinskiye laboratorii VIR (1922–2012): sbornik statey i vospominaniy, posvyashchennykh 90-letiyu Pushkinskikh laboratoriy VIR)*. St. Petersburg: VIR; 2012. p.67-72. [in Russian] (Косарева И.А. Отдел физиологии растений: прошлое и настоящее. В кн.: *Пушкинские лаборатории ВИР (1922 – 2012): сборник статей и воспоминаний, посвященных 90-летию Пушкинских лабораторий ВИР*. Санкт-Петербург: ВИР; 2012. С.67-72).
- Kosareva I.A., Koshkin V.A., Olinga T.J. Catalogue of the VIR global collection. Issue 803. Evaluation of maize collection accessions for cold hardiness, photoperiod sensitivity, and resistance to aluminum toxicity of acidic soils (Otsenka obraztsov kollektsii kukuruzy na kholodostoykost, fotoperiodicheskuyu chuvstvitelnost i ustoychivost k alyuminiotoksichnosti kislykh pochv). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Косарева И.А., Кошкин В.А., Олинга Т.Ж. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 803. Оценка образцов коллекции кукурузы на холодостойкость, фотопериодическую чувствительность и устойчивость к алюминотоксичности кислых почв. Санкт-Петербург: ВИР; 2010).
- 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).
- Koshkin V.A. Morpho-physiological development regularities and productivity of wheat in the context of its evolution and breeding (Morfofiziologicheskiye zakonomernosti razvitiya i produktivnost pshenitsy v svyazi s evolyutsiyey i selektsiyey) [dissertation]. St. Petersburg; 1998. [in Russian] (Кошкин В.А. Морфофизиологические закономерности развития и продуктивность пшеницы в связи с эволюцией и селекцией: дис. ... докт. биол. наук. Санкт-Петербург; 1998). URL: <https://www.dissercat.com/content/morfofiziologicheskiye-zakonomernosti-razvitiya-i-produktivnost-pshenitsy-v-svyazi-s-evolyut> [дата обращения: 11.07.2023].
- Koshkin V.A. Potential intensity of photosynthesis in spring wheat of various origin (Potentsialnaya intensivnost fotosinteza yarovoy pshenitsy razlichnogo proiskhozhdeniya) [dissertation]. Leningrad; 1970. [in Russian] (Кошкин В.А. Потенциальная интенсивность фотосинтеза яровой пшеницы различного происхождения: дис. ... канд. биол. наук. Ленинград; 1970).
- Koshkin V.A., Loskutov I.G., Kosareva I.A., Blinova E.V., Matvienko I.I. Research of oats lines, differing in genes of photoperiodic sensitivity. *Russian Agricultural Sciences*. 2016;(5):10-13. [in Russian] (Кошкин В.А., Лоскутов И.Г., Косарева И.А., Блинова Е.В., Матвиенко И.И. Исследование линий овса, различающихся по генам фотопериодической чувствительности. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016;(5):10-13).
- Koshkin V.A., Loskutov I.G., Matvienko I.I., Smirnova L.O. Photoperiodic sensitivity of oats samples of different geographical origin. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013a;171:96-99. [in Russian] (Кошкин В.А., Лоскутов И.Г., Матвиенко И.И., Смирнова Л.О. Фотопериодическая чувствительность образцов овса различного географического происхождения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013a;171:96-99).
- Koshkin V.A., Loskutov I.G., Matvienko I.I., Smirnova L.O., Zveinek I.A., Blinova E.V., Kovaleva O.N., Terentyeva I.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 801. Barley and oats. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Yachmen i oves. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Кошкин В.А., Лоскутов И.Г., Матвиенко И.И., Смирнова Л.О., Звейнек И.А., Блинова Е.В., Ковалева О.Н., Терентьева И.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 801. Ячмень и овес. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Koshkin V.A., Loskutov I.G., Soldatov V.N., Matvienko I.I. Catalogue of the VIR global collection. Issue 739. Oats. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Oves. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2003. [in Russian] (Кошкин В.А., Лоскутов И.Г., Солдатов В.Н., Матвиенко И.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 739. Овес. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2003).
- Koshkin V.A., Lukyanova M.V., Koshkina A.A., Pryadekhina A.K. Catalogue of the VIR global collection. Issue 452. Barley. Complex characterization of accessions according to useful morpho-physiological agronomic traits under the conditions of Mexico (Yachmen. Kompleksnaya kharakteristika obraztsov po morfofiziologicheskim khozyaystvenno-tsennym priznakam v usloviyakh Meksiki). St. Petersburg: VIR; 1988. [in Russian] (Кошкин В.А., Лукьянова М.В., Кошкина А.А., Прядыхина А.К. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 452. Ячмень. Комплексная характеристика

- образцов по морфофизиологическими хозяйственно-ценным признакам в условиях Мексики. Санкт-Петербург: ВИР; 1988).
- Koshkin V.A., Matvienko I.I., Brykova A.N., Filatenko A.A., Anfiova N.A., Shaiduko N.T. Catalogue of the VIR global collection. Issue 673. Spring wheat. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Yarovaya pshenitsa. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (Кошкин В.А., Матвиенко И.И., Брыкова А.Н., Филатенко А.А., Анфилова Н.А., Шайдуко Н.Т. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 673. Яровая пшеница. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).
- Koshkin V.A., Matvienko I.I., Egorova G.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 812. Common beans. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Fasol. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2013b. [in Russian] (Кошкин В.А., Матвиенко И.И., Егорова Г.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 812. Фасоль. Характеристика образцов по фотопериодической реакции. Санкт-Петербург: ВИР; 2013b).
- Koshkin V.A., Matvienko I.I., Lyapunova O.A., Brykova A.N., Aseeva L.A., Zuev E.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 715. Spring wheat. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Yarovaya pshenitsa. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Кошкин В.А., Матвиенко И.И., Ляпунова О.А., Брыкова А.Н., Асеева Л.А., Зуев Е.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 715. Яровая пшеница. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2000).
- Koshkin V.A., Matvienko I.I., Terentyeva I.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 730. Spring barley. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Yarovoy yachmen. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2002. [in Russian] (Кошкин В.А., Матвиенко И.И., Терентьева И.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 730. Яровой ячмень. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2002).
- Koshkin V.A., Moralez F. The influence of after induction exposure to photoperiod on the flowering of the sugar cane. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1980;67(2):88-92. [in Russian] (Кошкин В.А., Моралез Ф. Влияние послеиндуктивного фотопериодического воздействия на цветение сахарного тростника. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1980;67(2):88-92).
- Koshkin V.A., Romanova O.I., Matvienko I.I. Catalogue of the VIR global collection. Issue 764. Buckwheat: Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Grechikha: Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Кошкин В.А., Романова О.И., Матвиенко И.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 764. Гречиха: Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2005).
- Koshkin V.A., Romanova O.I., Matvienko I.I. Catalogue of the VIR global collection. Issue 825. Buckwheat. Characterization of accessions according to photoperiod sensitivity (Grechikha. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). St. Petersburg: VIR; 2015. [in Russian] (Кошкин В.А., Романова О.И., Матвиенко И.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 825. Гречиха. Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности. Санкт-Петербург: ВИР; 2015).
- Koshkin V.A., Semenova L.V. Characteristic of spring wheat varieties as regards morpho-physiological features and elements of productivity under the conditions of Central Mexico. *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1989;(191):62-65. [in Russian] (Кошкин В.А., Семенова Л.В. Характеристика сортов яровой пшеницы по морфофизиологическим признакам и элементам продуктивности в условиях центральной Мексики. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1989;(191):62-65).
- Koshkin V.A., Semenova L.V., Koshkina A.A., Pryadekhina A.K. Catalogue of the VIR global collection. Issue 481. Wheat. Complex characterization of accessions according to morpho-physiological and useful agronomic traits under the conditions of Mexico (Pshenitsa. Kompleksnaya kharakteristika obraztsov po morfofiziologicheskim i khozyaystvenno-tsennym priznakam v usloviyakh Meksiki). St. Petersburg: VIR; 1989. [in Russian] (Кошкин В.А., Семенова Л.В., Кошкина А.А., Прядехина А.К. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 481. Пшеница. Комплексная характеристика образцов по морфофизиологическим и хозяйственно-ценным признакам в условиях Мексики. Санкт-Петербург: ВИР; 1989).
- Koshkin V.A., Semenova L.V., Pryadekhina A.K., Matvienko I.I. Tropical wheats as sources of weak photoperiod sensitivity (Pshenitsy tropicheskikh stran – istochniki slaboy fotoperiodicheskoy chuvstvitelnosti). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1991a;142:13-17. [in Russian] (Кошкин В.А., Семенова Л.В., Прядехина А.К., Матвиенко И.И. Пшеницы тропических стран – источники слабой фотопериодической чувствительности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1991a;142:13-17).
- Koshkin V.A., Udachin R.A., Semenova L.V., Filatenko A.A., Matvienko I.I., Pryadekhina A.K., Zuev E.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 625. Wheat. Characterization of *Triticum* L. spp. accessions according to their photoperiodic reaction (Pshenitsa. Kharakteristika obraztsov vidov roda *Triticum* L. po fotoperiodicheskoy reaktsii). Leningrad: VIR; 1992. [in Russian] (Кошкин В.А., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Филатенко А.А., Матвиенко И.И., Прядехина А.К., Зуев Е.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 625. Пшеница. Характеристика образцов видов рода *Triticum* L. по фотопериодической реакции. Ленинград: ВИР; 1992).
- Koshkin V.A., Zelensky M.I., Mogileva G.A., Sakharova O.V., Makasharipova K.A., Verzhuk V.G., Naumova T.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 604. Spring wheat. Characterization of cultivars according to photosynthesis, growth and development indicators (Yarovaya pshenitsa. Kharakteristika sortov po pokazatelyam fotosinteza, rosta i razvitiya). Leningrad: VIR; 1991b. [in Russian] (Кошкин В.А., Зеленский М.И., Могилева Г.А., Сахарова О.В., Макашарипова К.А., Вержук В.Г., Наумова Т.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 604. Яровая пшеница. Характеристика сортов по показателям фотосинтеза, роста и развития. Ленинград: ВИР; 1991b).
- Loskutov I.G. The history of the world collection of plant genetic resources in Russia (Istoriya mirovoy kollektsii geneticheskikh resursov rasteniy v Rossii). St. Petersburg:

- VIR; 2009. [in Russian] [Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009].
- Loskutov I.G., Koshkin V.A., Matvienko I.I., Blinova E.V., Kosareva I.A. Diversity of photoperiodic responses in oats. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):723-729. DOI: 10.18699/VJ19.546
- Moshkov B.S. Actinorhythmism in plants (Aktinoritmizm rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] [Мошков Б.С. Актиноритмизм растений. Москва: Агропромиздат; 1987].
- Nesterov Ya.S., Koshkin V.A., Tikhonov O.I. New addition to the VIR collection from Colombia (Novoye popolneniye kolektsii VIR iz Kolumbii). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1981;(113):55-59. [in Russian] [Нестеров Я.С., Кошкин В.А., Тихонов О.И. Новое пополнение коллекции ВИР из Колумбии. Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. 1981;(113):55-59].
- Nesterov Ya.S., Tikhonov O.I., Koshkin V.A. Plant resources of Colombia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1984;90:81-87. [in Russian] [Нестеров Я.С., Тихонов О.И., Кошкин В.А. Растительные ресурсы Колумбии. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1984;90:81-87].
- 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
- Razumov V.I. Environment and plant development (Sreda i razvitiye rasteniy). Moscow; Leningrad; 1961. [in Russian] [Разумов В.И. Среда и развитие растений. Москва; Ленинград; 1961].
- Rigin B.V., Shreyder E.R., Matvienko I.I., Andreeva A.S., Zuev E.V. Donors of ultra-earliness for spring common wheat breeding. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):5-14. [in Russian] [Ригин Б.В., Шрейдер Е.Р., Матвиенко И.И., Андреева А.С., Зуев Е.В. Доноры ультраскороспелости в селекции яровой мягкой пшеницы. Биотехнология и селекция растений. 2022;5(3):5-14]. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-03
- 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

### Информация об авторах

**Борис Викторович Ригин**, доктор биологических наук, профессор, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, riginbv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9848-5795>

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

**Инна Ивановна Матвиенко**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, 181947@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8233-5047>

**Зоя Андреевна Щедрина**, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, z.shedrina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2245-9395>

**Ренат Абдуллаевич Абдуллаев**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

**Евгений Валерьевич Зуев**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

**Евгений Евгеньевич Радченко**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, eugene\_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

### Information about the authors

**Boris V. Rigin**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, riginbv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9848-5795>

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

**Inna I. Matvienko**, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, 181947@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8233-5047>

**Zoya A. Shchedrina**, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, z.shedrina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2245-9395>

**Renat A. Abdullaev**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

**Evgeny V. Zuev**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

**Evgeny E. Radchenko**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, eugene\_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 12.09.2023; одобрена после рецензирования 23.04.2024; принята к публикации 05.06.2024.  
The article was submitted on 12.09.2023; approved after reviewing on 23.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.

**Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции /  
Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**

**Научный рецензируемый журнал /  
Scientific Peer-Reviewed Journal**

ISSN 2227-8834 (Print); ISSN 2619-0982 (Online)  
4 выпуска в год (ежеквартально) / Publication frequency: quarterly  
<https://elpub.vir.nw.ru>; e-mail: [trudyVIR@vir.nw.ru](mailto:trudyVIR@vir.nw.ru)

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English  
Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Scopus, RSCI, DOAJ, AGRIS, входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук / Indexed/abstracted by the Russian Science Citation Index on eLIBRARY.RU platform, Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science platform, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts  
<https://elpub.vir.nw.ru>  
<http://www.vir.nw.ru/trudy>  
<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=27909>

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru> / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <https://elpub.vir.nw.ru>

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru>. Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website <https://elpub.vir.nw.ru>. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

---

Научный редактор: *Е.А. Соколова*  
Корректора: *А.Г. Крылов*  
Компьютерная верстка: *А.В. Иванов*

**Адрес редакции:**

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42  
Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: [trudyVIR@vir.nw.ru](mailto:trudyVIR@vir.nw.ru); [i.kotielkina@vir.nw.ru](mailto:i.kotielkina@vir.nw.ru)

**Почтовый адрес редакции**

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

Подписано в печать 20.06.2024. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 28,75. Тираж 100 экз. Заказ № 382/2.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),  
редакционно-издательский сектор ВИР

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

000 «Р-КОПИ»  
190000, Санкт-Петербург, пер. Гривцова, д. 6, литер Б



