

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

**ТРУДЫ
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 186
выпуск 2**

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2025**

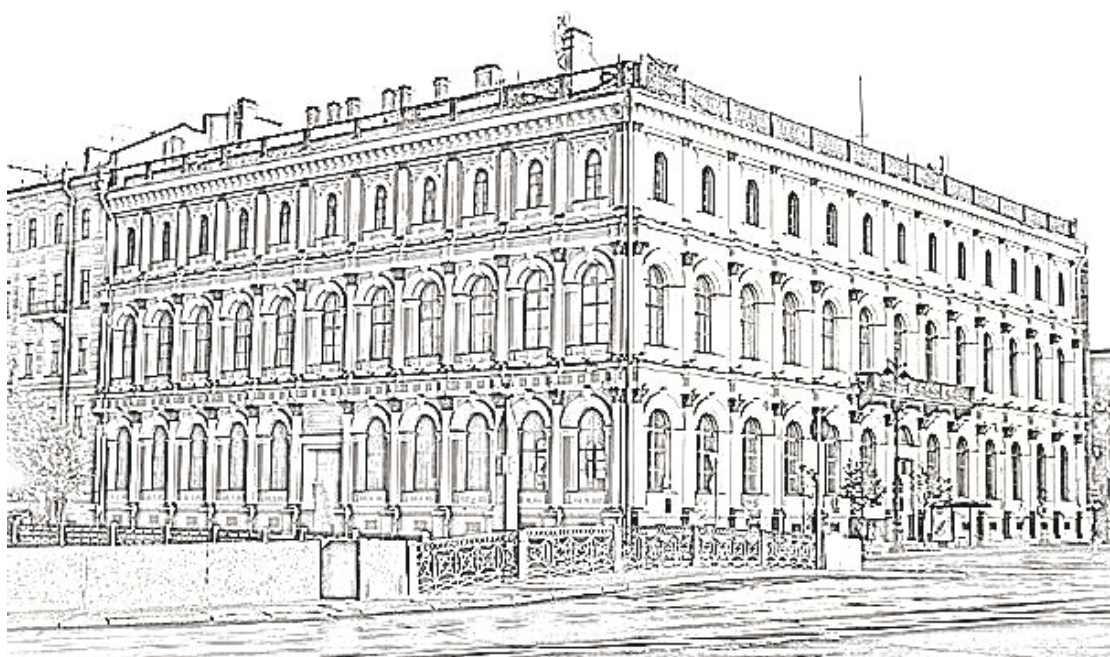
**PROCEEDINGS
ON APPLIED BOTANY, GENETICS
AND BREEDING, vol. 186
issue 2**

(founded by Robert Regel in 1908)

**ST. PETERSBURG
2025**

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» (ВИР)
Адрес учредителя: Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

Главный редактор

Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН, член-корреспондент 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 (Россия)
Горина Валентина Милентьевна, д-р с.-х. наук (Россия)
Добровольская Оксана Борисовна, д-р биол. наук (Россия)
Дорофеев Владимир Иванович, д-р биол. наук (Россия)
Думачева Елена Владимировна, д-р биол. наук (Россия)
Зотеева Надежда Мубаровна, д-р биол. наук (Россия)
Зуев Евгений Валерьевич, канд. с.-х. наук (Россия)
Корзун Виктор Николаевич, д-р биол. наук (Германия)
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, член-корреспондент 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)
Хатефов 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)
Бервийе Андре Жан, д-р (Франция)
Бёрнер Андреас, д-р (Германия)
Беспалова Людмила Андреевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (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, академик РАН (Россия)
Моргунов Алексей Иванович, канд. с.-х. наук (Казахстан)
Муминджанов Хафиз Абдувахобович, д-р биол. наук, профессор (Турция, Таджикистан)
Тихонович Игорь Анатольевич, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)
Фризен Николай Вальтерович, д-р биол. наук, профессор (Германия)
Хаммер Карл, д-р, профессор (Германия)

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding

2025 Volume 186 issue 2

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2
<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 (VIR)
Founder's address: 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000, Russia

Editor-in-chief

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

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

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

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

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. Porokhovinova, 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. Silantjeva, 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

André Jean Bervillé, Dr., France

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

Andreas Börner, Dr., Germany

Axel Diederichsen, Dr., Canada

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

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

Nikolai Friesen, Dr. habil., Professor, Germany

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

Karl Hammer, Dr., Professor, Germany

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

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

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

Alexey I. Morgounov, Cand. Sci. (Agriculture), Kazakhstan

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

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

Ответственные редакторы выпуска

Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН, член-корреспондент 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, 2025. Т. 186, вып. 2. 246 с.

Представлены результаты экспедиций ВИР по мобилизации генетического разнообразия дикорастущих растений на юге Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа Китая. В результате таксономического, флористического, эколого-географического анализа диких родичей культурных растений Якутии выявлены приоритетные к сохранению виды. Изучен адаптивный потенциал ярового пленчатого овса (*Avena sativa* L.) на зеленую массу в условиях Кировской области. Исследован минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях Свердловской области. С использованием метаболомного профилирования дана оценка образцов *Aegilops tauschii* Coss. различного географического происхождения из коллекции ВИР. Проведена экспресс-оценка показателей питательной ценности семян *Vigna unguiculata* (L.) Walp. из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии. Прослежена взаимосвязь признаков арахиса (*Arachis hypogaea* L.) и уровня экспрессии гена кукумопин-синтазы. Определены уровни накопления основных показателей пищевой и биологической ценности плодов черной смородины в условиях Северо-Запада России. Рассмотрен генетический контроль устойчивости ячменя к шведской мухе. Освещены результаты селекции овса в условиях Волго-Вятского региона России. Оценен новый селекционный материал рапса озимого (*Brassica napus* L.) с повышенной урожайностью и высоким содержанием олеиновой кислоты в масле семян. Охарактеризован адаптивный потенциал ячменя при токсичном воздействии кадмия в различных условиях оценки. Прослежена внутрикалусная цитотипическая изменчивость регенерантов *Oryza sativa* L. в андрогенезе *in vitro*. Обсуждаются вопросы идентификации некоторых видов рода *Galeopsis* (Lamiaceae) в связи с наполнением базы данных по сорным растениям в посевах пшеницы и льна Среднего Поволжья. Оформлены номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур. Описаны особенности цветения и опыления *Melissa officinalis* L. Обсуждается распространение золотарника канадского *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) на территории Российской Федерации. Проведено фенотипирование злаковых трав как пищевых ресурсов черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi*. Осуществлен мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане. Отслежена устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья. Краткие сообщения посвящены Е. В. Володиной – талантливому селекционеру по культуре черной смородины (к 100-летию со дня рождения) и селекционеру по яблоне Р. Я. Кордону – главному хранителю коллекции семян ВИР во время Великой Отечественной войны.

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, 2025

Editors in charge of this issue

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Corr. Member 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, 2025. Vol. 186, iss. 2. 246 p.

The results of VIR's collecting missions to the south of Primorsky Territory and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture of China, where crop wild relatives were collected, are presented. Taxonomic, floristic and ecogeographic analyses have been conducted to identify species for priority conservation among crop wild relatives in Yakutia. Spring covered oats (*Avena sativa* L.) have been studied in Kirov Province for their adaptive potential according to the yield of green biomass. Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars has been analyzed under the conditions of Sverdlovsk Province. *Aegilops tauschii* Coss. accessions of various geographical origin from the VIR collection have been evaluated using metabolomic profiling. NIR spectroscopy has been employed to make rapid assessment of nutritional value indicators in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed accessions from the VIR collection. Interactions between plant characters in peanut (*Arachis hypogaea* L.) and the expression level of the cucumopine synthase gene have been examined. Main indicators of nutritional and biological value have been assessed in black currant berries grown in Northwest Russia. Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars is discussed. The results of oat breeding in the Volga-Vyatka region of Russia are shown. New breeding material of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with increased yield and high oleic acid content in seed oil has been evaluated. Adaptive potential of barley has been tested under toxic impact of cadmium in various conditions of assessment. Intracallus cytotypic variation of regenerated *Oryza sativa* L. plants in the *in vitro* androgenesis has been studied. Problems of the identification of some *Galeopsis* spp. (Lamiaceae) are considered in connection with filling up the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region. Nomenclatural standards have been formalized for gooseberry cultivars developed at the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Features of flowering and pollination are described for *Melissa officinalis* L. Distribution of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in Russia is discussed. Cereal grasses have been phenotyped as food resources for the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. The virulence of the wheat yellow rust pathogen has been monitored in Dagestan. Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew has been assessed under the conditions of the Central Non-Black-Earth Region. Brief reports are dedicated to the memory of Ekaterina Volodina, a talented black currant breeder (honoring her 100th birthday), and Rudolf Kordon, an apple-tree breeder and the chief custodian of VIR's seed collection during the Great Patriotic War.

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, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Бурляева М.О., Крылова Е.А., Коцеруба В.В., Чебукин П.А., Сабитов А.Ш. Дикорастущие родичи культурных растений юга Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа Китая: изучение и мобилизация (по результатам экспедиций ВИР)	9
Таловина Г.В., Кутукова А.С., Слепцов Т.С. Таксономический, флористический, эколого-географический анализ диких родичей культурных растений Якутии и приоритетные к сохранению виды	25

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А. Адаптивный потенциал ярового пленчатого овса (<i>Avena sativa</i> L.) на зеленую массу в условиях Кировской области	37
Наумова Н.Л., Слепнева Т.Н., Павлова О.А. Минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях Свердловской области	47
Шеленга Т.В., Малышев Л.Л., Белоусова М.Х., Иванова Ю.В., Керв Ю.А., Попов В.С., Хорева В.И., Чикида Н.Н. Использование метаболомного профилирования для оценки образцов <i>Aegilops tauschii</i> Coss. различного географического происхождения из коллекции ВИР	57
Шеленга Т.В., Никифоров А.А., Бурляева М.О., Перчук И.Н., Попов В.С. Экспресс-оценка показателей питательной ценности семян <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии	68

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Бемова В.Д., Пороховинова Е.А., Якушева Т.В., Подольная Л.П., Гаврилова В.А. Взаимосвязь признаков арахиса (<i>Arachis hypogaea</i> L.) и уровня экспрессии гена кукумопин-синтазы	79
Тихонова О.А., Смоленская А.Е., Попов В.С. Основные показатели пищевой и биологической ценности плодов черной смородины в условиях Северо-Запада России	92

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Семенова А.Г., Радченко Е.Е. Генетический контроль устойчивости ячменя к шведской мухе	108
--	-----

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Баталова Г.А., Лоскутов И.Г. Некоторые результаты селекции овса в условиях Волго-Вятского региона России	114
Голова А.А., Горлова Л.А., Ефименко С.Г. Новый селекционный материал рапса озимого (<i>Brassica napus</i> L.) с повышенной урожайностью и высоким содержанием олеиновой кислоты в масле семян	121
Товстик Е.В., Шуплецова О.Н., Панихина Л.В., Злобина Ю.А. Адаптивный потенциал ячменя при токсичном воздействии кадмия в различных условиях оценки	128

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

Илюшко М.В. Внутриклубусная цитотипическая изменчивость регенерантов <i>Oryza sativa</i> L. в андрогенезе <i>in vitro</i>	138
Сухолозова Е.А., Орлова Ю.В., Сухолозов Е.А., Комаров Д.А., Стельмах К.Н., Сафонов А.В. К вопросу об идентификации некоторых видов рода <i>Galeopsis</i> (Lamiaceae) в связи с наполнением базы данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья	147

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Багмет Л.В., Курашев О.В.

Номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур160

Джумаев Х.К., Ткаченко К.Г.

Особенности цветения и опыления *Melissa officinalis* L.171

Лунева Н.Н., Мысник Е.Н.

Распространение золотарника канадского *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) на территории Российской Федерации180

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С.

Фенотипирование злаковых трав как пищевых ресурсов чермухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi*193

Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Абдуллаев К.М., Айдемирова З.С.

Мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане204

Наджодов Б.Б., Рубец В.С.

Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья218

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Тихонова О.А.

Володина Екатерина Васильевна (1925–2015): к 100-летию со дня рождения228

Шлявас А.В.

Кордон Рудольф Янович: памяти главного хранителя коллекции семян ВИР во время Великой Отечественной войны240

CONTENTS

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

Burlyayeva M.O., Krylova E.A., Kotseruba V.V., Chebukin P.A., Sabitov A.Sh. Crop wild relatives in the south of Primorsky Territory and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture of China: studying and mobilization (based on the results of VIR's collecting missions)	9
Talovina G.V., Kutukova A.S., Sleptsov T.S. Taxonomic, floristic and ecogeographic analyses of crop wild relatives in Yakutia, and the list of species for priority conservation	25

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Vologzhanina E.N., Batalova G.A. Adaptive potential of spring covered oats (<i>Avena sativa</i> L.) according to green biomass under the conditions of Kirov Province	37
Naumova N.L., Slepneva T.N., Pavlova O.A. Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars under the conditions of Sverdlovsk Province	47
Shelenga T.V., Malyshev L.L., Belousova M.H., Ivanova Yu.V., Kerv Yu.A., Popov V.S., Khoreva V.I., Chikida N.N. The use of metabolomic profiling to evaluate <i>Aegilops tauschii</i> Coss accessions of various geographical origin from the VIR collection	57
Shelenga T.V., Nikiforov A.A., Burlyayeva M.O., Perchuk I.N., Popov V.S. Rapid assessment of nutritional value indicators in <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy	68

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

Bemova V.D., Porokhovina E.A., Yakusheva T.V., Podolnaya L.P., Gavrilova V.A. Interaction between plant characters in peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) and the expression level of the cucumopine synthase gene	79
Tikhonova O.A., Smolenskaya A.E., Popov V.S. Main indicators of nutritional and biological value in black currant berries under the conditions of Northwest Russia	92

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Semenova A.G., Radchenko E.E. Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars	108
---	-----

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Batalova G.A., Loskutov I.G. Some results of oat breeding in the Volga-Vyatka region of Russia	114
Golova A.A., Gorlova L.A., Efimenko S.G. New breeding material of winter rapeseed (<i>Brassica napus</i> L.) with increased yield and high oleic acid content in seed oil	121
Tovstik E.V., Shupletsova O.N., Panikhina L.V., Zlobina Yu.A. Adaptive potential of barley under toxic impact of cadmium in various conditions of assessment	128

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

Ilyushko M.V. Intracallus cytotypic variation of regenerated <i>Oryza sativa</i> L. plants in the <i>in vitro</i> androgenesis	138
Sukholozova E.A., Orlova Yu.V., Sukholozov E.A., Komarov D.A., Stelmakh K.N., Safonov A.V. On the identification of some <i>Galeopsis</i> spp. (Lamiaceae) in connection with filling up the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region	147

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

Bagmet L.V., Kurashev O.V.

Nomenclatural standards of gooseberry cultivars developed at the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding160

Dzhumaev Kh.K., Tkachenko K.G.

Features of flowering and pollination in *Melissa officinalis* L.171

Luneva N.N., Mysnik E.N.

Distribution of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in the Russian Federation180

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Gandrabor E.S., Vereshchagina A.B., Klimenko N.S.

Phenotyping of cereal grasses as food resources for the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*193

Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Abdullaev K.M., Aydemirova Z.S.

Monitoring the virulence of the wheat yellow rust pathogen in Dagestan204

Najodov B.B., Rubets V.S.

Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew under the conditions of the Central Non-Black-Earth Region218

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Tikhonova O.A.

Ekaterina V. Volodina (1925–2015): a dedication to her 100th birthday228

Shlyavas A.V.

Rudolf J. Kordon: in memory of the chief custodian of VIR's seed collection during the Great Patriotic War240

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 581.9(571.63)

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-9-24



Дикорастущие родичи культурных растений юга Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа Китая: изучение и мобилизация (по результатам экспедиций ВИР)

М. О. Бурляева¹, Е. А. Крылова¹, В. В. Коцеруба², П. А. Чебукин³, А. Ш. Сабитов⁴

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

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральний научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморская плодово-ягодная опытная станция – филиал Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия,

⁴ Федеральний исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР, Владивосток, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Олеговна Бурляева, m.burlyaeva@vir.nw.ru

В работе представлены результаты экспедиций Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) по мобилизации генетического разнообразия дикорастущих растений на юге Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа Китая. Территории этих регионов относятся к Хасанско-Корейской ботанико-географической подобласти, выделяющейся богатством природной флоры, большим числом эндемиков и редких видов. Многие виды, произрастающие здесь, используются как декоративные, пищевые и лекарственные растения. Из диких родичей культурных растений (ДРКР) 63 вида встречаются в России только на юге Приморья. Всего в период с 1926 по 2023 г. на юге Приморского края работало 58 экспедиционных отрядов ВИР, из них 17 в самом южном Хасанском районе, граничащим с Китаем и Северной Кореей. В результате в коллекцию ВИР привлечено около 1432 образцов 154 видов дикорастущих растений, относящихся к семействам Fabaceae, Rosaceae, Poaceae, Alliaceae, Ericaceae, Linaceae, Viburnaceae, Grossulariaceae, Polygonaceae, Cucurbitaceae. Самое большое количество образцов собрано в районах с наибольшим разнообразием ДРКР: во Владивостокском городском округе (~464 образцов), Хасанском (~333 образца) и Лазовском (~308 образцов) районах. В собранном материале преобладали ДРКР плодовых (934 образцов), зернобобовых (258) и кормовых (101) культур. Обследования ДРКР, проведенные на юге Приморья, помогли найти формы растений, устойчивые к заболеваниям, вредителям, неблагоприятным факторам среды, отличающиеся высокими показателями по различным хозяйственно ценным характеристикам. На основе многих из них вывели новые сорта, которые успешно возделываются на Дальнем Востоке и в других регионах России.

Ключевые слова: экспедиционные обследования, коллекция ВИР, генетические ресурсы растений, разнообразие ДРКР

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России № 075-02-2024-1090 от 15 февраля 2024 г. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Бурляева М.О., Крылова Е.А., Коцеруба В.В., Чебукин П.А., Сабитов А.Ш. Дикорастущие родичи культурных растений юга Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа Китая: изучение и мобилизация (по результатам экспедиций ВИР). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):9-24. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-9-24

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-9-24

Crop wild relatives in the south of Primorsky Territory and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture of China: studying and mobilization (based on the results of VIR's collecting missions)

Marina O. Burlyueva¹, Ekaterina A. Krylova¹, Violetta V. Kotseruba², Pavel A. Chebukin³, Andrei Sh. Sabitov⁴¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia³ Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorskaya Fruit-Berry Experimental Station – branch of the FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia⁴ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Far East Experiment Station – branch of VIR, Vladivostok, Russia**Corresponding author:** Marina O. Burlyueva, m.burlyueva@vir.nw.ru

Presented here are the results of collecting missions launched by the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) to explore the plant diversity in the south of Primorsky Territory and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture, China. These areas belong to the Khasan-Korean botanical-geographical subregion, notable for its rich natural flora and a large number of endemics and rare species. Many species growing here are used as ornamental, food and medicinal plants. Among crop wild relatives (CWR), 63 species were found in Russia only in the south of Primorsky Territory. In total, 58 VIR's collecting missions worked in this area in the period from 1926 to 2023, and 17 of them explored the southernmost Khasansky District that shares a border with both China and North Korea. These missions enriched the VIR collection with ca. 1,432 accessions of 154 wild plant species belonging to the Fabaceae, Rosaceae, Poaceae, Alliaceae, Ericaceae, Linaceae, Viburnaceae, Grossulariaceae, Polygonaceae and Cucurbitaceae families. The largest numbers were collected in the areas with the greatest CWR diversity: Vladivostoksky Urban (~464 accessions), Khasansky (~333) and Lazovsky (~308) Districts. Among the collected samples, fruit plants (934 accessions), legumes (258) and forages (101) prevailed. CWR explorations in the south of Primorsky Territory discovered plant forms resistant to diseases, pests, and unfavorable environmental factors, with high values of various agronomic characters. Many of them served as sources for the development of new cultivars successfully grown in the Far East and other regions of Russia.

Keywords: plant explorations, VIR collection, plant genetic resources, CWR diversity

Acknowledgements: the work was performed within the framework of the Development Program for the National Center for Plant Genetic Resources under Agreement No. 075-02-2024-1090 signed on February 15, 2024, with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

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

For citation: Burlyueva M.O., Krylova E.A., Kotseruba V.V., Chebukin P.A., Sabitov A.Sh. Crop wild relatives in the south of Primorsky Territory and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture of China: studying and mobilization (based on the results of VIR's collecting missions). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):9-24. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-9-24

Введение

Растительность южных районов Приморского края и Яньбянь-Корейского автономного округа (АО) Китая издавна вызывает интерес ботаников и ресурсоведов. Внимание исследователей привлекает разнообразие и специфичность природных условий, наличие необычных растительных группировок, в которых произрастают виды, имеющие связь с флорами Японии и Кореи.

Юг Приморья находится на стыке северной окраины Восточноазиатской и Циркумбореальной флористических областей (Takhtajan, 1978), поэтому здесь наблюдается исключительное таксономическое разнообразие флоры: в одном местообитании можно встретить бореальные виды и представителей семейств из теплоумеренных, субтропических и тропических областей Восточной Азии. На этой территории – один из самых высоких уровней разнообразия природной флоры на Дальнем Востоке, встречается 2517 видов растений (Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014). Из высших сосудистых растений, произрастающих здесь, 17,7% (83 вида) относятся к эндемикам и являются редкими для России (Kozhevnikov, 2007). Большая часть из них распространена в Лесном (42 вида) и Лугово-литоральном флористических комплексах (24 вида), причем их концентрация возрастает от континентальных районов к приокеаническим. Кроме того, флора юга Приморья, как и прилегающих территорий Китая и Северной Кореи, выделяется множеством реликтовых растений, сохранившихся с третичного периода из-за отсутствия в этом районе плейстоценового оледенения (Kolesnikov, 1957; Valova, 1964; Kurentsova, 1968; Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014). Примерно у 200 видов северная граница обитания на Дальнем Востоке России ограничивается южным Приморьем (Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014).

Юг Приморского края российского Дальнего Востока на западе граничит с Восточно-Маньчжурскими горами, на востоке и юге – с Японским морем (ограничен побережьем от устья реки Туманной до бухты Краковки к востоку от мыса Поворотного), на севере – с хребтами Сихотэ-Алиня (точнее с водоразделом между бассейном р. Амур и бассейном Японского моря). На юге Приморья располагаются Хасанский, Надеждинский, Шкотовский районы, Закрытое административно-территориальное образование (ЗАТО) Фокино, Владивостокский и Находкинский городские округа (ГО) и южные территории Партизанского и Лазовского районов. В современных работах, посвященных ботанико-географическому и флористическому районированию, многие авторы относят эту территорию к Уссури-Япономорскому южному подрайону Уссурийского флористического района (УФР) (Kolesnikov, 1957; Krestov, 2005; Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014; etc.). Подрайон отличается от других секторов УФР наибольшим числом специфичных видов (отсутствующих во флорах в других регионах Дальнего Востока) (351 вид). Ряд исследователей включают эти территории в Хасанско-Корейскую ботанико-географическую подобласть, в которую входят Северная Корея, Хасанский район и прилегающие к нему территории Приморского края в России, а также примыкающая к ним узкая полоса Китая (Galanin, Galanina, 2012).

Климат южных районов Приморского края муссонный. В этом регионе в год выпадает 600–800 мм осадков, на высотах 1000–1100 м их сумма возрастает до 1300–1400 мм. Здесь холодная сухая зима и жаркое дождливое лето (Gvozdetzky, Golubchikov, 1987).

Многие виды, произрастающие на территории южного Приморья в бассейне Японского моря, используются как декоративные, пищевые, медоносные, кормовые и лекарственные растения. Некоторые из них (63 вида), относящиеся к диким родичам культурных растений (ДРКР) и используемые местным населением в хозяйственной деятельности, встречаются в России только на юге этого региона (Fruentov, 1987). Наиболее ценные из них – *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill., *Vitis amurensis* Rupr., *Panax ginseng* C.A. Mey, *Aralia elata* (Miq.) Seem., *A. continentalis* Kitag., *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., виды рода *Actinidia* Lindl., *Glycine soja* Siebold et Zucc.

В настоящее время только среди плодово-ягодных растений выявлено более 100 видов, которые могут употребляться в пищу; к ним относятся виды родов *Schisandra* Michx., *Actinidia*, *Lonicera* L., *Vitis* L., *Ribes* L., *Rubus* L., *Rosa* L., *Vaccinium* L. и др. Источником значимых в селекции признаков (морозоустойчивости, зимостойкости, устойчивости к ряду болезней) являются встречающиеся в этих местах дикорастущие древесные плодовые растения: *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) B. Skvortz., *A. sibirica* (L.) Lam., *Cerasus argentii* (Rehd.) Pojark., *Malus asiatica* Nakai, *M. mandshurica* (Maxim.) Kom., *Pyrus ussuriensis* Maxim., *Padus maackii* (Rupr.) Kom. и др. Селекционеры часто используют их как подвой для ценных сортов культурных растений.

На территории края представлено огромное разнообразие дикорастущих кормовых растений – злаков, осок и бобовых трав из родов *Poa* L., *Miscanthus* Anderss., *Festuca* L., *Bromopsis* Fourr., *Elymus* L., *Agrostis* L., *Vicia* L., *Lathyrus* L., *Lespedeza* Michx., *Kummerowia* Schindl., *Astragalus* L., *Hedysarum* L., *Carex* L. и др. (Vorobyev et al., 1966). Многие растущие в этом регионе бобовые травы по содержанию протеина, жира и других важных химических соединений не уступают, а по биологическим особенностям в некоторых случаях превосходят возделываемые кормовые культуры (Pavlova, 2001).

Огромное многообразие видового, формового и сортового состава культурных растений и их диких родичей, растущих в этом уникальном регионе, интересовало и сотрудников ВИР. Первые экспедиции по выявлению и сбору местных сортов сельскохозяйственных и полезных дикорастущих видов растений провели в 1926–1937 годы (Reports of..., 1926–1937; Shcherbakov, Chikova, 1971). В 1926 г. К. А. Фляксбергер осуществил сбор образцов (обр.) староместных зерновых и зернобобовых культур, а в 1927 г. М. С. Щенкова привлекла в коллекцию образцы зерновых, зернобобовых, кормовых, овощных и технических культур, выращивавшихся местным населением в частных хозяйствах. В те годы на территории края проживало население разного этнического состава – корейцы, китайцы, украинцы и русские, они выращивали различные культуры, традиционные для каждой из этих национальностей. Часть из них была привезена из мест, где ранее проживали переселенцы, часть интродуцирована из дикой природы. Благодаря сборам первых экспедиционных отрядов в коллекции ВИР сохранились многие староместные сорта и дикие формы ДРКР, адаптированные к местным условиям и отличающиеся комплексом ценных признаков. Следующую экспедицию провели в 1932 г. Ф. К. Тетерев, Х. К. Еникеев, Н. В. Ковалев, И. Н. Шашкин и Г. Г. Тарасенко. В ее задачу входило изучение растительных ресурсов юга Дальнего Востока и уточнение ассортимента возделываемых в этом регионе сельскохозяйственных растений. Значительный вклад

в исследование и сбор местных сортов и ДРКР зерновых, технических, плодовых, декоративных, овощных культур и картофеля внесли А. М. Горский, В. Я. Смолий, П. Н. Богусhevский, К. А. Моисеев, В. М. Калашников в экспедициях 1935–1937 гг. Многие из собранных ими образцов были районированы и переданы в производство (Shcherbakov, Chikova, 1971).

В послевоенные годы обследования края возобновились только в 1954 г. Одну из первых экспедиций провел А. И. Лебедев, в ней изучали и собирали плодовые культуры, в первую очередь дикорастущие формы винограда, актинидии и лимонника (Krivchenko, Bachareva, 1991; Reports of..., 1954–1967). В последующих обследованиях Приморского края, возглавляемых А. И. Лебедевым (1954–1960 гг.), А. Н. Тимофеевой (1961 г.), в основном собирали местные сорта различных культур. В нескольких экспедициях (1956 и 1961 г.) более пристальное внимание уделяли диким кормовым травам (Shcherbakov, Chikova, 1971).

В 1968–1969 гг. было сформировано несколько отрядов, в которые входили Н. И. Рябова, Г. Н. Берестова, Н. И. Денисов, Г. Н. Недов, А. Н. Николаев, В. А. Драновский, Н. Р. Толоков, Н. М. Бочкарникова, Ю. А. Доронина. Они начали изучение и сбор зимостойких и устойчивых к заболеваниям форм амурского винограда, актинидий и лимонника на территории южных отрогов Сихотэ-Алиня. В общей сложности в 1926–1970 гг. на юге Приморского края провели 12 экспедиций (Reports of..., 1926–1970; Shcherbakov, Chikova, 1971).

В 1971–1990 гг. продолжалось тщательное планомерное изучение ДРКР в различных районах на юге края и уточнение их ареалов, проводился сбор диких форм, перспективных для селекции и интродукции. В этот период в регионе работало 26 отрядов, в основном они занимались исследованием дикорастущих форм плодовых, орехоплодных, ягодных, декоративных культур и винограда (Reports of..., 1971–1990; Meshcherov, Kobylyanskaya, 1981; Kobylyanskaya, 1990). В большинстве экспедиций принимали участие Н. И. Денисов, Н. М. Бочкарникова, А. Ф. Жмакин, В. П. Царенко, А. А. Таран, Т. Н. Хохрякова, М. Н. Плеханова, В. В. Пономаренко, Г. В. Еремин. Ими изучена растительность долины р. Лянчиге (Богатая), бассейн р. Сучан (Партизанская), островов заливов Амурского, Уссурийского и Петра Великого, побережье от г. Владивостока до залива Посыет, южные отроги Сихотэ-Алиня. Две экспедиции (1971, 1977 г.) под руководством Т. Н. Ульяновой исследовали сорные растения, проводили мониторинг засоренности посевов различных культур, а также осуществляли сбор гербария ДРКР. Гораздо меньшее число экспедиций направляли на сбор существующего в природе разнообразия диких родичей полевых, масличных, овощных, технических и кормовых культур – всего было сформировано 6 отрядов (в 1973, 1976, 1979, 1980, 1985, 1995 г.), в них проводили исследования А. В. Анащенко, В. М. Берлянд-Кожевников, К. А. Кобылянская, А. Ф. Жмакин, М. В. Кукош, Т. М. Хохрякова, Э. И. Колбасина, Т. В. Хмелинская, Т. М. Пискунова, А. С. Корнилов и др. В одной экспедиции в 1989 г. собирались ягодные и декоративные растения (Сабитов А.Ш.), привлекались в коллекцию интересные формы калины и плоскосемянника китайского. Ряд экспедиций были узкоспециализированными, посвящались изучению одного объекта: так, начиная с 1979 г. в течение нескольких лет Т. С. Седовой проводился сбор дикой уссурийской сои во всех южных районах Приморья и были установлены восточные границы ареала этого вида.

Следует отметить значительный вклад участников экспедиций 1971–1990 гг. в выявление и привлечение в коллекцию ВИР форм ДРКР, устойчивых к различным болезням, в том числе к бактериальному раку яблони, коккомикозу вишни и др. При фитопатологическом исследовании дикой флоры в 1983 г. Т. М. Хохряковой, Э. Я. Базилеа, М. П. Алексеевой найдены устойчивые к болезням яблони, жимолость, смородина, клен, люцерна, вика, чина, ежа, костер, тимopheevka и др., в 1982 г. В. В. Пономаренко, Т. М. Хохряковой и Н. М. Бочкарниковой – виноград, смородина, лимонник, яблоня и земляника, в 1984 г. М. С. Чеботаревой – вишня и черемуха, в 1986 г. Л. Н. Лиминой, О. Г. Слободчиковой – актинидии, лимонник, яблони и груши, в 1989 г. Т. Н. Василенко и Л. Л. Арлановой – яблони и груши, в этот же год М. С. Чеботаревой, П. А. Чебукиным – актинидии, лимонник, черемуха, вишня, виноград, рябины, смородины и жимолости (Meshcherov, Kobylyanskaya, 1981; Zoteyeva, Komarova, 1996).

С 1991 г. по настоящее время на юге Приморского края провели 10 экспедиций (Reports..., 1991–2019; Zoteyeva, Komarova, 1996), в одной из них в 1991 г. Т. С. Седова продолжала уточнение ареала и сбор популяционного разнообразия *Glycine soja*. В других, в 1998 г. и 2018 г., под руководством П. А. Чебукина привлекались в коллекцию дикорастущие родичи плодовых культур, а в 2016 и 2017 г. осуществлялась мобилизация овощных культур и диких представителей рода *Lactuca* L. (П. А. Чебукин, Д. Л. Корнухин, А. Б. Курина, Д. А. Фатеев) (Kurina et al., 2018). Шесть экспедиций по сбору ДРКР проведены авторами статьи.

Всего в период с 1926 по 2023 г. на территории юга Приморья работало 58 экспедиционных отрядов ВИР, из них 17 в Хасанском районе – самом южном, пограничном с Китаем и Северной Кореей, что составило 46% от общего числа экспедиций по Дальнему Востоку (Reports..., 1926–1970; Shcherbakov, 1969). Сотрудники ВИР тщательно обследовали различные природные зоны и местообитания, собрали образцы семян и гербарий ДРКР. Анализируя доступные отчеты по экспедициям 1968–2009 гг., 2016 и 2017 г., хранящиеся в отделе интродукции ВИР, можно заметить, что в основном изучались и собирались плодовые и ягодные растения, гораздо меньше – кормовые травы, и только единичные экспедиционные отряды осуществляли мобилизацию дикорастущих родичей овощных, зерновых бобовых, масличных и крупяных культур (табл. 1). Всего в этих экспедициях собрано около 1175 образцов 105 видов ДРКР. Самые большие сборы осуществлены во Владивостокском ГО (~403 обр.) и Лазовском районе (~297).

Следует отметить, что экспедиционные обследования 1926–1961 гг. были комплексными – коллекторы собирали местные сорта всех культур, возделываемых в регионе, а также привлекали в коллекцию ДРКР, произрастающие на данной территории. В дальнейшем, в период с 1962 по 2019 г., в основном формировались специализированные экспедиции, которые были направлены на уточнение ареалов определенных групп культур или вида, на поиск форм растений, устойчивых к заболеваниям, вредителям, неблагоприятным факторам среды и др. Наибольшее число экспедиций в ВИР пришлось на период с 1971 по 1990 г.

Отсутствие в коллекции ВИР многих ДРКР (особенно зерновых бобовых, кормовых, технических культур и др.), растущих на территории юга Приморского края и представляющих интерес для использования в сель-

Таблица 1. Основные итоги мобилизации ДРКР на юге Приморского края в 1968–2009, 2016–2018 гг.
Table 1. The main results of CWR mobilization in the south of Primorsky Territory in 1968–2009 and 2016–2018

Группа культур	Число видов	Число образцов	Преобладающие в сборах роды или виды*
Плодовые	46	903	<i>Cerasus</i> Mill. (353), <i>Padus</i> Mill. (104), <i>Vitis amurensis</i> Rupr. (69)
Кормовые	30	60	<i>Trifolium</i> L. (14)
Овощные	13	123	<i>Lactuca</i> L. (91)
Зернобобовые	11	80	<i>Glycine soja</i> Siebold et Zucc. (42)
Зерновые	1	1	–
Декоративные	5	7	–

Примечание: * – в скобках указано число образцов

Note: * – numbers of accessions are parenthesized

ском хозяйстве России, а также для интродукционного изучения в других регионах страны, вызвало необходимость проведения более тщательного обследования этой территории и мобилизации в гербарную и семенную коллекции ВИР ДРКР из родов *Vicia*, *Lathyrus*, *Desmodium* Desv., *Glycine* Willd., *Medicago* L., *Trifolium* L., *Sophora* L., *Poa*, *Elymus*, *Miscanthus*, *Linum* L., *Vaccinium* L., *Rubus*, *Ribes* и др.

Основная цель и задачи нашей работы – изучение разнообразия ДРКР и перспективных для использования в культуре дикорастущих растений в разных природных зонах юга Приморского края и Яньбянь-Корейского АО Китая, уточнение их распространения и мест произрастания; сбор семян, черенков, усов и гербария для пополнения коллекций ВИР; анализ географического распределения ДРКР в Хасанско-Корейской ботанико-географической подобласти на территории России.

Материалы и методы

Материалами для изучения послужили экспедиционные отчеты, хранящиеся в отделе интродукции ВИР, результаты экспедиций, проведенных авторами статьи в 2010–2019 гг., и литературные источники (Shcherbakov, 1969; Shcherbakov, Chikova, 1971; Meshcherov, Kobylanskaya, 1981; Kobylanskaya, 1990; Zoteyeva, Komarova, 1996; Burlyayeva et al., 2014; Sabitov et al., 2016).

Границы южного Приморья приняты нами по ботанико-географическому районированию Б. П. Колесникова (Kolesnikov, 1957). Таксоны приведены по сводке С. К. Черепанова «Сосудистые растения России и сопредельных государств» (Сзегеранов, 1995).

В экспедициях исследования велись общепринятым при изучении флоры маршрутным методом. В 2010–2011 г. М. О. Бурляева, Т. Г. Александрова и А. Ш. Сабитов проводили сбор семян и гербария ДРКР, а также изучали разнообразие представителей трибы *Viceae* Bronn. и рода *Ribes* на территориях Хасанского, Надеждинского, Шкотовского, Партизанского и Лазовского районов, Владивостокского и Находкинского ГО. В 2013 г. ВИР (М. О. Бурляева) совместно с Ботаническим институтом им. В. Л. Комарова РАН (БИН) (В. В. Коцеруба, Э. М. Мачс) осуществляли сбор семян и гербария на о. Попова и о. Русском, во Владивостокском и Находкинском ГО, Шкотовском и Хасанском районах, а также исследовали дикорастущую растительность в районе, сопредельном с самой южной территорией российского Дальнего Восто-

ка, и Чанбайшаньском заповеднике в провинции Цзилинь (Китай). В 2015 г. в составе комплексной экспедиции сотрудники Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences (J. Zhang, H. Zhao, B. Wang), Grassland Research Institute (L. Zhao) из Китая и ВИР (М. О. Бурляева, А. Ш. Сабитов) проводили мобилизацию ДРКР во Владивостокском ГО и Хасанском районе. В этот же год В. В. Коцеруба исследовала флору на территории ЗАТО Фокино, в том числе на о. Путятина. В 2019 г. А. Ш. Сабитов, М. О. Бурляева, Е. А. Крылова, Н. Е. Зайцев провели более детальное обследование Хасанского района и сбор гербария и семян ДРКР. Наибольшее внимание во всех этих экспедициях уделялось сбору видов трибы *Viceae*, практически отсутствующих в коллекции ВИР.

Районы, в которых работали экспедиции, указаны на рисунках 1–5, местообитания – в Приложении 1 (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1)¹. Координаты и высоты точек над уровнем моря (н. у. м.), где работали отряды, определялись при помощи GPS-навигатора Garmin etrex 20x.

Исследованные районы Россия. Приморский край

Наиболее характерны для юга Приморского края широколиственные (многопородные, дубовые, ясеневые) и хвойно-широколиственные леса, присутствуют лесостепи, луга и болота.

Владивостокский городской округ (г. Владивосток)

Участники экспедиции на территории города обследовали 34 пункта: на территории парка Ботанического сада Дальневосточного отделения РАН (г. Владивосток), на побережьях бухт Бражникова и Пионерской, на берегу водохранилища Богатого, в окрестностях дамбы в районе Дальневосточной опытной станции – филиала ВИР (Дальневосточной ОС), в долине реки Богатой (р. Лянчихе), в лесу и лугах на хребте Богатой гривы (рис. 2, 3; см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1).

В парке ботанического сада на сопке в хвойно-широколиственном лесу, состоящем из видов родов *Pinus* L. (сосна), *Abies* Mill. (пихта), *Tilia* L. (липа), *Ribes*, *Euonymus* L.

¹ Приложение 1 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24>



▲ – места сбора / collection sites

Рис. 1. Карта района экспедиционного обследования, проведенного на территории Приморского края (Россия) и Яньбянь-Корейского автономного округа (Китай) (2010–2019 гг.)

Fig. 1. A map of the plant explorations conducted in the south of Primorsky Territory (Russia) and the Yanbian Korean Autonomous Prefecture (China) (2010–2019)

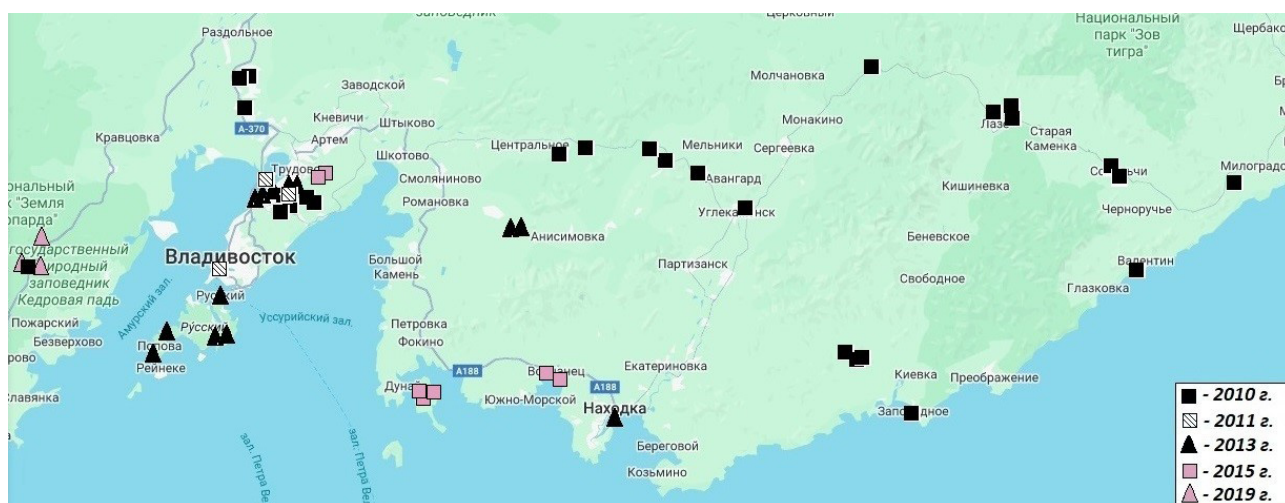


Рис. 2. Карта маршрутов экспедиционных обследований, проведенных во Владивостокском и Находкинском городских округах, ЗАТО Фокино, Надеждинском, Партизанском, Шкотовском и Лазовском районах (2010–2019 гг.)

Fig. 2. A map of plant exploration routes in Vladivostoksky and Nakhodkinsky Urban Districts, Fokino Closed Administrative Subdivision, Nadezhdinsky, Partizansky, Shkotovsky and Lazovsky Districts (2010–2019)

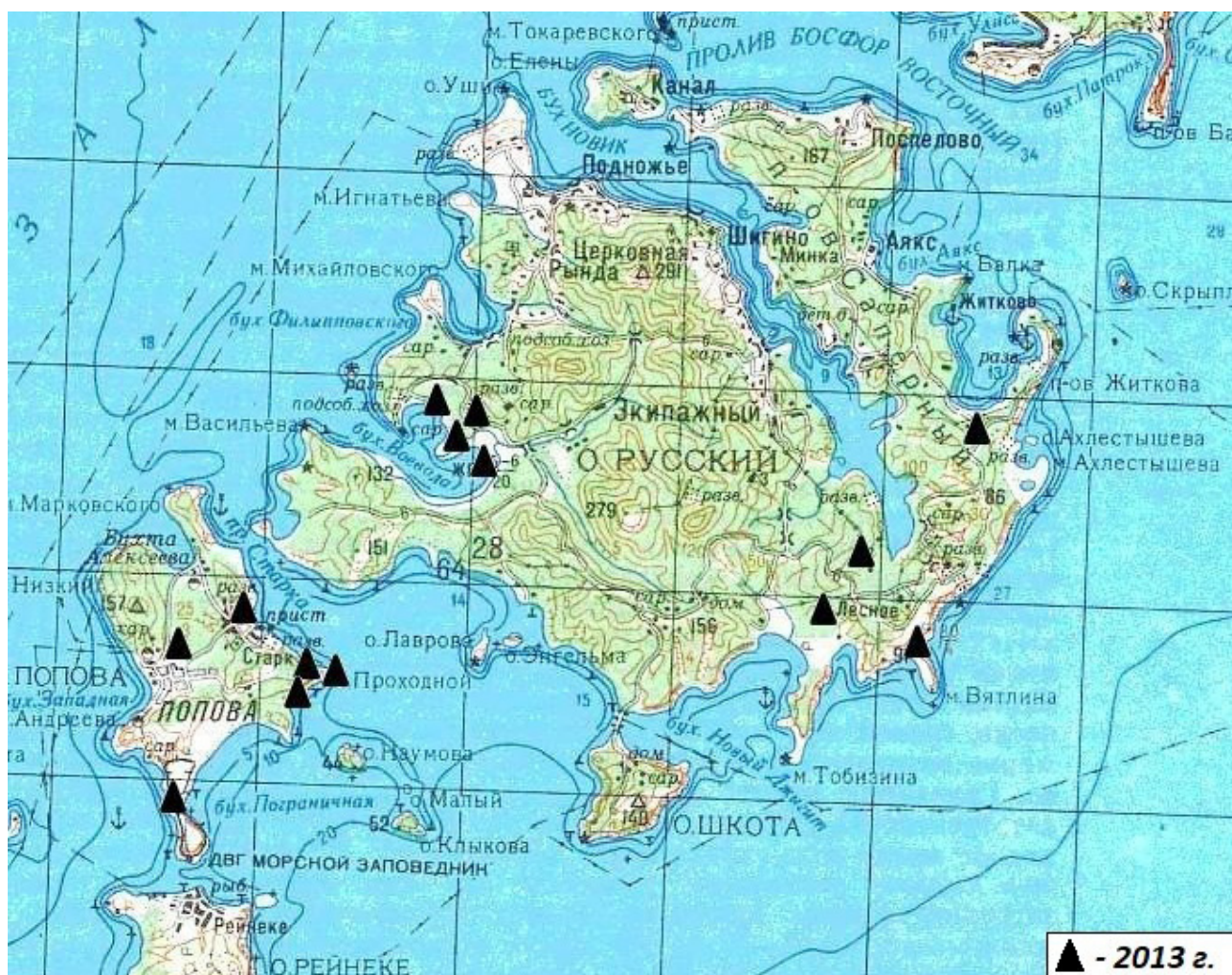


Рис. 3. Карта района экспедиционного обследования, проведенного на о. Попова и о. Русском (Приморский край) (треугольниками обозначены места сбора образцов)

Fig. 3. A map of the plant exploration over Popov and Russky Islands, Primorsky Territory (triangles indicate the sites where plant samples were collected)

(бересклет), *Corylus* L. (лещина), *Acer* L. (клен) и *Taxus baccata* L., *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr., в подлеске среди представителей отдела Polypodiophyta и семейства Poaceae², а также *Convallaria keiskei* Miq. собрали гербарий *Lathyrus komarovii* Ohwi, *Vicia ramuliflora* (Maxim.) Ohwi, *V. baicalensis* (Turcz.) B. Fedtsch. и *V. ohwiana* Hosok.

В долине реки Богатой (р. Лянчихэ) обследованы: участки по краям полей; склоны сопки рядом с дамбой водохранилища Богатого; участки пойменного лианового смешанно-широколиственного леса с преобладанием дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), родов граба (*Carpinus* L.) и березы (*Betula* L.); злаково-разнотравные луга, заросшие видами рода *Artemisia* L., *Inula* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Glycine soja*, *Amphicarpea japonica* (Oliv.) B. Fedtsch. и злаками; низинные осоково-вейниковые луга и болота.

В районе Дальневосточной ОС в хвойно-широколиственном лесу, поросшем разными видами родов *Abies*, *Acer*, *Carpinus*, *Betula* и *Quercus mongolica*, в подлеске рядом с папоротниками отдела Polypodiophyta, *Artemisia stolonifera* (Maxim.) Kom., *A. keiskeana* Miq. собран герба-

рий *Vicia amurensis* Oett., *V. japonica* A. Gray, *V. cracca* L., *V. unijuga* A. Br., *V. ohwiana* Hosokawa и семена – *Lathyrus davidii* Hance, *L. komarovii* Ohwi, *V. ramuliflora*. На другой сопке с разреженным лиственным лесом (*Acer* sp., *Populus* sp. и *Quercus mongolica*), с подлеском из непроходимого кустарника из *Lespedeza bicolor* Turcz., *Euonimus sacrosanctus* Koidz. и *Lonicera* sp., найдены *Vicia segetalis* Thuill., *Glycine soja* и *Vicia unijuga*; у двух последних видов собраны семена.

На песчаном берегу водохранилища Богатого, заросшем травами с преобладанием *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit., *Ptarmica alpina* (L.) DC. и *Persicaria longiseta* (De Bruyn) Kitag., *P. pilosa* (Roxb.) Kitag., *P. scabra* (Moench) Mold., *Truellum thunbergii* (Siebold et Zucc.) Soják, *T. sieboldii* (Meissn.) Soják, собрали гербарий и семена – *Glycine soja*, *Vicia amurensis*.

На хребте Богатая грива на склонах, покрытых смешанным лиственным лесом, довольно часто встречались древовидные лианы – *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq., *A. kolomikta* (Maxim et Rupr.) Maxim., *A. polygama* (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq.) и др. В подлеске собраны вики – *Vicia ohwiana*, *V. amurensis*. На лугу, находящемся на вершине, среди *Allium* sp., *Rubus* sp., *Dianthus* sp., *Ribes* sp. найдены и загербаризированы *Vicia ohwiana*, *V. amurensis* и *V. cracca*.

² Здесь и далее, где приводятся названия растений без видовых эпитетов, использованы данные из полевых дневников, которые сделали для общей характеристики мест сбора.

В другой точке исследования на хребте Богатая грива в Советском районе, у водораздела р. Богатой, недалеко от г. Синей, в смешанном широколиственном лесу, состоящем из видов родов *Acer*, *Tilia*, *Betula*, *Ulmus* L. (вяз), *Alnus* Mill. (ольха), *Pinus*, а также *Quercus mongolica* и *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz., часто встречался *Schisandra chinensis*, а в подлеске наблюдалось большое число дикорастущих кормовых бобовых растений – *Lespedeza bicolor*, *Vicia unijuga*, *V. ohwiana*, *V. baicalensis*, *Lathyrus komarovii* и эндемик Приморья, третичный реликт *L. subrotundus* Maxim. В этом местообитании нами собраны семена и гербарий бобовых трав.

В центре Владивостока на газоне довольно часто наблюдался инвазивный вид *Reynoutria japonica* Houtt. (родина его – Китай, Корея, Япония), несколько побегов этого растения нами загербаризировано. Данный вид в период цветения довольно привлекателен и используется на юге Приморского края как декоративное растение. С этими же целями на территории города часто выращивают в зеленых насаждениях *Padus maackii* (черемуха Маака). Этот дикий аборигенный вид, образующий естественные гибриды с древовидными вишнями, представляет интерес как морозоустойчивый подвой для косточковых культур. Для включения в коллекцию мы собрали костянки в зеленой зоне санатория «Океан».

В районе города вдоль дорог довольно часто растут сорные вики, на проспекте Красоты около шоссе на краю обрыва собраны семена *Vicia segetalis*.

На побережье Амурского залива, в бухте Бражникова, недалеко от пансионата «Зенит», на заболоченном прибрежном лугу в тростниковых зарослях, состоящих в основном из растений рода *Phragmites* Adans., *Artemisia umbrosa* (Besser) Turcz. ex DC., *Polygonum rigidum* Skvortsov, *Persicaria longiseta*, собраны семена *Vicia amurensis* и *Glycine soja*. В бухте Пионерской рядом с дорогой, идущей вдоль берега, среди видов рода *Artemisia* найдены растения *Vicia amurensis*, в коллекцию привлечены семена и гербарий. В лиственном лесу, находящемся на побережье, собраны семена *Lathyrus komarovii* и *Vicia unijuga*.

Из островов самого южного залива Дальнего Востока России экспедиция обследовала о. Попова и о. Русский (см. рис. 3; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). На островах преобладали широколиственные кустарниково-разнотравные с лианами леса, встречались дубняки паркового типа, а на переувлажненных участках – ольхово-черемухово-ивовые леса.

Остров Попова. На склоне одной из сопки в грабовом криволесье с изредка встречающимися *Acer pseudosieboldianum* (Pax.) Kom. и *Quercus mongolica*, в подлеске рядом с *Truellum thunbergii*, *Lepidotheca suaveolens* (Pursh) Nutt. и *Anthemis cotula* L. нами собраны *Vicia unijuga*, *V. ohwiana*, *Lathyrus japonicus* Willd., *L. komarovii*. На мысе Проходном на скалистом выступе скалы Бритвы (высота 175 м) произрастали небольшими группами *Trifolium* sp., виды семейства Роасеае, *Artemisia pannosa* Krasch., *Achillea alpina* L. и даже *Lathyrus japonicus*, который был загербаризирован. На морской террасе около скалы, в травяно-кустарниковом фитоценозе, среди разных видов из семейства Роасеае и родов *Artemisia*, *Rosa*, *Rhododendron* L. и др. собран гербарий *Rosa acicularis* Lindl. и *Rhododendron dahuricum* L. Морские побережья острова также исследовали в бухте Пограничной и на мысе Ликандера, из ДРКР здесь наблюдали *Iris ensata* Thunb. и *Papaver anomalum* Fedde, в коллекцию привлечен гербарий *Lathyrus japonicus*.

На каменистой осыпи склона около пролива Старка обильно росла *Vicia amurensis*, что позволило собрать достаточно большое число семян. У подножия сопки рядом с пляжем, располагающемся на побережье пролива, в высокотравье произрастали растения *Elymus* sp., *Artemisia* sp., *Miscanthus* sp., *Vicia amurensis* и *Lathyrus japonicus*. В коллекцию привлечены растения *Vicia amurensis* и *Lathyrus japonicus*.

Остров Русский. В широколиственных лесах острова преобладают *Tilia taquetii* C.K. Schneid., *Quercus mongolica*, *Acer pseudosieboldianum*, *Kalopanax septemlobus*, *Cerasus sargentii* (F. Schmidt) Kom., *Carpinus cordata* Blume, *Fraxinus rhynchophylla* Hance. В подлеске и внеурсной растительности (лианы) растут типичные виды южноприморских хвойно-широколиственных лесов – *Viburnum sargentii* Koehne, *Philadelphium tenuifolium* Rupr. & Maxim., *Corylus mandshurica* (Maxim.) C.K. Schneid., *Vitis amurensis*, *Actinidia arguta* и др. (Nedoluzhko, Denisov, 2001). На открытых склонах морских террас находятся прибрежные мезофильные луга. На береговых валах преобладают *Leymus mollis* (Trin.) Pilg., в зоне волнового воздействия распространены *Lathyrus japonicus*. На острове экспедиция исследовала 8 участков, охватывающих как лес, так и побережье.

На мысе Вятлина в бухте Чернышева на песчаной отсыпке дороги около смешанного леса среди *Artemisia stolonifera*, *A. manshurica* (Kom.) Kom., *A. rubripes* Nakai собраны семена *Vicia amurensis*, гербарий *V. ohwiana* и *Lolium remotum* Schrank. На вершине сопки рядом с фортом № 11 Великого князя Святослава Игоревича Владивостокской крепости в подлеске широколиственного леса (с преобладанием *Acer pseudosieboldianum* и *Quercus mongolica*) собраны семена *Vicia ohwiana*. Следует отметить, что большая часть сопки, обращенная к морю, покрыта травяно-кустарниковым покровом, в котором господствуют мискантус (*Miscanthus*) и полынь (*Artemisia*).

На западном побережье острова, около ручья, впадающего в бухту Рында, наблюдался ольхово-диморфный лес. В этой же долине обнаружили *Juglans mandshurica* Maxim. Недалеко, на другой сопке, на обочине тропы, идущей по дубово-кленовому лесу, среди зарослей полыни, опутанных виками, собрали семена *Vicia japonica* и *V. amurensis*. В подлеске леса найдены семена *V. ohwiana*. У подножия сопки, рядом с п. Рында и побережьем, на песчаной почве в кустах шиповника (*Rosa*) и ивы (*Salix* L.) собраны растения *Lathyrus japonicus* и *Vicia ohwiana*.

Надеждинский район

Маршрут проходил по холмистой местности вдоль русла реки Раздольной (р. Суйфун), по направлению от Владивостока к Уссурийску (см. рис. 2; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). В этом районе широколиственные смешанные леса из дуба (*Quercus* L.), граба (*Carpinus*), ясеня (*Fraxinus* L.), ольхи (*Alnus*), лещины (*Corylus*) и др. чередовались с разнотравными лугами и распаханными полями. В окрестностях п. Алексеевка нашли большое число видов растений трибы *Vicieae*. В подлеске смешанного дубово-ясеняного леса среди *Lespedeza bicolor*, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn выявлены и собраны *Vicia baicalensis* (Turcz.) B. Fedtsch., *V. ohwiana*, *V. cracca*, *Lathyrus humilis* (Ser.) Spreng., *L. komarovii*. На разнотравном лугу среди представителей сем. *Apiaceae* Lindl., родов *Calamagrostis* Adans., *Sanguisorba* L., *Lilium* L., *Iris* L. и видов *Lespedeza bicolor*, *Glycine soja* произрастали *Lathyrus palustris* L. и *Vicia cracca*, которые также включены в гербарную коллекцию.

Шкотовский район

Рельеф района представлен средне- и низкогорьями, которые чередуются с долинами горных рек. Его территория окружена хребтами (Ливадийским, Большой Воробей, гор Пржевальского) и Уссурийским заливом. В районе произрастают смешанные хвойно-широколиственные, широколиственные и хвойные леса. Экспедиция обследовала участок леса в верховьях р. Суходол в окрестностях ж/д ст. Анисимовка между горами Туманной и Литовкой (см. рис. 2; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). На сопках рос смешанный хвойно-широколиственный лес, представленный буком (*Fagus* L.), дубом (*Quercus*), разными видами клена (*Acer*), березой каменной (*Betula ermanii* Cham.), калопанаксом (*Kalopanax* Miq.) и сосной (*Pinus*). Из кустарников часто наблюдались чубушник (*Philadelphus* L.), бересклет (*Eunomius* L.) и вяз (*Ulmus*). Подлесок состоял из папоротников отдела Polypodiophyta, *Artemisia stolonifera* (Maxim.) Kom., *Convallaria keiskei*, *Menispermum canadense* L., *Smilax* sp., представителей трибы *Vicieae* и др., иногда встречались виды из семейства Orchidaceae Juss. Для коллекций собран гербарий *Vicia baicalensis*, *V. unijuga*, *Lathyrus komarovii* и семена *Vicia ramuliflora*, *Lathyrus davidii*.

В окрестностях д. Смяличи (бассейн р. Шкотовки) в подлеске дубового леса участники экспедиции нашли *Lathyrus komarovii*, *Vicia pseudoorobus* Fisch. & C.A. Mey., *V. ohwiana* и *V. amurensis*. Около с. Новая Москва, в верховьях р. Шкотовки, недалеко от водопада Неожиданного, у обочины дороги на склоне Дорожного хребта Сихотэ-Алиня, поросшей тополем (*Populus* sp.) и *Lespedeza bicolor*, собран гербарий *Vicia amurensis*.

Находкинский городской округ и ЗАТО Фокино

На территории Находкинского городского округа исследовали только побережье залива Находка, рядом с мысом Шефнера в черте г. Находка (см. рис. 2; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). На морской террасе, сплошь поросшей кустарниками и полынью (*Artemisia stolonifera*, *A. umbrosa*), загербаризировали *Vicia amurensis*. В ЗАТО Фокино изучена растительность на берегах острова Путятина и прибрежный лес, в результате привлечены в коллекцию образцы бобовых трав – *Vicia ohwiana*, *Lathyrus komarovii* и *L. japonicus*.

Партизанский район

В данном районе обследовали смешанный хвойно-широколиственный лес у подножий сопки южной части хребта горы Пржевальского и на перевале Серебряном, а также долину р. Серебряной (приток р. Тигровой) (см. рис. 2; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). Около р. Серебряной, в 2,5 км от с. Бровничи, изучена растительность на заливном сенокосном лугу, где произрастали (среди представителей сем. Роасеае, родов *Sanguisorba*, *Erigeron* L.) *Vicia amoena* Fisch., *V. cracca*, *Lathyrus palustris*. Образцы чины и вики привлечены в гербарную и семенную коллекции. На перевале Серебряном, недалеко от трассы Шкотово – Партизанск в бассейне р. Шкотовки, в подлеске смешанного хвойно-широколиственного леса из *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., *Quercus mongolica*, *Acer mono* Maxim. ex Rupr. и видов рода *Betula*, собраны: *Lathyrus humilis*, *Vicia baicalensis* и *V. amurensis*. На прибрежных скалах Залива Восток собран гербарий *Lathyrus japonicus*, а в близлежащем лесу на склоне сопки – *L. davidii*.

Лазовский район находится в юго-восточной части Приморского края на склонах Сихотэ-Алиня, обращенных к Японскому морю. Для многих видов здесь проходит северная граница ареала. Рельеф района пересечен множеством отрогов гор, имеющих крутые склоны, что делает практически невозможным ведение сельского хозяйства на большей части территории; только в узких долинах рек можно встретить сады и возделываемые поля. Большая часть региона покрыта лесами, которые в силу специфического рельефа труднодоступны.

Экспедиция исследовала природные комплексы прибрежной части акватории Японского моря (в бухтах Валентина, Киевка), широколиственные и хвойно-широколиственные леса восточных склонов Сихотэ-Алиня, луговые сообщества в долинах рек (см. рис. 2; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). На песчаном берегу бухты Киевки среди *Linaria japonica* Miq., представителей родов *Carex*, *Salsola* L. часто встречались куртины *Lathyrus japonicus*. В бухте у п. Валентин, на обочине дороги, среди *Artemisia* sp. найдены *Vicia amurensis* и *V. japonica*, на прибрежной скале – *V. amurensis*.

В подлеске дубового леса на склонах сопки около реки Кривой, в бассейне реки Чистоводной часто встречались виды *Lathyrus komarovii*, *Vicia ohwiana* и *V. amurensis*. Около пади Мартыновка по дороге на с. Соколычи, на перевале, в сухом светлом дубовом лесу, среди *Pteridium aquilinum* росли *Vicia ohwiana*, *Lathyrus komarovii*, *L. humilis* и *L. subrotundus*. Последний вид найден в новом местобитании, в самой северной точке ареала, в региональных сводках он указывается для более южных территорий Приморского края (Kozhevnikov, Kozhevnikova, 2014).

В бассейне реки Чистоводной при подъеме на скалистые сопки (называемые местным населением Городом Драконов), поросшие широколиственно-хвойным лесом из *Quercus mongolica* и представителей родов *Betula*, *Alnus*, *Picea* и *Pinus*, виды трибы *Vicieae* не обнаружены. В подлеске на сухих каменистых склонах наблюдались представители сем. Роасеае, виды рода *Rhododendron* и большие куртины видов рода *Galium* L. В 4 км от р. Лазовки, рядом с Герасимовым ключом, на территории Бахайского городища, на сопке, в дубовом лесу, среди видов родов *Paeonia* L., *Crataegus* Tourn. ex L., *Philadelphus* и *Cerasus glandulosa* (Thunb.) Loisel., собраны *Lathyrus davidii*, *L. komarovii*, *L. humilis*, *Vicia ohwiana*, *V. amurensis* и *V. cracca*. В с. Лазо на приусадебных участках довольно часто культивируют *Prunus ussuriensis* Kovalev et Kostina, отличающуюся устойчивостью к морозам и используемую в качестве подвоя; нами собраны ее костянки.

Хасанский район находится на крайнем юге Приморского края и тянется неширокой полосой вдоль западного побережья Амурского залива и залива Петра Великого. На юге и юго-западе по реке Туманной он граничит с Корейской Народной Демократической Республикой, на западе по хребту Черные горы – с Китайской Народной Республикой. В центральной и восточной частях района преобладают холмы, чередующиеся с многочисленными речными долинами, на юге – равнины. Берег на юге рассечен заливами, бухтами и небольшими лагунами. Вдоль побережья тянутся галечные и песчаные пляжи, нередко скалистые утесы и обрывы. На самом юге района расположена обширная низина, покрытая лугами и болотами, многочисленными озерами, заросшими лотосами, и невысокими холмами. Во флоре этого района произрастают рядом пред-

ставители трех геоботанических областей: маньчжурской, восточносибирской и охотской.

Из природных зон участники экспедиции в этом районе обследовали: широколиственные леса (дубовые, ясеновые, многопородные) и растительные сообщества побережий залива (з.) Китового, з. Посыета, з. Петра Великого и долин рек Нарвы, Поймы, Болотной и Камышовой. Дубовые и смешанные широколиственные леса исследованы в долинах рек Нарвы и Поймы, на перевале около Сухореченского хребта, на склонах сопки в окрестностях поселка Андреевка, у подножия сопки недалеко от п. Овчинниково, на сопке около озера Птичьего и на полуострове Гамова в районе п. Витязь; ильмово-ясеновый лес – около бухт Троица и Идола, на сопках в окрестностях с. Рязановка и недалеко от п. Хасан (рис. 4, 5; см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). Осмотрены остепненные луга на холмах мыса Гамова и растительность береговых зон на скалистых обрывах и участках материковой береговой полосы в бухтах Теляковского, Витязь, Астафьева, Опасной и Троицы. Изучен растительный покров на заболоченных разнотравных и ветвиновых лугах на побережье бухты Экспедиции, озера Птичьего, а также в устье р. Туманной в районе п. Хасан.

На перевале рядом с Нарвинским туннелем около р. Нарвы в подлеске широколиственного смешанного леса (*Acer pseudosieboldianum* и *A. mono*, *Fraxinus* sp., *Salix* sp., *Quercus mongolica*, *Viburnum sargentii*, *Berberis amuren-*

sis Rupr., *Philadelphus tenuifolius* Rupr. & Maxim., *Schisandra chinensis*, и представителей отдела. Polypodiophyta и др.) собрали *Lathyrus komarovii*, *L. humilis*, *L. davidii*, *Vicia ohwiana*, *V. unijuga*, *V. amurensis*, *Melilotus suaveolens* Ledeb. и *Lathyrus subrotundus*.

На сопке рядом с р. Нарвой, в лесу из *Quercus mongolica*, *Juglans mandshurica*, *Populus* sp., найдены и загербаризированы *Crataegus pinnatifida* Bunge, *Humulus* sp., *Corylus heterophylla* Fisch. ex Bess., *Rubus crataegifolius* Bunge, *Viburnum sargentii*, *Lathyrus davidii*, *Vicia unijuga*, *V. amurensis*, *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald, *Elymus sibiricus* L. В смешанном широколиственном лесу около бухты Идола собрали гербарий *Malus manshuricum* (Maxim.) Kom. В окрестностях п. Рязановка на сопке рядом с бухтой Бойсмана в разреженном дубовом лесу с изредка встречающейся *Betula dahurica* Pall. и подлеском из *Lespedeza bicolor*, *Corylus heterophylla* и разнотравья отмечен *Asparagus* sp., собран гербарий растений (*Lathyrus komarovii*, *L. subrotundus*, *L. davidii*, *Rubus crataegifolius*, *Vicia ohwiana*, *V. unijuga*, *Amphicarpaea japonica*), семена (*Miscanthus purpurascens* Anderss., *Lathyrus davidii*, *L. subrotundus*) и корневые черенки *Rubus crataegifolius*. В редкостойном дубовом лесу с подлеском из *Lespedeza bicolor*, *Miscanthus* sp. и *Artemisia* sp. около озера Птичьего собран гербарий *Vicia unijuga*. В 3 км от п. Хасан по направлению к г. Владивостоку у подножия сопки, поросшей дубовым лесом, в подлеске из *Persicaria maculata* (Rafin) S.F. Gray, *Artemisia manshurica* (Kom.) Kom., *Rhododendron mucronulatum* со-

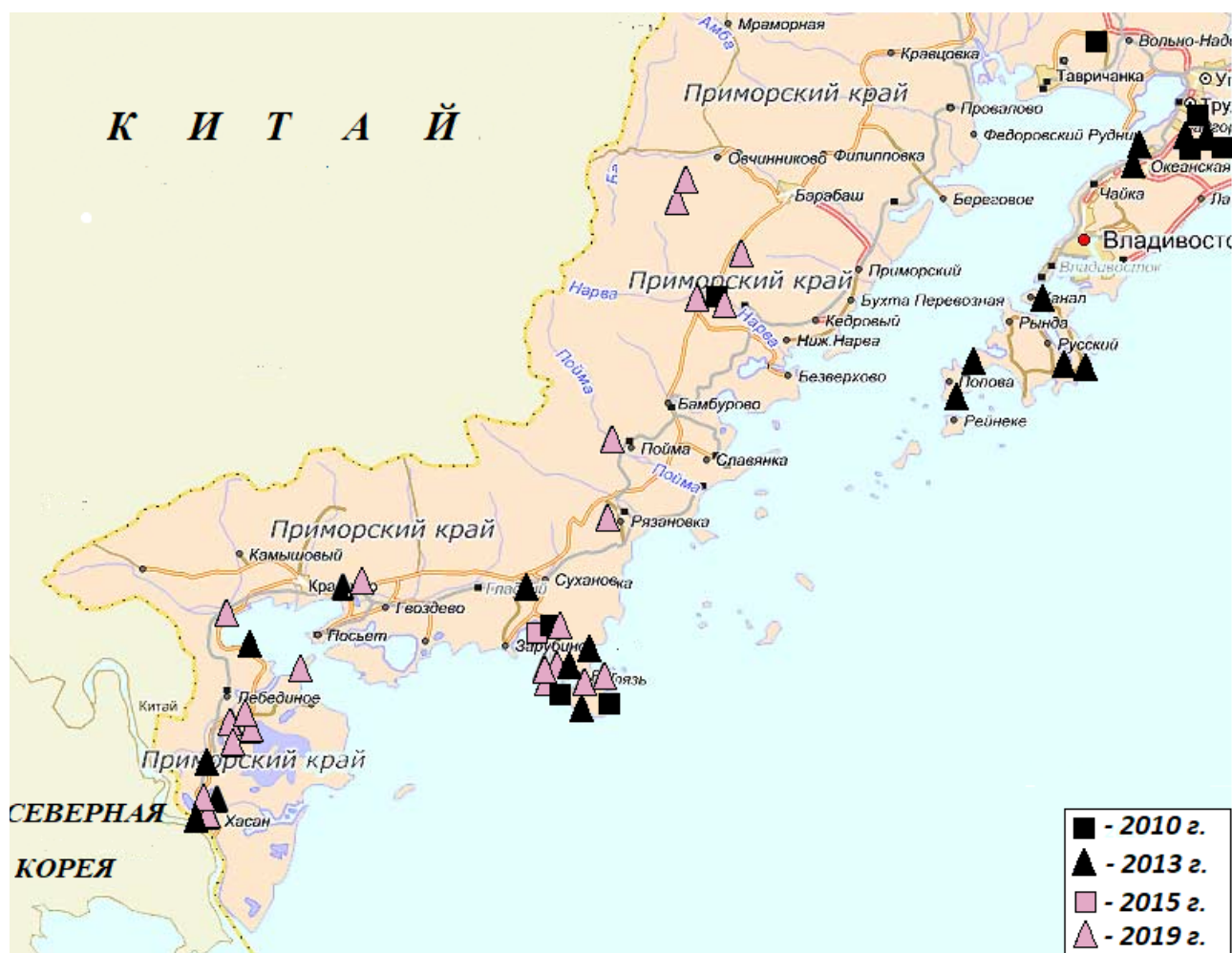


Рис. 4. Карта района экспедиционного обследования, проведенного на территории Хасанского района

Fig. 4. A map of the plant exploration in Khasansky District

браны семена *Glycine soja* и гербаризированы растения *Vicia pseudoorobus*.

В долинном ясеневом лесу около д. Овчинниково в 8 км от границы с Китаем, состоящем из *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Acer ginnala* Maxim. и *A. mono*, *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Juglans mandshurica*, *Maackia amurensis* Rupr., *Betula* sp., *Alnus* sp., *Salix* sp., *Lonicera* sp., *Clematis* sp. и *Lespedeza bicolor*, собрали гербарий *Prunus ussuriensis*, *Rubus crataegifolius*, *Ribes mandshuricum* (Maxim.) Kom., *Lathyrus davidi*, *Schizopepon bryoniifolius* Maxim., *Vicia unijuga*, *V. pseudoorobus*, *Fragaria orientalis* Losinsk., *Amphicarpaea japonica*, семена *Lathyrus davidi*, *Glycine soja*, усы *Fragaria orientalis* и отводки *Ribes mandshuricum*.

Наиболее полно была исследована растительность полуострова Гамова. В окрестностях п. Витязь на одной из сопки, располагающейся около моря, на обочине дороги, среди представителей родов *Vicia* и *Carex* собран гербарий *Lathyrus palustris*. На склоне этой же сопки в подлеске дубового леса около *Artemisia keiskeana*, *A. manshurica* найдены и гербаризированы *Lathyrus subrotundus*, *L. komarovii*, *Vicia amurensis* и собраны семена *V. unijuga*. На склоне другой сопки в подлеске смешанного широколиственного леса (*Quercus mongolica*, *Aralia continentalis*, *Maackia amurensis*, *Acer* sp. и др.) собрали гербарий *Desmodium mandschuricum* (Maxim.) Schindl., *Vicia subrotunda*, *V. unijuga*, *Rubus crataegifolius*, *Lathyrus komarovi* и корневые черенки *Rubus crataegifolius*.

На каменистой осыпи близлежащей сопки, у обочины грунтовой дороги в одной ассоциации с *Anaphalis sinica* Hance, *Senecio argunensis* Turcz., *Allium strictum* Sohrad., *Parnassia palustris* L., произрастал *Linum amurense* Alef. Рядом, в ясеневом лесу на склоне сопки, найдены *Lathyrus davidii*, *Vicia cracca*, выше, ближе к вершине в дубово-ясеневом-кленовом лесу, – *Lathyrus subrotundus*.

В широколиственных лесах на сопках около бухты Теляковского довольно часто встречался *Vitis amurensis*, а в подлеске виды из трибы *Vicieae* – *Lathyrus komarovii*, *L. subrotundus*, *Vitis unijuga*.

На обочине дороги, идущей по широколиственному лесу (*Quercus mongolica*, *Acer* sp., *Corylus* sp., *Kalopanax septemlobus*) от п. Витязь в бухту Астафьева, собрали *Achnatherum pekinense* (Hance) Ohwi, *Miscanthus purpurascens*, *Poa* sp., *Vicia unijuga* и *Lathyrus davidii*.

В Хасанском районе между сопками, увалами и горными хребтами нередко можно наблюдать так называемые маньчжурские прерии. На них находятся высоко травяные луга (представленные различными видами из семейств Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Rosaceae, Fabaceae) и растущие одиночно или небольшими группами деревья и кустарники. Экспедиция исследовала такой фитоценоз недалеко от п. Овчинниково и ручья Артиллерийского. Изучен разнотравный луг с редкими деревьями *Ulmus japonica* (Rehder) Sarg., *Acer ginnala* и кустами *Rubus crataegifolius*. В коллекцию привлечены семена *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. и усы *Fragaria orientalis*.

Луговая и болотная растительность в районе занимает расширенные плоские междуречья в нижних частях бассейнов рек и низкие морские террасы на побережье Японского моря. На надпойменной террасе р. Поймы в лесу из ореха *Juglans mandshurica* Maxim., *Ulmus parvifolia* Jacq., *Maackia amurensis*, *Alnus* sp., *Lonicera* sp. экспедиционный отряд собрал гербарий и корневые черенки *Rubus crataegifolius*. По дороге к полуострову Гамова в окрестностях п. Сухановка, на обочине дороги на высокотравном полынно-вейниковом лугу около *Artemisia feddei* Levl. et

Vaniot, *Ptarmica alpina*, собраны гербарий и семена *Vicia amurensis*.

На разнотравном лугу в долине р. Нарвы рядом с прирусловым лесом из *Populus* sp., *Fraxinus* sp., *Salix* sp., *Acer ginnala*, *Celastrus orbiculatus* Thunb., *Malus manshuricum*, *Crataegus pinnatifida* привлечены в гербарную коллекцию *Trifolium campestre* Schreb., *T. pratense* L., *T. repens* L. и собраны семена *Trifolium arvense* L., *Glycine soja*, *Beckmannia syzigachne*.

В окрестностях п. Краскино и бухты Экспедиции, рядом с болотом, заросшим *Nelumbo nucifera* Gaertn., *Phragmites* sp., *Carex* sp., на обочине грунтовой дороги, среди зарослей *Salix* sp., *Alnus* sp. и небольших деревьев *Maackia amurensis*, оплетенных *Celastrus orbiculatus*, собраны семена *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, гербарий и корневые черенки *Rubus crataegifolius*, гербарий *Sophora flavescens* Aiton. На заболоченном лугу, заросшем видами родов *Phragmites* и *Artemisia* в месте впадения р. Камышовая в бухту Экспедиции, собраны семена *Vicia amurensis*.

При обследовании заболоченного берега соленого озера Птичьего, расположенного в междуречье рек Болотной и Туманной, среди бескрайних зарослей *Miscanthus purpurascens*, *Lespedeza bicolor* и видов родов *Phragmites* Adans. и *Artemisia*, собрали семена и гербарий *Glycine soja*, гербарий *Amphicarpaea japonica*.

Недалеко от п. Лебединого и р. Болотной исследовали растительность на сухом склоне увала. На разнотравном полынно-злаковом лугу были представлены *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, *Setaria* sp., *Agrostis* sp., *Lespedeza bicolor*, *Vicia amurensis*, *Miscanthus purpurascens*, *Elymus sibiricus* и др. В коллекцию привлечены семена (*Vicia amurensis*, *Miscanthus purpurascens*, *Elymus sibiricus*, *Linum stelleroideum* Planch.) и гербарий *Trifolium lupinaster* L.

В окрестностях п. Хасан на территории Хасанского природного парка, расположенного в самой южной точке границы России с Кореей и Китаем, обследовали участок дельты реки Туманной. На берегах реки наблюдалась луговая, лугово-болотная и околородная растительность. На одном из заболоченных лугов, обильно поросшем *Miscanthus purpurascens*, *Phragmites* sp., среди *Persicaria longiseta*, *Artemisia manshurica*, *A. selengensis* Turcz. ex Besser, *A. scoparia*, *A. sacrorum* Ledeb., *A. rubripes*, *A. feddei*, *Ptarmica alpina*, *Carex neurocarpa* Maxim., *Cyperus glomeratus* L. собрали гербарий *Glyceria spiculosa* (Fr. Schmidt) Roshev, *Amphicarpaea japonica*, *Glycine soja*, *Medicago lupulina* L., *Trifolium pratense*, *T. repens* и семена *Miscanthus sacchariflorus*, *Vicia amurensis*, *Glycine soja*. На краю тропы, проходящей между заболоченными лугами устья реки Туманной, рядом с *Persicaria longiseta*, *Artemisia umbrosa*, *A. selengensis*, *Onoclea sensibilis* L. экспедиция обнаружила *Vicia cracca* и собрала семена *V. pseudoorobus*.

Рядом с рекой на холмистом участке около пограничной вышки, на вейниково-разнотравном лугу среди *Persicaria longiseta*, *Artemisia manshurica*, собраны *Arthraxon langsdorfii* (Trin.) Hochst., *Eragrostis pilosa* (L.) Beauv., *Setaria glauca* (L.) Beauv., *Arundinella hirta* (Thunb.) Y. Tanaka, *Calamagrostis langsdorfii* Trin.

Морские побережья на юге района бывают скалистыми, песчаными или валунно-галечниковыми, на них часто распространены заросли *Rosa rugosa* Thunb. и галофитов: *Leymus mollis* (Trin.) Pilg., *Mertensia maritima* (L.) Gray, *Lathyrus japonicus*, *Senecio pseudoarnica* Less. и др. В ходе экспедиции обследованы: скалистое валунно-галечниковое (местами песчаное) побережье в бухтах Идола и Опасной, каменистое и скалистое – в бухтах Троицы

и Астафьева, галечное – в бухте Теляковского, песчаное – в бухтах Экспедиции, Витязь и Троицы, а также песчаная коса Назимова между бухтами Экспедиции и Рейд Паллада (см. рис. 3; Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). На побережье бухты Экспедиции рядом с поворотом на п. Посыет около *Artemisia* sp., *Ptarmica mongolica* (Fisch. ex Spreng.) DC. собраны гербарий *Allium senescens* L. и семена *Vicia japonica*. На мысе Гамова в бухте Теляковского на галечном пляже найдены *Lathyrus japonicus* и *Vicia amurensis*, а на песчаном побережье бухты Троицы, среди *Carex* sp., кроме указанных видов, обнаружена *Lathyrus palustris*. На песчаном берегу бухты Витязь среди осоки найдена *Lathyrus japonicus*, а рядом с подножием сопки в дубовом лесу – *Vicia unijuga*.

Скалистое побережье бухты Троицы на мысе Шульца было покрыто кустарниками (*Rosa rugosa*, *R. maximosiviana* Regel, *Rhododendron schlippenbachii* Maxim., *R. mucronulatum*) и травами, среди них росли: *Miscanthus* sp., *Dendranthema nakdongense* (Nakai) Tzvel., *Artemisia manshurica*, *A. feddei*, *A. gmelinii* Weber ex Stechm., *A. sacrorum*, *Anaphalis sinica*, *Allium senescens*. Вдоль тропы, идущей по склону мыса, произрастали *Senecio argunensis*, *Spodiopogon sibiricus* Trin., *Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka, *Calamagrostis angustifolia* Kom., *Vicia japonica*, *V. ohwiana*, *V. unijuga*, *V. amurensis*. Все вышеуказанные виды гербаризированы, у двух последних собраны семена.

На лугах на вершинах сопки, находящихся между бухтами Троицы и Теляковского, были типичны следующие представители семейств Asteraceae и Polygonaceae: *Persicaria hydropiper* (L.) Spach, *Artemisia littorica* Kitam, *A. sacrorum*, *A. stolonifera*, *Dendranthema nakdongense*. На лугах вдоль дороги из бухты Теляковского в бухту Опасную отмечен *Rhododendron dahuricum*, оплетенный растениями *Vicia japonica*. На каменистых склонах около маяка бухты Опасной часто встречались *Miscanthus* sp., *Dendranthema nakdongense*, *Artemisia littorica*.

На прибрежных скалах бухты Астафьева преобладали *Artemisia umbrosa* и *A. littorica*, из бобовых – *Lathyrus japonicus*. Следует отметить, что на всех берегах полуострова Гамова встречалась *L. japonicus*.

На берегу бухты Идола залива Китового в окрестностях п. Андреевка изучили растительность побережья приморского луга, находящегося рядом с узкой песчано-каменистой береговой полосой. Ближе к побережью среди камней собрали образцы гербария *Lathyrus japonicus*, на песчаной почве – семена *Elymus excelsus* Turcz. ex Griseb. и *Leumolus mollis* (Trin.) Pilg. На разнотравном лугу с преобладанием полыни и злаков и редко растущими кустами шиповника (*Rosa* sp.) собраны семена *Vicia amurensis*, *Miscanthus purpurascens*, *Trifolium campestre* и *Crataegus pinnatifida*.

На косе Назимова между бухтами Экспедиции и Рейд Паллада растительность не образует сплошного покрова, растения растут разреженно небольшими группами, встречаются *Carex* sp., *Artemisia* sp., *Dianthus* sp., представители сем. Роасеае, изредка низкорослые кусты *Rosa* sp. В данном местообитании собрали гербарий *Lathyrus japonicus*.

На сухом горном склоне около мыса Теляковского на полуострове Гамова (со стороны залива Петра Великого) обследовали разнотравный луг, поросший представителями семейств Роасеае, Asteraceae, а также *Parnassia palustris* L., *Allium* sp. и *Dendranthema* sp., редкими кустами *Lespedeza bicolor* и *Rhododendron schlippenbachii*. На этом участке собраны семена *Spodiopogon sibiricus* и *Miscanthus purpurascens*.

Китай. Яньбянь-Корейский АО (провинция Цзилинь)

Участники экспедиции посетили плато Чанбайшань на территории Яньбянь-Корейского автономного округа КНР. На нем располагается одноименный вулкан – наивысшая точка Маньчжуро-Корейских гор (2750 м н. у. м.). В центре вулкана находится священное кратерное озеро Тяньчи (Небесное озеро). Здесь берет свое начало река Тумэньцзян (Туманная), в нее впадает много горячих источников, в некоторых из них вода достигает 80 градусов (Galanin et al., 2010). Устье этой реки лежит на побережье Японского моря на юге Хасанского района. На территории, прилегающей к вулкану, создан самый большой в Китае природный заповедник «Национальный парк Чанбайшань». Основанный в 1961 г. заповедник включает в себя самые разнообразные экосистемы.

Растительный покров на вулкане распределяется по вертикальным высотным поясам. Смешанные хвойно-широколиственные и широколиственные леса неморального типа находятся на высоте от 500 до 1000 м. Из хвойных здесь обычны кедр корейский (*Pinus koraiensis*) и пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Maxim.). В этих лесах хорошо развит ярус кустарников и травянистый покров. Смешанные хвойные леса расположены на высоте от 1000 до 1700 м. Кустарников под пологом этих лесов мало, почву покрывают папоротники и травянистые растения. Выше, на высоте 1450 м, лес состоит из *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. и *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carriere. На высоте от 1700 до 2000 м находится пояс субальпийских лесов из каменной березы (*Betula ermanii*). Под пологом березы каменной часто растут кустарниковая ольха (*Alnus* sp.) и представители рода *Rhododendron*. Выше 2000 м начинается альпийская тундра. Нам удалось изучить некоторые природные участки в Национальном парке Чанбайшань. На высоте 1917 м на склоне вулкана Чанбайшань, рядом с водопадом р. Тумэньцзян, изучена растительность в субальпийском лесу (в березовом криволесье), состоящем из *Betula ermanii*, растущей прямо на крупных глыбах базальта. В подлеске росли *Clintonia udensis* Trautv. & C.A. Mey., *Rhododendron chrysanthum* Pall., *Vaccinium minus* (Lodd.) Worosch (= *Rhodococcum minus* (Lodd.) Avror.) и *Vaccinium vulcanorum* Kom. На высоте 1762 м на склоне вулкана рядом с высокими базальтовыми глыбами исследовано березовое криволесье с единичными растениями *Picea jezoensis* и *Artemisia rubripes*, из ДРКР отмечены *Rhododendron* sp. и *R. parvifolium* Adams. Ниже, на высоте 1505 м, в ложине каньона «Каменный лес», образованного рекой «Плавающих камней» (Erdaobai, Каменная река), изучен смешанный зеленомошный хвойный лес. Верхний ярус состоял из *Abies nephrolepis* и *Picea jezoensis*. В ярусе кустарников наблюдались *Rosa acicularis*, *Lonicera caerulea* L., *Ribes* sp. и др., в ярусе трав господствовали папоротники, плауны, мхи, лишайники, встречались куртины *Chamaepericlymenum canadense* (L.) Aschers. & Graebn. и *Clintonia udensis*.

Кроме растительности склонов вулкана Чанбайшань, в Китае экспедиция исследовала склоны сопки около монастыря «Лин Бао» в г. Хуньчунь. В парке на поляне в посаженном сосновом лесу среди *Rosa ussuriensis* Juz., рядом с *Ophelia chinensis* Bunge ex Griseb., *Artemisia scoparia*, *A. annua* L., *A. argyi* Levl. et Vaniot, *A. umbrosa*, *A. rubripes*, *A. feddei*, собрали семена *Glycine soja* и *Vicia japonica*. На разнотравном лугу у западной стены храма монастыря, среди представителей сем. Роасеае, *Inula* sp., *Persicaria maculata*, *Artemisia freyniana* (Pamp.) Krasch, *A. sacrorum*, *A. argyi*,

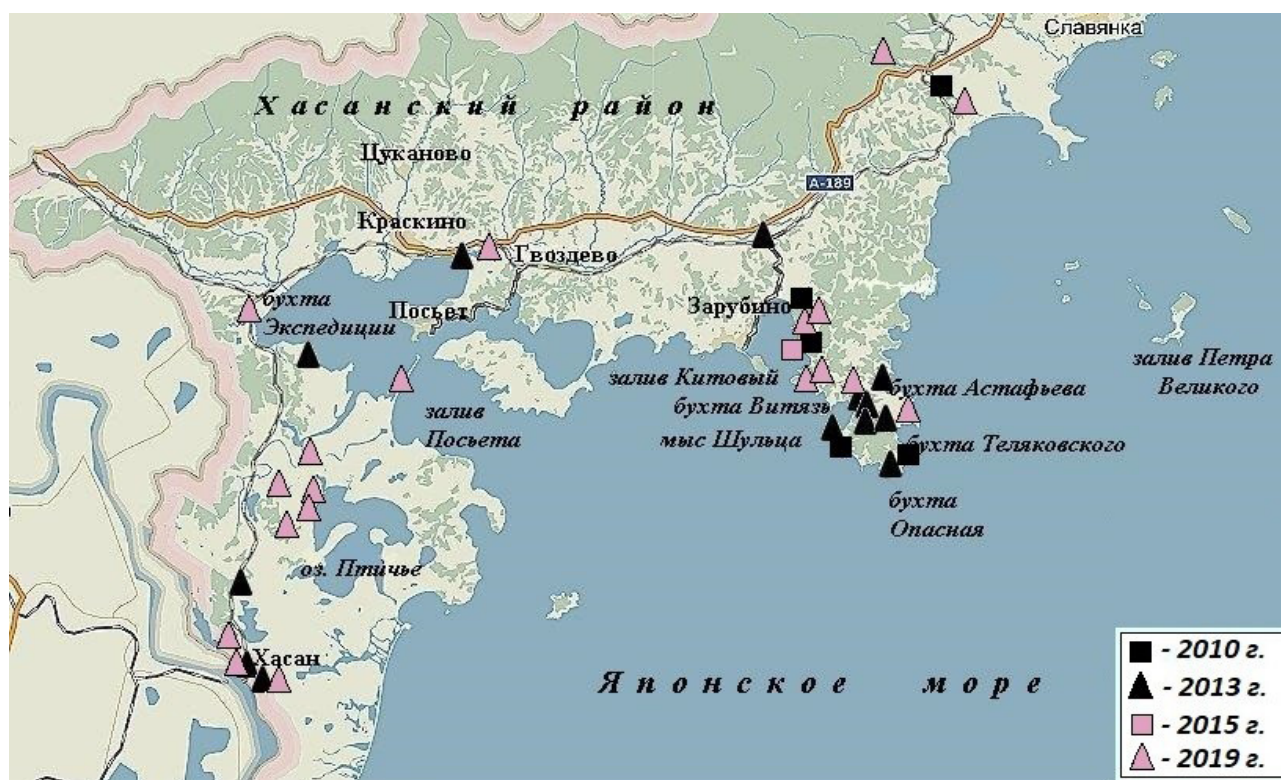


Рис. 5. Карта района экспедиционного обследования, проведенного на юге Хасанского района

Fig. 5. A map of the plant exploration in the south of Khasansky District

Anaphalis possietica Kom., привлечены в гербарий *Allium* sp. и *Calamagrostis* sp.

Таким образом, экспедиции по южным районам Приморского края и Яньбянь-Корейскому АО, проведенные в 2010–2019 гг., обследовали 114 местообитаний, собрали 257 обр. 73 видов зерновых бобовых, плодовых, технических и кормовых ДРКР из семейств Fabaceae, Rosaceae, Poaceae, Alliaceae, Ericaceae, Linaceae, Viburnaceae, Grossulariaceae, Polygonaceae, Cucurbitaceae. Для 224 образцов собраны семена, для 87 – гербарий, для 8 – черенки, усы и отводки (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). В результате существенно пополнились семенные и гербарные коллекции ВИР и БИН ранее отсутствующими в них образцами:

– 27 видов, 188 обр. **Fabaceae** – *Amphicarpaea japonica* (4), *Desmodium mandschuricum* (1), *Glycine soja* (11), *Lathyrus davidii* (11), *L. humilis* (4), *L. japonicus* (16), *L. komarovii* (16), *L. palustris* (3), *L. subrotundus* (8), *Medicago lupulina* (1), *Melilotus suaveolens* (1), *Sophora flavescens* (1), *Trifolium campestre* (2), *T. arvense* (1), *T. lupinaster* (1), *T. pratense* (2), *T. repens* (2), *Vicia amoena* (1), *V. amurensis* (28), *V. baicalensis* (5), *V. cracca* (8), *V. japonica* (9), *V. ohwiana* (20), *V. pseudoorobus* (4), *V. ramuliflora* (3), *V. segetalis* (3), *V. unijuga* (22);

– 20 видов, 30 обр. **Poaceae** – *Achnatherum pekinense* (1), *Arthraxon langsdorfii* (1), *Arundinella hirta* (2), *Beckmannia syzigachne* (2), *Calamagrostis* sp. (1), *Calamagrostis angustifolia* (1), *C. langsdorfii* (1), *Cyperus glomeratus* (1), *Elytrigia repens* (1), *Elymus sibiricus* (2), *E. excelsus* (1), *Eragrostis pilosa* (1), *Glyceria spiculosa* (1), *Leymus mollis* (1), *Lolium remotum* (1), *Miscanthus purpurascens* (6), *M. sacchariflorus* (2), *Poa* sp. (1), *Setaria glauca* (1), *Spodiopogon sibiricus* (2);

– 10 видов, 21 обр. **Rosaceae** – *Crataegus pinnatifida* (2), *Fragaria orientalis* (2), *Malus manshuricum* (1), *Rosa acicularis* (2), *R. maximovicziana* (1), *R. rugosa* (1), *R. ussuriensis*

(1); *Rubus crataegifolius* (6), *Padus maaki* (2), *Prunus ussuriensis* (3);

– 7 видов, 8 обр. **Ericaceae** – *Rhododendron chrysanthum* (1), *R. dahuricum* (2), *R. mucronulatum* (1), *R. parvifolium* (1), *R. schlippenbachii* (1), *Vaccinium minus* (1), *V. vulcanorum* (1);

– 3 вида, 4 обр. **Alliaceae** – *Allium* sp. (1), *A. senescens* (2), *A. strictum* (1);

– 2 вида, 2 обр. **Linaceae** – *Linum amurense* Alef. (1), *L. stelleroideis* (1);

– 1 вид, 1 обр. **Viburnaceae** – *Viburnum sargentii* (1);

– 1 вид, 1 обр. **Cucurbitaceae** – *Schizopepon bryoniifolius* (1);

– 1 вид, 1 обр. **Grossulariaceae** – *Ribes mandschuricum* (1);

– 1 вид, 1 обр. **Polygonaceae** – *Reynoutria japonica* (1).

Наибольшее число видов ДРКР, по оценке итогов экспедиций 2010–2019 гг., произрастало в природных комплексах хвойно-широколиственных лесов (49), меньшее – на лугах (35), морских побережьях (18), на прибрежных скалистых обрывах (15), на заболоченных лугах и болотах (13), наименьшее – в хвойных зеленомошных лесах (6) и высокогорьях (3). Аналогичная картина наблюдалась и по частоте встречаемости (числу собранных образцов) этих видов в данных местообитаниях (зонах) – 180, 56, 36, 16, 16, 5 и 4 соответственно.

По данным экспедиционных исследований 2010–2019 гг. составлены таблицы с указанием точного местонахождения образцов, привлеченных в коллекции в 2010, 2011, 2013, 2015 и 2019 г., для некоторых видов уточнены границы ареалов (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1). Для *Lathyrus subrotundus* – третичного реликта, эндемика Дальнего Востока – выявлены новые местообитания, в том числе и на самой северной границе ареала этого вида, на южных отрогах Сихотэ-Алиня в бассейне р. Чистоводной.

Анализ результатов всех экспедиций ВИР по югу Приморского края с 1926 по 2023 г. показал, что в этой природной зоне сосредоточено максимальное видовое разнообразие не только плодовых растений, для которых этот регион является первичным генцентром (входит в состав Амурско-Уссурийского), но и других ДРКР. Наиболее богаты представителями ДРКР Владивостокский ГО, Хасанский и Лазовский районы (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 2³, Suppl. 3⁴). Всего за весь период исследований растительности юга Приморья в коллекцию ВИР привлечено около 1432 образцов (обр.) 154 видов дикорастущих растений. Самые большие сборы осуществлены во Владивостокском ГО (~464 обр.), Хасанском (~333 обр.) и Лазовском (~308 обр.) районах. Среди собранных образцов преобладали ДРКР плодовых (934 обр.), зернобобовых (258 обр.) и кормовых (101 обр.) культур. Из них виды *Desmodium mandschuricum*, *Vicia ohwiana*, *Vaccinium minus*, *Rosa maximoviciana*, *R. ussuriensis*, *Linum amurense*, *L. stelleroides*, *Thladiantha dubia* Bunge, *Armeniaca mandshurica*, *Louiseania triloba* (Lindl.) Pachom. *Prinsepia sinensis* (Oliv.) Bean, *Lespedeza tomentosa* (Thunb.) Maxim., *L. davurica* (Laxm.) Schindl., *Schisandra chinensis*, некоторые виды рода *Ribes*, *Cerasus* и многие другие относятся к аборигенным, а *Lathyrus subrotundus*, *Rhododendron schlippenbachii*, *Vaccinium vulcanorum* – к эндемикам юга Приморья. Следует отметить, что в настоящее время под воздействием антропогенных факторов происходит уничтожение природных местообитаний этих видов и продолжает сокращаться численность популяций некоторых видов – *Actinidia arguta*, *Rhododendron schlippenbachii*, *Schisandra chinensis*, *Armeniaca mandshurica* и др. (Kozhevnikov, 2007). Одним из решений проблемы сохранения генетического разнообразия региона могло бы стать создание заказника и питомника ДРКР непосредственно на Дальневосточной ОС ВИР и на прилегающих к ней территориях, то есть формирование современного рефугиума для редких эндемичных и реликтовых видов теплоумеренной и субтропической флоры Дальнего Востока.

Заключение

Экспедиционные исследования ВИР, проводившиеся с 1926 по 2023 г., охватили большинство территорий и природных зон южных районов Приморского края и некоторые в Наньбянь-Корейском АО (в Хасанско-Корейской ботанико-географической подобласти). В экспедициях собраны ДРКР, отличающиеся целым рядом ценных качеств: устойчивостью ко многим биотическим и абиотическим факторам, продуктивностью, питательной ценностью и др., на основе которых в дальнейшем вывели новые сорта плодовых культур, выращиваемые на Дальнем Востоке и в целом по России. Привлеченные в коллекцию ВИР образцы ДРКР позволили провести многие научные исследования: оценить с помощью морфологических, молекулярных и биохимических методов генетическое разнообразие ряда культур; уточнить ареалы их распространения; решить вопросы филогении и систематики для некоторых видов смородины, жимо-

лости, представителей трибы *Vicieae* сем. *Fabaceae* и др.; разработать внутривидовые классификации для некоторых ягодных культур.

Несмотря на то что за всю историю ВИР в этом регионе провели большое количество экспедиционных обследований, уровень мобилизации дикорастущих злаков, имеющих большое кормовое значение на Дальнем Востоке, остается низким и нуждается в дополнительных сборах.

За вековой период сотрудники ВИР провели огромную работу по мобилизации растительных ресурсов в коллекцию института, изучению ареалов распространения ДРКР на юге Приморья, выявлению уникальных образцов с ценными для селекции качествами.

References / Литература

- Burlyayeva M.O., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Bulintsev S.V., Aleksandrova T.G., Vishniyakova M.A. The increase of genetic diversity of wild grain legume relatives in the VIR collections as a result of collecting activities in 2008-2012. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2014;175(3):119-141. [in Russian] (Бурляева М.О., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Булынтцев С.В., Александрова Т.Г., Вишнякова М.А. Пополнение генофонда диких родичей зернобобовых культур в коллекции ВИР как результат экспедиционной деятельности отдела в 2008-2012 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2014;175(3):119-141).
- Czerepanov S.K. *Plantae vasculares Rossicae et civitatum col-limitaneorum (in limicis USSR olim)*. St. Petersburg: Mir i Semya; 1995. [in Russian] (Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995).
- Fruentov N.K. *Medicinal plants of the Far East (Lekarstvennye rasteniya Dalnego Vostoka)*. Khabarovsk: Khabarovsk Book Publishers; 1980. [in Russian] (Фруентов Н.К. Лекарственные растения Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное издательство; 1980).
- Galanin A.V., Galanina I.A. The Korean-Khasan botanical-geographical subregion (an essay on vegetation) (Koreysko-Khasanskaya botaniko-geograficheskaya podoblast (ocherk rastitelnosti)). In: *Monitoring and Biodiversity of Ecosystems in Siberia and the Far East: a collection of scientific articles (Monitoring i bioraznoobrazie ekosistem Sibiri i Dalnego Vostoka: sbornik nauchnykh statey)*. Nakhodka; 2012. p.93-114. [in Russian] (Галанин А.В., Галанина И.А. Корейско-Хасанская ботанико-географическая подобласть (очерк растительности). В кн.: *Мониторинг и биоразнообразие экосистем Сибири и Дальнего Востока: сборник научных статей*. Находка; 2012. С.93-114).
- Galanin A.V., Galanina I.A., Orlovskaya I.Yu. Plants on the plateau and volcano of Changbaishan (Rasteniya plato i vulkana Chanbaishan). Vladivostok; 2010. [in Russian] (Галанин А.В., Галанина И.А., Орловская И.Ю. Растения плато и вулкана Чанбайшань. Владивосток, 2010). URL: <http://geobotany.narod.ru/china5.htm> [дата обращения: 19.06.2024].
- Gvozdetsky N.A., Golubchikov Yu.N. *Mountains (Gory)*. Moscow: Mysl; 1987. [in Russian] (Гвоздецкий Н.А., Голубчиков Ю.Н. Горы. Москва: Мысль; 1987).
- Kobylyanskaya K.A. (comp.). *Catalogue of the VIR global collection. Issue 562. Information about intra-Union and foreign expeditions of VIR in 1981-1985 (Informatsiya o vnu-*

³ Приложение 2 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 2. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24>

⁴ Приложение 3 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 3. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-2-9-24>

- trisoynuznykh i zarubezhnykh ekspeditsiyakh VIR v 1981–1985 gg.). S.N. Bakhareva (ed.). Leningrad: VIR; 1990. [in Russian] [Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 562. Информация о внутрисоюзных и зарубежных экспедициях ВИР в 1981–1985 гг. / сост. К.А. Кобылянская; под ред. С.Н. Бахарева. Ленинград: ВИР; 1990].
- Kolesnikov B.P. V.L. Komarov and botanical-geographical zoning of the Soviet Far East. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 1957;(6):3-26. [in Russian] [Колесников Б.П. В.Л. Комаров и ботанико-географическое районирование советского Дальнего Востока. *Комаровские чтения*. 1957;(6):3-26].
- Kozhevnikov A.E. Endemic element in the Russian Far East flora. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 2007;(54):8-81. [in Russian] [Кожевников А.Е. Эндемичный элемент во флоре Российского Дальнего Востока. *Комаровские чтения*. 2007;(54):8-81].
- Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V. Taxonomic composition and special features of the natural flora in the Primorsky krai. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 2014;(62):7-62. [in Russian] [Кожевников А.Е., Кожевникова З.В. Таксономический состав и особенности природной флоры Приморского края. *Комаровские чтения*. 2014;(62):7-62].
- Krestov P.V. Suggestions to floristic subdivision of northern Asia on the base of comparative analysis of regional floras on the genus level. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 2005;(51):15-56. [in Russian] [Крестов П.В. Предложения к флористическому районированию северной Азии на основе сравнительного анализа флор на родовом уровне. *Комаровские чтения*. 2005;(51):15-56].
- Krivchenko V.I., Bakhareva S.N. Regional plant resources collecting expeditions in the USSR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1991;138:3-9. [in Russian] [Кривченко В.И., Бахарева С.Н. Региональные экспедиции в СССР по сбору растительных ресурсов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1991;138:3-9].
- Kurentsova G.E. Relict plants of Primorsky Territory (Reliktovye rasteniya Primorya). Leningrad: Nauka; 1968. [in Russian] [Куценцова Г.Э. Реликтовые растения Приморья. Ленинград: Наука; 1968].
- Kurina A.B., Korniyukhin D.L., Chebukin P.A. Exploration and collecting of wild *Lactuca* L. species, vegetable and cucurbit crop genetic resources in Primorsky and Khabarovsk Regions of the Russian Federation in 2017. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(1):13-22. [in Russian] [Курина А.Б., Корнюхин Д.Л., Чебукин П.А. Экспедиционное обследование территории Приморского и Хабаровского краев РФ в целях мобилизации диких видов рода *Lactuca* L., овощных и бахчевых культур в 2017 году. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(1):13-22. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-13-22].
- Meshcherov E.T., Kobylyanskaya K.A. (comp.). Catalogue of the VIR global collection. Issue 322. Plant resources of the Soviet Union (VIR expeditions of 1971–1980) (Rastitelnye resursy Sovetskogo Soyuza [ekspeditsii VIR 1971–1980 gg.]). E.T. Meshcherov (ed.). Leningrad: VIR; 1981. [in Russian] [Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 322. Растительные ресурсы Советского Союза (экспедиции ВИР 1971–1980 гг.) / сост.: Э.Т. Мещеров, К.А. Кобылянская; под ред. Э.Т. Мещерова. Ленинград: ВИР; 1981].
- Nedoluzhko V.A., Denisov N.I. Vascular flora of Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan) (Flora sosudistyykh rasteniy ostrova Russkiy [zaliv Petra Velikogo v Yaponskom more]). Vladivostok: Dalnauka; 2001. [in Russian] [Недолужко В.А., Денисов Н.И. Флора сосудистых растений острова Русский (залив Петра Великого в Японском море). Владивосток: Дальнаука; 2001].
- Pavlova N.S. To the study of the chemical composition of wild fodder legumes of the Russian Far East (K izucheniyu khimicheskogo sostava dikorastushchikh kormovykh bobovykh Rossiiskogo Dalnego Vostoka). In: *Biological Research at Gornotayezhnaya Station: collection of scientific papers. Issue 7 (Biologicheskije issledovaniya na Gornotayezhnoy stantsii: sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 7)*. Vladivostok: Dalnauka; 2001. p.78-97. [in Russian] [Павлова Н.С. К изучению химического состава дикорастущих кормовых бобовых Российского Дальнего Востока. В кн.: *Биологические исследования на Горнотаяжской станции: сборник научных трудов. Выпуск 7*. Владивосток: Дальнаука; 2001. С.78-97].
- Reports of the Plant Introduction Department of VIR for 1926–2019. Archive of the Introduction Department of VIR. [in Russian] [Отчеты отдела интродукции за 1926–2019 гг. Архив отдела интродукции ВИР].
- Sabitov A.S., Chebukin P.A., Zhang J., Burlyayeva M.O. Collecting genetic biodiversity of crop wild relatives in the Russian Far East and North-East China (materials of FEES/VIR missions from 2001 to 2013). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;175(4):28-45. [in Russian] [Сабитов А.Ш., Чебукин П.А., Чжан Ц., Бурляева М.О. Мобилизация генетического разнообразия диких родичей культурных растений Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая (по материалам экспедиций ДВОС ВИР 2001–2013 гг.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;175(4):28-45].
- Shcherbakov Ju.N. Expeditions of Institute in the USSR and to foreign countries. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1969;40(2):3-19. [in Russian] [Щербakov Ю.Н. Экспедиции института по СССР и в зарубежные страны. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1969;40(2):3-19].
- Shcherbakov Ju.N., Chikova V.A. The expeditions of the Institute within the USSR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1971;45(2):299-319. [in Russian] [Щербakov Ю.Н., Чикова В.А. Экспедиции института по СССР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971;45(2):299-319].
- Takhtajan A.L. Floristic regions of the Earth (Floristicheskiye oblasti Zemli). Leningrad: Nauka; 1978. [in Russian] [Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Ленинград: Наука; 1978].
- Valova Z.G. To some features of the flora and vegetation of the south of the Khasan region (K nekotorym osobennostyam flory i rastitelnosti yuga Khasanskogo rayona). *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 1964;(12):26-45. [in Russian] [Валова З.Г. К некоторым особенностям флоры и растительности юга Хасанского района. *Комаровские чтения*. 1964;(12):26-45].
- Vorobyev D.P., Voroshilov V.N., Gorovoy P.G., Shreter A.I. Key to plants of Primorsky and Amur regions (Opredelitel rasteniy Primorya i Priamurya). Moscow; Leningrad; 1966. [in Russian] [Воробьев Д.П., Ворошилов В.Н., Горовой П.Г., Шретер А.И. Определитель растений Приморья и Приамурья. Москва; Ленинград; 1966].
- Zoteyeva N.M., Komarova T.A. (comp.). Catalogue of the VIR global collection. Issue 682. Information about VIR's expeditions conducted in Russia, near and far foreign countries in 1986–1994 (Informatsiya ob ekspeditsiyakh VIR,

provedennykh na territorii Rossii, stran blizhnego i dal'nego zarubezhya v 1986–1994 gg.). L.E. Gorbatenko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1996. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 682. Информация об экспеди-

циях ВИР, проведенных на территории России, стран ближнего и дальнего зарубежья в 1986–1994 гг. / сост. Н.М. Зотеева, Т.А. Комарова; под ред. Л.Е. Горбатенко. Санкт-Петербург: ВИР; 1996).

Информация об авторах

Марина Олеговна Бурляева, 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, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Екатерина Александровна Крылова, 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, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Виолетта Владимировна Коцеруба, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, 197022 Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2, viola.kotseruba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1872-2223>

Павел Анатольевич Чебукин, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморская плодово-ягодная опытная станция – филиал Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, chebukin@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8641-5888>

Андрей Шамильевич Сабитов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР, 690025 Россия, Владивосток, ул. Вавилова, 9, andrsabitov@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8798-6464>

Information about the authors

Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Ekatерина A. Krylova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Violetta V. Kotseruba, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2 Professora Popova Street, St. Petersburg 197022, Russia, viola.kotseruba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1872-2223>

Pavel A. Chebukin, Cand. Sci. (Agriculture), Director, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorskaya Fruit-Berry Experimental Station – branch of the FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlement, Ussuriysk 692539, Russia, chebukin@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8641-5888>

Andrei Sh. Sabitov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Far East Experiment Station – branch of VIR, 9 Vavilova St., Vladivostok 690025, Russia, andrsabitov@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8798-6464>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; одобрена после рецензирования 02.05.2025; принята к публикации 27.05.2025. The article was submitted on 12.07.2024; approved after reviewing on 02.05.2025; accepted for publication on 27.05.2025.

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 581.6:581.9:58.009(571.56)

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-25-36



Таксономический, флористический, эколого-географический анализ диких родичей культурных растений Якутии и приоритетные к сохранению виды

Г. В. Таловина^{1,2}, А. С. Кутукова^{2,3}, Т. С. Слепцов^{1,2}

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

² Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

³ Научно-технологический университет «Сирцус», Центр генетики и наук о жизни, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Тимур Степанович Слепцов, slepsovtimur00@gmail.com

Территория Якутии охватывает значительные по площади пространства, располагаясь на северо-востоке азиатской части России, причем 40% площади расположено за Полярным кругом. Природные и климатические характеристики республики характеризуются большой амплитудой и неоднородностью. Возможность найти искомый материал для отбора нужных для селекции качеств велика среди диких родичей культурных растений (ДРКР).

С целью систематизации накопленных сведений, на основе имеющихся литературных данных, а также с учетом полученных сведений по результатам собственных полевых обследований (экспедиции 2011, 2020, 2022 и 2023 г.) проведен таксономический, флористический и эколого-географический анализ видового состава ДРКР Якутии. Список ДРКР Якутии составил 287 видов, или 15% от общего количества видов флоры изучаемого региона. Наибольшее число видов содержит семейство Rosaceae, затем следуют Fabaceae и Rosaceae; ведущие роды – *Poa*, *Festuca*, *Papaver*. Наиболее высокая концентрация ДРКР характерна для растительности долинного комплекса, чуть менее многочисленны исследуемые виды в растительных сообществах открытых склонов, умеренно разнообразны ДРКР вторичных рудеральных и сегетальных биотопов, меньшая доля видов характерна для лесов на водоразделах, и самая низкая встречаемость отмечена на болотах. 85% видов от общего числа ДРКР Якутии относятся к аборигенному компоненту исследуемой флоры, остальные 15% – к адвентивному. Составлен список из 33 видов ДРКР, которые рекомендованы к сохранению. Лучший вариант сохранения – в составе природных растительных сообществ, особенно на территории ООПТ. Для всех видов ДРКР целесообразен мониторинг состояния популяций. Необходимо продолжать изучение видового разнообразия ДРКР, получать данные о распространении видов, состоянии их популяций как в целом на территории региона, так и в отдельных районах Якутии.

Ключевые слова: селекция, исходный материал, генетические ресурсы растений, сохранение *in situ*

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственного задания Якутского НИИСХ имени М.Г. Сафронова – обособленного подразделения ЯНЦ СО РАН: «Комплексные исследования по определению факторов и механизмов устойчивости растений в условиях Якутии, пополнение коллекции генетических ресурсов растений в криолитозоне» (FWRS-2024-0084).

Авторы благодарят коллектив Национального парка «Ленские столбы» за разрешение на проведение и сопровождение экспедиции в 2022–2023 гг.

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

Для цитирования: Таловина Г.В., Кутукова А.С., Слепцов Т.С. Таксономический, флористический, эколого-географический анализ диких родичей культурных растений Якутии и приоритетные к сохранению виды. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):25-36. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-25-36

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-25-36

Taxonomic, floristic and ecogeographic analyses of crop wild relatives in Yakutia, and the list of species for priority conservation

Galina V. Talovina^{1,2}, Anastasiia S. Kutukova^{2,3}, Timur S. Sleptsov^{1,2}¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia³ Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, Krasnodar Territory, Russia**Corresponding author:** Timur S. Sleptsov, sleptsovtimur00@gmail.com

The territory of Yakutia covers a significant area in the northeast of the Asian part of Russia, with 40% of the area located beyond the Arctic Circle. A large amplitude and heterogeneity characterize the republic's nature and climate. There are plenty of opportunities to find source material with traits required for breeding among local crop wild relatives (CWR).

Taxonomic, floristic and ecogeographic analyses of the CWR species composition in Yakutia were conducted to systematize the available information accumulated from the published data and the results of our own field surveys (expeditions of 2011, 2020, 2022, and 2023). The list of CWR occurring in Yakutia came to include 287 species (about 15% of the total number of plant species in the studied region). Families and genera with the highest diversity of species were identified. The highest concentration of CWR was found in the vegetation of the valley complex. Plant communities on open slopes were slightly less numerous, CWR of secondary ruderal and segetal biotopes were moderately diverse, a smaller proportion of species characterized the forests on watersheds, and the lowest occurrence was observed in swamps. Eighty-five percent of the CWR species belonged to the native component of the surveyed flora, and the remaining 15% to the adventitious one. We recommend monitoring the status of rare CWR species populations. A list of 33 CWR species recommended for conservation was compiled. The best conservation technique is within natural plant communities, especially in the protected areas of the Natural Reserves. It is necessary to continue studying the CWR diversity and obtaining data on the distribution of CWR species and the state of their populations both across the entire region and in individual areas of Yakutia.

Keywords: breeding, source material, plant genetic resources, *in situ* conservation

Acknowledgements: the research was conducted within the framework of the state task assigned to the M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – subdivision of the Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: "Comprehensive studies to determine the factors and mechanisms of plant resistance in Yakutia, replenishment of the collection of plant genetic resources in the cryolithozone" (FWRS-2024-0084).

The authors are grateful to the staff of the Lena Pillars National Park for permission to conduct the 2022/2023 expedition and support.

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

For citation: Talovina G.V., Kutukova A.S., Sleptsov T.S. Taxonomic, floristic and ecogeographic analyses of crop wild relatives in Yakutia, and the list of species for priority conservation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):25-36. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-25-36

Введение

Разнообразие свойств исходного материала актуально для селекции новых сортов, приспособленных к изменяющимся условиям внешней среды, болезням и вредителям. Возможность найти искомый материал для отбора нужных качеств велика среди диких родичей культурных растений (ДРКР).

Республика Саха (Якутия) относится к самому крупному региону Российской Федерации, расположена в самой континентальной части Евразийского континента. Это обстоятельство приводит к зимнему переохлаждению и летнему перегреву суши. Территория имеет общий уклон с юга на север, и почти все хребты вытянуты в этом же направлении, поэтому большое влияние на формирование климата оказывает Северный Ледовитый океан, с которым республика граничит на севере.

Растительный покров Якутии весьма неоднороден. Здесь в основном распространены две группы растительности: арктическая и бореальная.

Изучение ДРКР Якутии актуально в настоящее время по причине обширности территории и труднодоступности большинства ее районов. В соответствии с уточненной таксономической обработкой флоры Якутии, в ее состав входят 1950 видов, 133 подвида и 34 разновидности сосудистых растений, объединенных в 525 родов, 113 семейств (Nikolin, 2020). На сегодняшний день уже накоплен значительный материал по инвентаризации и изучению ДРКР Якутии (Danilova et al., 2013; Talovina, 2020; Talovina et al., 2022), Олекминского заповедника (Danilova, Korobkova, 2014), национального парка «Ленские столбы» (Zakharova, 2001), Якутского ботанического сада (Danilova et al., 2014). С учетом всех имеющихся данных были поставлены задачи: на основе уточненного списка видов ДРКР Якутии провести таксономический, флористический и эколого-географический анализ видового разнообразия, а также составить список рекомендованных к первоочередному сохранению видов ДРКР.

Материалы и методы

Объектом исследования данной работы послужили виды ДРКР Якутии, которые изучались в ходе экспедиционных обследований 2011, 2020, 2022 и 2023 г. (собранный

новый гербарный материал хранится в ВИР и Якутском НИИСХ), а также на основе гербарных коллекций (WIR, LE) и опубликованных данных (Zakharova, 2001; Kuznetsova, Zakharova, 2012; Danilova et al., 2013, 2014; Danilova, Korobkova, 2014; Danilova, 2017; Nikolin, 2020; Talovina, 2020; Talovina et al., 2022). Названия флористических районов даются согласно флористическому районированию Якутии (Nikolin, 2020). Оценка приоритетных к сохранению объектов проводилась по критерию редкости в соответствии с методикой сохранения *in situ* генетических ресурсов растений (Maxted et al., 1997).

Таксономическое разнообразие диких родичей культурных растений Якутии

Уточненный в результате проведенного исследования список диких родичей культурных растений флоры Якутии насчитывает 287 видов ДРКР, что составляет почти 15% от всей флоры высших растений региона.

По количеству видов ДРКР явно преобладает семейство *Рoaceae* (38% от общего числа видов ДРКР), затем, со значительной разницей, следует семейство *Fabaceae* (11%) и далее – *Rosaceae* (чуть менее 7%). Остальные семейства из десятка ведущих расположены по мере снижения числа видов – *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*, *Papaveraceae*, *Alliaceae*, *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Grossulariaceae* – и включают от 16 до 8 видов (рис. 1).

По одному виду ДРКР насчитывают семейства *Cannabaceae* (*Cannabis sativa* L.), *Malvaceae* (*Malva verticillata* L.), *Sambucaceae* (*Sambucus sibirica* Nakai), *Saxifragaceae* (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch), *Solanaceae* (*Solanum kitagawae* Schonbeck-Temesy); по два – *Amaranthaceae* (виды *Amaranthus* L.); по три – *Asteraceae* (роды *Artemisia* L., *Cichorium* L., *Lactuca* L. [*Mulgedium* Cass.]), *Caprifoliaceae* (*Lonicera* L.), *Hypericaceae* (*Hypericum* L.), *Linaceae* (*Linum* L.); четыре вида в семействе *Apiaceae*; пять – *Urticaceae* и шесть – *Ericaceae*. С семью видами нет ни одного семейства, восемь видов и более включает десятка ведущих семейств (см. рис. 1).

По количеству родов семейства расположились в несколько ином порядке. По одному роду из списка ДРКР флоры Якутии содержат семейства *Alliaceae*, *Amaranthaceae*, *Cannabaceae*, *Caprifoliaceae*, *Grossulariaceae*, *Hypericaceae*, *Linaceae*, *Malvaceae*, *Papaveraceae*, *Sambucaceae*, *Saxifragaceae*, *Solanaceae*, *Urticaceae*. Все остальные

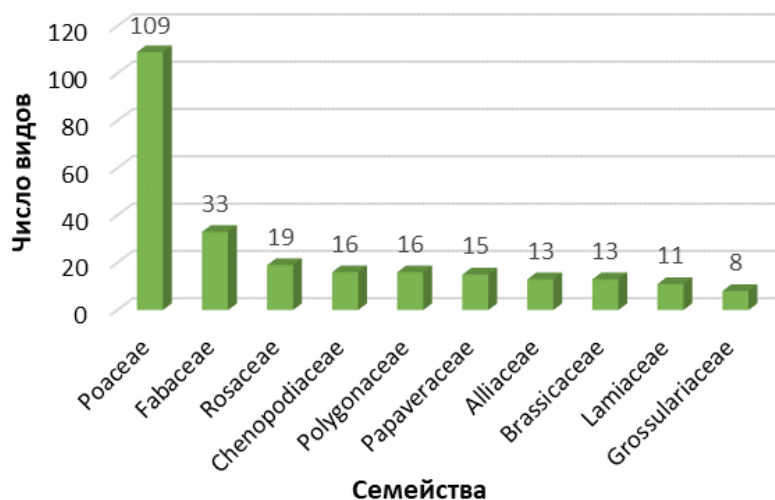


Рис. 1. Спектр 10 ведущих семейств по числу видов диких родичей культурных растений Якутии

Fig. 1. The spectrum of the 10 leading families according the number of species of crop wild relatives in Yakutia

семейства входят в десять ведущих, начиная с *Ericaceae* (2 рода), *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Polygonaceae* (по 3 рода), продолжая по возрастанию: *Lamiaceae* (5 родов), *Chenopodiaceae* (6 родов), далее – по 8 родов – *Fabaceae* и *Brassicaceae*, и заканчивая вторым по разнообразию *Rosaceae* (9 родов) и сохранившим ведущим положение семейством *Poaceae* (21 род) (рис. 2).

Анализ родов ДРКР Якутии показал, что самый многочисленный род – мятлик (*Poa* L.), в составе которого 30 видов, другой род злаков – овсяница (*Festuca* L.) – представлен 16 видами, далее следуют мак (*Papaver* L.), пырейник (*Elymus* L.), щавель (*Rumex* L.), горошек (*Vicia* L.), чина (*Lathyrus* L.), смородина (*Ribes* L.), полевица (*Agrostis* L.) (рис. 3). На последнем месте в десятке ведущих родов расположились лук (*Allium* L.), марь (*Chenopodium* L.), лисохвост (*Alopecurus* L.) и трищетинник (*Trisetum* Pers.) – по 6 видов.

Изучение местообитаний, характерных для видов ДРКР Якутии

При изучении местообитаний, характерных для видов ДРКР, все основные местообитания Якутии были условно разделены на группы, объединяющие несколько типов местообитаний, для того, чтобы избежать излишнего дробления и выявить соотношение встречаемости диких родичей в разных биотопах (рис. 4). Самой обширной оказалась группа растительных сообществ долинных лесов, пойменных лугов и зарослей кустарников, песчаных и галечных берегов рек – 143 вида; почти такой же многочисленной – 131 вид – получилась группа растительных сообществ, расположенных на открытых склонах (щебнистые, каменистые склоны и осыпи, тундры, альпийские луга, степные склоны). Отмечается умеренное разнообразие ДРКР в составе вторичных биотопов – 86 видов, произрастающих в рудеральных и сегетальных

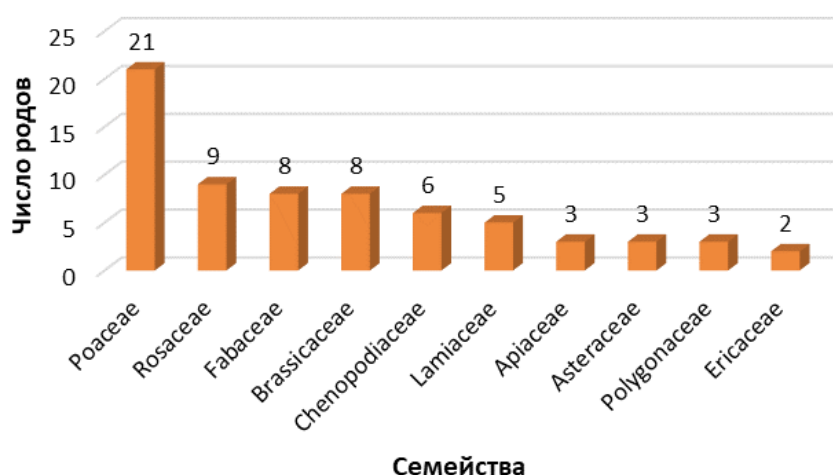


Рис. 2. Спектр 10 ведущих семейств по числу родов диких родичей культурных растений Якутии

Fig. 2. The spectrum of the 10 leading families according the number of genera of crop wild relatives in Yakutia

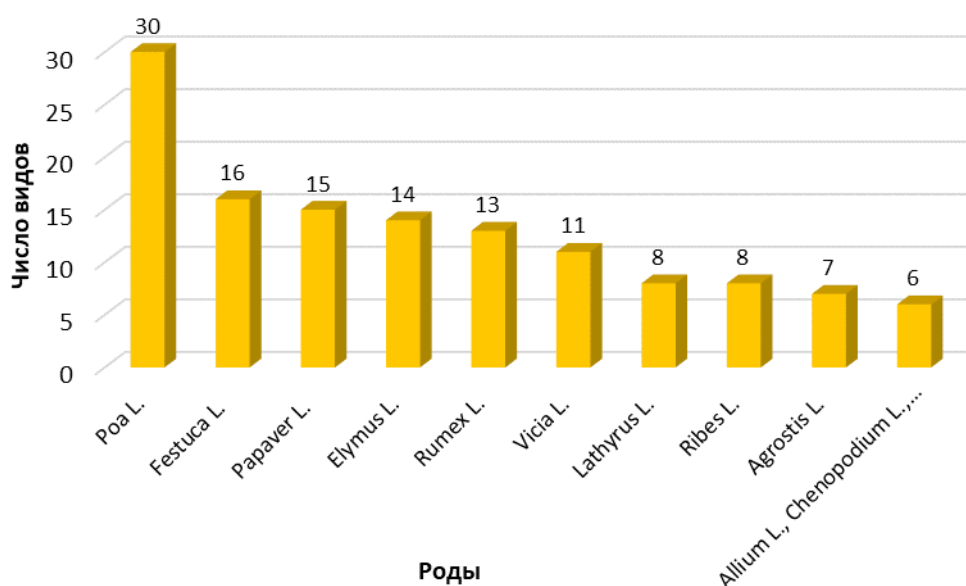


Рис. 3. Спектр 10 ведущих родов по числу видов диких родичей культурных растений Якутии

Fig. 3. The spectrum of the 10 leading genera according the number of species of crop wild relatives in Yakutia

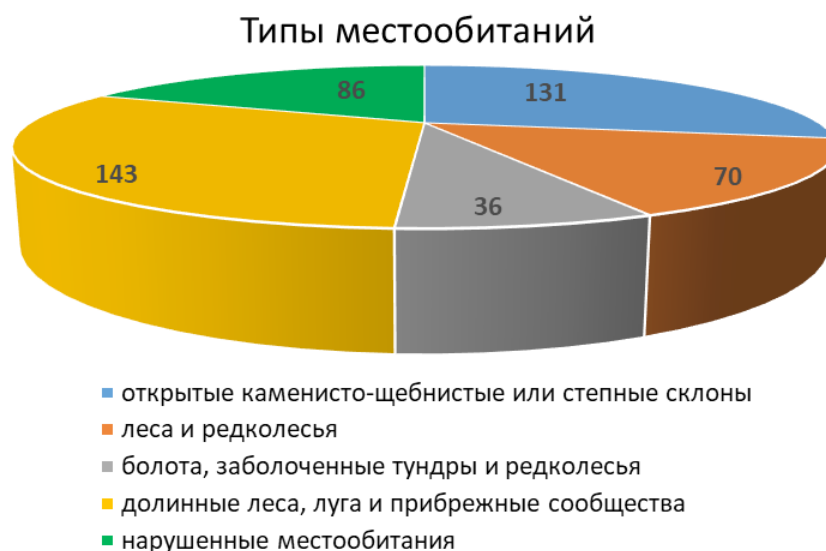


Рис. 4. Распределение видов диких родичей культурных растений Якутии по типам местообитаний

Fig. 4. Distribution of the species of crop wild relatives in Yakutia according to the types of their habitats

фитоценозах (обочины дорог, антропогенные луга, газоны населенных пунктов, огороды, посевы); 70 видов характерны для лесных фитоценозов на водоразделах (сухие лиственничные или смешанные леса и редколесья, опушки); самая низкая встречаемость ДРКР – 36 видов – в заболоченных биотопах (болота, заболоченные тундры и редколесья, солонцовые луга).

Некоторые виды ДРКР произрастают в широком спектре различных местообитаний, другие узко приурочены к каким-то определенным. Так, ревень компактный (*Rheum compactum* L.) растет в сухих лиственничниках с кедровым стлаником, подгольцовых лиственничных редколесьях, дриадовых тундрах, горных лугах, на щебнистых склонах, каменистых россыпях, в сырых долинах горных рек, на опушках леса, в прибрежных кустарниках, ерниковых сфагновых болотах. Среди обитателей альпийского и субальпийского горных поясов есть стено-топные виды ДРКР: трищетинник алтайский (*Trisetum altaicum* Roshev.) и т. монгольский (*T. mongolicum* (Hulten)

Peschkova), которые встречаются только на высокогорных лугах и галечниках (Nikolin, 2020).

Лук ветвистый (*Allium ramosum* L.) указан в Верхне-Ленском и Центрально-Якутском флористических районах, произрастая от юго-западной границы республики до г. Якутска на степных и щебнистых склонах, скалах, лесных опушках. Здесь вид находится на крайнем северо-восточном пределе своего распространения. Это растение представляет интерес для селекции в качестве пищевого; кроме того, этот лук декоративен во время цветения. В 2022 г. популяция вида обнаружена нами в долине реки Лены, в окрестностях с. Ой Немюгюнского наслега Хангаласского улуса (района) на степном склоне (рис. 5).

Обычные лесные виды из числа ДРКР, такие как шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), в ходе проведенных маршрутов часто отмечались в составе травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов (рис. 6, а). Земляника восточная (*Fra-*



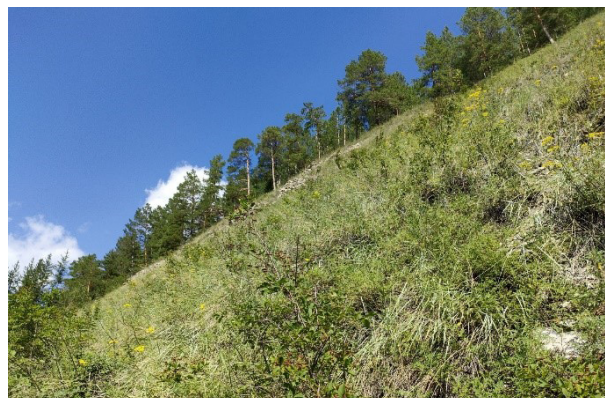
Рис. 5. Лук ветвистый *Allium ramosum* L. (15.07.2022), Якутия (Хангаласский улус, Немюгюнский наслег, окр. с. Ой, в средней части склона в степном сообществе): а – местообитание лука (луговая ложбина на сухом склоне); б – общий вид растения и соцветие (фото Г. В. Таловиной)

Fig. 5. Fragrant-flowered garlic *Allium ramosum* L. (July 15, 2022), Yakutia (Khangalassky Uls, Nemyugyunsky Nasleg, vicinity of Oi Village, the middle part of a slope in the steppe community): а – plant habitat (a meadow gully on a slope); б – general view of the plant and its inflorescence (photos by Galina V. Talovina)



a

Сосняк с брусникой и шиповником иглистым / Pine forest with lingonberries and prickly wild roses



b

Разнотравно-злаковое степное сообщество на склоне коренного берега р. Буотамы / Forb-grass steppe community on the bedrock slope at the Buotama river bank



c

Разнотравная луговая растительность по правому берегу р. Буотамы / Forb meadow vegetation along the right bank of the Buotama River



d

Ячмень гривастый (*Hordeum jubatum* L.) на засоленном сухом полынно-пырейном лугу в окр. пос. Марха / Foxtail barley (*Hordeum jubatum* L.) on a saline dry wormwood-wheatgrass meadow in the vicinity of Markha Village



e

Злаково-разнотравное сообщество с хреном гулявниковидным (*Armoracia sisymbrioides* (DC.) Cajander) на берегу р. Таммы / Siberian horseradish (*Armoracia sisymbrioides* (DC.) Cajander) in a grass-forb meadow along the bank of the Tamma River



f

Хрен гулявниковидный, в изобилии растущий на газонах Якутска / Siberian horseradish growing in abundance on the lawns of Yakutsk

Рис. 6. Местобитания видов диких родичей культурных растений по данным экспедиций:
a–c – в Национальном парке «Ленские столбы», 19–24 июля 2023 г.; d–f – в окр. г. Якутска, 12–21 июля 2020 г.
(фото Г. В. Таловиной)

Fig. 6. Habitats of CWR species according to the expedition data:
a–c – in the Lena Pillars National Park, July 19–24, 2023; d–f – vicinity of the town of Yakutsk, July 12–21, 2020
(photos by Galina V. Talovina)

garia orientalis Losinsk.) изредка встречалась в травяно-кустарничковом ярусе хвойных или смешанных лесов, кустарниковый ярус в этих сообществах, как правило, представлен спиреей средней (*Spiraea media* Schmidt), боярышником (*Crataegus dahurica* Koehne ex C.K. Schneid.), кизильником (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt), шиповником иглистым. Более насыщенными ДРКР, но реже встречаемыми и меньшими по площади являются фитоценозы, располагающиеся на открытых хорошо прогреваемых склонах. Например, на крутом склоне юго-западной экспозиции коренного берега реки Буотамы (рис. 6, б) в Национальном парке «Ленские столбы» в 2023 г. был обследован состав петрофитного растительного сообщества на каменистом субстрате, где среди кустарников кизильника черноплодного и спиреи средней произрастали куртинками чабрец монгольский (*Thymus mongolicus* (Ronniger) Ronniger), пырейник сибирский (*Elymus sibiricus* L.), горошек приятный (*Vicia amoena* Fisch.), расцененокотовник многонадрезанный (*Schizonepeta multifida* (L.) Briq.). Ближе к основанию склона среди густых зарослей можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) рос копеечник шерстистоплодный (*Hedysarum dasycarpum* Turcz.). На каменистом берегу реки Буотамы в месте впадения ручья, по опушке смешанного леса из сосны, ели, березы, среди зарослей кустарников шиповника и кизильника было отмечено разнотравное луговое сообщество (рис. 6, с), куда входили: горошек приятный, клевер люпиновидный (*Trifolium lupinaster* L.), лук стелющийся (*Allium prostratum* Trevir.). У берега по урезу воды среди ивняка и осоки произрастала мята полевая (*Mentha arvensis* L.). Такой комплекс растительности в целом характерен для береговой части реки Буотамы.

На территории Национального парка «Ленские столбы» также были обследованы вторичные разнотравные, разнотравно-злаковые луга на залежах в пойме реки Буотамы. В составе разнотравно-овсяницево-мятликового луга преобладали мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), полевица Триниуса (*Agrostis trinii* Turcz.), а также луговые травы, не относящиеся к ДРКР: тысячелистник (*Achillea millefolium* L.), гравилат алеппский (*Geum aleppicum* Jacq.), лапчатка лежащая (*Potentilla supina* L.), полынь замещающая (*Artemisia commutata* Besser). Вдоль проселочной дороги в окрестностях Якутска близ пос. Марха на засоленном сухом полынно-пырейном лугу обильно рос ячмень гривастый (*Hordeum jubatum* L.) (рис. 6, d). Хрен гулявниковидный (*Armoracia sisymbrioides* (DC.) Cajander) был отмечен в изобилии как в составе злаково-разнотравного луга близ бровки обрыва к руслу р. Таммы (рис. 6, е), так и в качестве часто встречающегося вида на газонах Якутска (рис. 6, f).

Дикие родичи культурных растений Якутии в составе аборигенного и адвентивного компонента флоры

К аборигенному компоненту исследуемой флоры относятся 245 видов, или 85%, от общего числа ДРКР Якутии. В целом местная флора существует в очень широком спектре климатических и экологических условий, находя для себя ниши от арктических тундр, болот, таежных лесов до степей и альпийских высокогорий. Некоторые аборигенные виды Якутии хорошо приспосабливаются к произрастанию в условиях антропогенной нагрузки. Ярким примером может послужить *Armoracia sisymbrioides* (рис. 6, е, f). Эндемичный для Сибири и Дальнего вос-

тока России вид в Якутии распространен во всех, кроме Колымского, флористических районах и характерен для пойменных лугов, но при этом хорошо чувствует себя в городских условиях Якутска, обильно произрастая на газонах, в парках, на обочинах дорог.

Адвентивный компонент флоры Якутии насчитывает 42 представителя, или 15% от числа ДРКР, которые являются рудеральными или сорными. Чужеродные для исследуемой флоры виды появились благодаря заносу с транспортом, посадочным материалом или через посевы определенных культур. Некоторые заносные виды расселяются из посевов, внедряясь в рудеральные природные сообщества. Например, виды амаранта, или ширяцы, – *Amaranthus blitoides* S. Wats. и *A. retroflexus* L. указываются для полей, огородов, залежей, причем первый из видов амаранта встречается только в Центрально-Якутском флористическом районе в долине Туймаада, севернее г. Якутска и в долине Энсиэли, а второй, кроме упомянутого флористического района, также отмечается для Верхне-Ленского и Алданского. Таран растопыренный (*Aconogonon divaricatum* (L.) Nakai ex Mori) нередко распространен в рудеральных растительных сообществах Верхне-Ленского, Алданского и Центрально-Якутского флористических районов.

Рекомендации по сохранению диких родичей культурных растений Якутии

Для сохранения генофонда ДРКР необходимо сформировать список растительных объектов, нуждающихся в приоритетном сохранении, уточнить места их произрастания, благодаря чему становится возможным осуществление мониторинга видов в составе природных растительных сообществ, то есть *in situ*.

В Красную книгу Якутии (Danilova, 2017) включены 23 вида из числа ДРКР Якутии (таблица). Во-первых, это сокращающиеся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний виды (отнесены в Красной книге Якутии к категории 2а): лук стелющийся и л. ветвистый, крашенинниковия холмовая (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.), карагана гривастая (*Caragana jubata* (Pall.) Poir.) – реликт третичного периода, имеющая изолированное от основного центральноазиатского ареала местонахождение, и термописис якутский (*Thermopsis lanceolata* subsp. *jacutica* (Czeffr.) Schreter) – эндемичный для Центральной Якутии подвид. Во-вторых, это узкоареальные эндемики (категория 3а): пырей мохнатый (*Elytrigia villosa* (Drob.) Tzvel.), овсяница Караваева (*Festuca karavaevii* E. Alexeev), о. Скрябина (*F. skrjabinii* E. Alexeev), мак щетинистый (*Papaver setosum* (Tolm.) Pesckhova), щавель якутский (*Rumex jacutensis* Kom.). В-третьих, это виды, имеющие значительный ареал, но в пределах Якутии встречающиеся спорадически и с небольшой численностью популяций (категория 3б): зверобой большой (*Hypericum ascyron* L.), з. Геблера (*Hypericum gebleri* Ledeb.), мак Чекановского (*Papaver czekanowskii* Tolm.), овсяница Комарова (*Festuca komarovii* Krivot.), мятлик укороченный (*Poa abbreviata* R. Br.), м. нитестебельный (*Poa filiculmis* Roshev.). Например, мятлик укороченный в Якутии очень редко встречается в каменистых и щебнистых тундрах Арктического флористического района (хребет Туора-Сис, гора Сокуйдах Хая, Медвежьих острова) (Nikolin, 2020), распространение в России лежит в арктической части от Восточной Сибири в бассейнах рек Лены, Колымы, Хатанги, Индигирки до Дальнего Востока (бассейн реки Анадырь).

Таблица. Виды диких родичей культурных растений, рекомендованные к сохранению на территории Якутии: местообитания и встречаемость видов даны по «Определителю высших растений Якутии» (Nikolin, 2020)

Table. Species of crop wild relatives recommended for conservation in Yakutia: habitats and occurrence of species are given according to Key to higher plants of Yakutia (Nikolin, 2020)

Вид / Species	Типичные местообитания / Typical habitats	Встречаемость и распространение / Occurrence and distribution
<i>Allium maackii</i> (Maxim.) Prokh. ex Kom. – лук Маака	Лиственничные и елово-лиственничные леса, россыпи камней и осыпи, скалы, реже разнотравные луговые участки, до тундрового пояса	Редко. Алданский фл. р-н (верховье р. Алдан; хребет Токинский Становик)
<i>Allium maximowiczii</i> Regel – лук Максимовича	Сырые заболоченные луга по песчаным и галечниковым заиленным берегам рек и озер	Редко. Алданский фл. р-н (верховье р. Алдан; хр. Токинский Становик), Верхне-Ленский фл. р-н (окр. г. Олёкминска)
<i>Allium prostratum</i> Trev – лук стелющийся	Сухие хвойные леса, остепненные луга, степные склоны, скалы	Алданский, Верхне-Ленский, Центрально-Якутский, Яно-Индибирский фл. р-ны
<i>Allium ramosum</i> L. – лук ветвистый	Остепненные луга, степи, щебнистые склоны, скалы, лесные опушки, разреженные ивняки	Центрально-Якутский, Верхне-Ленский фл. р-ны
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i> (L.) Gueldenst. – крашенинниковия хохолковая (<i>K. lenensis</i> (Kuminova) Tzvelev – к. ленская)	Каменно-щебнистые остепненные склоны в долине р. Лены	Верхне-Ленский фл. р-н (15–20 км выше г. Олёкминска) и Центрально-Якутский (склоны на левобережье р. Лены)
<i>Caragana jubata</i> (Pall.) Poir. – карагана гривастая	Известняковые каменистые и щебнистые склоны в тундре, горные лиственничные редколесья	Очень редко. Арктический фл. р-н (низовья р. Лены: север Хараулахского хребта, кряж Чекановского)
<i>Lathyrus aleuticus</i> (Greene) Pobed. – чина алеутская	Песчаные и иловатые морские берега, каменистые морские берега	Редко. Арктический фл. р-н (Булунский улус: пос. Кумах-Сурт, о. Тит-Ары, дельта р. Лены, устья рек Кунги и Сого; Нижне-колымский улус: устье р. Колымы)
<i>Lathyrus pisiformis</i> L. – чина гороховидная	Опушки березовых рощ (чаранов)	Редко. Верхне-Ленский фл. р-н (пос. Пеледуй), Центрально-Якутский фл. р-н (долина р. Вилюй в Сунтарском улусе: Хаданский наслег)
<i>Trifolium eximium</i> Stev. ex DC. – клевер отменный	Галечники, бечевники, песчаные поймы горных рек	Очень редко. Алданский фл. р-н (Олёкмо-Витимский водораздел, реки Идюм, Хани)
<i>Thermopsis lanceolata</i> subsp. <i>jacutica</i> (Czeffr.) Schreter – термопсис якутский	Степи, сухие солончаки, опушки сосновых лесов, безлесные щебнистые или каменистые склоны, залежи, рудеральные сообщества	Довольно редко. Центрально-Якутский фл. р-н (низовье р. Вилюй, окр. Якутска, Лено-Амгинское междуречье). Эндемичный подвид
<i>Vicia venosa</i> (Willd. ex Link) Maxim – вика жилковая	Смешанные влажные леса, заросли кустарников	Верхне-Ленский, Центрально-Якутский фл. р-ны
<i>Hypericum ascyron</i> L – зверобой большой	Травянистые березовые леса, приречные кустарники, пойменные луга	Алданский, Верхне-Ленский фл. р-ны
<i>Hypericum gebleri</i> Ledeb. – зверобой Геблера	Опушки лесов, вырубки, прибрежные галечно-песчаные отложения, пойменные разнотравные луга, пойменные кустарники	Редко. Алданский фл. р-н (среднее течение р. Олёкмы, р. Алдан – 18 км ниже пос. Эльдикан и устье р. Учур), Верхне-Ленский фл. р-н (устье р. Торго)
<i>Mentha dahurica</i> Benth. – мята даурская	Прибрежные луга, болотистые места	Редко. Верхне-Ленский фл. р-н (окр. пос. Витим)

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Вид / Species	Типичные местообитания / Typical habitats	Встречаемость и распространение / Occurrence and distribution
<i>Origanum vulgare</i> L. – душица обыкновенная	Сухие склоны, сорные места	Редко. Верхне-Ленский фл. р-н (окр. г. Олёкминска, с. Пеледуй, долина р. Пильки)
<i>Papaver anjuicum</i> Tolm. – мак анжуйский	Щебнистые дриадовые тундры, обнажения камней (щебня), байджарахи	Заходит в Колымский сектор Арктики со стороны Чукотки. Встречается редко. Арктический фл. р-н (Медвежьего острова, мыс Крутая Дресва, пос. Амбарчик, Петушки, р. Сухарная)
<i>Papaver czekanowskii</i> Tolm. – мак Чекановского	Открытые глинисто-каменистые участки в холмистой тундре, галечники	Арктический фл. р-н (восточнее р. Оленёк; наиболее обычен в приустьевой части рек Оленёк, Лены)
<i>Papaver indigiricense</i> Jurtz. – мак индигирский	Сухие щебнистые южные склоны в подгольцово-кустарниковом и тундровом поясах гор	Яно-Индигирский фл. р-н (хр. Сунтар-Хаята; Нерское плоскогорье: низовье р. Неры)
<i>Papaver lapponicum</i> (Tolm.) Nordh. subsp. <i>orientale</i> Tolm. – мак восточный	Умеренные сухие тундровые склоны возвышенностей, бугры и валики полигонально-валиковых болот, альпийно-типные лужайки горных рек и ручьев, лиственничные редколесья, разреженные заросли кустарников	Оленёкский, Яно-Индигирский, Колымский, Арктический фл. р-ны
<i>Papaver paucistaminum</i> Tolm. & Petrovsky – мак немноготычинковый	Разнотравно-кустарничковые моховые тундры среднего уровня увлажнения	Арктический фл. р-н (пос. Саскылах, кряж Прончищева, север Хараулахского хр.)
<i>Papaver setosum</i> (Tolm.) Pesckhova – мак щетинистый	Бечевники, сухие луга в долинах рек, речной аллювий, каменистые склоны гор	Очень редко. Арктический (р. Унгра в басс. р. Алдан), Верхне-Ленский фл. р-ны (низовье р. Олёкмы)
<i>Elytrigia villosa</i> (Drob.) Tzvel. – пырей мохнатый	Степные склоны, песчаные степи, полукрепленные пески (тукуланы), остепненные заросли кустарников, сосновые боры, опушки смешанных и сосновых лесов	Алданский, Центрально-Якутский, Оленёкский, Яно-Индигирский фл. р-ны. Реликтовый эндемик Якутии
<i>Festuca baffinensis</i> Polun. – овсяница Баффинова	Каменистые тундры	Очень редко. Колымский, (оз. Дарпир), Арктический (Медвежьего острова) фл. р-ны
<i>Festuca chionobia</i> Egor. & Sipl. – овсяница приснеговая	Дриадовые тундры, опушки ивняков, каменистые и щебнистые склоны, скалы, влажные берега рек и ручьев	Алданский фл. р-н (хр. Токинский Становик, Алдано-Учурский, кряж Зверева)
<i>Festuca hyperborea</i> Holmen ex Frederiksen – овсяница северная	Щебнистые склоны	Редко. Арктический фл. р-н (пос. Тикси, мыс Святой нос, Медвежьего острова)
<i>Festuca karavaevii</i> E.Alexeev – овсяница Караваева	Эоловые пески (тукуланы)	Эндемик Якутии известный из одного пункта: близ оз. Ниджели (Центрально-Якутский фл. р-н)
<i>Festuca komarovii</i> Krivot. – овсяница Комарова	Известняковые скалы, каменистые осыпи, галечники	Очень редко. Верхне-Ленский фл. р-н (устье р. Олёкмы, с. Бирюк)
<i>Festuca pseudosulcata</i> Drob. – овсяница ложнобороздчатая	Сухие хвойные леса, заросли кустарников, степи, каменистые склоны	Редко. Верхне-Ленский фл. р-н

Таблица. Окончание

Table. The end

Вид / Species	Типичные местообитания / Typical habitats	Встречаемость и распространение / Occurrence and distribution
<i>Festuca skrbabinii</i> E. Alexeev – овсяница Скрябина	Эоловые пески (тукуланы)	Эндемик Якутии, известный из одного пункта: близ оз. Ниджели (Центрально-Якутский фл. р-н)
<i>Poa abbreviata</i> R. Br. – мятлик укороченный	Каменистые и щебнистые тундры	Очень редко. Арктический фл. р-н (хр. Туора-Сис: гора Сокуйдаха Хая)
<i>Poa filiculmis</i> Roshev. – мятлик нитестебельный	Приречные пески, галечники	Редко. Арктический, Оленёкский, Яно-Индибирский, Колымский фл. р-ны
<i>Rheum compactum</i> L. – ревень компактный	Лиственничные леса и редколесья, опушки лесов, заросли кедрового стланика, прибрежные кустарники, дриадные тундры, горные луга, ерниковые сфагновые болота, сырые долины горных рек, щебнистые склоны	Алданский, Верхне-Ленский, Яно-Индибирский фл. р-ны
<i>Rumex jacutensis</i> Kom. – щавель якутский	Заболоченные места: гари, заросли кустарников, луга	Алданский, Центрально-Якутский, Яно-Индибирский фл. р-ны (басс. р. Алдан в предгорьях Верхоянского хр.). Эндемик Якутии

Примечание: фл. р-н – флористический район

Note: фл. р-н – floristic area

Также в списке есть краснокнижные виды, имеющие значительный общий ареал, но находящиеся на границе распространения в пределах Якутии (категория 3г): это лук Максимовича (*Allium maximowiczii* Regel), клевер отменный (*Trifolium eximium* Stev. ex DC.), вика жилковая (*Vicia venosa* (Willd. ex Link) Maxim.) и овсяница ложнобороздчатая (*Festuca pseudosulcata* Drob.), а также виды, имеющие ограниченный общий ареал, часть которого находится на территории Якутии (категория 3д): это мак анжуйский (*Papaver anjuicum* Tolm.), м. восточный (*P. lapponicum* (Tolm.) Nordh. subsp. *orientale* Tolm.) и м. немноготычинковый (*P. paucistaminum* Tolm. & Petrovsky).

Кроме того, мы учли 10 видов ДРКР, которые пока не отнесены к краснокнижным, но по рекомендациям Красной книги Якутии нуждаются в особом внимании к их состоянию в природе и мониторинге (Danilova, 2017). Например, чина гороховидная (*Lathyrus pisiformis* L.), произрастает по опушкам березовых рощ (чаранов), ч. алеутская (*L. aleuticus* (Greene) Pobed.) – на морском побережье – эти местообитания ограничены по площади, что приводит к уязвимости видов. Таким образом, всего 33 вида ДРКР рекомендованы как приоритетные к сохранению (см. таблицу).

Основными и наиболее надежными для сохранения генофонда редких и уязвимых видов являются охраняемые природные территории различного ранга, в которых данные виды произрастают. В Якутии организованы три заповедника, в которых целесообразно проводить мониторинг популяций редких видов: в Олёкминском государственном заповеднике насчитывается 69 видов ДРКР, из которых 4 вида (зверобой Геблера, мята даурская, мак щетинистый, щавель якутский) являются приоритетными к сохранению по критерию редкости (Danilova, Korobkova, 2014); в Усть-Ленском

заповеднике обнаружено 14 видов ДРКР, из которых 3 вида – краснокнижные (мак Чекановского, карагана гривастая, мятлик нитестебельный) (Nikolin et al., 2017; Nikolin, Petrovsky, 2018); для видов заповедника «Медвежий остров» есть данные о произрастании мятлика укороченного и двух овсяниц из списка – о. Баффинова (*Festuca baffinensis* Polun.) и о. северной (*F. hyperborea* Holmen ex Frederiksen).

Кроме того, популяции ДРКР эффективно сохраняются в Национальном парке «Ленские столбы». По нашим экспедиционным материалам 2022, 2023 г., с уточнением по данным конспекта флоры Национального парка (Egorova, 2001; Talovina et al., 2024), составлен список из 78 видов ДРКР, среди которых здесь произрастают два вида лука из списка приоритетных для сохранения: л. стелющийся, л. ветвистый.

Необходимо продолжить изучение распространения и состояния популяций редких видов ДРКР. Для тех видов, которые не отмечены ни на одной особо охраняемой природной территории, при необходимости могут быть предложены дополнительные меры по сохранению популяций, как это сделано для крашенинниковии ленской (*Krascheninnikovia lenensis* (Kuminova) Tzvelev), которая иногда относится к синонимам *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. (к. терескеновая) – ценного кормового и перспективного пескозакрепительного растения, хотя и отличается от последнего вида более узкими листьями (Nikolin, 2020). При изучении плотности популяций крашенинниковии ленской в различных точках ареала таксона в Якутии исследователями отмечено сокращение популяций, в связи с чем местообитаниям вида рекомендуется придание статуса ботанических памятников (резерватов) и включение их в систему охраны природы (Egorova et al., 2015).

Заключение

На обширной территории Якутии от арктических побережий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского до северных отрогов Станового хребта растения находятся в контрастных условиях резко континентального климата в составе фитоценозов разнообразных широтных зон и высотных поясов. На территории Якутии насчитывается 287 видов ДРКР, что составляет около 15% от общего количества видов флоры изучаемого региона. Наибольшее число видов ДРКР содержит семейство Роасеае, затем следуют Fabaceae и Rosaceae; ведущие роды – *Roa*, *Festuca*, *Paraver*. Наиболее высокая концентрация ДРКР характерна для растительности долинного комплекса, чуть менее многочисленны представители ДРКР в группе растительных сообществ, расположенных на открытых склонах (щепнистые, каменистые склоны и осыпи, степные склоны, альпийские луга, тундры), отмечается умеренное разнообразие ДРКР в составе вторичных рудеральных и сегетальных биотопов, еще меньшая доля видов характерна для лесных фитоценозов на водоразделах, и самая низкая встречаемость ДРКР отмечена в заболоченных местообитаниях. 85% видов от общего числа ДРКР Якутии относятся к аборигенному компоненту исследуемой флоры, остальные 15% – к рудеральным и сегетальным. 33 вида рекомендованы нами к приоритетному сохранению по критерию редкости и уязвимости в составе естественных природных сообществ – *in situ*. Оптимальный способ сохранения *in situ* – мониторинг состояния популяций на территории ООПТ. Необходимо продолжать изучение видового разнообразия ДРКР Якутии, получать новые данные о распространении видов, состоянии их популяций (особенно для приоритетных к сохранению) как в целом на территории региона, так и в отдельных районах (улусах), а также ООПТ.

References / Литература

- Danilova N.S. (ed.). Red Book of the Republic of Sakha (Yakutia). Vol. 1. Rare and endangered species of plants and mushrooms (Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutia). T. 1. Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoventiya vidy rasteniy i gribov). Moscow: Reart; 2017. [in Russian] [Красная книга Республики Саха (Якутия). Т. 1: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / под. ред. Н.С. Даниловой. Москва: Реарт; 2017].
- Danilova N.S., Korobkova T.S. Crop wild relatives of cultivated plants of the flora in the natural reserve "Olekminsky". *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2014;17(188):49-55. [in Russian] (Данилова Н.С., Коробкова Т.С. Дикие родичи культурных растений флоры Олекминского заповедника как источник исходного материала для селекции в Якутии. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2014;17(188):49-55).
- Danilova N.S., Korobkova T.S., Semenova V.V. Wild relatives of cultivated plants in Yakutia (Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy Yakutii). Novosibirsk: Nauka; 2013. [in Russian] (Данилова Н.С., Коробкова Т.С., Семенова В.В. Дикие родичи культурных растений Якутии. Новосибирск: Наука; 2013).
- Danilova N.S., Semenova V.V., Sabaraykina S.M. Wild relatives of cultivated plants in natural communities of the Yakut Botanical Garden valley part. *Vestnik of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University*. 2014;11(3):28-37. [in Russian] (Данилова Н.С., Семенова В.В., Сабарайкина С.М. Дикие родичи культурных растений в природных сообществах долинной части Якутского ботанического сада. *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова*. 2014;11(3):28-37).
- Egorova A.A. Conspectus of the flora of vascular plants in the Lena Pillars (Konspekt flory sosudistyykh rasteniy Lenskikh Stolbov). In: *Lena Pillars National Natural Park: Geology, Soils, Vegetation, Fauna, Protection, and Utilization*. Yakutsk: Yakut University; 2001. p.86-100. [in Russian] (Егорова А.А. Конспект флоры сосудистых растений Ленских Столбов. В кн.: *Национальный природный парк «Ленские Столбы»: геология, почвы, растительность, животный мир, охрана и использование*. Якутск: Якутский университет; 2001. С.86-100).
- Egorova A.A., Borisova S.Z., Kardashevskaya V.E., Zakharova V.I. The current condition of the *Krascheninnikovia lenensis* (Kumin.) Tzvel. populations in Yakutia. *The Bulletin of KrasGAIU*. 2015;7(106):28-33. [in Russian] (Егорова А.А., Борисова С.З., Кардашевская В.Е., Захарова В.И. Современное состояние популяций *Krascheninnikovia lenensis* (Kumin.) Tzvel. в Якутии. *Вестник КрасГАУ*. 2015;7(106):28-33).
- Kuznetsova L.V., Zakharova V.I. Conspectus of the flora of Yakutia: vascular plants (*Konspekt flory Yakutii: sosudistyye rasteniya*). Novosibirsk: Nauka; 2012. [in Russian] (Кузнецова Л.В., Захарова В.И. Конспект флоры Якутии: сосудистые растения. Новосибирск: Наука; 2012).
- Maxted N., Ford-Lloyd B.V., Hawkes J.G. Complementary conservation strategies. In: N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd, J.G. Hawkes (eds). *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*. London: Chapman & Hall; 1997. p.20-55. DOI: 10.1007/978-94-009-1437-7_2
- 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).
- Nikolin E.G., Petrovsky V.V. Regional flora of the mountainous part of the Ust-Lensky Nature Reserve (Republic of Sakha (Yakutia)). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2018;103(11):1442-1450. [in Russian] (Николин Е.Г., Петровский В.В. Региональная флора горной части Усть-Ленского заповедника (Республика Саха (Якутия)). *Ботанический журнал*. 2018;103(11):1442-1450). DOI: 10.1134/S0006813618110054
- Nikolin E.G., Yakshina I.A., Petrovsky V.V. Flora of the vicinities of the International Biological Station "Lena-Nordenskjold" (Ust-Lensky Nature Reserve, Yakutia). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2017;102(10):1402-1420. [in Russian] (Николин Е.Г., Якшина И.А., Петровский В.В. Флора окрестностей международной биологической станции «Лена-Норденшельд» (Усть-Ленский заповедник, Якутия). *Ботанический журнал*. 2017;102(10):1402-1420). DOI: 10.1134/S0006813617100039
- Talovina G.V. Crop wild relative materials from field research in the Yakutsk vicinity in 2020. *Vavilovia*. 2020;3(4):6-22. [in Russian] (Таловина Г.В. Дикие родичи культурных растений окрестностей Якутска: материалы полевых исследований 2020 года. *Vavilovia*. 2020;3(4):6-22). DOI: 10.30901/2658-3860-2020-4-6-22
- Talovina G.V., Popova A.S., Kutukova A.S., Nogovitsyna P.A., Sleptsov T.S., Vasileva I.V. et al. The distribution of wild currants (*Ribes L.*) of the Sakha Republic (Yakutia). *Vavilovia*. 2020;5(3):10-20. [in Russian] (Таловина Г.В., Попова А.С.,

Кутукова А.С., Ноговицына П.А., Слепцов Т.С., Васильева И.В. и др. Распространение дикорастущих видов смородины (*Ribes* L.) на территории Республики Саха (Якутия). *Vavilovia*. 2022;5(3):10-20. DOI: 10.30901/2658-3860-2022-3-03

Talovina G.V., Shelokhovskaya L.V., Kutukova A.S., Nogovitsyna P.A., Sleptsov T.S., Pikula K.S. Crop wild relatives of Yakutia: analysis of the distribution of species for identifying forms of value for breeding purposes. *International Agricultural Journal*. 2024;67(2):1. [in Russian] (Таловина Г.В., Шелоховская Л.В., Кутукова А.С., Ноговицына П.А., Слепцов Т.С., Пикула К.С. Дикие родичи

культурных растений Якутии: анализ распространенности видов для целей отбора ценных для селекции форм. *International Agricultural Journal*. 2024;76(2):1).

Zakharova V.I. Vascular plants of the Buotama River (Sosudistye rasteniya reki Buotamy). In: *Lena Pillars National Natural Park: Geology, Soils, Vegetation, Fauna, Protection, and Utilization*. Yakutsk: Yakut University; 2001. p.100-120. [in Russian] (Захарова В.И. Сосудистые растения реки Буотамы. В кн.: *Национальный природный парк «Ленские столбы»: геология, почвы, растительность, животный мир, охрана и использование*. Якутск: Якутский университет; 2001. С.100-120).

Информация об авторах

Галина Владимировна Таловина, 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, 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, g.talovina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6167-1455>

Кутукова Анастасия Сергеевна, инженер-исследователь, 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, магистрант, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, askutukova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0040-0181>

Тимур Степанович Слепцов, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, инженер-исследователь, 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, slepsovtimur00@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2839-0851>

Information about the authors

Galina V. Talovina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Senior Researcher, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – subdivision of the YaSC SB RAS, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia, g.talovina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6167-1455>

Anastasiia S. Kutukova, Research Engineer, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – subdivision of the YaSC SB RAS, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia, Master's Student, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Settle., Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, askutukova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0040-0181>

Timur S. Sleptsov, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Research Engineer, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – subdivision of the YaSC SB RAS, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia, slepsovtimur00@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2839-0851>

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 26.09.2024; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 08.04.2025. The article was submitted on 26.09.2024; approved after reviewing on 21.02.2025; accepted for publication on 08.04.2025.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.253:631.529 (470.342)
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-37-46

Адаптивный потенциал ярового пленчатого овса (*Avena sativa* L.)
на зеленую массу в условиях Кировской области

Е. Н. Вологжанина, Г. А. Баталова

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

Автор, ответственный за переписку: Елена Николаевна Вологжанина, helen.vol@list.ru

Актуальность. Одной из главных задач селекции является создание сортов с высокой продуктивностью и качеством продукции. В современных условиях большую ценность имеют сорта, высокоадаптированные к стрессовым условиям возделывания. Поэтому важно изучать и внедрять в производство перспективные сорта, которые полностью реализуют свой производственный потенциал в изменяющихся условиях окружающей среды.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили 12 сортов и перспективных линий ярового пленчатого овса (*Avena sativa* L.) из питомника конкурсного сортоиспытания. Определены параметры пластичности (b_i и KM), стабильности (S_i^2), индекс условий среды (I_i), гомеостатичность (Hom), селекционная ценность (Sc), коэффициент вариации (CV), фактор стабильности (SF), коэффициент адаптивности (KA) и индекс экологической пластичности (ИЭП) по признакам «урожайность зеленой массы» и «содержание сырого протеина» у пленчатого овса.

Результаты. Наибольшую урожайность зеленой массы сформировали линии 91h18, 41h18, 23h20, 40h20. Высокое содержание сырого протеина наблюдали у линий 91h18, 23h20, 40h20, 39h20. Наибольшей селекционной ценностью по урожайности зеленой массы характеризовались линии 41h18, 40h20, 41h20, 42h20 и сорт 'Кировский 2', по содержанию сырого протеина – сорта 'Медведь', 'Кировский 2', линии 91h18, 50h18, 23h20. Высокая пластичность по данным признакам отмечена у линий 91h18, 39h20, 40h20. Линия 39h20 отличалась высокой пластичностью и стабильностью как по урожайности зеленой массы ($b_i = 1,20$; $S_i^2 = 0,07$), так и по содержанию сырого протеина ($b_i = 2,04$; $S_i^2 = 0,03$).

Заключение. По сумме рангов наиболее адаптированными к стрессовым почвенно-климатическим условиям по признаку «урожайность зеленой массы» являются линии 41h18, 23h20, 40h20, 41h20 (40–48), по признаку «содержание сырого протеина» – 23h20, 39h20, 91h18 (34–44).

Ключевые слова: сырой протеин, гомеостатичность, пластичность, селекционная ценность, овес

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану № FNWE-2024-0002 «Скрининг источников, гибридных популяций и селекционных номеров овса по признакам продуктивности зерна и кормовой массы, устойчивости к био- и абиострессорам».

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

Для цитирования: Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А. Адаптивный потенциал ярового пленчатого овса (*Avena sativa* L.) на зеленую массу в условиях Кировской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):37-46. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-37-46

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-37-46

Adaptive potential of spring covered oats (*Avena sativa* L.) according to green biomass under the conditions of Kirov Province

Elena N. Vologzhanina, Galina A. Batalova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Corresponding author: Elena N. Vologzhanina, helen.vol@list.ru

Background. Development of high-yielding cultivars with high quality of their products is one of the main tasks of plant breeders. Today, the most valuable cultivars are those with high adaptability to stressful conditions of cultivation. Therefore, it is important to study and introduce into production such promising cultivars that are able to implement their production potential to its fullest extent under changing environmental conditions.

Materials and methods. Twelve cultivars and promising lines of spring covered oats (*Avena sativa* L.) from the competitive variety testing nursery were used as the material for the study. The parameters of plasticity (b_i and KM) and stability (S_i^2), index of environmental conditions (I_i), homeostasis (Hom), breeding value (Sc), coefficient of variation (CV), stability factor (SF), adaptability factor (IA), and environmental plasticity index (IEP) were assessed according to the characters “green biomass yield” and “crude protein content” in covered oats.

Results. Lines 91h18, 41h18, 23h20 and 40h20 formed the highest green biomass yield. High crude protein content was observed in lines 91h18, 23h20, 40h20 and 39h20. Lines 41h18, 40h20, 41h20, 42h20, and cv. ‘Kirovsky 2’ had the highest breeding value according to the green biomass yield, while cvs. ‘Medved’ and ‘Kirovsky 2’, lines 91h18, 50h18 and 23h20 had the highest breeding value according to crude protein content. Lines 91h18, 39h20 and 40h20 showed high degrees of plasticity for these characters. Line 39h20 manifested high plasticity and stability both in green biomass yield ($b_i = 1.20$; $S_i^2 = 0.07$) and crude protein content ($b_i = 2.04$; $S_i^2 = 0.03$).

Conclusion. According to the sum of ranks, lines 41h18, 23h20, 40h20 and 41h20 were the most adapted to stressful nature and climate conditions in their green biomass yield (40–48), and lines 23h20, 39h20 and 91h18 in their crude protein content (34–44).

Keywords: crude protein, homeostasis, plasticity, breeding value, oats

Acknowledgements: the work was done within the framework of the state task according to the thematic plan FNWE-2024-0002 “Screening of sources, hybrid populations, and breeding numbers of oats, based on grain and feed biomass productivity, and resistance to bio- and abiostressors”.

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

For citation: Vologzhanina E.N., Batalova G.A. Adaptive potential of spring covered oats (*Avena sativa* L.) according to green biomass under the conditions of Kirov Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):37-46. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-37-46

Введение

Овес – кормовая культура универсального назначения. Богатство экотипов и хорошая приспособленность к условиям произрастания способствует его распространению по всей территории России (Aseeva et al., 2024). Его возделывают на зерно, зеленую массу, сено, сенаж, силос. Благодаря короткому вегетационному периоду овес в некоторых регионах является основной культурой, выращиваемой на зеленый корм, как в одновидовых, так и в смешанных посевах (Yusova et al., 2020; Kuryleva, 2024). Овес уже в конце межфазного периода «выход в трубку – начало выметывания» дает кормовую массу и при раннем укосе быстро отрастает, что позволяет обеспечить животных сочными кормами в течение длительного времени. Помимо высокой урожайности, для сельхозпроизводителя большое значение имеет питательная ценность корма, высокое содержание в нем обменной энергии, сырого протеина, сахаров, клетчатки. При возделывании овса в смеси с зернобобовыми повышается кормовая ценность овсяного компонента – улучшается переваримость белка, жира, клетчатки (Kabashov et al., 2022).

Овес – культура влаголюбивая: недостаток влаги и высокие температуры приводят к значительному снижению продуктивности зерна, зеленой массы и качества продукции (Zobnina et al., 2024). В связи с нестабильностью погодных условий в Кировской области (годы с избыточным увлажнением чередуются с засушливыми), приоритетной задачей селекции является создание и внедрение сортов с высокой адаптивностью, стабильностью и устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам окружающей среды, способных максимально использовать почвенные и климатические ресурсы региона для создания стабильной продовольственной базы при любых погодных условиях (Sapega et al., 2019; Fomina et al., 2024).

Для выявления генотипов с высокими адаптивными способностями к условиям выращивания проводится оценка пластичности и стабильности количественных и качественных показателей растениеводческой продукции.

Цель исследования: выделить генотипы ярового пленчатого овса на зеленый корм из питомника конкурсного сортоиспытания с высокими показателями адаптивности и стабильности к стрессовым условиям среды по урожайности и качеству.

Материалы и методы

Работа проведена в 2022–2024 гг. на базе ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудниченко» (ФАНЦ Северо-Востока, Кировская область). Изучали 12 сортов и линий пленчатого овса питомника конкурсного испытания. В качестве стандарта использовали включенный в Государственный реестр сорт 'Архан'.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, на элювии пермских глин, с небольшой мощностью гумусового горизонта. Содержание гумуса низкое – 2,27–2,51%, подвижного фосфора и калия – 334–339 мг/кг и 200–245 мг/кг почвы соответственно, кислотность – 5,6–6,0 ед. рН, предшественник – чистый пар.

Полевой опыт заложен на делянках площадью 15 м² в четырехкратной повторности. Скашивание зеленой массы проводили вручную в фазу начала выметывания. Биохимические показатели зеленой массы определяли в аналитической лаборатории ФАНЦ Северо-Востока фотоколориметрическим методом. Анализ метеорологических условий в период исследований выполнен по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<http://pogoda43.ru>).

Рассчитаны следующие параметры адаптивности: индекс условий среды (I_s), коэффициент регрессии (b_s), индекс стабильности (S_s^2) по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. Н. Пакуль, Л. Г. Плиско (Pakul, Plisko, 2016), гомеостатичность (Hom), селекционная ценность (Sc) (Dospekhov, 1985; Hangildin, 1986), фактор стабильности (SF) (Lewis, 1954), коэффициент адаптивности (KA) (Zhivotkov et al., 1994), индекс экологической пластичности (ИЭП) (Gryaznov, 1996), коэффициент мультипликативности (KM) (Dragavtsev et al., 1984), коэффициент вариации признака (CV) (Dospekhov, 1985).

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитан по Г.Т. Селянинову (Selyaninov, 1928). Для обработки экспериментальных данных методами дисперсионного и корреляционного анализов использовали пакет селекционно ориентированных программ AGROS, версия 2.07, пакета прикладных программ Microsoft Excel 2007.

Метеорологические условия в годы исследований носили контрастный характер. Вегетационный период 2022 г. характеризовался чрезмерным количеством осадков (ГТК = 2,11) (табл. 1). В течение мая наблюдали незначительные осадки. Среднесуточная температура воздуха была на 1–6°C ниже обычных значений. В июне

Таблица 1. Метеорологические условия в период вегетации овса, г. Киров, 2022–2024 гг.

Table 1. Meteorological conditions during the growing season of oats, Kirov, 2022–2024

Период вегетации / Growing season	Сумма эффективных температур выше 10°C / Sum of effective temperatures above 10°C			Сумма осадков, мм / Precipitation, mm			ГТК / HTC		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Посев – всходы / Sowing to sprouting	116,8	110,2	76,2	9,0	30,0	56,1	0,77	2,72	7,36
Всходы – выметывание / Sprouting to ear emergence	719,0	695,3	625,9	198,7	58,6	50,4	2,76	0,84	0,81
Выметывание – созревание / Ear emergence to ripening	772,4	1050,5	849,0	111,1	188,7	60,6	1,44	1,80	0,71
Всходы – созревание / Sprouting to ripening	1491,4	1745,8	1474,9	309,8	247,3	111,0	2,11	1,64	0,76

и июле наблюдали преимущественно теплую погоду, с частыми дождями. Август характеризовался аномально жаркой погодой.

В апреле 2023 г. наблюдалась нестабильная, но в основном более теплая, чем обычно, с отсутствием осадков погода. Среднесуточная температура воздуха была на 1–7°C выше климатической нормы. Май характеризовался нестабильной по температуре погодой с продолжительными засушливыми периодами. Средняя за июнь температура воздуха была на 1,8–2,5°C ниже климатической нормы. В июле наблюдали переменчивую погоду, жаркие дни сменялись прохладными, часто выпадали дожди. Август был сухим и жарким. Среднесуточная температура воздуха превышала климатическую норму на 2–8°C. Условия 2023 г. по температурному режиму и влагообеспеченности можно охарактеризовать как благоприятные, что подтверждается ГТК = 1,64.

В апреле 2024 г. преобладала теплая, с частыми, порой значительными осадками погода. Май 2024 г. характеризовался аномально холодной погодой. Средняя за месяц температура воздуха была на 3,5–4,5°C ниже климатической нормы. Количество выпавших осадков приближалось к норме. Июнь характеризовался нестабильной погодой, варьировавшей от очень теплой до холодной, в основном сухой или с небольшими, временами обильными дождями. В июле наблюдали нестабильную по температуре, от жаркой до умеренно теплой, преимущественно сухую погоду. За месяц выпало 35–60 мм осадков, или 45–75% нормы. Средняя за месяц температура воздуха в августе была близка к климатической норме.

В течение месяца выпадали небольшие дожди. В итоге за месяц выпало 35–65 мм осадков, или 50–80% нормы.

Результаты и обсуждение

Индекс условий среды показал, что наиболее благоприятные условия, на фоне достаточного количества осадков, для формирования как урожайности зеленой массы ($I_j = 3,93$), так и сырого протеина ($I_j = 0,77$) сложились в 2023 г. (табл. 2). Средняя по сортам урожайность зеленой массы составила 42,6 т/га, сырого протеина – 7,51%.

Низкая температура воздуха и переувлажнение (ГТК = 7,36) в межфазный период «посев – всходы», а также недостаточное количество осадков в период «всходы – выметывание» (ГТК = 0,81) в 2024 г. привели к увеличению продолжительности первого и сокращению второго периода, что негативно сказалось как на урожайности зеленой массы овса (14,3 т/га), так и на содержании в ней сырого протеина (6,29%). Индекс условий среды (I_j) был минимальным за годы исследований и составил –6,26 для урожайности зеленой массы и –0,93 для содержания сырого протеина.

В среднем по сортам за годы исследований наиболее урожайными были линии 91h18 (34,4 т/га), 41h18 (33,9 т/га), 23h20 (40,2 т/га), 40h20 (35,6 т/га). При этом у линий 91h18, 23h20, 40h20 наблюдали высокое содержание сырого протеина, а также у линии 39h20.

Отмечена высокая положительная связь (статистически значимо при уровне вероятности 5%, $p \leq 0,05$) уро-

Таблица 2. Урожайность зеленой массы пленчатого овса и содержание в ней сырого протеина, среднее за 2022–2024 гг. (Киров)

Table 2. Green biomass yield of covered oats, and crude protein content in it, mean for 2022–2024 (Kirov)

Номер каталога / Catalogue No.	Сорт, линия / Cultivar or line	Урожайность зеленой массы, т/га / Green biomass yield, t/ha				Сырой протеин, % / Crude protein, %			
		2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее / Mean	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее / Mean
15494	‘Медведь’ / ‘Medved’	20,6	35,1	12,4	22,7	6,48	7,11	7,47	7,02
15808	‘Кировский 2’ / ‘Kirovsky 2’	37,7	36,0	14,4	29,4	5,95	6,62	6,53	6,37
14857	‘Креchet’ / ‘Krechet’	26,3	38,5	12,1	25,6	6,15	7,82	6,12	6,70
15927	91h18	33,4	56,8	12,9	34,4	7,95	9,50	6,57	8,01
–	41h18	36,4	49,1	16,1	33,9	5,63	8,45	5,10	6,39
–	50h18	29,0	39,4	14,4	27,6	6,47	7,11	6,14	6,57
–	23h20	41,4	62,7	16,5	40,2	8,05	8,36	7,22	7,88
–	39h20	33,2	46,8	10,6	30,2	8,48	9,46	6,04	7,99
–	40h20	36,6	53,7	16,6	35,6	8,21	9,20	5,15	7,52
–	41h20	38,6	37,1	15,5	30,4	7,42	5,87	5,83	6,21
–	42h20	37,1	34,5	14,1	28,6	8,21	7,21	5,22	6,88
15752	‘Архан’ (стандарт) / ‘Arkhan’ (reference)	22,4	42,3	14,1	26,3	7,56	7,08	5,99	6,88
Среднее / Mean		32,9	42,6	14,3	29,9	7,29	7,51	6,29	7,03
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		2,2	2,7	2,4	1,3	2,26	2,22	2,08	1,4
Индекс среды (I_j) / Index of environmental conditions (I_j)		2,33	13,93	–16,26		0,17	0,77	–0,93	

жайности зеленой массы и содержания протеина в ней ($r = 0,71$) с суммой эффективных температур в период «всходы – выметывание» ($r = 0,71$), ГТК в период «всходы – выметывание» ($r = 0,68$); содержания сырого протеина и суммы эффективных температур в период «всходы – выметывание» ($r = 0,49$) (табл. 3).

Исходя из представленных данных, меняющиеся погодные условия влияют на формирование урожайности и качество зеленой массы овса, что говорит о необходимости оценки адаптивного потенциала представленных сортов и линий. В результате проведения двухфакторного дисперсионного анализа установлена статистически значимая доля влияния на урожайность зеленой массы овса факторов «год» (72,2%) и в меньшей степени – «генотип» (12,1%) (табл. 4). Авторами (Fomina et al., 2024) отмечается значительное влияние условий среды на содержание сырого протеина в зеленой массе овса.

В наших исследованиях на содержание протеина в зеленой массе условия года и сорт оказали примерно равное влияние – 16,7% и 15,6% соответственно.

Для сельхозпроизводителя большое значение имеет способность сорта в нестабильных условиях среды при минимуме затрат на производство формировать высокую, стабильную урожайность.

Наиболее ценными считаются сорта с высоким уровнем пластичности и стабильности. Высокой пластичностью (b_i) обладают высокоурожайные линии 91h18 (1,42), 23h20 (1,51), 39h20 (1,20) и 40h20 (1,21), при этом линия 39h20 характеризуется высокой стабильностью ($S_i^2 = 0,07$) признака, что говорит о ее способности формировать высокую стабильную урожайность в меняющихся условиях среды (табл. 5). Самую высокую стабильность наблюдали у урожайной линии 41h18 ($S_i^2 = 0,00$), также высокой стабильностью обладают линия 50h18 (0,41) и сорт 'Креchet' (2,75).

Таблица 3. Связь между величиной урожайности зеленой массы и содержанием сырого протеина с погодными условиями

Table 3. Relationships between green biomass yield, crude protein content, and weather conditions

Показатель / Indicator	Урожайность зеленой массы / Green biomass yield	Сырой протеин / Crude protein
Сырой протеин / Crude protein	0,71*	
ГТК / HTC	0,68*	
Сумма эффективных температур выше 10°C / Sum of effective temperatures above 10°C	0,71*	0,49*

Примечание: * – значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$

Note: * – values of correlation coefficients are significant at $p \leq 0.05$

Таблица 4. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по влиянию сорта и условий года на урожайность зеленой массы овса за 2022–2024 гг.

Table 4. Results of a two-factor analysis of variance on the effect of cultivars and conditions of the year on green biomass yield of oats for 2022–2024

Источник варьирования / Source of variation	Сумма квадратов / Sum of squares	Степень свободы / Degrees of freedom	Средний квадрат / Mean square	Вклад факторов, % / Contribution of factors, %	F _{факт}	F ₀₅
Зеленая масса / Green biomass						
Общее	22311,10	116	–	–	–	–
Фактор А (год)	16102,92	2	8051,46	72,2*	3723,77	0,66
Фактор В (сорт)	2710,21	12	225,85	12,1*	104,46	1,38
Взаимодействие АВ (год и сорт)	3313,47	24	138,06	14,8*	63,85	2,39
Сырой протеин / Crude protein, %						
Общее	313,71	107	–	–	–	–
Фактор А (год)	52,34	11	4,76	16,7*	2,34	1,34
Фактор В (сорт)	48,84	2	24,42	15,6*	12,00	0,67
Взаимодействие АВ (год и сорт)	65,66	22	2,98	20,9*	2,34	2,32

Примечание: * – различия достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$

Note: * – differences are significant at a significance level of $p < 0.05$

Таблица 5. Параметры адаптивности сортов и линий пленчатого овса по признаку «урожайность зеленой массы» (2022–2024 гг.)**Table 5. Adaptability parameters of covered oat cultivars and lines according to their green biomass yield (2022–2024)**

Номер каталога / Catalogue No.	Сорт, линия / Cultivar or line	b_i	S_i^2	КМ	CV, %	Sc	Hom	КА, %	SF	ИЭП
15494	‘Медведь’ / ‘Medved’	0,72	21,82	1,95	50,6	8,02	1,97	74,7	2,83	1,72
15808	‘Кировский 2’ / ‘Kirovsky 2’	0,77	65,57	1,78	44,2	11,22	2,85	96,6	2,62	2,31
14857	‘Кречет’ / ‘Krechet’	0,86	2,75	2,01	51,5	8,06	1,88	84,3	3,18	1,96
15927	91h18	1,42	27,85	2,24	63,9	7,81	1,22	113,0	4,40	2,61
–	41h18	1,09	0,00	1,96	49,1	11,10	2,09	111,4	3,05	2,60
–	50h18	0,82	0,41	1,89	45,5	10,09	2,43	90,8	2,74	2,12
–	23h20	1,51	8,19	2,12	57,5	10,58	1,51	132,2	3,80	3,07
–	39h20	1,20	0,07	2,19	60,5	6,84	1,38	99,3	4,42	2,32
–	40h20	1,21	5,27	2,02	52,1	11,02	1,84	117,2	3,23	2,72
–	41h20	0,76	62,97	1,75	42,5	12,21	3,10	100,0	2,49	2,38
–	42h20	0,73	71,44	1,76	44,1	10,86	2,82	94,0	2,63	2,25
15752	‘Архан’ (стандарт) / ‘Arkhan’ (reference)	0,89	53,74	2,01	55,2	8,76	1,69	86,4	3,00	1,98

Примечание: здесь и далее (таблицы 6 и 7) b_i – коэффициент линейной регрессии; S_i^2 – показатель стабильности; КМ – коэффициент мультипликативности; CV – коэффициент вариации; Sc – селекционная ценность; Hom – гомеостатичность; КА – коэффициент адаптивности; SF – фактор стабильности; ИЭП – индекс экологической пластичности

Note: here and below (Tables 6 and 7), b_i is the linear regression coefficient; S_i^2 is the stability indicator; КМ is the multiplicative coefficient; CV is the coefficient of variation; Sc is the breeding value; Hom is homeostasis; KA is the coefficient of adaptability; SF is the stability factor; ИЭП is the index of environmental plasticity

Разные подходы к оценке экологической пластичности и стабильности дают наиболее полную оценку сорта. Оценить пластичность сортов можно с помощью коэффициента мультипликативности (КМ). Согласно коэффициенту мультипликативности (КМ) наиболее пластичными, как и при расчете показателя b_i , были линии 91h18 (2,24), 23h20 (2,12), 39h20 (2,19) и 40h20 (2,02). Высоким индексом экологической пластичности (ИЭП) отличаются линии 91h18, 41h18, 23h20, 40h20, 41h20 (ИЭП = 2,38–3,07). Коэффициент вариации (CV) отображает изменчивость изучаемого признака. Наиболее урожайные линии 91h18, 23h20, 40h20, 39h20, отличающиеся высокой отзывчивостью на улучшение условий возделывания, при ухудшении условий снизили урожайность, что подтверждается высоким уровнем коэффициента вариации (CV = 52,1–63,9%). Меньшая изменчивость признака была характерна для линий 41h20 (42,5%), 42h20 (44,1%) и сорта ‘Кировский 2’ (44,2%).

Высокой селекционной ценностью (Sc) характеризуются высокостабильная со средним уровнем пластичности линия 41h18 (11,10), высокопластичная линия 40h20 (Sc = 11,02), а также линия 41h20 (Sc = 12,21) и сорт ‘Кировский 2’ (Sc = 1,22).

Важной характеристикой сорта является его гомеостатичность, то есть способность формировать стабильную урожайность в меняющихся условиях среды. Максимальную устойчивость к воздействию стрессовых условий проявили линии 41h20, 42h20, 50h18 и сорт ‘Кировский 2’ (Hom = 2,43–3,10), что согласуется с оценкой изучаемых генотипов по показателю коэффициента вариации (CV).

Адаптивные способности генотипа также можно оценить по коэффициенту адаптивности (КА). Высокий коэффициент адаптивности наблюдали у перспективных линий 91h18, 41h18, 23h20, 40h20, 41h20 (КА = 100,0–132,2%). Наибольшей экологической устойчивостью при расчете коэффициента стабильности (SF) характеризовались линии 41h20 (2,49), 42h20 (2,63), 50h18 (2,74) и сорт ‘Кировский 2’ (2,62).

В результате исследований отмечена тесная положительная связь (статистически значимо при уровне вероятности 5%, $p \leq 0,05$) урожайности зеленой массы овса с коэффициентом линейной регрессии (b_i) ($r = 0,84$), коэффициентом регрессии с коэффициентом вариации (CV) ($r = 0,80$), коэффициентом мультипликативности (КМ) ($r = 0,83$), индексом экологической пластичности (ИЭП)

($r = 0,80$), фактором стабильности (SF) и коэффициентом адаптивности (КА) ($r = 0,84$). Установлена достоверная обратная зависимость показателя стабильности (S_i^2) и коэффициента мультипликативности ($r = -0,62$), гомеостатичности (Hom) и коэффициента линейной регрессии ($r = -0,76$), фактора стабильности (SF) ($r = -0,87$). Отмечена тесная обратная связь селекционной ценности (Sc) и фактора стабильности ($r = -0,64$), коэффициента мультипликативности ($r = -0,70$). Коэффициент вариации находится в сильной прямой зависимости с коэффициентом мультипликативности ($r = 0,98$) и фактором стабильности ($r = 0,94$) и отрицательной – с гомеостатичностью ($r = -0,96$) и селекционной ценностью ($r = -0,72$).

Наиболее полную информацию дает ранжирование изученных показателей адаптивности и стабильности. Наибольшей хозяйственной ценностью по сумме рангов обладают линии 41h18 (40), 40h20 и 41h20 (45), 23h20 (48) (табл. 6). Это свидетельствует о высокой приспособленности данных линий к изменяющимся условиям выращивания.

У линии 39h20 по признаку «содержание сырого протеина», как и по признаку «урожайность зеленой массы», отмечали высокий уровень пластичности ($b_i = 2,04$) и стабильности ($S_i^2 = 0,03$), что свидетельствует об отзывчивости на улучшение условий выращивания, характерной для интенсивного типа. Высокую стабильность ($S_i^2 = 0,06$) наблюдали у линии со средней пластичностью – 50h18.

Максимальный коэффициент мультипликативности отмечен у линий 41h18 (2,96), 91h18 (2,46), 39h20 (2,78), 40h20 (3,26). Наиболее стабильными по показателям коэффициента вариации, гомеостаза и фактора стабильности были сорта 'Медведь' (CV = 7,1%; Hom = 99,34; SF = 1,15) и 'Кировский 2' (CV = 5,7%; Hom = 166,37; SF = 1,11), линия 50h18 (CV = 7,5%; Hom = 90,32; SF = 1,16). Эти же сорта и линии имеют высокую селекционную ценность (Sc = 5,54–6,80) по признаку «содержание сырого протеина». Максимальные показатели коэффициента адаптивности наблюдали у линий 40h20, 39h20, 91h18 (КА = 106,7–113,6%).

Таблица 6. Ранжирование сортов и линий пленчатого овса по параметрам адаптивности по признаку «урожайность зеленой массы»

Table 6. Ranking of covered oat cultivars and lines by their adaptability parameters on the basis of green biomass yield

Сорт, линия / Cultivar or line	b_i	S_i^2	KM	CV, %	Sc	Hom	КА, %	SF	ИЭП	Сумма рангов / Sum of the ranks
'Медведь' / 'Medved'	12	7	6	6	10	7	12	5	12	77
'Кировский 2' / 'Kirovsky 2'	9	11	3	2	2	9	7	2	7	52
'Креchet' / 'Krechet'	7	4	7	7	9	5	10	8	11	68
91h18	2	8	12	12	11	1	3	11	3	63
41h18	5	1	5	5	3	6	4	7	4	40
50h18	8	3	4	4	7	8	9	4	9	56
23h20	1	6	10	10	6	3	1	10	1	48
39h20	4	2	11	11	12	2	6	12	6	66
40h20	3	5	8	8	4	4	2	9	2	45
41h20	10	10	1	1	1	11	5	1	5	45
42h20	11	12	2	3	5	10	8	3	8	62
'Архан' (стандарт) / 'Arkhan' (reference)	6	8	9	9	8	5	11	6	10	72

Важнейшим показателем ценности сорта является не только высокая урожайность, но также и высокое качество корма. Наиболее ценными на зеленый корм считаются сорта с высоким содержанием протеина. Адаптивный сорт сочетает в себе высокую урожайность и качество продукции как в благоприятных, так и в стрессовых условиях среды (Zhdanova, 2023). Наибольшую пластичность по содержанию сырого протеина проявили линии с высокой урожайностью 40h20, 41h18, 91h18 ($b_i = 1,67$ – $2,43$) (табл. 7). При этом линии 91h18, 40h20 обладают высоким уровнем стабильности ($S_i^2 = 0,13$ – $0,17$).

Линия 23h20 с низкой пластичностью ($b_i = 0,68$) характеризуется высоким уровнем стабильности по всем параметрам адаптивности ($S_i^2 = 0,01$; CV = 7,5%; Hom = 92,33; SF = 1,16; КА = 111,7; ИЭП = 2,58), а также высокой селекционной ценностью (Sc = 6,80), что подтверждается суммой рангов (34) (табл. 8). Высокий индекс экологической пластичности отмечен у линий 91h18, 39h20 и 40h20 (ИЭП = 2,60–2,71).

Исходя из суммы рангов наибольшей устойчивостью к стрессовым условиям среды по признаку содержания сырого протеина в зеленой массе обладают линии 23h20, 91h18, 39h20 и сорт 'Медведь'.

Таблица 7. Параметры адаптивности сортов и линий пленчатого овса по признаку «содержание сырого протеина» (2022–2024 гг.)

Table 7. Adaptability parameters of covered oat cultivars and lines according to their crude protein content (2022–2024)

Номер каталога / Catalogue No.	Сорт, линия / Cultivar or line	b_i	S_i^2	КМ	CV, %	Sc	Hom	КА, %	SF	ИЭП
15494	‘Медведь’ / ‘Medved’	0,30	0,37	0,71	7,1	6,09	99,34	99,6	1,15	2,21
15808	‘Кировский 2’ / ‘Kirovsky 2’	0,02	0,26	0,98	5,7	5,72	166,37	90,3	1,11	2,03
14857	‘Креchet’ / ‘Krechet’	0,88	0,74	1,92	14,5	5,24	27,11	95,0	1,28	2,19
15927	91h18	1,67	0,17	2,46	18,3	5,54	14,93	113,6	1,45	2,68
–	41h18	1,79	1,73	2,96	28,2	3,86	6,78	90,7	1,66	2,14
–	50h18	0,54	0,06	1,57	7,5	5,68	90,32	93,2	1,16	2,14
–	23h20	0,68	0,01	1,60	7,5	6,80	92,33	111,7	1,16	2,58
–	39h20	2,04	0,03	2,78	22,0	5,10	10,61	113,4	1,57	2,71
–	40h20	2,43	0,13	3,26	28,1	4,21	6,61	106,7	1,79	2,60
–	41h20	0,20	1,59	1,22	14,2	5,01	28,18	90,4	1,27	2,10
–	42h20	1,36	1,88	2,38	22,1	4,37	10,40	97,6	1,57	2,35
15752	‘Архан’ (стандарт) / ‘Arkhan’ (reference)	0,74	0,49	1,75	11,7	5,45	37,44	97,5	1,26	2,28

Таблица 8. Ранжирование сортов и линий пленчатого овса по параметрам адаптивности по признаку «содержание сырого протеина»

Table 8. Ranking of covered oat cultivars and lines by their adaptability parameters on the basis of crude protein content

Сорт, линия / Cultivar or line	b_i	S_i^2	КМ	CV, %	Sc	Hom	КА, %	SF	ИЭП	Сумма рангов / Sum of the ranks
‘Медведь’ / ‘Medved’	12	7	2	2	2	12	7	2	5	51
‘Кировский 2’ / ‘Kirovsky 2’	11	6	1	1	3	11	12	1	12	58
‘Креchet’ / ‘Krechet’	6	9	6	8	7	6	8	6	8	64
91h18	4	5	7	9	5	4	2	7	1	44
41h18	3	11	11	11	12	2	9	9	10	78
50h18	9	3	3	4	4	9	10	3	9	54
23h20	8	1	3	3	1	8	4	3	3	34
39h20	2	2	8	10	8	3	1	8	2	44
40h20	1	4	10	12	11	1	3	10	4	56
41h20	10	10	5	7	9	10	11	5	11	78
42h20	5	12	9	6	10	5	5	8	6	66
‘Архан’ (стандарт) / ‘Arkhan’ (reference)	7	8	4	5	6	7	6	4	7	54

Отмечена положительная зависимость содержания протеина и индекса экологической пластичности (ИЭП) ($r = 0,97$), обратная зависимость – с коэффициентом стабильности (S_1^2) ($r = -0,59$). Коэффициент пластичности (b_1) находился в тесной положительной зависимости от коэффициента вариации (CV) ($r = 0,89$), коэффициента мультипликативности (KM) ($r = 0,99$), индекса экологической пластичности (ИЭП) ($r = 0,67$), фактора стабильности (SF) ($r = 0,92$), коэффициента адаптивности (KA) ($r = 0,50$), отрицательной – от гомеостатичности (Hom) ($r = -0,76$) и селекционной ценности (Sc) ($r = -0,64$).

Заключение

В результате исследований выявлены перспективные линии пленчатого овса 91h18, 23h20, 40h20 с высокой продуктивностью зеленой массы (33,9–40,2 т/га) и содержанием в ней сырого протеина (7,52–8,01%). Выявлено значительное влияние на урожайность и качество зеленой массы овса условий года и в меньшей степени – сортовых особенностей. Выявлена линия интенсивного типа – 39h20, характеризующаяся высокой пластичностью и адаптивностью как по урожайности ($b_1 = 1,20$; $S_1^2 = 0,07$), так и по качеству зеленой массы ($b_1 = 2,04$; $S_1^2 = 0,03$). Линии 41h18, 50h18 обладают средней пластичностью ($b_1 = 1,09$ и $0,82$ соответственно), способны формировать стабильную ($S_1^2 = 0,00$ и $0,41$ соответственно) урожайность и могут быть отнесены к экстенсивному типу. При этом для линии 41h18 характерна высокая селекционная ценность (Sc = 12,21) и сумма рангов (40). Высокой стабильностью по урожайности зеленой массы обладает линия 40h20 (KM = 2,02; Sc = 11,02; KA = 117,2%; ИЭП = 2,72) и 41h20 (CV = 42,5%; Sc = 12,21; Hom = 3,10; KA = 100,0%; ИЭП = 2,38). Стабильность данных линий подтверждается суммой рангов (45).

Выявлена линия 23h20 с высоким содержанием сырого протеина со слабой реакцией на улучшение условий выращивания ($b_1 = 0,68$; KM = 1,60), но отличающаяся высокой стабильностью признака по всем изученным параметрам, что соответствует экстенсивному типу. Высокая адаптивность линии подтверждается суммой рангов (34).

Среди изученных генотипов наибольший интерес для возделывания в нестабильных почвенно-климатических условиях Кировской области представляют выделенные линии с высоким потенциалом адаптивности.

References / Литература

Aseeva T.A., Trifuntova I.B. New variety of spring filmy oats Far Eastern Fodder. *Agroscience*. 2024;2(1):31-37. [in Russian] (Асеева Т.А., Трифунтова И.Б. Новый сорт ярового пленчатого овса Дальневосточный кормовой. *Агронаука*. 2024;2(1):31-37). DOI: 10.24412/2949-2211-2024-2-1-31-37

Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).

Dragavtsev V.A., Zilke V.A., Reyter B.G., Vorobyev V.A., Dubrovskaya A.G., Korobeynikov N.I., Novokhatin V.V., Maksimenko V.P., Babakishiev A.G., Plyushchenko V.G.,

Kalashnik N.A., Zuykov Yu.P., Fedotov A.M. Genetics of productivity traits in spring wheat in Western Siberia (Genetika priznakov produktivnosti yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri). Novosibirsk: Nauka; 1984. [in Russian] (Драгавцев В.А., Цильке В.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишиев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука; 1984).

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. [in Russian] (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

Gryaznov A.A. Karabalyk barley (Karabalykskiy yachmen). Kostanay; 1996. [in Russian] (Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай; 1996).

Hangildin V.V. Parameters for evaluating the homeostasis of varieties and breeding lines in the testing of ear crops (Parametry otsenki gomeostatichnosti sortov i selektsionnykh liniy v ispytanii kolosovykh kultur). *Nauchno-tekhnicheskii byulleten VSGI = Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Breeding and Genetics Institute*. 1986;2(60):36-41. [in Russian] (Хангильдин В.В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытании колосовых культур. *Научно-технический бюллетень ВСГИ*. 1986;2(60):36-41).

Kabashov A.D., Vlasenko N.M., Leibovich Ya.G., Razumovskaya L.G., Filonenko Z.V., Kolupaeva A.S. et al. Oat breeding to increase the yield of green biomass is an important trend for successful development of animal husbandry (Selektsiya ovsa na povysheniye urozhasya zelenoy massy – vazhnoye napravleniye dlya uspehnogo razvitiya zhivotnovodstva). In: S.I. Zinchenko, I.M. Shchukin (eds). *Modern Trends in Scientific Support of the Agro-Industrial Complex (Sovremennyye tendentsii v nauchnom obespechenii agropromyshlennogo kompleksa)*. Ivanovo: PresSto; 2022. p.190-193. [in Russian] (Кабашов А.Д., Власенко Н.М., Лейбович Я.Г., Разумовская Л.Г., Филоненко З.В., Колупаева А.С. и др. Селекция овса на повышение урожая зеленой массы – важное направление для успешного развития животноводства. В кн.: *Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: монография* / под ред. С.И. Зинченко, И. М. Щукина. Иваново: ПресСто, 2022. С.190-193). DOI: 10.51961/9785604865910

Kirov Center for Hydrometeorology and Monitoring of the Environment (Kirovskiy tsentr po gidrometeorologii i monitoring okruzhayushchey sredy): [website]. [in Russian] (Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: [сайт]). URL: <http://pogoda43.ru> [дата обращения: 09.12.2024].

Kuryleva A.G. Competitive testing of feed oat varieties in the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2024;2(46):53-58. [in Russian] (Курылева А.Г. Конкурсное испытание сортообразцов овса кормового направления в Среднем Предуралье. *Пермский аграрный вестник*. 2024;2(46):53-58). DOI: 10.47737/2307-2873_2024_46_53

- Lewis D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. *Heredity*. 1954;8:333-356. DOI: 10.1038/hdy.1954.37
- Pakul V.N., Plisko L.G. Assessment of ecological plasticity of selection lines of spring-sown soft field in the conditions of the forest-steppe of Kuznetsk Depression. *International Research Journal*. 2016;3-3(45):116-120. [in Russian] (Пакуль В.Н., Плиско Л.Г. Оценка экологической пластичности селекционных линий яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Кузнецкой котловины. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;3-3(45):116-120). DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.075
- Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh. The productivity of green mass, ecological plasticity and homeostasis of oats and pea varieties for fodder in the forest-steppe of the Northern Urals. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2019;1(75):41-43. [in Russian] (Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность зелёной массы, экологическая пластичность и гомеостатичность сортов овса и гороха на корм в лесостепи Северного Зауралья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019;1(75):41-43).
- Selyaninov G.T. On agricultural estimation of climate. *Contributions to Agricultural Meteorology*. 1928;20:165-177. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;20:165-177).
- 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
- Zhdanova A.A. Collection study of oat varieties in the conditions of the south-east of the Kamchatka Territory. *Agroscience*. 2023;1(1):113-119. [in Russian] (Жданова А.А. Коллекционное изучение сортов овса в условиях юго-востока Камчатского края. *Агронаука*. 2023;1(1):113-119).
- Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Methods of detecting potential productivity and adaptability in cultivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3-6. [in Russian] (Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6).
- Zobnina I.V., Karelina V.A., Batakova O.V. Evaluation of breeding samples of filmy forms of spring oats under unstable weather conditions. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024;3(39):84-93. [in Russian] (Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.В. Оценка сортообразцов пленчатого овса ярового при нестабильности погодных условий. *Таврический вестник аграрной науки*. 2024;3(39):84-93). DOI: 10.5281/zenodo.13788555

Информация об авторах:

Елена Николаевна Вологжанина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, helen.vol@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2187-3970>

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

Information about the authors:

Elena N. Vologzhanina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, helen.vol@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2187-3970>

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

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2025; принята к публикации 14.04.2025. The article was submitted on 23.12.2024; approved after reviewing on 01.04.2025; accepted for publication on 14.04.2025.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 634.75:577.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях
Свердловской области

Н. Л. Наумова, Т. Н. Слепнева, О. А. Павлова

*Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Наталья Леонидовна Наумова, n.naumova@inbox.ru

Актуальность. При возрастающих требованиях, предъявляемых к новым сортам земляники с точки зрения пищевой ценности плодов, в каждой зоне ягодоводства необходима комплексная оценка сортового фонда по минеральному составу.

Материалы и методы. Исследованы плоды 6 сортов земляники садовой и 1 сорта землянично-клубничного гибрида (ЗКГ) среднего срока созревания отечественной селекции в условиях Свердловской селекционной станции садоводства (г. Екатеринбург). Минеральный состав изучали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

Результаты. В ягодах земляники выявлено 23 макро- и микроэлемента, большинство из которых содержалось во всех плодах с образованием убывающего ряда: $K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na \geq Mn > Ba > B > Sr \geq Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo$. Определена избирательная способность к аккумуляции для Al, Cd, Co, Pb, Se, V. Резких межсортовых различий в обеспечении потребности человека в эссенциальных макроэлементах при употреблении порции ягод не выявлено. Установлены корреляционные связи между элементами в плодах.

Заключение. По преимущественному накоплению эссенциальных и условно эссенциальных микроэлементов Cr, V, Co, Fe, Mn, Si выделен сорт 'Торпеда', по накоплению Cr, V, Co, Fe, Mo – сорт 'Акварель', которые рекомендуются для использования в селекции земляники в направлении улучшения минерального состава ее плодов с целью дальнейшего производства специализированных продуктов питания на их основе. В качестве генетического источника Mo предлагается использовать сорт 'Италмас', Co – сорт 'Купчиха'.

Ключевые слова: земляника, сорта, элементный состав, генетические источники, микроэлементы

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственного задания НИОКР по направлению 4.1.2 «Растениеводство, защита и биотехнология растений» по теме № 0532-2024-0007.

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

Для цитирования: Наумова Н.Л., Слепнева Т.Н., Павлова О.А. Минеральный состав ягод культиваров земляники в условиях Свердловской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):47-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars under the conditions of Sverdlovsk Province

Natalya L. Naumova, Tatyana N. Slepneva, Olga A. Pavlova

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Natalya L. Naumova, n.naumova@inbox.ru

Background. Growing requirements on new strawberry cultivars for higher nutritional value of their fruits call for a comprehensive evaluation of their assortment in each berry-growing zone.

Materials and methods. Berries of 6 garden strawberry cultivars and 1 hybrid cultivar obtained from crossing garden and wild strawberries, all of them midseason and developed domestically, were studied at Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture, Yekaterinburg. Their mineral composition was analyzed using the method of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES).

Results. Twenty-three macro- and micronutrients were found in the berries. Most of them were observed in all fruits (in descending order of their content): $K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na \geq Mn > Ba > B > Sr \geq Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo$. The selective accumulation ability was specified for Al, Cd, Co, Pb, Se, and V. There were no significant differences among the cultivars in meeting human needs for essential macronutrients when consuming a serving of berries. Correlations among the nutrients in berries were established.

Conclusion. Cv. 'Torpeda' demonstrated predominant accumulation of essential and conditionally essential micronutrients (Cr, V, Co, Fe, Mn, and Si), and cv. 'Akvarel' stood out for accumulation of Cr, V, Co, Fe, and Mo. Both are recommended to strawberry breeders who seek improvement of the mineral composition in strawberry fruits to produce on their basis specialized food products. Cv. 'Italmas' was identified as a genetic source of Mo, and cv. 'Kupchikha' as a source of Co.

Keywords: strawberry, cultivars, nutrient composition, genetic sources, micronutrients

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state task, Research and Development Area 4.1.2. "Plant production, protection and biotechnology", Topic No. 0532-2024-0007.

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

For citation: Naumova N.L., Slepneva T.N., Pavlova O.A. Mineral composition of the fruit of strawberry cultivars under the conditions of Sverdlovsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):47-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-47-56

Введение

Среди видов рода *Fragaria* L. земляника ананасная, или садовая (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier), наиболее распространена и занимает ведущее место в промышленном ягодоводстве. Ее несомненными достоинствами являются экологическая пластичность, скороплодность, высокая урожайность и товарность плодов, технологичность при возделывании. Межвидовые же гибриды (*Fragaria × anaschata* Kantor) наибольшее распространение получили в любительском садоводстве, отличаясь более высокой зимостойкостью, но меньшим товарным качеством ягод. Вкусные и ароматные ягоды земляники обладают уникальным комплексом лечебных и диетических свойств, благодаря содержанию незаменимых пищевых нутриентов (витаминов, минеральных элементов, органических кислот, полифенольных соединений и др.). Большой интерес к данной ягодной культуре обусловлен, прежде всего, высоким содержанием аскорбиновой (11,4–118,2 мг/100 г) и фолиевой (20–25 мг/100 г) кислот, флавоноидов (144,8–180,6 мг/100 г), уровнем макроэлементов: К (1,55–2,53 г/кг), Mg (0,11–0,23 г/кг), Са (0,16–0,29 г/кг) и других биологически активных веществ. Основной химический состав земляники садовой описан в значительном количестве отечественных и зарубежных научных работ (Singh et al., 2010; Eliseeva, Blinnikova, 2013; Kouam et al., 2024). Однако имеющиеся сведения о минеральной ценности ее плодов носят фрагментарный характер, при этом недостаточно изучены уровни отдельных минеральных компонентов, элементный ряд исследуемых минеральных веществ зачастую ограничивается несколькими наименованиями и др.

Известно, что содержание минералов в растительном сырье зависит от его видовых и сортовых особенностей, ареала произрастания, климатических условий, технологий возделывания и т. д. Так, плоды сорта земляники садовой 'Самагоса' американской селекции, выращенной в Центрально-Черноземном регионе РФ, характеризовались высоким содержанием К (2375 мг/кг), Mg (430 мг/кг), Mn (2,8 мг/кг), Cu (0,99 мг/кг), Co (17 мкг/кг), Fe (6,85 мг/кг) и Se (33 мкг/кг) (Eliseeva, Blinnikova, 2013); сорта 'Vima Zanta' – повышенными уровнями К (2273 мг/кг) и Mg (524 мг/кг) (Akimov et al., 2019). Лидером по содержанию Mn (1,3 мг/кг), Cu (0,9 мг/кг) и Zn (0,8 мг/кг) являлся сорт 'Елизавета', по количеству I – сорт 'Нопеоуе' (0,09 мг/кг), возделываемые в Республике Дагестан (Mukailov et al., 2017). В ягодах селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина устанав-

лено высокое содержание Fe в плодах сорта 'Лакомая' (9,27 мг/кг), Zn – в сортах 'Праздничная' (1,87 мг/кг) и 'Фейерверк' (1,77 мг/кг), К – в сорте 'Урожайная ЦГЛ' (2510,0 мг/кг). Выращенные на базе Северо-Кавказского зонального НИИ садоводства и виноградарства ягоды сортов 'Ламбада' и 'Симфония' по уровню Са (40,3–41,2 мг%), сортов 'Darselect', 'Malling Pegasus', 'Симфония' по содержанию Mg (12,8–16,7 мг%) превосходили многие плоды, а по количеству Fe земляника сортов 'Florence', 'Polka' и 'Malling Pegasus' занимала ведущее место среди плодов и ягод, накапливая до 1340–1460 мкг% этого микроэлемента (Prichko et al., 2011).

В научных трудах доказано более сильное воздействие генотипа на содержание минеральных элементов в плодах земляники, чем влияние факторов окружающей среды. Содержание К, Са, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu в землянике садовой сортов 'Ofra', 'Sweet Charlie', 'Elista', 'Festival', 'Camagosa', 'Douglas' имело высокую наследуемость (> 80%) (Singh et al., 2010). В землянике сортов 'Charlotte' и 'Camagosa' определена значимая положительная корреляция ($p < 0,001$) между уровнями К – Na, К – Р и Р – Na, антагонистические эффекты ($p < 0,001$) – в парах Са – Na, Са – К (Kouam et al., 2024).

При возрастающих требованиях, предъявляемых новыми сортами земляники с точки зрения пищевой ценности плодов, в каждой зоне ягодоводства необходима комплексная оценка сортового фонда по минеральному составу (Akimov et al., 2019). Относясь к незаменимым нутриентам пищи, минеральные вещества играют важную роль в различных обменных процессах организма. Сравнительная оценка минеральной ценности ягод земляники, возделываемой в условиях Свердловской области, ранее не проводилась. В этой связи целью исследования явилось выделение ценных форм с высоким уровнем накопления макро- и микроэлементов в плодах данной ягодной культуры в регионе возделывания для дальнейшей селекции в направлении улучшения минерального состава ее плодов.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили плоды земляники садовой сортов 'Акварель', 'Альтаир', 'Гейзер', 'Италмас', 'Торпеда', 'Фестивальная' и землянично-клубничного гибрида (ЗКГ) сорта 'Купчиха' (табл. 1), выращенные в сезон 2024 г. в условиях Уникальной научной установки (УНУ) «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразде-

Таблица 1. Перечень изученных сортов культуры земляники

Table 1. List of the studied strawberry cultivars

Название	Происхождение	Оригинатор
'Акварель'	'Арника' × 'Горноуктусская'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Альтаир'	'Totem' × 'Фестивальная'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Гейзер'	'Арника', свободное опыление	УрФАНИЦ УрО РАН
'Италмас'	'Фестивальная' × 'Stoplight'	УрФАНИЦ УрО РАН
ЗКГ 'Купчиха'	263-88, свободное опыление	ФНЦ садоводства
'Торпеда'	'Фестивальная' × 'Robinson'	УрФАНИЦ УрО РАН
'Фестивальная'	'Обильная' × 'Premier'	ВИР

ления Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург).

Почва участка сортоизучения дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, pH 5,3–5,5 (среднекислая). Содержание в почве гумуса – 6,1%, N – 150 мг/кг, P₂O₅ – 24 мг/кг, K₂O – 114 мг/кг. Схема посадки – 0,9 × 0,2 м. Агротехника: предшественник – черный пар, на делянках осуществлялась ручная прополка и рыхление с удалением усов, полив проводился 1 раз в неделю до и во время созревания.

Перезимовка 2023/24 г. для культуры характеризовалась как благополучная. Отрастание земляники проходило при прохладной (среднемесячная температура была ниже среднесуточной на 4,1°C), с обильным выпадением осадков (146% выше нормы) погоде. Цветение отмечено как хорошее. Созревание ягод началось раньше на 7–10 дней, чем обычно (обычными для культуры в условиях Среднего Урала являются сроки с 06 по 11 июля), и продолжалось в течение 20–25 дней. Количество выпавших осадков во время созревания в третьей декаде июня превысило среднюю многолетнюю норму в 3,5 раза (норма – 24,7 мм, по факту – 85,2 мм).

Отбор проб ягод земляники осуществляли в период массового созревания плодов. Для всех проб проводили кислотное разложение в автоклавах под действием микроволнового излучения с контролем температуры с помощью микроволновой системы Milestone ETHOS (Италия). Содержание минеральных веществ определяли по МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 (МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03..., 2003). Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой посредством прибора iCAP 7200 DUO с программным обеспечением iTEVA iCAP Software (США) анализировали валовое содержание элементов (Al, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sr, Ti, V, Zn) в подготовленных пробах ягод земляники.

Все измерения выполнены в трех параллельных определениях и представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение. Математическую обработку данных проводили с использованием пакета программы Microsoft Excel 2016, а также языка программирования Python с применением библиотек Numpy, Pandas, Seaborn.

Результаты и обсуждение

По литературным данным, ягоды земляники садовой характеризуются достаточно высоким содержанием K, Mg, Cu, Mn, Co, Fe и Se (Akimov et al., 2019). У исследуемых сортов идентифицировано 23 минеральных элемента (табл. 2), большинство из которых (17 элементов) определено во всех плодах, что позволило расположить их в следующем ряду: K > P > Ca > Mg > Si > Fe > Na ≥ Mn > Ba > B > Sr ≥ Zn > Cu > Ti > Ni > Cr > Mo, характерном для всех сортов. Избирательная способность земляники садовой к аккумуляции минеральных веществ проявилась у всех сортов, кроме 'Торпеды'. Так, в ягодах сорта 'Акварель' уровни Cd, Pb, сорта 'Альтаир' – Co, Se, V, сорта 'Гейзер' – Cd, Pb, V, сорта 'Италмас' – V, сорта 'Купчиха' – Al, сорта 'Фестивальная' – Se, V были ниже пределов их обнаружения применяемым методом исследования.

В наибольших количествах в ягодах земляники содержались жизненно необходимые макроэлементы, а именно K, P, Ca, Mg (Na присутствовал в значительно меньших концентрациях), межсортные различия

в уровнях которых были минимальными (за исключением Na).

Наибольшее содержание K (1817,2–1993,0 мг/кг) определено в сортах 'Торпеда', 'Гейзер', 'Фестивальная', наименьшее – в сорте 'Купчиха' (1221,2 мг/кг). Калий считается определяющим фактором в накоплении сахаров, витамина C и формировании кислотности плодов земляники (Preciado-Rangel et al., 2020).

Относительно высокий уровень P (428,0–439,0 мг/кг) установлен в плодах земляники сортов 'Италмас' и 'Фестивальная', относительно низкий – в сортах 'Акварель' и 'Купчиха' (332,1–337,3 мг/кг), усредненное значение показателя (в пределах 380 мг/кг) было свойственно сортам 'Альтаир' и 'Торпеда'. Фосфор – это ключевой элемент фотосинтеза, дыхания и биосинтеза нуклеиновых кислот (Lambers, 2022).

Самое высокое содержание Ca выявлено в плодах земляники сорта 'Италмас' (265,0 мг/кг), самое низкое – в сорте 'Фестивальная' (152,1 мг/кг). Ягоды трех сортов: 'Купчиха', 'Акварель', 'Альтаир' – не имели существенных различий в величине данного показателя (166–169 мг/кг). Кальций участвует в построении клеток корней, листьев, плодов земляники (Khalil, Hammoodi, 2020).

Уровень Mg в ягодах находился в диапазоне 103–129 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Италмас'. При этом величины значений у четырех изучаемых сортов: 'Фестивальная', 'Купчиха', 'Альтаир' и 'Гейзер' – соответствовали 109–113 мг/кг. Магний входит в состав органелл клеток (хлоропластов, рибосом), мембран, клеточных стенок, участвует в фотосинтезе, дыхании, синтезе белков и углеводов, связан с деятельностью порядка 300 ферментов (Akanova et al., 2021).

Интервал концентраций Na в ягодной продукции составил 1,61–13,37 мг/кг с вариабельностью количественных характеристик до 8 раз. Высокое содержание элемента определено в плодах двух сортов: 'Италмас' (11,41 мг/кг) и 'Гейзер' (13,37 мг/кг). В ягодах остальных сортов уровень Na был в пределах величины нижней границы установленного диапазона. Натрий участвует в транспорте веществ через мембраны, входя в так называемый натрий-калиевый насос. Хорошая обеспеченность растений Na повышает их зимостойкость (Kabata-Pendias, 2010).

Эссенциальные микроэлементы в ягодах земляники были представлены Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co, Se.

Содержание Fe в ягодах существенно изменялось в зависимости от сорта от 2,46 мг/кг ('Гейзер') до 32,81 мг/кг ('Торпеда'). Среднее значение показателя (14,20 мг/кг) определено в плодах сорта 'Акварель'. Железо является конституционной и функциональной составляющей многих ферментных систем, участвует в построении молекул цитохромов, служит металлом – активатором неспецифических к металлу энзиматических систем (Kabata-Pendias, 2010).

Содержание Mn в ягодах земляники садовой варьировало с менее выраженными различиями в пределах от 1,02 мг/кг ('Гейзер') до 4,10 мг/кг ('Торпеда'). Марганец обеспечивает синтез витамина C, является активным редокс-компонентом ряда энзимов, антагонистом Fe, Ni, Cu, Zn и в то же время синергистом Zn, Fe и Co, что подтверждает значимость соотношений между этими элементами в растительной клетке (Rebrov, Gromova, 2008).

Разница между min- и max-величинами концентраций Zn, Cu, Mo, Se в плодах земляники изучаемых сортов доходила до 2–3 раз. Относительно высокое содержание Zn (1,1–1,2 мг/кг) выявлено в ягодах сортов 'Торпеда'

Таблица 2. Минеральный состав ягод культуры земляники (Екатеринбург, 2024 г.)**Table 2. Mineral composition of strawberry fruits (Yekaterinburg, 2024)**

Элементы	Результаты исследований для сорта, мг/кг сырой массы						
	‘Аквадель’	‘Альтаир’	‘Гейзер’	‘Италмас’	‘Купчиха’	‘Торпеда’	‘Фестивальная’
Al	8,71 ± 0,31	0,62 ± 0,02	0,84 ± 0,03	0,43 ± 0,02	< 0,017	21,56 ± 1,05	0,21 ± 0,01
B	1,02 ± 0,05	1,20 ± 0,04	1,20 ± 0,05	1,01 ± 0,03	1,06 ± 0,04	1,21 ± 0,03	1,36 ± 0,05
Ba	1,28 ± 0,06	2,04 ± 0,12	1,61 ± 0,07	2,49 ± 0,14	1,70 ± 0,06	2,28 ± 0,11	1,42 ± 0,05
Ca	169,0 ± 7,2	169,2 ± 7,0	211,1 ± 9,7	265,0 ± 10,2	166,3 ± 6,8	220,0 ± 8,9	152,1 ± 6,2
Cd	< 0,0001	0,003 ± 0,001	< 0,0001	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,023 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Co	0,022 ± 0,002	< 0,001	0,008 ± 0,001	0,007 ± 0,001	0,012 ± 0,002	0,036 ± 0,002	0,007 ± 0,001
Cr	0,370 ± 0,014	0,018 ± 0,002	0,020 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,010 ± 0,001	0,510 ± 0,020	0,014 ± 0,001
Cu	0,24 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,66 ± 0,03	0,47 ± 0,02	0,49 ± 0,02	0,51 ± 0,01
Fe	14,20 ± 0,95	3,70 ± 0,15	2,46 ± 0,11	4,31 ± 0,20	3,01 ± 0,16	32,81 ± 2,04	3,10 ± 0,14
K	1643,0 ± 61,2	1624,2 ± 63,4	1891,0 ± 72,5	1550,1 ± 54,2	1221,2 ± 44,1	1817,2 ± 68,7	1993,0 ± 70,9
Mg	103,1 ± 4,2	111,3 ± 5,6	113,1 ± 4,9	123,0 ± 6,3	111,0 ± 5,2	129,0 ± 6,5	109,2 ± 5,1
Mn	1,24 ± 0,05	1,38 ± 0,09	1,02 ± 0,05	1,62 ± 0,06	1,60 ± 0,04	4,10 ± 0,18	2,16 ± 0,10
Mo	0,083 ± 0,002	0,061 ± 0,002	0,065 ± 0,002	0,120 ± 0,005	0,044 ± 0,001	0,058 ± 0,002	0,077 ± 0,003
Na	1,62 ± 0,05	2,28 ± 0,12	13,37 ± 0,93	11,41 ± 0,84	1,61 ± 0,06	2,79 ± 0,17	1,83 ± 0,07
Ni	0,16 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,21 ± 0,04	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,24 ± 0,01
P	332,1 ± 13,2	380,2 ± 15,7	403,0 ± 19,5	428,0 ± 21,6	337,3 ± 15,8	380,1 ± 16,1	439,0 ± 23,5
Pb	< 0,005	0,022 ± 0,001	< 0,005	0,049 ± 0,002	0,038 ± 0,002	0,030 ± 0,001	0,070 ± 0,003
Se	0,014 ± 0,001	< 0,005	0,018 ± 0,001	0,027 ± 0,002	< 0,005	0,018 ± 0,002	< 0,005
Si	20,69 ± 1,08	16,14 ± 0,93	13,88 ± 0,74	11,12 ± 0,58	10,66 ± 0,52	51,80 ± 2,44	14,54 ± 0,90
Sr	0,95 ± 0,03	1,37 ± 0,05	1,05 ± 0,04	1,50 ± 0,05	1,52 ± 0,04	1,18 ± 0,03	0,77 ± 0,02
Ti	0,69 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,09 ± 0,01	2,39 ± 0,15	0,10 ± 0,01
V	0,034 ± 0,002	< 0,001				0,100 ± 0,005	< 0,001
Zn	0,56 ± 0,02	0,81 ± 0,03	0,81 ± 0,02	0,83 ± 0,02	1,20 ± 0,05	1,07 ± 0,04	0,79 ± 0,02

и ‘Купчиха’, Cu (0,66 мг/кг), Mo (0,120 мг/кг), Se (0,027 мг/кг) – в ягодах сорта ‘Италмас’. Данные микроэлементы повышают активность фотосинтеза, что способствует накоплению хлорофилла. Цинк регулирует белковый, углеводный, фосфорный обмены, усиливает биосинтез гормонов роста, повышает стрессоустойчивость (Moptina, Kolesov, 2023). Медь и молибден участвуют в синтезе аминокислот и белков, медь входит в состав дыхательного фермента цитохромоксидазы и медьсодержащего белка пластоцианина (Kabata-Pendias, 2010). Селен оказывает влияние на ростовые процессы, зимостойкость, засухоустойчивость и продуктивность растений, смягчает действие окислительного стресса (Cunha, de Mello Prado, 2023).

Самый высокий уровень Co (0,022 и 0,036 мг/кг) установлен в ягодах двух сортов: ‘Аквадель’ и ‘Торпеда’, минимальный (0,007–0,008 мг/кг) – в ягодах трех сортов: ‘Гейзер’, ‘Италмас’, ‘Фестивальная’. Кобальт регулирует росто-

вые и ферментные процессы, повышает устойчивость хлорофилла, участвуя в окислительном фосфорилировании и фотосинтезе, в матричных синтезах, синтезе углеводов, жиров, кобаламина (Lange et al., 2018).

Группа вероятно необходимых микроэлементов была представлена Si, B, Sr, Ti, Ni, Cr, V. Межсортные различия в концентрациях Ti и Cr оказались значительными, до 27 и 51 раза соответственно.

Относительно высокое содержание Si (51,80 мг/кг) определено в плодах сорта ‘Торпеда’, что в 5 раз больше, чем в ягодах сорта ‘Купчиха’ (10,66 мг/кг). Земляника садовая активно поглощает Si из почвы, в результате повышается содержание как Si, так и элементов, необходимых для фотосинтеза, – P, K, S, Fe, Mn, Zn; увеличивается содержание хлорофилла, каротиноидов, растет биомасса корневой системы (Ambros et al., 2023).

Содержание бора в ягодах земляники варьировалось с менее выраженными различиями в пределах от

1,01 мг/кг ('Италмас') до 1,36 мг/кг ('Фестивальная'). Бор оказывает влияние на фотосинтез, на поступление азота и включение его в белковые соединения, на поглощение растениями К и Са (Kabata-Pendias, 2010).

В ягодах двух сортов ('Италмас', 'Купчиха') уровень Sr был одинаково высоким (1,50–1,52 мг/кг) на фоне остальных сортообразцов. Стронций тесно связан с кальцием в процессах биоминерализации и во время переноса из почвы в растение. Кальций противодействует стрессу стронция, а стронций, в свою очередь, может в определенной степени облегчить дефицит кальция, заменяя его, например, во время роста растений. Он берет на себя такую метаболическую функцию кальция, как поддержание активности ферментов (около 40% от нормы) (Ermakov, 2023).

Содержание Ti изменялось от 0,09 мг/кг ('Купчиха', 'Фестивальная') до 2,39 мг/кг ('Торпеда'). Титан усиливает поглощение Fe и Mg; участвует в окислительно-восстановительных реакциях, повышая активность Fe; стимулирует ферментативную активность и фотосинтез; увеличивает устойчивость к стрессам; повышает урожайность (Lyu et al., 2017).

Несколько больший уровень Ni (0,21–0,24 мг/кг) выявлен в плодах двух сортов: 'Италмас', 'Фестивальная'. Никель снижает полуденную депрессию фотосинтеза и способствует ночному поглощению углекислоты (Dubynina, 2022).

Содержание Cr в ягодах находилось в интервале 0,010–0,510 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Акварель'. Нетоксичные концентрации хрома могут вызывать некоторую стимуляцию физиологических процессов, в то время как высокие угнетают рост корней и надземной части растений, снижают биомассу, нарушают фотосинтез, повреждают мембраны (Bobkova, Kononov, 2020).

Присутствие V установлено только в двух сортах: 'Торпеда' (0,100 мг/кг) и 'Акварель' (0,034 мг/кг). Небольшие количества ванадия стимулируют синтез хлорофилла, обмен азота, усвоение питательных веществ, рост растений (Aihemaiti et al., 2019).

Из токсичных элементов были определены Al, Ba, Cd, Pb.

Высокое содержание Al выявлено в плодах сортов 'Торпеда' (21,56 мг/кг) и 'Акварель' (8,71 мг/кг), что соответственно в 102 и 41 раз больше, чем в ягодах сорта 'Фестивальная' (0,21 мг/кг). Алюминий вытесняет из клеток корней кальций, вызывая тем самым снижение проницаемости плазмалеммы, быстро блокирует ее сорбционные центры, что нарушает ионный обмен. В результате, наряду с Са, Al вызывает недостаточность P, Fe, Mg, Mn, K, воды, нитратов для растений (Matsumoto, 2000).

Содержание Ba в ягодах находилось в интервале 1,28–2,49 мг/кг с максимальной концентрацией в сортах 'Торпеда' и 'Италмас'. Барий по своим химическим свойствам близок к Sr и Са, являясь щелочноземельным элементом. Барий не относится к элементам, необходимым для жизни растений (Dubynina, 2022).

Особое значение имеют Cd и Pb, для которых биогенные функции не установлены, но уровень токсичности при этом чрезвычайно высок. Известно, что Cd негативно воздействует на метаболические процессы (фотосинтез, углеводный и азотный обмены), индуцирует окислительный стресс, нарушает водный баланс и поступление макро- и микроэлементов в растительные ткани (Kaznina, Titov, 2013). Pb ингибирует деление клеток и подавляет рост растительных тканей. Воздействие этих микро-

элементов на растительные клетки носит мутагенный характер, вызывая нарушения митоза и структурные повреждения хромосом (Bobkova, Kononov, 2020). В сравнительном аспекте повышенный уровень Cd выявлен в плодах сорта 'Торпеда' (0,023 мг/кг), Pb – в сорте 'Фестивальная' (0,070 мг/кг), что, однако, не превысило допустимых верхних пределов (для Cd – 0,03 мг/кг, для Pb – 0,4 мг/кг) их содержания в ягодах согласно требованиям ТР ТС 021/2011 (ТР ТС 021/2011..., 2024).

Далее соотносили удовлетворение суточной потребности в минеральных элементах за счет включения в пищевой рацион ягод разных сортов с нормами их потребления согласно МР 2.3.1.0253-21 (МР 2.3.1.0253-21..., 2021). Из научных работ (Akimov et al., 2019) следует, что одна порция (250 г) плодов земляники садовой позволяет обеспечить суточную потребность человека в К и Mg на 20%, Fe – на 6–10%, Cu – на 6%. Мы определили, что ягоды земляники того или иного наименования резких межсортных различий в обеспечении потребности в макроэлементах не имели (рис. 1, а), за исключением Na. Так, суточная потребность в P может быть обеспечена на 12–16%, К – на 11–15%, Mg – на 6–8%, Са – на 4–7%, Na – на 0,03–0,26%.

Значительное преимущество по обеспечению организма человека микроэлементами установлено за ягодами сорта 'Торпеда' (рис. 1, б). Так, обеспеченность V за счет употребления порции этих плодов составит 166,7%, Co – 90,0%, Fe – 82,0%, Mn – 51,3%, Si – 43,3%, Se – 15,8%. Физиологическая роль V изучена недостаточно, однако его нейропротекторная и кардиопротекторная активность, участие в регуляции углеводного и жирового обмена вызывают интерес исследователей во всем мире (Ścibior et al., 2020). Согласно нормам другого действующего документа – МР 2.3.1.1915-04 (МР 2.3.1.1915-04..., 2004), верхний допустимый предел потребления V в составе диетических продуктов и БАД определен на уровне 100 мкг/сут. В этом аспекте порция ягод сорта 'Торпеда' содержит не более 25% от величины, являющейся пределом суточного потребления этого микроэлемента в составе специализированных продуктов питания.

Плоды земляники садовой сорта 'Акварель' смогут удовлетворить суточную потребность в Co и V на 55–56%, Fe – на 35,5%, Si – 17,2%, Mn – 15,5%; сорта 'Италмас' – потребность в Mn на 20,3%, Co – на 17,5%, Cu – на 16,5%; сорта 'Гейзер' – потребность в Co на 20,0% при прочих равнозначных показателях. Ягоды сортов 'Купчиха', 'Фестивальная' и 'Альтаир' уступают по обеспечению пищевого рациона Se, несмотря на относительно высокое содержание Co (30% от суточной потребности) и Mn (27% и 17% от суточной потребности) соответственно.

Относительно высокие уровни аккумуляции Al и Cr в плодах земляники сортов 'Торпеда' и 'Акварель' подвели к их детальному анализу на соответствие нормам потребления. Выявленные в последнее время токсические эффекты Al обуславливают риск развития различных заболеваний (рака молочной железы, слабоумия, синдрома Альцгеймера, болезни Паркинсона и др.) (Bagryanseva et al., 2016). В МР 2.3.1.0253-21 не регламентирована физиологическая потребность человека в Al. Однако из международной практики (European Food Safety Authority (EFSA), 2013) известны такие показатели, как безопасный уровень поступления Al за неделю из всех пищевых источников (TWI = 1 мг/кг массы тела), а также условно переносимый уровень потребления Al за неделю (PTWI = 0–2,0 мг/кг массы тела). Исходя из этого, употребление

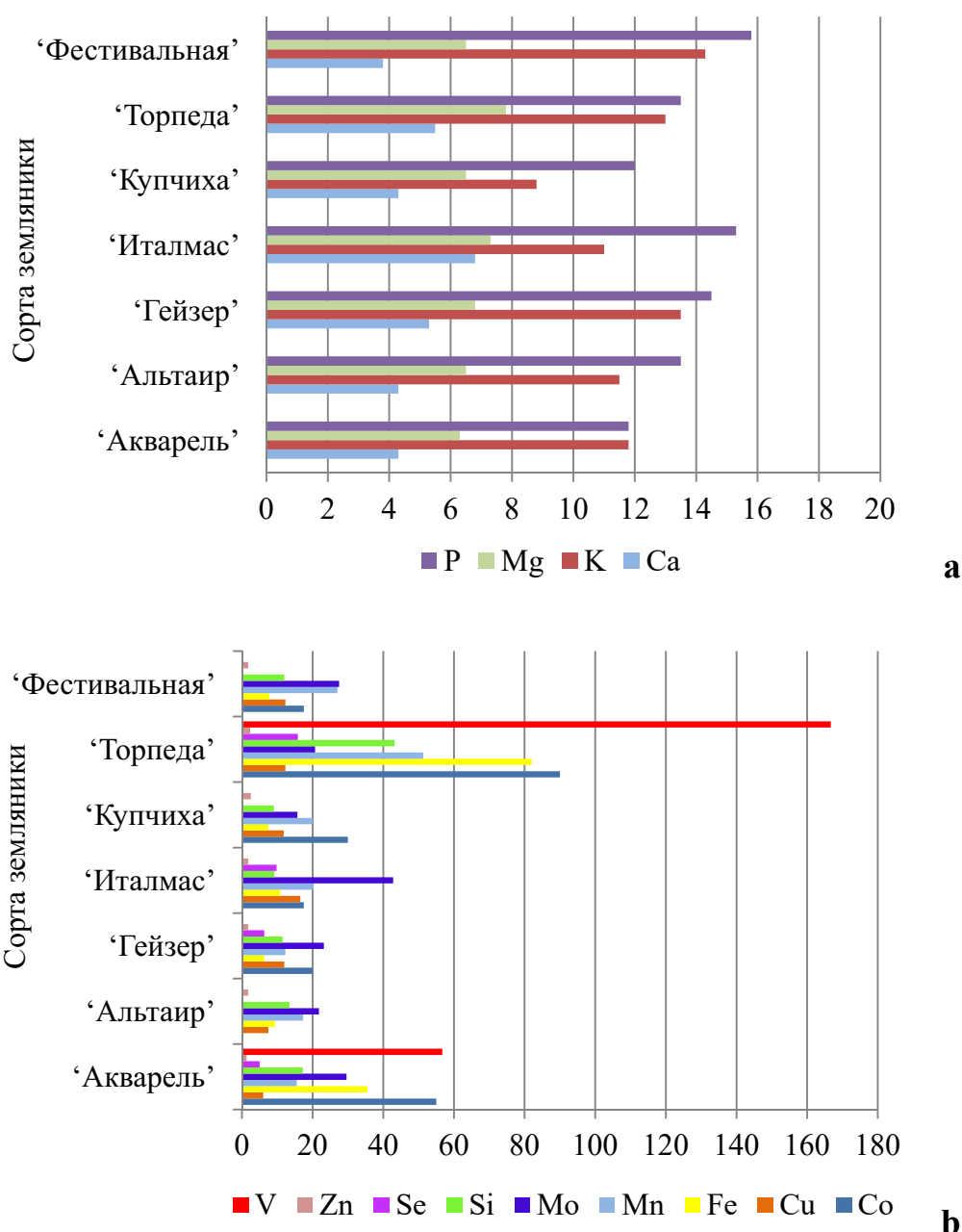


Рис. 1. Удовлетворение суточной потребности в минеральных веществах при употреблении 250 г ягод культуры земляники (%): а – обеспечение потребности в макроэлементах; б – обеспечение потребности в микроэлементах

Fig. 1. Meeting the daily requirements for minerals when consuming 250 g of strawberry fruits (%): a – meeting the need for macronutrients; b – meeting the need for micronutrients

порции ягод (250 г/сут.) сорта ‘Торпеда’ (или ‘Акварель’) взрослым человеком массой тела 60 кг достигнет 63% (или 25%) от безопасного и 31% (или 13%) от условно переносимого уровней потребления Al в сутки.

Согласно МР 2.3.1.0253-21, уточненная физиологическая потребность в Cr для взрослого человека составляет 40 мкг/сут., по нормам МР 2.3.1.1915-04 верхний допустимый предел потребления Cr в составе диетических продуктов и БАД определен на уровне 250 мкг/сут. Из сведений (Reutina, 2009), при тяжелых нагрузках и беременности потребление Cr увеличивается до 150–200 мкг/сут. В соответствии с этим употребление порции ягод земляники сорта ‘Торпеда’ (или ‘Акварель’) обеспе-

чит 318% (или 232%) суточной потребности в Cr, но не превысит предела его потребления, установленного для специализированных продуктов питания. Общеизвестно, что Cr участвует в регуляции синтеза жиров и обмена углеводов, обеспечивает поддержание уровня глюкозы в крови, регулирует работу сердца и кровеносных сосудов (Suslikov, 2002).

Проведенный корреляционный анализ между уровнями элементов в ягодах показал (рис. 2) наличие очень сильной линейной связи ($p < 0,001$) между комплексом элементов Al, V, Ti, Si, Fe, Cr, Co ($r = 0,91–1,0$), а также Cd и V, Ti, Si, Mn ($r = 0,91–0,97$). Сильная положительная взаимосвязь ($p < 0,01$) определена между Al и Mn, Cd ($r =$

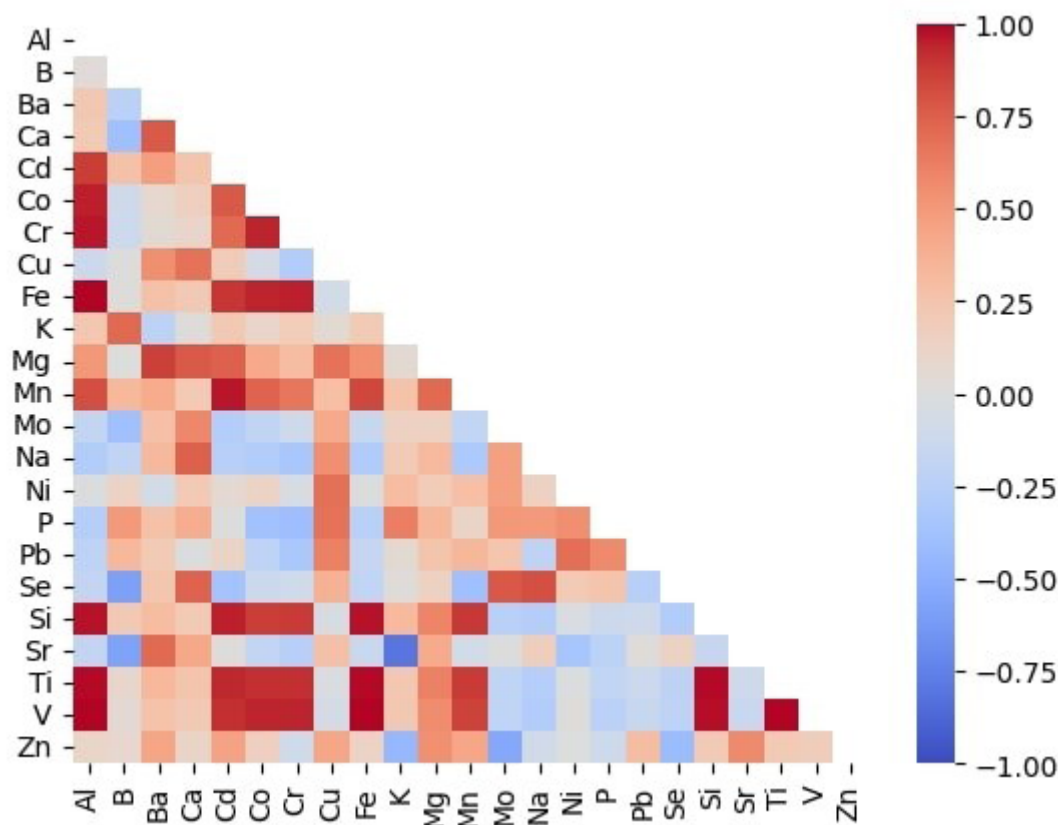


Рис. 2. Корреляционная матрица концентрации элементов в ягодах культуры земляники

Fig. 2. Correlation matrix of nutrient concentrations in strawberry fruits

0,81–0,87), B и K, Sr, Ca ($r = 0,72–0,77$), Ba и Mg ($r = 0,86$), Ca и Se, Na, Mg ($r = 0,74–0,77$), Cd и Mg, Fe, Cr, Co ($r = 0,72–0,89$), Co и Mn ($r = 0,74$), Fe и Mn ($r = 0,84$), Mg и Mn ($r = 0,71$), Mn и V, Ti, Si ($r = 0,86–0,89$), Mo и Se ($r = 0,78$), Na и Se ($r = 0,81$), Ni и Pb ($r = 0,70$). Отрицательная корреляция установлена в паре K и Sr ($r = -0,81$). Таким образом, применение каких-либо агротехнических приемов, направленных на снижение накопления Al, Cr, V или Cd в плодах земляники исследуемых сортов, будет одновременно способствовать уменьшению уровней эссенциальных и условно эссенциальных элементов – Fe, Mn, Co, Si и, как следствие, Mg, Ca и Se в ягодах.

Заключение

В ягодах земляники садовой среднего срока созревания выявлено 23 минеральных элемента, содержание которых варьировалось в зависимости от сорта. Генетическим источником высокого суммарного накопления макро- и микроэлементов в плодах является сорт 'Торпеда'.

Исходным материалом для селекционной работы в направлении накопления эссенциальных и условно эссенциальных элементов – Cr, V, Co, Fe, Mn, Si – в ягодах с целью дальнейшего производства специализированных продуктов питания на их основе можно рассматривать сорт 'Торпеда', для накопления Cr, V, Co, Fe, Mo – сорт 'Акварель'. В качестве генетического источника Mo предлагается использовать сорт 'Италмас', Co – сорт 'Купчиха'.

Полученные данные имеют большое практическое значение в разработке стратегии улучшения культуры земляники в Свердловской области.

References / Литература

- Aihemaiti A., Gao Y., Meng Y., Chen X., Liu J., Xiang H. et al. Review of plant-vanadium physiological interactions, bioaccumulation, and bioremediation of vanadium-contaminated sites. *The Science of the Total Environment*. 2019;712:135637. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135637
- Akanova N.I., Kozlova A.V., Mukhina M.T. Magnesium role in plant nutrition system. *Agrochemical Herald*. 2021;(6):66-72. [in Russian] (Аканова Н.И., Козлова А.В., Мухина М.Т. Роль магния в системе питания растений. *Агрохимический вестник*. 2021;(6):66-72). DOI: 10.24412/1029-2551-2021-6-014
- Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Makarov V.N., Perova I.B., Shevyakova L.V., Vrzhesinskaya O.A. et al. Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties. *Problems of Nutrition*. 2019;88(2):64-72. [in Russian] (Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Макаров В.Н., Перова И.Б., Шевякова Л.В., Вржесинская О.А. и др. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники. *Вопросы питания*. 2019;88(2):64-72). DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10019
- Ambros E.V., Krupovich E.S., Kolmogorov Yu.P., Trofimova E.G., Gusev I.S., Goldenberg B.G. Modulation of growth and chemical element accumulation in *Fragaria × ananassa* plants *in vivo* under the effect of silicon chelates. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(4):494-505. [in Russian] (Амброс Е.В., Крупович Е.С., Колмогоров Ю.П., Трофимова Е.Г., Гусев И.С., Гольденберг Б.Г. Модуляция роста и аккумуляции химических элементов в растениях *Fragaria × ananassa* в условиях *in vivo* под действием хелатов кремния. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*.

- 2023;13(4):494-505). DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-494-505
- Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Besonov V.V., Arnautov O.V. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers. *Health Risk Analysis*. 2016;(1):49-57.
- Bobkova V.V., Konovalov S.N. Regularities of accumulation of heavy metals by strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants from soddy-podzoly soil using adsorbents based on mineral and polymeric substances. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020;62:152-164. [in Russian] (Бобкова В.В., Коновалов С.Н. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов растениями земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) из дерново-подзолистой почвы при использовании адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020;62:152-164). DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-152-164
- Cunha M.L.O., de Mello Prado R. Synergy of selenium and silicon to mitigate abiotic stresses: a review. *Gesunde Pflanzen*. 2023;75(14):1461-1474. DOI: 10.1007/s10343-022-00826-9
- Dubynina S.S. The accumulation of trace elements in the aboveground mass of plant life forms in the geosystems of the Onon-Argun steppe. *Geographical Bulletin*. 2022;2(61):109-122. [in Russian] (Дубынина С.С. Особенности накопления микроэлементов в растениях жизненных форм надземной массы в геосистемах Онон-Аргунской степи. *Географический вестник*. 2022;2(61):109-122). DOI: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122
- Eliseeva L.G., Blinnikova O.M. Differentiation of promising fruit and berry crops' varieties in the content of biologically active substances. *Food Industry*. 2013;(6):50-52. [in Russian] (Елисеева Л.Г., Блинная О.М. Дифференцирование перспективных сортов плодово-ягодных культур по содержанию биологически активных соединений. *Пищевая промышленность*. 2013;(6):50-52).
- Ermakov V.V. Strontium in the biosphere (Strontsiy v biosphere). Novosibirsk: Akademizdat; 2023. [in Russian] (Ермаков В.В. Стронций в биосфере, Новосибирск: Академиздат; 2023).
- European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Technical report. *EFSA Supporting Publications*. 2013;10(4):411E. DOI: 10.2903/sp.efsa.2013.EN-411
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2010. DOI: 10.1201/b10158
- Kaznina N.M., Titov A.F. The influence of cadmium on physiological processes and productivity of Poaceae plants. *Advances in Current Biology*. 2013;133(6):588-603. [in Russian] (Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae. *Успехи современной биологии*. 2013;133(6):588-603).
- Khalil N.H., Hammoodi J.K. Effect of nitrogen, potassium and calcium in strawberry fruit quality. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2020;16 Suppl 1:1967-1972.
- Kouam I.D., Mounang S., Koulagna H.I., Ntsoli G.P., Titti R.W., Yaouba A. Influence of organic and mineral fertilizers and a foliar biostimulant on the yield and nutritional quality of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) under field conditions. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2024;117:104917. DOI: 10.1016/j.bse.2024.104917
- Lambers H. Phosphorus acquisition and utilization in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2022;73:17-42. DOI: 10.1146/annurev-arplant-102720-125738
- Lange B., Delhay G., Boisson S., Verbruggen N., Meerts P., Facon M.P. Variation in copper and cobalt tolerance and accumulation among six populations of the facultative metal-phyte *Anisopappus chinensis* (Asteraceae). *Environmental and Experimental Botany*. 2018;153:1-9. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.04.009
- Lyu S., Wei X., Chen J., Wang C., Wang X., Pan D. Titanium as a beneficial element for crop production. *Plant Science*. 2017;8:597. DOI: 10.3389/fpls.2017.00597
- Matsumoto H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *International Review of Cytology*. 2000;200:1-46. DOI: 10.1016/S0074-7696(00)00001-2
- Montina I.M., Kolesov A.V. The role of mineral nutrition in plant life. *Problemy sovremennoy nauki i innovatsii = Problems of Modern Science and Innovations*. 2023;(3):12-17. [in Russian] (Монтин И.М., Колесов А.В. Роль минерального питания в жизни растений. *Проблемы современной науки и инновации*. 2023;(3):12-17).
- MR 2.3.1.0253-21 Guidelines "Norms of physiological requirements for energy and nutrients in various groups of the population of the Russian Federation (Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii)". Moscow: Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare; 2021. [in Russian] (Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2021).
- MR 2.3.1.1915-04 Guidelines "Recommended levels of consumption of dietary and bioactive compounds (Rekomenduyemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskikh aktivnykh veshchestv)". Moscow: Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare; 2004. [in Russian] (Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ». Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2004).
- MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03 Guidelines "Determination of chemical elements in biological environments and preparations by methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry with inductively coupled plasma (Opredeleniye khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i preparatakh metodami atomno-emissionnoy spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy i mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy)". Moscow: Russian Ministry of Health; 2003. [in Russian] (Методические указания МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой». Москва: Минздрав России; 2003).
- Mukailov M.D., Ulchibekova N.A., Kurbanov M.S. Changes in the chemical composition of strawberry (*Fragaria ananassa* L.) at low-temperature freezing and storage. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;(2):118-125. [in Russian] (Мукайлов М.Д., Улчибекова Н.А., Курбанов М.С. Изменение химического состава ягод земляники (*Fragaria*

- ananassa* L.) при низкотемпературном замораживании и хранении. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017;(2):118-125).
- Preciado-Rangel P., Troyo-Diéguez E., Valdez-Aguilar L.A., García-Hernández J.L., Luna-Ortega J.G. Interactive effects of the potassium and nitrogen relationship on yield and quality of strawberry grown under soilless conditions. *Plants (Basel)*. 2020;9(4):441. DOI: 10.3390/plants9040441
- Prichko T.G., Yakovenko V.V., Germanova M.G. Varietal differences in the chemical composition of strawberry fruits in Krasnodar Territory (Sortovye razlishiya khimicheskogo sostava yagod zemlyaniki Krasnodarskogo kraja). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2011;27:209-219. [in Russian] (Причко Т.Г., Яковенко В.В., Германова М.Г. Сортовые различия химического состава ягод земляники Краснодарского края. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2011;27:209-219).
- Rebrov V.G., Gromova O.A. Vitamins, macro- and micronutrients (Vitaminy, makro- i mikroelementy). Moscow: GEOTAR-Media; 2008. [in Russian] (Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. Москва: ГЕОТАР-медиа; 2008).
- Reutina S.V. The role of chromium in the person's organism. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2009;(4):50-55. [in Russian] (Реутин С.В. Роль хрома в организме человека. *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009;(4):50-55).
- Ścibior A., Pietrzyk Ł., Plewa Z., Skiba A. Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multiapplications with a summary of further research trends. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020;61:126508. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126508
- Singh A., Singh B.K., Brajendra A.N., Deka B.C. Studies on the variability, inheritance, and inter-relationships of mineral macro-nutrients and micro-nutrients in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2010;85(6):551-555. DOI: 10.1080/14620316.2010.11512713
- Suslikov V.L. Geochemical ecology of diseases. Vol. 3. Atomovitozes (Geokhimicheskaya ekologiya bolezney. T. 3. Atomovitozy). Moscow: Gelios ARV; 2002. [in Russian] (Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т. 3. Атомовитозы. Москва: Гелиос АРВ; 2002).
- TR TS 021/2011. Technical Regulations of the Customs Union. On food safety (as amended on April 22, 2024). Moscow: Commission of the Customs Union; 2024. [in Russian] (ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 22 апреля 2024 г.). Москва: Комиссия Таможенного союза; 2024). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> [дата обращения: 15.01.2025].

Информация об авторах

Наталья Леонидовна Наумова, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

Татьяна Николаевна Слепнева, научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, tatyana_slepneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0065-9644>

Ольга Александровна Павлова, младший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, pavlova.olga.81@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7983-3757>

Information about the authors

Natalya L. Naumova, Dr. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

Tatyana N. Slepneva, Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, tatyana_slepneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0065-9644>

Olga A. Pavlova, Associate Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, pavlova.olga.81@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7983-3757>

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 21.01.2025; одобрена после рецензирования 09.04.2025; принята к публикации 23.04.2025. The article was submitted on 21.01.2025; approved after reviewing on 09.04.2025; accepted for publication on 23.04.2025.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.11:632.4

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-57-67



Использование метаболомного профилирования для оценки образцов *Aegilops tauschii* Coss. различного географического происхождения из коллекции ВИР

Т. В. Шеленга¹, Л. Л. Малышев¹, М. Х. Белоусова², Ю. В. Иванова¹, Ю. А. Керв¹, В. С. Попов¹, В. И. Хорева¹,
Н. Н. Чикида¹

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

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, Дербентский район, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Вадимовна Иванова, y.ivanova@vir.nw.ru

Актуальность. *Aegilops tauschii* Coss. – диплоидный вид злаков, который является носителем генома D полиплоидной пшеницы, обуславливающего хлебопекарные свойства мягкой пшеницы. *A. tauschii* часто используется для селекционного улучшения старых и создания новых сортов *Triticum aestivum* L.

В коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) содержится более 5000 образцов 27 видов рода *Aegilops* L. различного эколого-географического происхождения. Выявление образцов – доноров хозяйственно ценных признаков предполагает углубленное изучение коллекционного материала, в том числе выявление зависимости биохимических показателей от региона происхождения образца. Для оценки различий образцов семян *A. tauschii*, происходящих из регионов с контрастными климатическими условиями, применили метод метаболомного профилирования.

Материалы и методы. Материалом для изучения послужили два контрастных по происхождению образца *A. tauschii* из коллекции ВИР: к-1958 из Ирана и к-340 из Азербайджана, выращенные на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР.

Результаты и заключение. Установлена достоверность отличий метаболомных профилей образцов зерновок *A. tauschii*, происходящих из регионов с контрастным климатом: субтропический полусухой (Азербайджан) и субтропический влажный (Иран).

Ключевые слова: эгилопсы, мягкая пшеница, неспецифическое метаболомное профилирование, климатические условия

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».

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

Для цитирования: Шеленга Т.В., Малышев Л.Л., Белоусова М.Х., Иванова Ю.В., Керв Ю.А., Попов В.С., Хорева В.И., Чикида Н.Н. Использование метаболомного профилирования для оценки образцов *Aegilops tauschii* Coss. различного географического происхождения из коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):57-67. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-57-67

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-57-67

The use of metabolomic profiling to evaluate *Aegilops tauschii* Coss accessions of various geographical origin from the VIR collection

Tatiana V. Shelenga¹, Leonid L. Malyshev¹, Maria Kh. Belousova², Yulia V. Ivanova¹, Yulia A. Kerv¹, Vitaliy S. Popov¹, Valentina I. Khoreva¹, Nadezhda N. Chikida¹

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

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Derbentsky District, Russia

Corresponding author: Yulia V. Ivanova, y.ivanova@vir.nw.ru

Background. *Aegilops tauschii* Coss. is a diploid cereal species carrying the D genome of polyploid wheat, which determines the baking properties of bread wheat. *A. tauschii* is often used to improve old cultivars of *Triticum aestivum* L. through breeding, and develop new ones. The collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) contains over 5,000 accessions of 27 *Aegilops* L. spp. of various ecogeographic origin, serving as a breeding resource. Identifying donors of valuable agronomic traits involves an in-depth study of the collection materials, including finding the dependence of biochemical parameters on the region of the accession's origin. Metabolomic profiling was applied to assess the differences between *A. tauschii* seed accessions originating from regions with contrasting climate conditions.

Materials and methods. Two accessions of *A. tauschii* from the VIR collection, contrasting in their origin, served as the material for the study: k-1958 from Iran, and k-340 from Azerbaijan. Both were grown at Dagestan Experimental Station of VIR.

Results and conclusion. Statistically significant differences were found between the metabolomic profiles of *A. tauschii* seed accessions originating from regions with contrasting climates: subtropical semi-arid (Azerbaijan), and subtropical humid (Iran).

Keywords: *Aegilops*, bread wheat, nonspecific metabolomic profiling, climate conditions

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task according to the theme plan of 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: Shelenga T.V., Malyshev L.L., Belousova M.Kh., Ivanova Yu.V., Kerv Yu.A., Popov V.S., Khoreva V.I., Chikida N.N. The use of metabolomic profiling to evaluate *Aegilops tauschii* Coss accessions of various geographical origin from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):57-67. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-57-67

Введение

Род *Aegilops* L. является ближайшим родственником рода *Triticum* L., который объединяет культурные формы пшеницы (Rakszegi et al., 2020). Род *Aegilops* представлен диплоидными, тетраплоидными и гексаплоидными видами с шестью различными диплоидными геномами (D, S, U, C, N и M). Поскольку виды *Aegilops* не были окультурены, они сохранили значительное генетическое разнообразие (Rawat et al., 2018; Kolesova et al., 2020). *Aegilops tauschii* Coss. – диплоидный дикий вид, который является донором генома D *Triticum aestivum* L., обуславливающего хлебопекарные свойства мягкой пшеницы (Konarev, 1980). Среди видов *Aegilops* *A. tauschii* имеет широкое географическое распространение, то есть вид хорошо адаптируется к разнообразным условиям окружающей среды (Kalia et al., 2016; Majka et al., 2017). Тесное эволюционное родство, разнообразие генов и относительно легкая скрещиваемость (Zhang et al., 2018) делают этот вид особенно интересным для улучшения культивируемых видов семейства Poaceae, таких как пшеница и тритикале, которые являются одними из важнейших сельскохозяйственных культур в мире и Российской Федерации (Niu et al., 2018; Plotnikova et al., 2022).

В коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) содержится более 5000 образцов 27 видов рода *Aegilops* различного эколого-географического происхождения.

Углубленное изучение коллекционного материала с применением современных аналитических подходов даст возможность улучшить отбор образцов – доноров хозяйственно ценных признаков для селекции по улучшению качества зерна современных сортов зерновых культур. В текущем исследовании нашей задачей было установить возможную зависимость биохимических характеристик образцов семян *A. tauschii* от региона их происхождения с перспективой использования выявленных закономерностей для отбора источников хозяйственно ценных признаков.

Для анализа образцов *A. tauschii* решили применить неспецифическое метаболомное профилирование, ранее использовавшееся в ВИР для оценки образцов зерна злаковых культур (Shelenga et al., 2020; Loskutov et al., 2022; Malysheva et al., 2023).

Материалы и методы

Материалом для изучения послужили образцы *A. tauschii* из регионов с контрастными климатическими условиями: к-1958 (Иран) и к-340 (Азербайджан). Для региона Гилян, населенного пункта Решт Ирана характерен субтропический влажный климат, для территории Нагорного Карабаха, административного района Степанакертский, населенного пункта Горов Азербайджана – субтропический полусухой. Семена, выращенные на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР (Дагестанская ОС ВИР), собрали в фазу технической спелости. Метаболомное профилирование (МП): пробоподготовку и анализ проводили в соответствии с методами, принятыми в ВИР (Shelenga et al., 2020; Loskutov et al., 2022; Malysheva et al., 2023). Зерна очищали от колосковых чешуй, размалывали; 50 мг муки образца гомогенизировали с 500 мкл метанола; 100 мкл экстракта выпаривали досуха на установке CentriVap Concentrator фирмы Labconco (США). Сухой остаток силилировали с помощью бис(триметилсилил)трифторацетамида. Раз-

деление триметилсилильных эфиров метаболитов проводили с помощью капиллярной колонки HP-5MS 5% фенил 95% метилполисилоксан (30,0 м, 250,00 мкм, 0,25 мкм) на газовом хроматографе Agilent 6850 с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD фирмы Agilent Technologies (США). Внутренним стандартом служил раствор трикозана в пиридине (1 мкг/мкл). Полученные результаты обрабатывались с помощью программы UniChrom и AMDIS. Идентификацию пиков проводили с помощью библиотек масс-спектров NIST 2010, Научного парка СПбГУ (Санкт-Петербургский государственный университет) и Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук (Puzanskiy et al., 2015).

Для выявления степени достоверности различий между МП к-1958 и к-340 провели статистическую обработку данных: однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Для выявления закономерностей изменчивости и структуры связей изученных признаков (метаболитов) осуществили факторный анализ (по методу главных компонент).

Результаты

В результате анализа образцов семян к-1958 (Иран) и к-340 (Азербайджан) установлено, что в МП к-1958 преобладали органические, свободные жирные кислоты, фитостеролы, полиолы, моносахара, фитостеролы, нуклеозиды, гликозиды, а в МП к-340 – олигосахариды и ацилглицеролы. Группа аминокислот (протеиногенные и непротеиногенные) была представлена в равной степени в МП обоих образцов (рис. 1).

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил достоверность различий по содержанию первичных и вторичных метаболитов между образцами *A. tauschii*. При $p < 0,05$ контрастные образцы различались по интенсивности синтеза большинства идентифицированных веществ: кислот, включая фосфорную и метилфосфорную, свободных аминокислот, включая небелковые, моно- и олигосахаров, многоатомных спиртов, фитостеролов, свободных жирных кислот, ацилглицеролов, сахарных остатков гликозидов, нуклеозида, фенолсодержащих веществ. С достоверностью $0,05 < p < 0,1$ выявлены различия по накоплению аспарагиновой, глутаминовой кислот и мелибиозы (таблица).

Для выявления закономерностей изменчивости и структуры связей изученных признаков (метаболитов) провели факторный анализ (по методу главных компонент) (рис. 2).

Анализ выявил 3 фактора, описывающих 100% дисперсии признаков. С действием первого фактора, на который приходится 50,5% дисперсии, связано большинство (62) идентифицированных компонентов МП *A. tauschii*. В структуру второго и третьего фактора (24,1 и 25,4% дисперсии) вошло 24 и 28 компонентов соответственно (см. таблицу).

МП образцов *A. tauschii* различались между собой накоплением соединений цикла Кребса и энергетического (гликолиз, пентозофосфатный шунт) обмена: окисления отдельных сахаров (ксилозы, рибозы, галактозы, фруктозы, маннозы), глюкороната, нуклеотидов, пурина и пиримидина, крахмала и сахарозы. Наблюдались различия в метаболизме отдельных аминокислот (валина, лейцина, изолейцина, аргинина, фенилаланина, тирозина и триптофана). Дегградация лизина привела к накоплению пипеколиновых кислот. В МП образца к-1958

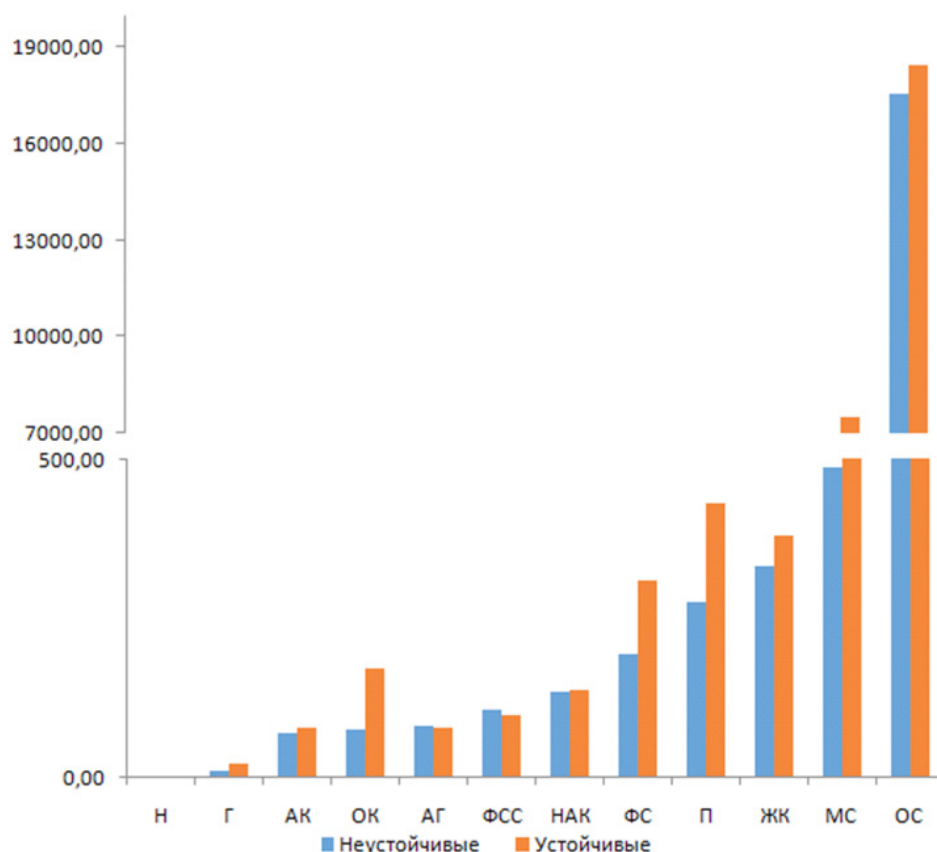


Рис. 1. Группы соединений метаболомного профиля образцов семян к-1958 (Иран) (выделены красным цветом) и к-340 (Азербайджан) (выделены синим цветом) *Aegilops tauschii* Coss. из коллекции ВИР:

Н (нуклеозиды), Г (гликозиды), АК (аминокислоты), ОК (органические кислоты), АГ (ацилглицеролы), ФСС (фенолсодержащие соединения), НАК (непротеиногенные аминокислоты), ФС (фитостеролы), П (полиолы), ЖК (жирные кислоты), МС (моносахара), ОС (олигосахара)

Fig. 1. Groups of compounds from the metabolic profiles of *Aegilops tauschii* Coss. seed accessions k-1958 (Iran) (highlighted in red) and k-340 (Azerbaijan) (highlighted in blue) from the VIR collection: Н (nucleosides), Г (glycosides), АК (amino acids), ОК (organic acids), АГ (acylglycerols), ФСС (phenol-containing compounds), НАК (non-proteinogenic amino acids), ФС (phytosterols), П (polyols), ЖК (fatty acids), МС (monosaccharides), ОС (oligosaccharides)

Таблица. Результаты сравнительного анализа и факторная структура изменчивости метаболитов образцов семян к-1958 (Иран) и к-340 (Азербайджан) *Aegilops tauschii* Coss. из коллекции ВИР

Table. Results of comparative analysis and factor structure of variability for metabolites of *Aegilops tauschii* Coss. seed accessions k-1958 (Iran) and k-340 (Azerbaijan) from the VIR collection

Признак / Character	Критерий Фишера / F	Уровень достоверности / p	Фактор 1 / Factor 1	Фактор 2 / Factor 2	Фактор 3 / Factor 3
органические кислоты					
молочная кислота	22,59	0,009**	0,811	0,390	0,436
пировиноградная кислота	39,18	0,003**	0,690	-0,069	0,720
метилмалоновая кислота	18,48	0,013**	0,967	0,224	0,125
щавелевая кислота	1,90	0,240	0,470	0,823	0,319
3-гидроксипропионовая кислота	38,22	0,003**	-0,839	-0,309	-0,448
метилфосфат	50,06	0,002**	0,759	-0,208	0,617
бензойная кислота	4,98	0,089*	-0,360	0,281	-0,890
фосфорная кислота	43,24	0,003**	0,710	-0,120	0,694
никотиновая кислота	2,51	0,188	0,165	-0,040	0,986

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Признак / Character	Критерий Фишера / F	Уровень достоверности / p	Фактор 1 / Factor 1	Фактор 2 / Factor 2	Фактор 3 / Factor 3
малеиновая кислота	0,16	0,709	0,232	0,972	-0,018
янтарная кислота	71,50	0,001**	-0,740	-0,016	-0,672
глицериновая кислота	116,70	0,000**	0,778	0,065	0,625
фумаровая кислота	0,07	0,799	-0,022	0,969	-0,244
яблочная кислота	142,54	0,000**	0,937	0,066	0,344
салициловая кислота	20,30	0,011**	0,646	0,254	0,720
эритроновая кислота	24,06	0,008**	0,671	0,247	0,699
пирогалловая кислота	61,40	0,001**	0,940	0,159	0,301
2,3 дигидроксibenзойная кислота	0,10	0,766	0,157	0,987	0,037
азелаиновая кислота	10,75	0,031**	0,596	-0,414	0,688
рибоновая кислота	97,66	0,001**	0,762	0,013	0,648
галактуроновая кислота	254,75	0,000**	0,818	0,072	0,570
глюконовая кислота	43,63	0,003**	0,921	0,234	0,311
кофейная кислота	195,67	0,000**	0,854	0,141	0,501
гулоновая кислота	33,53	0,004**	0,708	-0,211	0,674
свободные аминокислоты					
α-аланин	27,29	0,006**	-0,776	-0,349	-0,526
глицин	29,70	0,006**	0,700	-0,234	0,674
L-валин	20,17	0,011**	-0,657	-0,283	-0,699
изолейцин	4,03	0,115	0,643	-0,703	0,304
пролин	0,12	0,751	0,150	-0,986	0,080
серин	0,03	0,878	0,041	0,995	0,089
треонин	44,69	0,003**	0,954	-0,158	0,256
оксипролин	8,76	0,042**	0,501	-0,313	0,806
аспарагиновая кислота	4,35	0,105*	-0,579	0,682	-0,447
глутаминовая кислота	6,00	0,070*	-0,812	-0,569	-0,130
глутамин	68,23	0,001**	0,873	0,232	0,429
фенилаланин	1,69	0,264	-0,533	0,830	-0,165
аспарагин	17,36	0,014**	-0,815	0,428	-0,392
тирозин	41,56	0,003**	0,870	-0,286	0,402
триптофан	0,49	0,523	0,306	0,944	0,126
непротеиногенные аминокислоты					
3-гидроксипипеколиновая кислота	0,02	0,897	0,125	0,988	-0,088
пипеколиновая кислота	38,30	0,003**	0,685	0,049	0,726
5-гидроксипипеколиновая кислота	0,31	0,609	-0,033	0,868	-0,495

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Признак / Character	Критерий Фишера / F	Уровень достоверности / p	Фактор 1 / Factor 1	Фактор 2 / Factor 2	Фактор 3 / Factor 3
полиолы					
глицерол	11,08	0,029**	0,582	0,383	0,718
треитол	15,53	0,017**	-0,687	-0,412	-0,598
арабинитол	4,06	0,114	-0,854	0,515	0,075
дульцитол	28,92	0,006**	0,874	0,332	0,355
маннитол	3,38	0,140	0,546	0,732	0,407
хиро-инозитол	0,03	0,881	0,107	-0,930	-0,353
мио-инозитол	226,69	0,000**	0,925	-0,055	0,376
галактинол	63,05	0,001**	0,963	-0,058	0,262
фитостеролы					
стигмастерол	0,53	0,508	-0,358	-0,932	-0,055
кампестерол	7,18	0,055**	0,743	0,593	0,310
ситостерол	17,54	0,014**	0,702	0,393	0,594
свободные жирные кислоты					
пеларгоновая кислота	5,31	0,083*	-0,713	0,645	-0,273
ундециловая кислота	0,18	0,690	0,004	0,906	0,423
пальмитиновая кислота	8,05	0,047**	0,790	0,556	0,257
гидроксиоктодекановая кислота	17,27	0,014**	0,581	-0,064	0,811
линолевая кислота	15,94	0,016**	0,567	0,062	0,821
олеиновая кислота	417,98	0,000**	0,916	-0,024	0,400
вакценовая кислота	1,96	0,234	0,214	0,567	0,796
стеариновая кислота	0,61	0,478	-0,040	0,730	-0,683
арахиновая кислота	33,54	0,004**	-0,712	-0,227	-0,664
бегеновая кислота	0,62	0,476	0,060	0,763	0,643
гидроксигексакозеновая кислота	169,70	0,000**	0,938	0,005	0,346
гидроксиоктакозеновая кислота	1,49	0,290	-0,349	0,823	-0,447
ацилглицеролы					
моноацилглицерол паль- митиновой кислоты	1,52	0,285	-0,508	0,845	-0,169
моноацилглицерол лино- леновой кислоты	197,59	0,000**	-0,909	0,108	-0,402
моноацилглицерол олеи- новой кислоты	3,70	0,127	-0,599	-0,722	-0,347
диацилглицерол	54,92	0,002**	0,955	-0,127	0,269

Таблица. Окончание
Table. The end

Признак / Character	Критерий Фишера / F	Уровень достоверности / p	Фактор 1 / Factor 1	Фактор 2 / Factor 2	Фактор 3 / Factor 3
моносахара					
глицерол-3 фосфат	33,93	0,004**	0,687	0,149	0,711
рибоза	34,59	0,004**	-0,826	0,320	-0,463
ксилоза	19,65	0,011**	0,893	-0,360	0,270
фруктоза	731,04	0,000**	0,855	0,067	0,514
сорбоза	106,97	0,000**	-0,897	0,171	-0,407
галактоза	4457,26	0,000**	0,889	-0,001	0,458
глюкоза	1089,43	0,000**	0,844	-0,001	0,536
манноза	522,57	0,000**	0,910	-0,033	0,413
олигосахара					
сахароза	18,17	0,013**	0,921	0,332	0,204
мальтоза	7111,59	0,000**	0,886	-0,001	0,463
мелибиоза	6,79	0,060*	-0,674	0,606	-0,423
раффиноза	109,42	0,000**	-0,813	-0,164	-0,559
стахиоза	88,48	0,001**	-0,889	0,194	-0,414
гликозиды					
галактопиранозид	19,08	0,012**	0,594	-0,016	0,804
2-О-глицерол-d-галактопи- ранозид	635,36	0,000**	0,898	-0,056	0,436
нуклеозиды					
аденозин	284,51	0,000**	0,814	-0,030	0,580
фенолсодержащие соединения					
гидрохинон	11,13	0,029**	-0,951	0,304	-0,054
α-токоферол	42,46	0,003**	0,721	-0,168	0,672
кемпферол-7-О-глюкозид	3,60	0,131	-0,823	-0,564	0,069
салициловая кислота	35,88	0,004**	0,680	-0,061	0,731
пирогалловая кислота	93,65	0,001**	0,955	0,015	0,297
2,3 дигидроксibenзойная кислота	0,86	0,406	0,526	-0,847	-0,078
кофейная кислота	33,96	0,004	0,681	0,119	0,723
сумма факторных нагрузок			50,493	24,080	25,427

Примечание: * – близкие к достоверным, (0,05 < p < 0,1); ** – достоверные (p < 0,05); жирным шрифтом выделены соединения, входящие в состав соответствующих факторов

Note: * – close to significant (0.05 < p < 0.1); ** – significant (p < 0.05); compounds that are part of the relevant factors are boldfaced



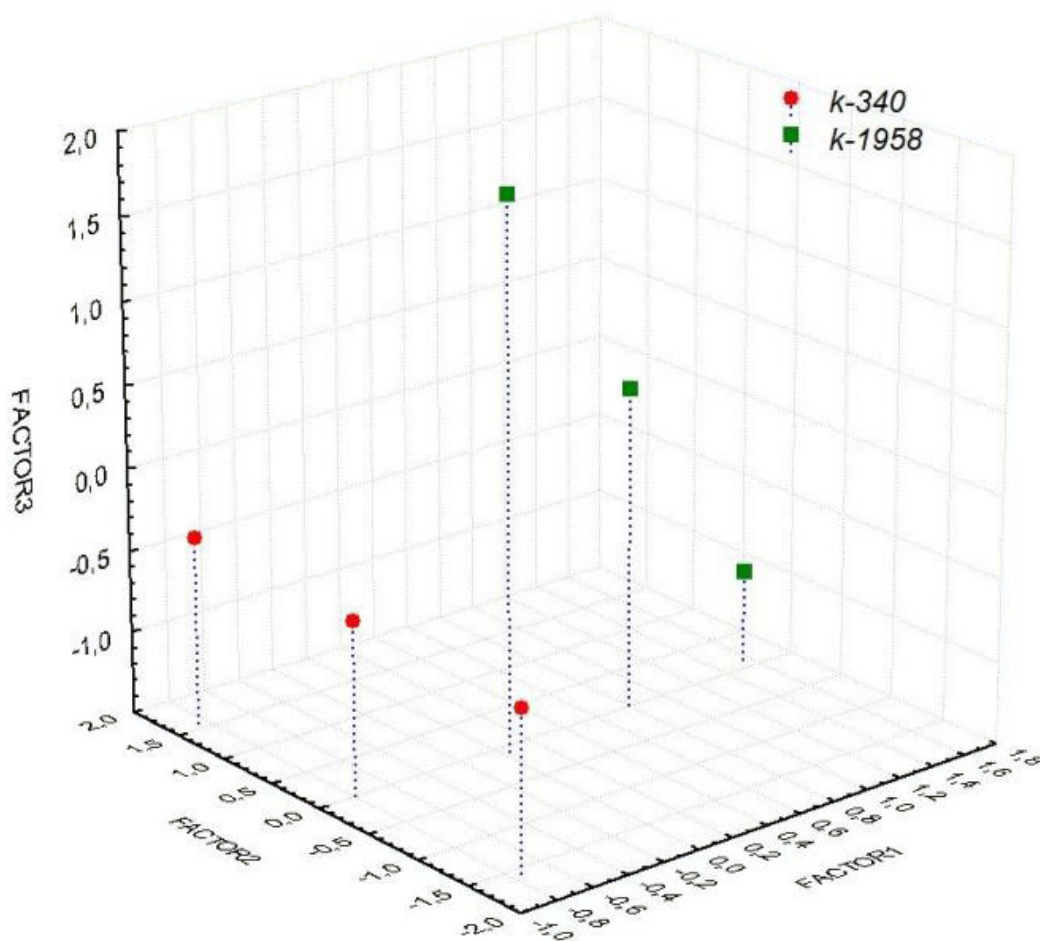


Рис. 3. Дифференциация образцов зерновок к-1958 (Иран) и к-340 (Азербайджан) (биологические параллельные) *Aegilops tauschii* Coss. в пространстве выделенных факторов

Fig. 3. Differentiation of the grains of *Aegilops tauschii* Coss. accessions k-1958 (Iran) and k-340 (Azerbaijan) (biological parallels) in the space of the selected factors

References / Литература

- Kalia B., Wilson D.L., Bowden R.L., Singh R.P., Gill B.S. Adult plant resistance to *Puccinia triticina* in a geographically diverse collection of *Aegilops tauschii*. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(5):913-926. DOI: 10.1007/s10722-016-0411-2
- Kolesova M.A., Chikida N.N., Belousova M.Kh., Tyryshkin L.G. Effective resistance to powdery mildew in *Aegilops* L. accessions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):135-140. [in Russian] (Колесова М.А., Чикида Н.Н., Белоусова М.Х., Тырышкин Л.Г. Эффективная устойчивость образцов рода *Aegilops* L. к мучнистой росе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):135-140). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-135-140
- Konarev V.G. Wheat proteins (Belki pshenitsy). Moscow: Kolos; 1980. [in Russian] (Конарев В.Г. Белки пшеницы. Москва: Колос; 1980).
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Khoreva V.I., Kerv Yu.A., Blinova E.V. et al. Assessment of oat varieties with different levels of breeding refinement from the Vavilov Institute's collection applying the method of metabolomic profiling. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):104-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-104-117
- Majka M.M., Kwiatek M.T., Majka J., Wisniewska H. *Aegilops tauschii* accessions with geographically diverse origin show differences in chromosome organization and polymorphism of molecular markers linked to leaf rust and powdery mildew resistance genes. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1149. DOI: 10.3389/fpls.2017.01149
- Malysheva N.Yu., Shelenga T.V., Solovyeva A.E., Nagiev T.B., Kovaleva N.V., Malyshev L.L. Metabolomic approach to investigate *Dactylis glomerata* L. from the VIR collection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(2):111-118. DOI: 10.18699/VJGB-23-16
- Niu Z., Chao S., Cai X., Whetten R.B., Breiland M., Cowger C. et al. Molecular and cytogenetic characterization of six wheat-*Aegilops markgrafii* disomic addition lines and their resistance to rusts and powdery mildew. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1616. DOI: 10.3389/fpls.2018.01616
- Plotnikova L.Ya., Pozherukova V.E., Knaub V.V., Lysenko N.S. Resistance of the *Triticum* and *Aegilops* species to drought

- and fungal diseases in Western Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022;3(47):49-63. [in Russian] [Плотникова Л.Я., Пожерукова В.Е., Кнауб В.В., Лысенко Н.С. Устойчивость видов родов *Triticum* и *Aegilops* к засухе и грибным болезням в Западной Сибири. *Вестник Омского ГАУ*. 2022;3(47):49-63]. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_3_49
- Puzanskiy R.K., Shavarda A.L., Tarakhovskaya E.R., Shishova M.F. Analysis of metabolic profile of *Chlamydomonas reinhardtii* cultivated under autotrophic conditions. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2015;51(1):83-94. DOI: 10.1134/S0003683815010135
- Rakszegi M., Molnár I., Darkó É., Tiwari V.K., Shewry P. Editorial: *Aegilops*: promising genesources to improve agronomical and quality traits of wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1060. DOI: 10.3389/fpls.2020.01060
- Rawat N., Schoen A., Singh L., Mahlandt A., Wilson D.L., Liu S. et al. TILL-D: An *Aegilops tauschii* TILLING resource for wheat improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1665. DOI: 10.3389/fpls.2018.01665
- Shelenga T.V., Malyshev L.L., Kerv Yu.A., Diubenko T.V., Konarev A.V., Horeva V.I. et al. Metabolomic approach to search for fungal resistant forms of *Aegilops tauschii* Coss. from the VIR collection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(3):252-258. DOI: 10.18699/VJ20.618
- Zhang D., Zhou Y., Zhao X., Lv L., Zhang C., Li J. et al. Development and utilization of introgression lines using synthetic octaploid wheat (*Aegilops tauschii* × hexaploid wheat) as donor. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1113. DOI: 10.3389/fpls.2018.01113

Информация об авторах

Татьяна Васильевна Шеленга, 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, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Леонид Леонидович Малышев, 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, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Мария Хайбулаевна Белоусова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, m.h.belousova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0980-3531>

Юлия Вадимовна Иванова, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, y.ivanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4182-5377>

Юлия Андреевна Керв, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических 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, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Валентина Ивановна Хорева, 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, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Надежда Николаевна Чикида, 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, n.chikida@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9698-263X>

Information about the authors

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Maria Kh. Belousova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District 368612, Republic of Dagestan, Russia, m.h.belousova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0980-3531>

Yulia V. Ivanova, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, y.ivanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4182-5377>

Yulia A. Kerv, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Nadezhda N. Chikida, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.chikida@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9698-263X>

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 19.12.2024; одобрена после рецензирования 25.02.2025; принята к публикации 08.04.2025.

The article was submitted on 19.12.2024; approved after reviewing on 25.02.2025; accepted for publication on 08.04.2025.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.33:581.192:543.421/.424
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-68-78



Экспресс-оценка показателей питательной ценности семян *Vigna unguiculata* (L.) Walp. из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии

Т. В. Шеленга, А. А. Никифоров, М. О. Бурляева, И. Н. Перчук, В. С. Попов

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

Автор, ответственный за переписку: Марина Олеговна Бурляева, m.burlyaeva@vir.nw.ru

Актуальность. Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – важная пищевая и кормовая бобовая культура в странах с субтропическим и тропическим климатом. Семена вигны отличаются высокой питательной ценностью и содержат большое количество белка, крахмала, биологически активных соединений и железа, поэтому ее часто используют в питании в качестве заменителя мяса. Создание калибровочных моделей для экспресс-анализа основных показателей качества семян вигны на основе БИК-спектроскопии позволит ускорить оценку образцов по питательной ценности, снизить себестоимость анализа и сохранить селекционный материал.

Материалы и методы. Изучали семена 39 образцов вигны (*V. unguiculata*) с различной окраской семенной кожуры из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Показатели качества (белок, крахмал, общее содержание антоцианов) анализировали аналитическими методами, принятыми в ВИР: содержание белка – методом Кьельдаля, крахмала – методом Эверса, антоцианы – спектрофотометрическим методом. Калибровочные модели рассчитывали с помощью системы обработки данных OPUS к ИК-анализатору MATRIX-I (Bruker Optics, Германия).

Результаты и заключение. Использование разработанных калибровочных моделей для определения содержания белка, крахмала и антоцианов в семенах делает возможным массовый анализ образцов вигны с высокой точностью. Это позволит более точно и быстро подбирать исходный материал для селекции сортов с высокими показателями качества семян.

Ключевые слова: вигна, калибровочная модель, белок, крахмал, антоцианы

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства».

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

Для цитирования: Шеленга Т.В., Никифоров А.А., Бурляева М.О., Перчук И.Н., Попов В.С. Экспресс-оценка показателей питательной ценности семян *Vigna unguiculata* (L.) Walp. из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):68-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-68-78

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-68-78

Rapid assessment of nutritional value indicators in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy

Tatiana V. Shelenga, Artur A. Nikiforov, Marina O. Burlyayeva, Irina N. Perchuk, Vitaliy S. Popov

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

Corresponding author: Marina O. Burlyayeva, m.burlyayeva@vir.nw.ru

Background. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. is an important food and feed legume crop in countries with subtropical and tropical climates. Cowpea seeds have high nutritional value and contain large amounts of protein, starch, bioactive compounds, and iron, so they are often used in nutrition as a meat substitute and included in various diets. The development of calibration models for a rapid analysis of the main quality indicators in cowpea seeds based on NIR (near-infrared) spectroscopy will speed up the evaluation of accessions for nutritional value, reduce the cost of analysis, and help to preserve valuable breeding material.

Materials and methods. Seeds of 39 cowpea (*V. unguiculata*) accessions with different seed coat colors from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were analyzed. Quality indicators (protein, starch, and total anthocyanin content) were studied using analytical techniques accepted at VIR: the Kjeldahl method for protein content, the Evers method for starch, and spectrophotometry for total anthocyanins. Calibration models were calculated using the OPUS software developed for the MATRIX-I IR analyzer (Bruker Optics, Germany).

Results and conclusion. The use of the developed calibration models for assessing the protein, total anthocyanin and starch content in cowpea seeds makes it possible to perform their mass analysis with high precision. This will accelerate the selection of source material for breeding cultivars with high seed quality indicators and make it more accurate.

Keywords: cowpea, calibration model, protein, starch, anthocyanins

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0002 "Identifying possibilities in the genetic diversity of leguminous crops to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy".

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

For citation: Shelenga T.V., Nikiforov A.A., Burlyayeva M.O., Perchuk I.N., Popov V.S. Rapid assessment of nutritional value indicators in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):68-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-68-78

Введение

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – важнейшая пищевая и кормовая бобовая культура в странах с субтропическим и тропическим климатом: в Африке, Азии, Северной и Южной Америке (Timko et al., 2007). По площади возделывания среди зерновых бобовых культур она занимает третье место в мире, уступая первенство только сое и фасолу (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>). В Африке, Азии, на островах Карибского бассейна и на Гаити она является основной продовольственной культурой. С XVII века сорта вигны группы «Black eye» выращивают в Америке, где они составляют неотъемлемый элемент кухни жителей американского Юга. В России, несмотря на более чем столетнюю историю выращивания вигны в южных регионах страны (Pavlova, 1937), ее культивируют только в небольших фермерских хозяйствах и на приусадебных участках. В селекционных учреждениях только относительно недавно возник интерес к ней, особенно к образцам овощного направления использования. В результате вывели новые сорта, появились публикации по ее изучению на опытных полях в Нижнем Поволжье, в Прикаспийской низменности, на Северном Кавказе и на юге Дальнего Востока (Shuaibova et al., 2021; Burlyayeva et al., 2021).

Вигна – многофункциональная культура, обеспечивающая питание человека и животных, улучшающая плодородие почвы, отличающаяся устойчивостью к засухе, жаре, затоплению и нетребовательностью к плодородию почвы. Достаточно часто в научной литературе пишут о вигне как о лекарственном растении, изданы статьи, посвященные изучению антиоксидантных, антиканцерогенных, антибактериальных свойств пептидов, фенольных соединений, фитостеролов и других веществ, содержащихся в семенах (Awika et al., 2017). В ряде публикаций описано применение *V. unguiculata* в профилактике и лечении некоторых болезней, связанных с обменом веществ, с сердечно-сосудистой и нервной системами, с онкологическими и дегенеративными заболеваниями (Zia-Ul-Haq et al., 2013).

Семена *V. unguiculata* характеризуются высоким содержанием белков (до 35,0%), углеводов (до 56,0%), микро- и макроминералов, низким содержанием липидов и наличием биологически активных соединений (Orita et al., 2019; Tsamo et al., 2019; Gonçalves et al., 2020; Razgonova et al., 2022). Благодаря такому составу культура стала широко известна как источник здорового диетического и функционального питания (Belane, Dakora, 2012; Shevkani et al., 2015). Наибольшее количество фенолсодержащих соединений, включая антоцианы, характерно для семян с темной оболочкой (Ha et al., 2010; Chen et al., 2017; Tsamo et al., 2019). Антоцианы обладают антиоксидантными, противовоспалительными, антиканцерогенными, антибактериальными и другими свойствами, полезными для здоровья (Khang et al., 2016; Šibul et al., 2016; Orita et al., 2019; Hernández-Ruiz et al., 2025). В связи с этим сорта с окрашенными семенами имеют особую диетическую ценность. Для создания новых улучшенных сортов *V. unguiculata* необходима как можно более полная информация о биохимическом составе семян различных генотипов вида. В состав коллекции генетических ресурсов вигны ВИР входят образцы разного происхождения, овощного и зернового направления использования, включая староместные сорта, собранные сотрудниками института в центре происхождения культуры в начале и середине XX века. Семенная кожура коллекционных об-

разцов вигны имеет окраску от белой, бежевой, пятнистой до темно-вишневой и черной. Анализ биохимического состава семян этого вида позволит оценить разнообразие коллекции по основным показателям пищевого качества (по содержанию белка, крахмала, биологически активных веществ), что позволит выделить источники ценных свойств для их последующего использования в селекционных работах и расширении ассортимента продуктов здорового питания.

Для оптимизации изучения и ускорения процесса скрининга коллекционных образцов семян вигны необходимо использование спектроскопии в ближней области инфракрасного спектра (БИК). Метод основан на зависимости индивидуальных характеристик ИК-спектров от данных, полученных классическими аналитическими методами (Popov et al., 2024).

Калибровочные модели с подтвержденной достоверностью предназначены для экспресс-анализа образцов семян вигны из коллекции ВИР. Использование ИК-калибровочных моделей снижает себестоимость анализа, делает анализ безопасным для исследователя, позволяет сохранить семенной материал и получать результаты сразу по нескольким значимым параметрам с заданной повторяемостью.

Цель данной работы – разработка калибровочных моделей для БИК-анализатора типа MATRIX-I (Bruker, Германия) по основным показателям пищевой ценности семян вигны с различной окраской семенной кожуры (содержанию белка, крахмала, антоцианов) с использованием семенного модуля.

Материалы и методы

Материалом для изучения послужила выборка из 39 образцов семян *V. unguiculata* с различной окраской семенной кожуры, разного происхождения и лет репродукции из коллекции ВИР (табл. 1). Семена вырастили на Астраханской опытной станции – филиале ВИР. Станция располагается в самой засушливой зоне на европейской территории России – в зоне полупустынь в Астраханской области, характеризующейся сухим, резко континентальным климатом. Почвы на опытном поле светлокаштановые, слабозасоленные (с хлоридно-сульфатным типом засоления). Образцы выращивали в открытом грунте при орошении, без применения удобрений и пестицидов.

Биохимический анализ проводили в 2024 г. по методикам, описанным ранее (Chupakhina, Maslennikov, 2004; Popov et al., 2024). Содержание белка определяли по методу Кьельдаля на анализаторе белка VELP SCIENTIFICA UDK 159 (VELP, Италия); крахмала – поляриметрическим методом по Эверсу на поляриметре SAC-i (ATAGO, Япония); антоцианы – спектрофотометрическим методом на спектрофотометре LKB (Novaspec II, Великобритания). Для расчета белка по общему азоту использовали коэффициент 6,25, для перерасчета крахмала у бобовых культур – коэффициент 174,7. Для антоцианов применяли удельный показатель поглощения 1-процентного раствора цианид-3,5-диглюкозида в кювете с толщиной слоя 1 см ($A_{1\text{см}}^{1\%}$) – 453 (Butenko, Podgornaya, 2016; Ogorodnova, Timofeeva, 2020). Влажность (сухое вещество) семян определяли с помощью сушильного шкафа MEMMERT UNPlus160 (Германия) согласно ГОСТ 9404-88 (ГОСТ 9404-88..., 2007).

Спектры образцов семян вигны регистрировали в трех повторностях (навеска для каждой повторности –

Таблица 1. Список исследованных образцов семян *Vigna unguiculata* (L.) Walp. из коллекции ВИР
Table 1. List of the studied accessions of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. from the VIR collection and their seed colors

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Происхождение / Origin	Окраска семян / Seed color
1352		Венесуэла	Белые с узким коричневым кольцом у рубчика  Образец к-713
713		Америка	
1660		Франция	
1834		Вьетнам	
633050		Таиланд	
337		Мексика	Белые с черным пятном  Образец к-1129
389		Куба	
1129		Иран	
1250		Португалия	
1311		Пакистан	
1372		Нигерия	Бежевые  Образец к-133
616		Индия	
133		Россия, Ростов-на-Дону	
586		Абхазия	
608		Дания	
697		Таджикистан	
1027		Узбекистан	
1065		США	
1289		Бурунди	
1348		Мадагаскар	
1442		Нигерия	

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Происхождение / Origin	Окраска семян / Seed color
1403		Филиппины	Серо-бежевые с точечностью  Образец к-1775
1775		Лаос	
1776		Лаос	
1780		Танзания	
1906		Бенин	
1907		Бенин	
2056	‘Лянчихе’	Россия, Приморский край	Красно-коричневые с продольными полосками  Образец к-2056
2057	‘Самма Нова’	Россия, Астраханская обл.	
2058	‘Астраханская Красавица’	Россия, Астраханская обл.	
1173		Сомали	Вишневые  Образец к-1195
1195		Сомали	
1249		США	
567		Индия	Черные  Образец к-1738
1091		Казахстан	
1110	‘Mulgrave’	Австралия	
1355		Вьетнам	
1738	‘Сибирский Размер’	Россия, Новосибирск	
1912		Вьетнам	

20–30 г) в диапазоне 4500–10500 см⁻¹ с разрешением 16 см⁻¹ в соответствии с руководством к ИК-спектрометру MATRIX-I, используя семенной модуль (диаметр кюветы – 51 мм).

Калибровочные модели для изучения содержания белка, крахмала, суммы антоцианов в образцах семян вигны строили методом векторной нормализации с помощью программного обеспечения OPUS Software. Качество построенных калибровочных моделей определяли с помощью следующих показателей: R² (коэффициент детерминации); RMSEPCV (степень дисперсии значений, предсказанных сконструированной моделью, вокруг линии регрессии при перекрестной валидации); RPD (остаточное отклонение прогноза для ранга); Bias (показатель смещения) (Olale et al., 2013; Clingensmith et al., 2018).

Разницу ΔX между стандартными химическими методами и ИК-показаниями определяли по формулам (GOST 32749..., 2019):

$$\Delta X_{\text{абс.}} = \frac{\sum |X_1 - X_2|}{n}$$

$$\Delta X_{\text{отн.}} = \frac{\sum (100 |X_1 - X_2| \cdot 100 / X_1)}{n},$$

где ΔX_{абс.} – абсолютное расхождение значений, полученных с помощью калибровочных моделей и аналитическим путем; ΔX_{отн.} – относительное расхождение значений, полученных с помощью калибровочных моделей и аналитическим путем; X₁ – среднее для значений, полученных с помощью методов химического анализа; X₂ – среднее для значений, полученных с помощью модельных калибровочных кривых; n – число образцов, использованных для проверки калибровки.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием U-критерия Манна–Уитни в программе Statistica 7.0 (<http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>).

Результаты и их обсуждение

При сканировании в трех повторностях 39 образцов семян вигны получено 117 спектров (рис. 1).

В ходе конструирования калибровочных моделей установлена зависимость содержания белка (рис. 2, а), крахмала (рис. 2, б), суммы антоцианов (рис. 2, с) в семенах *V. unguiculata* от индивидуальных спектральных характеристик соответствующих образцов (в % на сухое вещество). Диапазон показателей для разработки калибровочных моделей соответствовал 19,3–30,0% для белка, 43,7–56,1% для крахмала, 1,6–443,0 мг% для общего содержания антоцианов.

Значения, полученные аналитическим путем, на модели для определения белка размещены довольно равномерно вдоль калибровочной графика, для определения крахмала – в области средних и высоких значений, для определения антоцианов – в области низких значений показателя (см. рис. 2, а, б, с).

Коэффициент детерминации (R²) устанавливает корреляцию между данными, полученными аналитическим путем, и данными, предсказанными уравнениями калибровки для каждого из анализируемых компонентов (белок, крахмал, антоцианы) (García-Sánchez et al., 2017). Вновь разработанные калибровочные модели считаются достоверными, если коэффициент детерминации (R²) превышает 80. Среди полученных моделей вышеуказанным условиям соответствует только модель «Вигна. Общее содержание антоцианов», где R² равняется 91,85 (табл. 2). Однако, принимая во внимание работу С. М. Clingensmith et al. (2018), калибровки с R² более 50% могут считаться удовлетворительными, так как при их использовании хорошо различаются между собой образцы с низкими, средними и высокими значениями изучаемых параметров. Следовательно, рассматривать как отличную можно модель «Вигна. Общее содержание антоциа-

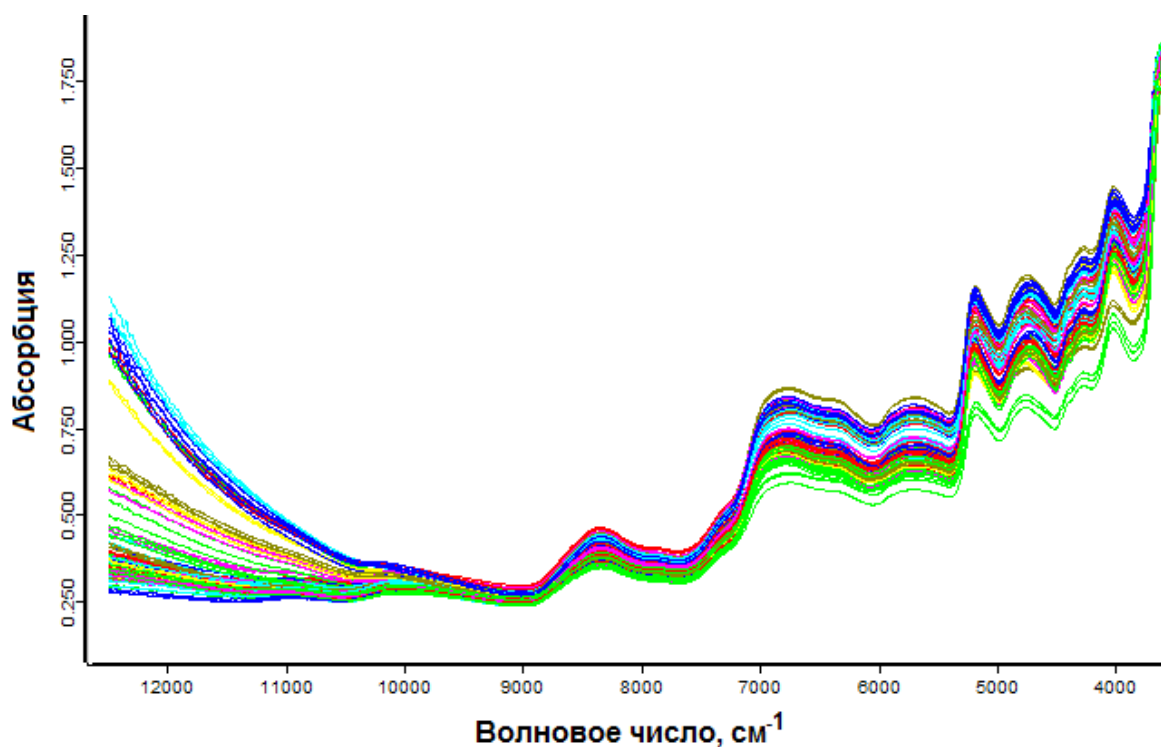


Рис. 1. ИК-спектры опытных образцов семян вигны

Fig. 1. Infrared spectra of the studied cowpea seed accessions

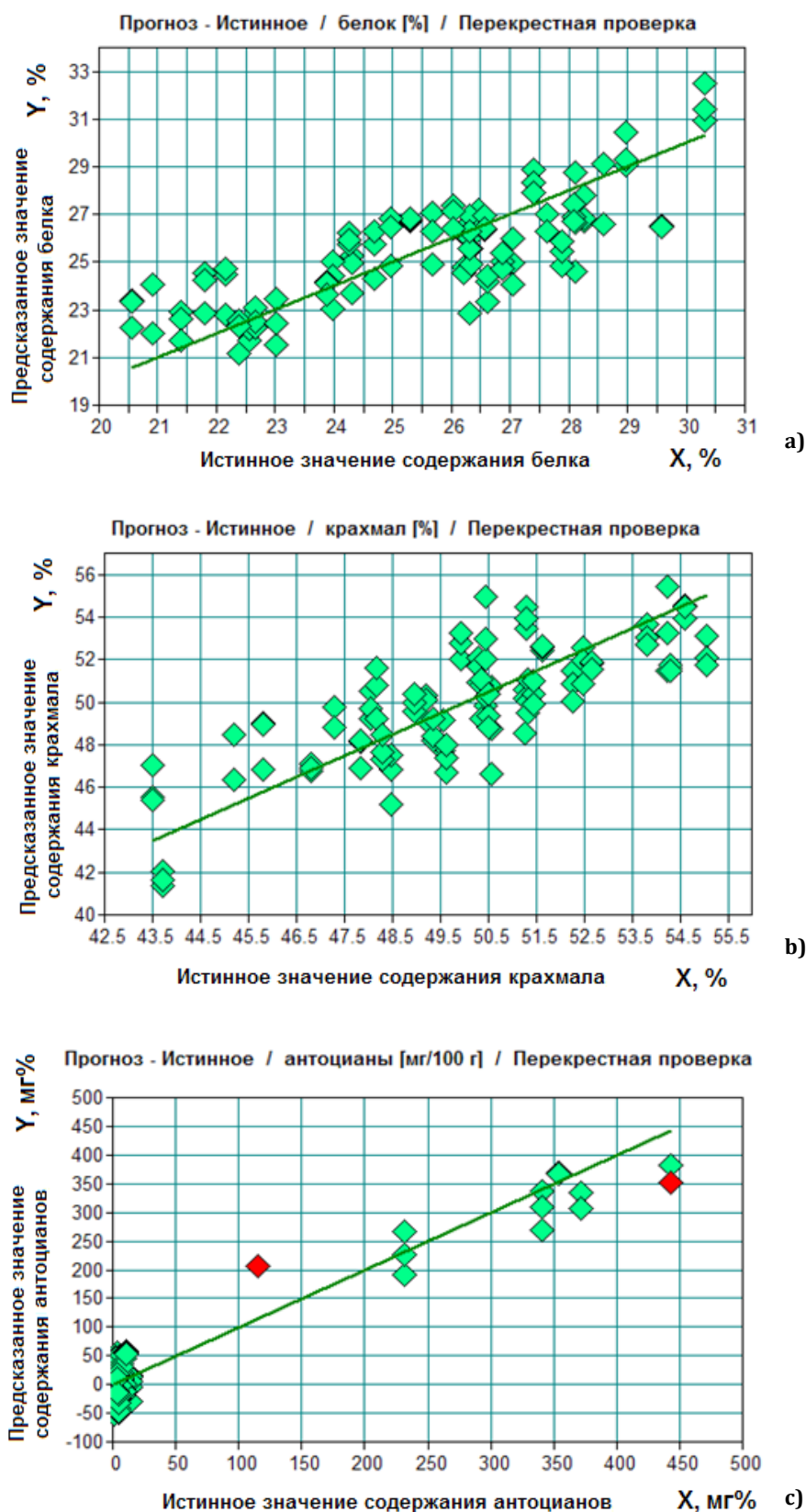


Рис. 2. График предсказанных значений содержания белка (а), крахмала (b), общего содержания антоцианов (с) (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно калибровочной модели:

(а) – «Вигна. Белок», (b) – «Вигна. Крахмал», (с) – «Вигна. Общее содержание антоцианов» (зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения для образцов семян вигны при построении калибровочной кривой)

Fig. 2. Plot of predicted values for protein content (a), starch (b), and total anthocyanins (c) (Y axis) compared to true values (X axis) according to the calibration model: (a) – *Vigna. Protein*; (b) – *Vigna. Starch*; (c) – *Vigna. Total anthocyanin content* (green are the values taken into account, while red are the values not taken into account for cowpea seed accessions when constructing the calibration curve)

Таблица 2. Коэффициенты, описывающие качество калибровочных моделей**Table 2. Coefficients describing the quality of calibration models**

К \ КМ	Белок / Protein	Крахмал / Starch	Антоцианы / Anthocyanins
R ²	61,99	58,3	91,85
RMSEPCV	1,53	1,81	31,1
RPD	1,62	1,55	3,5
Bias	0,0384	0,0432	-0,786
ранги	15	15	6

Примечание: КМ – калибровочная модель; К – коэффициент; R² – коэффициент детерминации; RMSEPCV – степень дисперсии значений, предсказанных сконструированной моделью, вокруг линии регрессии при перекрестной валидации; RPD – остаточное отклонение прогноза для ранга; Bias – показатель смещения, или разница между средним значением измерения, полученным с помощью калибровочной модели, и значением, установленным аналитическими химическими методами

Note: KM – calibration model; K – coefficient; R² – coefficient of determination; RMSEPCV – degree of dispersion for values predicted by the constructed model around the regression line during cross-validation; RPD – residual deviation of the forecast for the rank; Bias – the displacement indicator, or the difference between the mean value obtained with the calibration model and the value produced by analytical chemistry methods

нов», а удовлетворительными признать две модели: «Вигна. Белок» и «Вигна. Крахмал» (см. табл. 2).

RMSEPCV (степень дисперсии значений, предсказанных сконструированной моделью, вокруг линии регрессии при перекрестной валидации) характеризует точность разработанной модели и погрешность анализа (Olale, 2013); этот показатель не должен превышать 5%. Калибровка с RMSEPCV от 1 до 1,5 трактуется как отличная, от 2 до 3 – хорошая, 4 – удовлетворительная и 5 – плохая (García-Sánchez et al., 2017). Этому требованию удовлетворяют две модели (см. табл. 2), где значение RMSEPCV соответствует низкой погрешности при проведении анализа с использованием моделей «Вигна. Белок» и «Вигна. Крахмал».

Остаточное отклонение прогноза для ранга, или RPD, характеризует «предсказательную» способность, или адекватность калибровочных моделей (Olale, 2013). Модель считается отличной, если ее RPD превышает 4, хорошей, если RPD находится в диапазоне от 3 до 4, достаточно хорошей – от 2,25 до 3 и приемлемой – от 1,75 до 2,25 (García-Sánchez et al., 2017; Saha et al., 2017). Согласно данному требованию модель «Вигна. Общее содержание антоцианов» считается отличной, «Вигна. Белок» и «Вигна. Крахмал» – стандартными.

Биохимические показатели и спектральные данные формируют матрицу для последующего построения калибровочной модели. Их соотношения сводятся к факторам, называемым «рангом». Существует несколько комбинаций частотного диапазона и предварительной обработки спектральных данных сопоставимого качества, что выражается в количестве рангов. Число рангов, как правило, не должно превышать 20 (García-Sánchez et al., 2017). В этом случае модель считается более стабильной. В нашем случае все приведенные нами модели удовлетворяют данному требованию (см. табл. 2).

Показатель смещения (Bias) показывает степень отклонения результата, полученного с помощью калибровочной модели (прогнозируемого), от аналитического (истинного). В соответствии со значениями Bias, представленными в таблице 2, прогнозируемые значения, полученные при использовании сконструированных моделей, не будут иметь значительных отклонений от истинных значений.

Согласно значениям коэффициентов, характеризующих практическую пригодность разработанных новых калибровочных моделей, пригодными для использования можно считать модели «Вигна. Белок» и «Вигна. Крахмал». Модель «Вигна. Общее содержание антоцианов» нуждается в доработке.

Достоверность данных для калибровок с R² > 80% подтверждена с помощью контрольной выборки из 10 образцов семян вигны 2024 г. репродукции. Сверка данных представлена в таблицах 3 и 4.

Сравнительный анализ результатов определения содержания белка и крахмала в семенах, полученных двумя методами, на новых образцах вигны в проверочной партии не выявил существенных различий. Данные по содержанию антоцианов в семенах, полученные разными методами, были не идентичными, вследствие этого требуется дальнейшая доработка (совершенствование) калибровочной модели. Однако сравнение показателей содержания белка, крахмала и антоцианов в семенах, определенных химическим и ИК-методами с помощью U-критерия Манна – Уитни, достоверных различий между ними при p < 0,05 не выявило.

Разница между спектральными показаниями и стандартными химическими методами определения единичных значений составила для крахмала от -3,2 до 4,5%, для антоцианов от -59,8 до 76,3 мг%, для белка от -2,0 до 1,9%, в среднем составив 1,84%, 35,05 мг% и 1,22% соответственно (см. табл. 3, 4).

Относительная разница между химическими методами анализа семян и ИК-спектроскопией в среднем не превышает 5% для белка и крахмала и составляет более 600 мг% для антоцианов. В данном анализе наблюдались небольшие отклонения от предельно допустимых значений погрешности в параллельных измерениях стандартными методами по показателям крахмала и белка, что может быть устранено в дальнейшем путем расширения калибровок за счет новых данных, полученных при изучении других образцов вигны.

Исследования показали, что по количественному содержанию антоцианов семена вигны значительно различаются между собой, и особенно выделяются черные семена. Как видно из рисунка 2, с, при построении калибровочной модели антоцианов значения для

Таблица 3. Сравнительный анализ семян вигны по определению содержания белка, антоцианов и крахмала химическими и ИК-методами**Table 3. Comparative analysis of cowpea seeds for the assessment of protein, total anthocyanin, and starch content using chemical and IR methods**

Химический метод / Chemical method			ИК-метод / IR method			Разница абсолютных значений / Absolute difference			Разница относительных значений / Relative difference		
К	А	Б	К	А	Б	К	А	Б	К	А	Б
50,3	7,9	26,3	51,5	10,9	24,4	-1,2	-3,0	1,9	2,5	37,3	7,4
55,1	6,1	24,0	54,5	29,1	26,0	0,6	-23,0	-2,0	1,1	380,7	8,3
48,6	3,2	27,9	48,1	8,3	27,9	0,6	-5,1	0,0	1,2	159,2	0,1
48,0	3,3	27,2	47,2	-21,8	25,5	0,8	25,1	1,7	1,6	770,4	6,4
43,7	340,7	28,3	41,8	254,3	26,8	1,9	86,5	1,5	4,4	25,4	5,2
43,8	371,8	27,4	46,9	322,7	28,0	-3,2	49,1	-0,6	7,2	13,2	2,2
51,6	354,4	22,7	51,0	368,7	23,3	0,6	-14,2	-0,6	1,2	4,0	2,6
50,1	1,8	26,2	45,6	61,6	27,1	4,5	-59,8	-0,9	9,0	3318,8	3,3
52,5	7,1	21,8	50,4	15,5	23,2	2,2	-8,4	-1,4	4,1	119,4	6,5
48,9	5,3	24,7	46,0	-71,0	23,1	2,8	76,3	1,6	5,8	1439,9	6,6

Примечание: Б – белок, %; А – антоцианы, мг%; К – крахмал, %

Note: Б – protein, %; А – anthocyanins, mg%; К – starch, %

Таблица 4. Проверка ИК-калибровочной моделей «Вигна. Белок», «Вигна. Общее содержание антоцианов», «Вигна. Крахмал»**Table 4. Verification of the IR calibration models *Vigna*. Protein, *Vigna*. Total anthocyanin content, and *Vigna*. Starch**

Показатель / Indicator	$X_1 \pm Sd$	$X_2 \pm Sd$	$\Delta X_{абс.} / \Delta X_{абс.}$	$\Delta X_{отн.} / \Delta X_{rel.}$
Белок, * %	25,66 ± 2,25	25,52 ± 1,92	1,22	4,86
Крахмал, * %	49,26 ± 3,57	48,31 ± 3,62	1,84	3,80
Антоцианы, мг%	110,16 ± 169,58	97,83 ± 156,21	35,05	626,82

Примечание: $\Delta X_{абс.}$ и $\Delta X_{отн.}$ – расхождение значений, полученных с помощью калибровочных моделей и аналитическим путем; X_1 – среднее значение данных, полученных с помощью методов химического анализа; X_2 – среднее значение данных, полученных с помощью модельных калибровочных кривых; Sd – стандартное отклонение; * – отмечены показатели, для которых значение ΔX не вышло за рамки технической погрешности прибора MATRIX-I (Bruker, Германия)

Note: $\Delta X_{абс.}$ and $\Delta X_{отн.}$ is the discrepancy between the values obtained through calibration models and analytically; X_1 is the mean of values obtained with biochemical analysis methods; X_2 is the mean of values obtained with model calibration curves; Sd is the standard deviation; * – the indicators for which the ΔX value did not exceed the technical error of the MATRIX-I device (Bruker, Germany)

образцов семян вигны распределены крайне неравномерно вдоль прямой, при этом четко выделяются две области – для образцов с высоким и низким содержанием антоцианов. Поэтому в дальнейшей работе представляется актуальным разработать две калибровочные модели, соответственно для черных и для светлых семян вигны, на большем количестве семенного материала.

Заключение

Калибровочные модели, полученные на ИК-анализаторе MATRIX-I (BRUKER, Германия) с помощью программного обеспечения OPUS LAB для измерения содержания белка, антоцианов и крахмала, позволяют проводить

массовый скрининг образцов семян вигны из коллекции ВИР с высокой точностью и сохранить ценный селекционный материал. Это даст возможность оперативно определять показатели качества семян у разных генотипов и дифференцировать их по этим признакам для дальнейшего целенаправленного использования в селекции специализированных сортов, удовлетворяющих различные требования потребителей.

References / Литература

Awika J.M., Duodu K.G. Bioactive polyphenols and peptides in cowpea (*Vigna unguiculata*) and their health promoting properties: a review. *Journal of Functional Foods*. 2017;38:686-697. DOI: 10.1016/j.jff.2016.12.002

- Belane A.K., Dakora F.D. Elevated concentrations of dietary-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes: implications for human nutrition and health. *Food and Nutrition Sciences*. 2012;3(3):377-386. DOI: 10.4236/fns.2012.33054
- Burlyaeva M.O., Gurkina M.V., Miroshnichenko E.V. Application of multivariate analysis to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):36-47. [in Russian] [Бурляева М.О., Гуркина М.В., Мирошниченко Е.В. Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):36-47]. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47
- Butenko L.I., Podgornaya Zh.V. Studies of the anthocyanin complex in berries that have undergone cryoprocessing (Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, proshedshikh kriobrabotku). *Advances in Current Natural Sciences*. 2016;(11):14-17. [in Russian] (Бутенко Л.И., Подгорная Ж.В. Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криообработку. *Успехи современного естествознания*. 2016;(11):14-17).
- Chen H.J., Ooi Y.S., Liu M.L., Chao Y.Y. Study on the growth traits in eighth-month beans (*Vigna unguiculata* L.). *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*. 2017;2(4):10-17.
- Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. (comp.). Methods of vitamin analysis: a practicum (Metody analiza vitaminov. Praktikum). Kaliningrad: Kaliningrad State University; 2004. [in Russian] (Методы анализа витаминов: Практикум / сост. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Калининград: Калининградский государственный университет; 2004). DOI: 10.13140/2.1.1147.7449
- Clingensmith C.M., Grunwald S., Wani S.P. Evaluation of calibration subsetting and new chemometric methods on the spectral prediction of key soil properties in a data-limited environment. *European Journal of Soil Science*. 2018;70(1):107-126. DOI: 10.1111/ejss.12753
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Data: [website]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed Dec. 14, 2024].
- García-Sánchez F., Galvez-Sola L., Martínez-Nicolás J.J., Muelas-Domingo R., Nieves M. Using near-infrared spectroscopy in agricultural systems. In: K.G. Kypryanidis, J. Skvaril (eds). *Developments in Near-Infrared Spectroscopy*. Rijeka: InTechOpen; 2017. pub.1084734258. DOI: 10.5772/67236
- Gonçalves F.V., Medici L.O., Fonseca M.P.S., Pimentel C., Gaziola A.S., Azevedo R.A. Protein, phytate and minerals in grains of commercial cowpea genotypes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2020;92 Suppl 1:e20180484. DOI: 10.1590/0001-3765202020180484
- GOST 32749-2014. Interstate standard. Oilseeds, oilcakes and oilmeals. Determination of moisture, oil, protein and fiber by Near-Infrared Reflectance. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 32749-2014. Межгосударственный стандарт. Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111470> [дата обращения: 14.05.2024].
- GOST 9404-88. Interstate standard. Flour and bran. Method of moisture content determination. Moscow: Standartinform; 2007. [in Russian] (ГОСТ 9404-88. Межгосударственный стандарт. Мука и отруби. Метод определения влажности. Москва: Стандартинформ; 2007). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022334> [дата обращения: 22.05.2024].
- Ha T.J., Lee M.H., Jeong Y.N., Lee J.H., Han S.I., Park C.H. et al. Anthocyanins in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *unguiculata*]. *Food Science and Biotechnology*. 2010;19(3):821-826. DOI: 10.1007/s10068-010-0115-x
- Hernández-Ruiz R.G., Olivares-Ochoa X.C., Salinas-Varela Y., Guajardo-Espinoza D., Roldán-Flores L.G., Rivera-Leon E.A. et al. Phenolic compounds and anthocyanins in legumes and their impact on inflammation, oxidative stress, and metabolism: comprehensive review. *Molecules*. 2025;30(1):174. DOI: 10.3390/molecules30010174
- Khang D.T., Dung T.N., Elzaawely A.A., Xuan T.D. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. *Foods*. 2016;5(2):27. DOI: 10.3390/foods5020027
- Ogorodnova U.A., Timofeeva O.A. Large practical course on plant physiology and biochemistry: a teaching aid (Bolshoy praktikum po fiziologii i biokhimii rasteniy: uchebno-metodicheskoye posobiye). Kazan: Kazan Federal University; 2020. [in Russian] (Огороднова У.А., Тимофеева О.А. Большой практикум по физиологии и биохимии растений: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский федеральный университет; 2020).
- Olale K., Yenesew A., Jamnadass R., Sila A., Aynekulu E., Kuyah Sh. et al. Limitations to use of infrared spectroscopy for rapid determination of carbon-nitrogen and wood density for tropical species. *Advances in Analytical Chemistry*. 2013;3(3):21-28. DOI: 10.5923/j.aac.20130303.01
- Orita A., Musou-Yahada A., Shoji T., Oki T., Ohta H. Comparison of anthocyanins, proanthocyanidin oligomers and antioxidant capacity between cowpea and grain legumes with colored seed coat. *Food Science and Technology Research*. 2019;25(2):287-294. DOI: 10.3136/fstr.25.287
- Pavlova A.M. Cowpea (*Vigna*). In: *Flora of Cultivated Plants. Vol. 4. Grain Legumes*. Moscow; Leningrad; 1937. p.623-646. [in Russian] (Павлова А.М. Вигна. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 4. Зерновые бобовые*. Москва; Ленинград; 1937. С.623-646).
- Popov V.S., Shelenga T.V., Blinova E.V., Khoreva V.I. Application of NIR spectroscopy to determine the basic biochemical parameters of black oat grain quality. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(2):31-41. [in Russian] (Попов В.С., Шеленга Т.В., Блинова Е.В., Хорева В.И. Применение БИК-спектроскопии для определения основных биохимических показателей качества у овса пестаного. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(2):31-41). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-01
- Razgonova M.P., Burlyaeva M.O., Zinchenko Y.N., Krylova E.A., Chunikhina O.A., Ivanova N.M. et al. Identification and spatial distribution of bioactive compounds in seeds *Vigna unguiculata* (L.) Walp. by laser microscopy and tandem mass spectrometry. *Plants (Basel)*. 2022;11(16):2147. DOI: 10.3390/plants11162147
- Saha U., Endale D., Tillman P.G., Johnson W.C., Gaskin J., Sonon L. et al. Analysis of various quality attributes of sunflower and soybean plants by near infrared reflectance spectroscopy: development and validation calibration models. *American Journal of Analytical Chemistry*. 2017;8(7):462-492. DOI: 10.4236/ajac.2017.87035
- Shevkani K., Kaur A., Kumar S., Singh N. Cowpea protein isolates: Functional properties and application in gluten-

- free rice muffins. *LWT – Food Science and Technology*. 2015;63(2):927-933. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.04.058
- Shuaibova N.Sh., Khabibov A.D., Omarova P.A. Comparative analysis of the variable structure of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. morphological features in the conditions of lowland Dagestan. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2020;57(1):128-137. [in Russian] [Шуайбова Н.Ш., Хабибов А.Д., Омарова П.А. Сравнительный анализ структуры изменчивости морфологических признаков сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в условиях равнинного Дагестана. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2020;57(1):128-137].
- Šibul F., Orčić D., Vasić M., Anačkov G., Nađpal J., Savić A. et al. Phenolic profile, antioxidant and anti-inflammatory potential of herb and root extracts of seven selected legumes. *Industrial Crops and Products*. 2016;83:641-653. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.12.057
- StatSoft. Electronic manual on statistics (Elektronnyy uchebnik po statistike): [website]. [in Russian] (StatSoft. Электронный учебник по статистике: [сайт]). URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> [дата обращения: 06.05.2021]
- Timko M.P., Ehlers J.D., Roberts P.A. Cowpea. In: C. Kole (ed.). *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. Vol. 3. Pulses, Sugar and Tuber Crops*. Berlin; Heidelberg: Springer; 2007. p.49-67. DOI: 10.1007/978-3-540-34516-9_3
- Tsamo A.T., Mohammed H., Mohammed M., Ndibewu P.P., Dakora F.D. Seed coat metabolite profiling of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) accessions from Ghana using. UPLC-PDA-QTOF-MS and chemometrics. *Natural Product Research*. 2019;34(8):1158-1162. DOI: 10.1080/14786419.2018.1548463
- Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Amarowicz R., De Feo V. Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars commonly consumed in Pakistan. *Molecules*. 2013;18(2):2005-2017. DOI: 10.3390/molecules18022005

Информация об авторах

Татьяна Васильевна Шеленга, 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, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Артур Александрович Никифоров, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, artur.nikiforov.2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2859-0797>

Марина Олеговна Бурляева, 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, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Ирина Николаевна Перчук, 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, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических 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, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Information about the authors

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Artur A. Nikiforov, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, artur.nikiforov.2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2859-0797>

Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Irina N. Perchuk, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 24.12.2024; одобрена после рецензирования 06.02.2025; принята к публикации 19.03.2025. The article was submitted on 24.12.2024; approved after reviewing on 06.02.2025; accepted for publication on 19.03.2025.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 633.368;575.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-79-91



Взаимосвязь признаков арахиса (*Arachis hypogaea* L.) и уровня экспрессии гена кукумопин-синтазы

В. Д. Бемова¹, Е. А. Пороховинова¹, Т. В. Якушева², Л. П. Подольная¹, В. А. Гаврилова¹

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

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктория Дмитриевна Бемова, viktoria.bemova@yandex.ru

Актуальность. Арахис – ценная сельскохозяйственная культура. Последние исследования показали, что арахис относится к природно-трансгенным растениям, то есть в его геноме содержится Т-ДНК, называемая клеточной (клТ-ДНК), полученная в ходе эволюции от агробактерий. Ген *cus* кодирует кукумопин-синтазу, отвечающую за синтез кукумопина. Ранее было доказано, что этот ген в арахисе сохранил неповрежденную рамку считывания и активно экспрессируется в разных органах растения, однако его влияние на растения до сих пор не известно. В данном исследовании мы попытались проанализировать все изученные нами хозяйственно ценные признаки арахиса и найти корреляции между их проявлением и уровнем экспрессии гена *cus*.

Материалы и методы. В работе использовано 63 образца арахиса (*Arachis hypogaea* L.) коллекции ВИР, для 10 из которых получены результаты анализа уровня экспрессии гена *cus* в разных органах (корни, стебель, листья). Эколого-географическое испытание проводилось в 2019–2021 гг. в двух пунктах, различающихся по климатическим и почвенным условиям: на Кубанской опытной станции – филиале ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН. Описание морфологических и хозяйственно ценных показателей осуществлялось в соответствии с методическими указаниями. Оценка жирнокислотного состава семян проводили с помощью газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией, оценку содержания белка – по методу Кьельдаля. Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica 7.0.

Результаты и заключение. С помощью оценки изменчивости хозяйственно ценных признаков, изученных в течение трех лет эколого-географического испытания, исследована взаимосвязь этих признаков с уровнем экспрессии гена *cus* в разных органах арахиса. В результате анализа обнаружены тенденции, которые позволяют утверждать, что высокий уровень экспрессии гена *cus* влияет на продуктивность, продолжительность периода «всходы – цветение», массу 1000 бобов.

Ключевые слова: арахис, кукумопин-синтаза, экспрессия генов, факторный анализ главных компонент

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

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы

Для цитирования: Бемова В.Д., Пороховинова Е.А., Якушева Т.В., Подольная Л.П., Гаврилова В.А. Взаимосвязь признаков арахиса (*Arachis hypogaea* L.) и уровня экспрессии гена кукумопин-синтазы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):79-91. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-79-91

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-79-91

Interaction between plant characters in peanut (*Arachis hypogaea* L.) and the expression level of the cucumopine synthase gene

Viktoria D. Bemova¹, Elizaveta A. Porokhovinova¹, Tamara V. Yakusheva², Larisa P. Podolnaya¹, Vera A. Gavrilova¹¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station – branch of VIR, Krasnodar Territory, Russia**Corresponding author:** Viktoria D. Bemova, viktoria.bemova@yandex.ru

Background. Peanut is a valuable crop for agriculture. Studies have shown that peanut is a naturally transgenic plant: its genome contains T-DNA, called cellular (cT-DNA), obtained during evolution from agrobacteria. The *cus* gene encodes cucumopine synthase, responsible for the synthesis of cucumopine. This gene was earlier proven to be intact in peanut and actively expressed in plant organs, but its effect is still unknown. We attempted to analyze important agronomic characters in a set of peanut accessions and find correlations between their manifestation and the *cus* gene expression level.

Materials and methods. The study involved 63 peanut (*Arachis hypogaea* L.) accessions from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). For 10 of them, the results of the analysis of the *cus* gene expression level in different organs were obtained. Ecogeographic tests were performed in 2019–2021 at two sites: the Kuban Experiment Station of VIR, and the Caspian Agrarian Federal Research Center. The indicators were described in accordance with the guidelines. The fatty acid composition in seeds was assessed using gas chromatography, while the protein content was measured using the Kjeldahl method. Statistica 7.0 software was employed for statistical data processing.

Results and conclusion. Variability assessment of important agronomic characters studied during three years of ecogeographic tests, the Mann-Whitney U-test, and the factor analysis of principal components were applied to clarify the interplay of these characters with the expression level of the *cus* gene in different organs of peanut plants. The findings of this study disclosed some trends suggesting that a high level of the *cus* gene expression affected the productivity indicators in peanut.

Keywords: peanut, cucumopine synthase, gene expression, principal component factor analysis

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

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

For citation: Bemova V.D., Porokhovinova E.A., Yakusheva T.V., Podolnaya L.P., Gavrilova V.A. Interaction between plant characters in peanut (*Arachis hypogaea* L.) and the expression level of the cucumopine synthase gene. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):79-91. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-79-91

Введение

Арахис культурный (*Arachis hypogaea* L.) из семейства Бобовые (Fabaceae) – важная сельскохозяйственная культура, потребляемая во всем мире, богатая белком и маслом (Settaluri et al., 2012). Это аллотетраплоид с геномом AABB, $2n = 4x = 40$ (Barkley et al., 2007). К середине XX века было описано 30 видов арахиса (Krapovickas, 1969), произрастающих в Южной Америке (Zhukovsky, 1971). Происхождение культурного арахиса оставалось спорным вопросом в течение многих лет, но полученные позднее результаты секвенирования и анализа данных подтверждают образование этого вида путем гибридизации *A. duranensis* Krapov. & W.C. Greg и *A. ipaensis* Krapov. & W.C. Greg. (Bertioli et al., 2019). Арахис культурный является природно-трансгенным растением (Matveeva, Otten, 2019) с последовательностью клеточной Т-ДНК (клТ-ДНК), полученной в ходе естественного горизонтального переноса генов от агробактерий.

Способность арахиса вступать в симбиотические отношения с азотфиксирующими ризобиями оказывает сильное влияние на окружающую среду. Исследование взаимодействий между арахисом и ризосферными микроорганизмами позволит улучшить продуктивность растений и, возможно, устойчивость к патогенным микроорганизмам. Существенный вклад в этот процесс вносит изучение клТ-ДНК арахиса, что позволит понять не только ее возможные функции и роль в эволюции культурного арахиса, но и усовершенствовать процесс селекции.

КлТ-ДНК арахиса содержит ген (*cus*), кодирующий кукумопин-синтазу, ответственную за синтез опинов. Опины используются агробактериями как источник азота и углерода, определенные типы опинов могут употребляться только теми штаммами, которые имеют гены катаболизма опинов данного типа. Мы обнаружили образцы арахиса, контрастные по уровням экспрессии гена *cus* в разных органах растений (корнях, стеблях и листьях) (Bemova, Matveeva, 2022; Bogomaz et al., 2024), однако функции клТ-ДНК до сих пор не выяснены. Возможно, синтез опинов в корнях арахиса влияет на микробное сообщество в ризосфере и на ризобии в клубеньках, изменяя хозяйственно ценные признаки. В этом исследовании мы предприняли попытку проанализировать связь экспрессии гена *cus* с хозяйственно ценными, морфологическими и биохимическими признаками арахиса.

В качестве метода оценки влияния уровня экспрессии гена *cus* на признаки арахиса выбрали факторный анализ по методу главных компонент, который позволяет изучить изменчивость большого набора количественных и качественных признаков. Ранее данный метод уже успешно использовался для структурирования коллекции и выделения определенных групп образцов (Brutch, 1989; Anashchenko, Rostova, 1991; Burlyaeva, Malyshev, 2013; Gavrilova, 2024).

Материалы и методы

Для проведения эколого-географических испытаний отобрали 63 образца арахиса (*A. hypogaea*) коллекции ВИР, различающихся по географическому происхождению. Для оценки уровня экспрессии гена *cus* выращивали 10 образцов арахиса в асептических условиях *in vitro*.

Эколого-географическое испытание проводилось в 2019–2021 гг. в двух пунктах, различающихся по климатическим и почвенным условиям: на Кубанской опытной станции ВИР (Кубанская ОС ВИР), которая располо-

жена в Краснодарском крае в зоне степей (почва – чернозем, выращивание без полива, средняя сумма активных температур – 3756°C), и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (ПАФНЦ) в зоне полупустынь (почвы элювиальные, разной степени солонцеватости, выращивание при поливе). Ширина междурядья – 70 см, расстояние между растениями – 30 см. В годы эксперимента средняя сумма активных температур в ПАФНЦ составила 3845°C. Значительные различия ($p = 0,018$) средних за 3 года наблюдали по суммам осадков – в ПАФНЦ средняя сумма осадков за период с температурами выше 10°C была достоверно ($p = 0,018$) ниже (120 мм), чем на Кубанской ОС ВИР (387 мм).

Описание морфологических и хозяйственно ценных показателей проводили в соответствии с методическими указаниями (Vakhrusheva, 1995) по следующим признакам: продолжительность периода «всходы – цветение»; вызреваемость; продуктивность; процент содержания лузги в бобах; масса 1000 бобов; масса 1000 семян; величина боба; форма боба; число семян; наличие перехвата на бобе; форма семени; величина семени; окраска семени; форма куста; степень выраженности стебля; длина междоузлий; степень опушения; антоциановая окраска; величина листочков; форма листочков; окраска листа; длина черешка; форма прилистника; величина цветка; размер чашечки.

Оценку жирнокислотного состава семян проводили с помощью газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией, оценка содержания белка осуществлялась по методу Кьельдаля.

Выделение РНК осуществляли с помощью набора Total RNA Purification Plus Kit (Norgen Biotek). ПЦР – Real-time проводили в объеме 20 мкл. В состав смеси входили: SsoAdvanced™ Universal SYBR® Green Supermix (BioRad, Hercules, CA, USA) (10 мкл), прямой праймер 10 пикоМоль, обратный праймер 10 пикоМоль, кДНК (1 мкл). Относительные уровни экспрессии рассчитывали методом 2-ΔΔCT.

Для статистического анализа использовали U-критерий Манна – Уитни и факторный анализ по методу главных компонент, которые рассчитывали с помощью программного пакета Statistica 7.0.

Результаты

Проведена оценка изменчивости хозяйственно ценных признаков в зависимости от уровня экспрессии гена *cus* в разных органах арахиса. Статистически значимые результаты анализа по U-критерию Манна – Уитни представлены в таблице 1. Относительно уровня экспрессии гена *cus* в стеблях и в листьях достоверных различий не выявлено.

Оценка по уровню экспрессии в корнях выявила значимые различия в продолжительности периода «всходы – цветение» на Кубанской ОС ВИР: при более высокой экспрессии его продолжительность короче, а масса 1000 бобов в среднем выше. Анализ уровня экспрессии в листьях не показал значимого влияния на проявление хозяйственных признаков. Также не было обнаружено какой-либо взаимосвязи экспрессии гена кукумопин-синтазы и морфологических признаков.

Уровни экспрессии в разных органах растения (корнях, стеблях и листьях) коррелируют, в контрастных по данному признаку образцах более высокая экспрессия наблюдается одновременно во всех органах, так же как и низкая экспрессия.

Таблица 1. Результаты оценки хозяйственно ценных характеристик 10 образцов арахиса относительно уровня экспрессии гена *cus***Table 1. Results of the assessment of important agronomic characters in 10 peanut accessions versus the expression level of the *cus* gene**

Признак / Character	Характеристика группы / Group characterization						U-критерий Манна – Уитни / Mann-Whitney U-test	
	низкая экспрессия / low expression			высокая экспрессия / high expression			Z adjusted	p
	Valid N	Mean ± Se	Rank Sum	Valid N	Mean ± Se	Rank Sum		
Период всходы – цветение (дни)	6	30,0 ± 0,4	44	4	27,6 ± 0,74	11	2,38	0,02
Масса 1000 бобов (г)	6	1118 ± 83	23	4	1651 ± 142	32	-2,13	0,03
Уровень экспрессии в стеблях	6	0,04 ± 0,01	21	4	1,32 ± 0,55	34	-2,57	0,01
Уровень экспрессии в листьях	6	0,12 ± 0,01	21	4	1,23 ± 0,44	34	-2,57	0,01

Примечание: Valid N – число повторностей варианта эксперимента; Mean ± Se – среднее с доверительным интервалом (± стандартная ошибка) варианта опыта; Z adjusted – эмпирическое значение стандартизированной переменной U-критерия Манна – Уитни; p – уровень значимости. В таблице приведены только варианты экспериментов, достоверно отличающиеся друг от друга

Note: Valid N is the number of replications for a version of the experiment; Mean ± Se is the mean with a confidence interval (± standard error) of a version of the experiment; Z adjusted is the empirical value of the standardized variable in the Mann-Whitney U-test; p is the significance level. The table shows only the versions of the experiment that differ significantly from each other

Мы использовали факторный анализ для того, чтобы оценить совместную изменчивость признаков под действием совокупного влияния внешних условий. В первый вариант факторного анализа были включены средние значения всех измерений количественных признаков за три года исследований и зашифрованные значения морфологических признаков. Факторный анализ с использованием количественных признаков проводили отдельно для данных, полученных в ПАНЦ (табл. 2) и на Кубанской ОС ВИР (табл. 3). Из 63 исследуемых образцов только для 30 были получены данные за три года в двух точках испытания, именно их и использовали для анализа.

Установлено, что основную часть дисперсии определяют четыре фактора (18% – F1; 12% – F2; 9% – F3; 9% – F4). В первом из них максимальные нагрузки несут показатели, характеризующие габитус растения: длина черешка (–0,67), длина междоузлий (–0,58), степень выраженности стебля (0,66), форма куста (0,65), антоциановая окраска стебля (–0,72), а также показатели, связанные с продолжительностью вегетационного периода: период «всходы – цветение» (0,64), вызреваемость (–0,64). Во втором факторе максимальные нагрузки несут показатели продуктивности: масса 1000 бобов (–0,74) и 1000 семян (–0,68), величина боба (–0,67) и величина семени (–0,66).

С третьим фактором связана изменчивость морфологических признаков, не влияющих на хозяйственно ценные показатели арахиса: форма боба (–0,52), величина цветка (0,51), окраска листа (–0,61). Четвертый фактор определяет опушение чашечки (0,60), размер чашечки (0,54), степень опушения растения (0,50), форму семени (–0,52).

Наиболее значимые для оценки образцов арахиса признаки находятся в первых двух факторах. Процент вызреваемости бобов арахиса сильно зависит от длины вегетационного периода, что подтверждается нашим анализом. Вероятно, скороспелые растения имеют более развитый габитус. Показатели продуктивности закономерно связаны между собой. Масса 1000 бобов законо-

мерно коррелирует с массой 1000 семян: чем крупнее бобы, тем больше семена. Визуализация данных представлена на рисунке 1.

При анализе характеристик, полученных для образцов на Кубанской ОС ВИР (рис. 2), видны схожие паттерны – те же хозяйственно ценные признаки объединяются в один фактор. Основную часть дисперсии определяют четыре фактора (16% – F1; 14% – F2; 9% – F3; 8% – F4). В системе координат первого и второго фактора представлены показатели продуктивности: масса 1000 бобов (–0,83) и семян (–0,83), продуктивность (–0,69), величина боба (–0,62), величина семени (–0,55). На первый фактор приходится максимальная дисперсия признака продолжительности периода «всходы – цветение» (0,43). Вероятно, из-за почвенно-климатических условий на Кубанской ОС ВИР (отсутствие полива, более плотная структура почвы), по сравнению с ПАНЦ, продуктивность арахиса сильнее зависит от продолжительности вегетационного периода. Со вторым фактором связаны признаки габитуса растения: форма куста (–0,73), степень выраженности стебля (–0,63), длина черешка (0,66), антоциановая окраска (0,70). В третьем факторе наибольшую дисперсию имеют признаки опушения – опушение чашечки (–0,60) и степень опушения растения (–0,58) – и процент содержания лузги в бобах (–0,60). В четвертом факторе находятся морфологические признаки: окраска листа (–0,59), наличие перехвата боба (0,61), величина цветка (0,57), размер чашечки (0,51).

Второй вариант факторного анализа (рис. 3) принимали с участием тех же морфологических и хозяйственно ценных признаков и признаков, характеризующих экспрессию гена синтеза кукумипина, а также с использованием данных биохимического анализа (33 признака). Данные по уровню экспрессии в разных органах получены для 10 образцов из 30 ранее проанализированных. Результаты факторного анализа образцов для 33 признаков арахиса представлены в таблице 4. Поскольку в молекулярных исследованиях использованы семена образцов, полученные на Кубанской опытной

Таблица 2. Факторные нагрузки для 28 хозяйственно ценных признаков арахиса в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (2019–2021 гг.)**Table 2. Factor loadings for 28 important agronomic characters in peanut at the Caspian Agrarian Federal Research Center (2019–2021)**

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Форма куста	fb	0,65	–0,05	–0,04	0,35	кустовая полукустовая стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	0,66	–0,24	–0,20	0,04	слабая средняя сильная
Длина междоузлий, см	intn	–0,58	0,25	–0,05	0,14	1,4–8,0
Степень опушения	pbs	0,14	0,24	–0,10	0,50	слабая средняя сильная
Антоциановая окраска	cn c	–0,72	–0,23	–0,28	0,15	отсутствует слабая средняя сильная
Величина листочков, см	s.lft	–0,56	0,30	0,26	0,27	3,0–9,0
Форма листочков	f.lft	–0,28	0,14	0,031	0,39	обратнойцевидная эллиптическая широкоэллиптическая удлиненно-овальная
Окраска листа	lfc	–0,09	–0,28	–0,61	–0,19	светло-зеленая темно-зеленая
Длина черешка, см	lpt	–0,67	0,33	–0,05	–0,15	2,0–10,0
Форма прилистника	fbct	–0,22	0,19	0,17	–0,41	линейно-ланцетная клевовидная
Величина цветка, см	sfl	–0,09	–0,39	0,51	0,28	0,5–2,0
Форма чашечки	fcl	–0,20	–0,18	–0,21	0,38	длиннозубчатая короткозубчатая
Размер чашечки, см	scl	–0,01	–0,32	0,45	0,54	0,3–1,0
Окраска чашечки	ccl	0,07	0,26	0,46	–0,28	светло-зеленая темно-зеленая
Опушение чашечки	pbcl	0,06	0,47	–0,13	0,60	слабое среднее сильное
Высота растения, см	H	–0,54	–0,15	–0,01	–0,17	22,8– 85,4
Содержание лузги в бобах, %	lj1	0,53	–0,28	–0,05	0,04	18,8–75,6
Период «всходы – цветение», дни	gm-fr1	0,64	–0,34	–0,24	–0,04	21–51
Вызреваемость, %	mt%	–0,64	0,18	–0,28	0,22	47,5–100
Продуктивность, г	p	–0,30	–0,03	0,25	0,04	3,5–51,1
Масса 1000 семян, г	ms1000	–0,34	–0,68	0,34	0,07	244–851

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Масса 1000 бобов, г	mp1000	-0,43	-0,74	-0,02	0,05	366–1719
Величина боба, см	sp	-0,26	-0,67	-0,20	0,21	1,5–6,0
Форма боба	fp	-0,09	0,16	-0,52	0,12	коконообразная вальковато-цилиндрическая вздутая
Число семян, шт.	Ns	-0,40	-0,10	-0,19	0,15	1–5
Наличие перехвата боба	Phv	0,01	-0,08	0,49	0,32	невыраженный слабый средний сильный
Форма семени	fs	-0,35	-0,19	0,36	-0,52	округлая удлиненно-овальная овальная
Величина семени, см	ss	-0,15	-0,66	-0,24	-0,13	0,4–2,0
Окраска семени	cs	-0,39	0,17	-0,32	-0,13	светло-розовая розовато-коричневая буро-красная черно-фиолетовая
Expl.Var		5,09	3,47	2,61	2,46	
Prp.Totl		0,17	0,11	0,09	0,08	

Таблица 3. Факторные нагрузки для 28 хозяйственно ценных признаков арахиса на Кубанской опытной станции ВИР (2019–2021 гг.)

Table 3. Factor loadings for 28 important agronomic characters in peanut at the Kuban Experiment Station of VIR (2019–2021)

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Форма куста	fb	-0,23	-0,73	-0,36	0,01	кустовая полукустовая стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	-0,36	-0,63	-0,09	-0,32	слабая средняя сильная
Длина междоузлий, см	intn	0,35	0,45	-0,21	0,13	1,4–8,0
Степень опушения	pbs	0,11	-0,28	-0,58	0,15	слабая средняя сильная
Антоциановая окраска	cn c	-0,10	0,70	-0,35	-0,17	отсутствует слабая средняя сильная
Величина листочков, см	s.lft	0,25	0,48	-0,20	0,48	3,0–9,0
Форма листочков	f.lft	0,01	0,27	-0,30	0,29	обратнойцевидная эллиптическая широкоэллиптическая удлиненно-овальная

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Окраска листа	lfc	-0,20	0,24	0,09	-0,59	светло-зеленая темно-зеленая
Длина черешка, см	lpt	0,49	0,66	0,09	0,03	2,0–10,0
Форма прилистника	fbct	0,34	0,13	0,27	0,03	линейно-ланцетная клевовидная
Величина цветка, см	sfl	-0,53	0,17	0,01	0,57	0,5–2,0
Форма чашечки	fcl	-0,19	0,17	-0,42	-0,03	длиннозубчатая короткозубчатая
Размер чашечки, см	scl	-0,45	0,05	-0,31	0,51	0,3–1,0
Окраска чашечки	ccl	0,30	-0,19	0,23	0,33	светло-зеленая темно-зеленая
Опушение чашечки	pbcl	0,29	-0,26	-0,60	0,10	слабое среднее сильное
Содержание лузги в бо- бах, %	lj2	-0,33	0,13	-0,60	-0,13	18,8–75,6
Период «всходы – цве- тение», дни	gm-fr2	0,43	-0,14	-0,29	-0,06	21–51
Вызреваемость, %	mt%2	0,39	0,36	-0,14	0,08	47,5–100
Продуктивность, г	p2	-0,69	-0,32	-0,16	0,26	3,5–51,1
Масса 1000 семян, г	ms1000.2	-0,83	0,17	0,26	0,06	244–851
Масса 1000 бобов, г	mp1000.2	-0,83	0,42	-0,01	-0,02	366–1719
Величина боба, см	sp	-0,62	0,47	-0,17	-0,20	1,5–6,0
Форма боба	fp	0,23	0,14	-0,46	-0,40	коконообразная вальковато-цилиндрическая вздутая
Число семян, шт.	Ns	0,04	0,44	-0,28	-0,13	1–5
Наличие перехвата боба	Phv	-0,13	0,05	0,01	0,61	невыраженный слабый средний сильный
Форма семени	fs	-0,11	0,38	0,40	0,19	округлая удлиненно-овальная овальная
Величина семени, см	ss	-0,55	0,23	0,09	-0,36	0,4–2,0
Окраска семени	cs	0,15	0,28	-0,06	-0,24	светло-розовая розовато-коричневая буро-красная черно-фиолетовая
Expl.Var		4,66	3,96	2,66	2,50	
Prp.Totl		0,16	0,14	0,09	0,08	

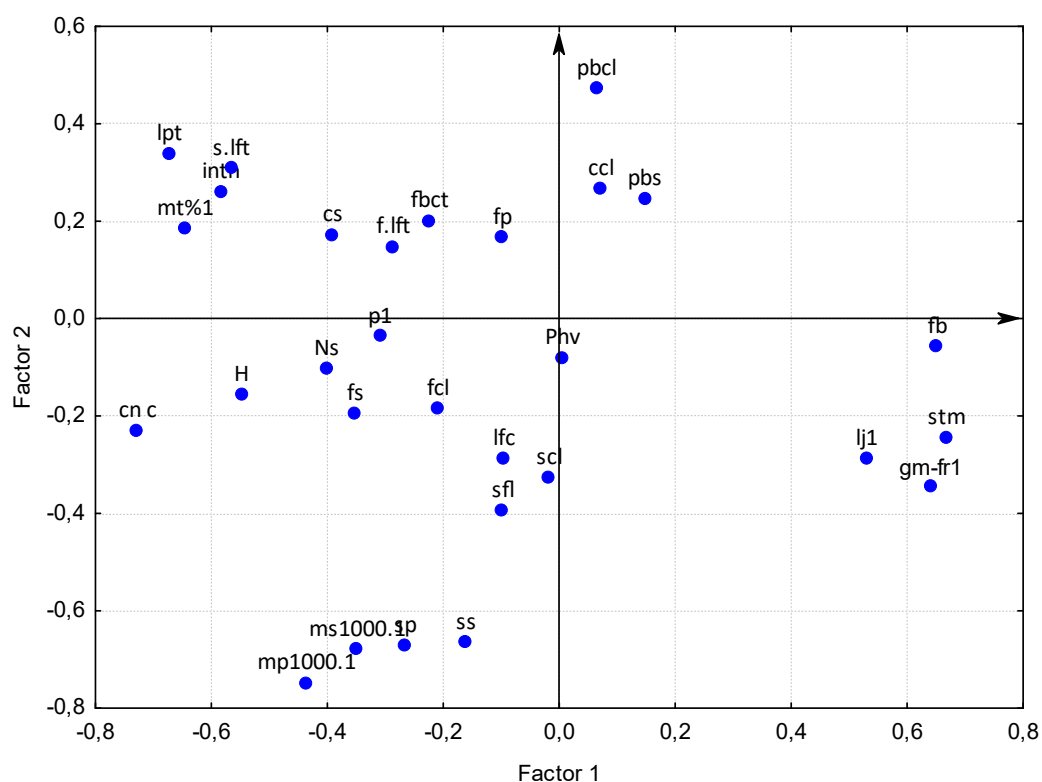


Рис. 1. Факторные нагрузки для 28 хозяйственно ценных признаков арахиса в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (2019–2021 гг.) (расшифровку символов см. в таблице 2)

Fig. 1. Factor loadings for 28 important agronomic characters in peanut at the Caspian Agrarian Federal Research Center (2019–2021) (see Table 2 for the explanation of the symbols)

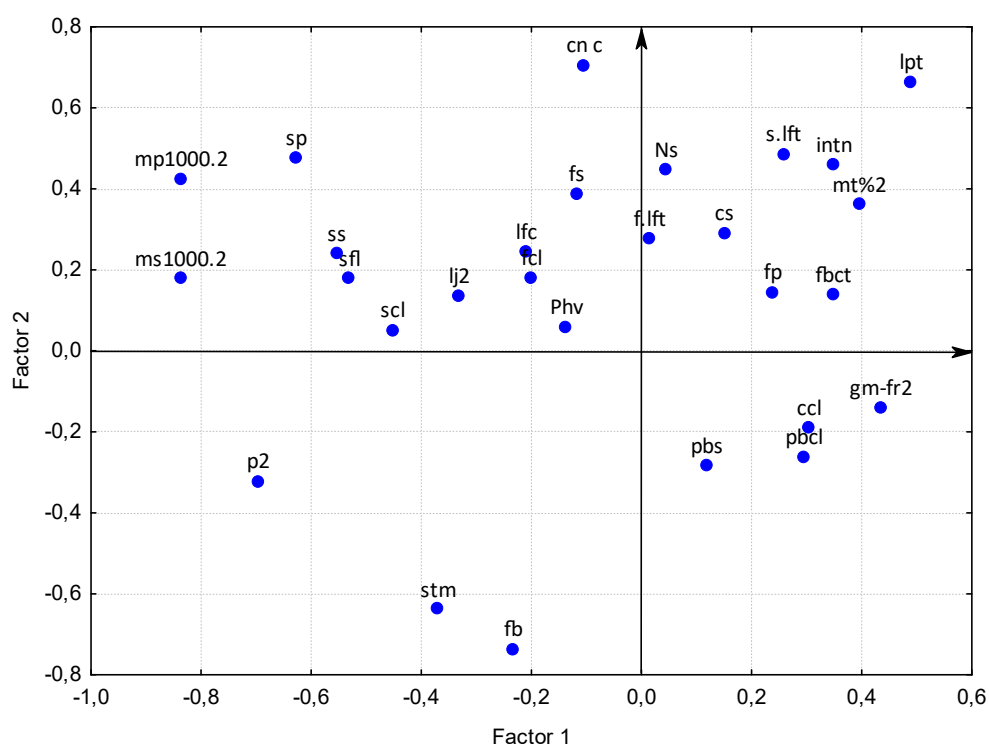


Рис. 2. Факторные нагрузки для 28 хозяйственно ценных признаков арахиса на Кубанской опытной станции ВИР (2019–2021 гг.) (расшифровку символов см. в таблице 3)

Fig. 2. Factor loadings for 28 important agronomic characters in peanut at the Kuban Experiment Station of VIR (2019–2021) (see Table 3 for the explanation of the symbols)

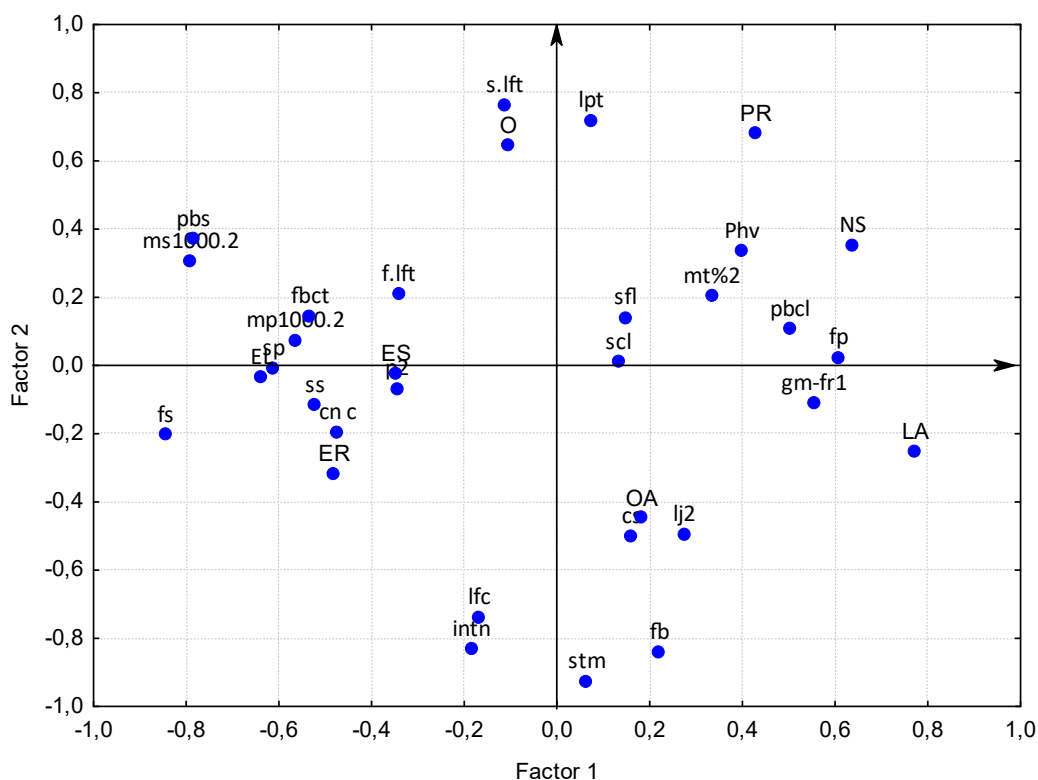


Рис. 3. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и уровня экспрессии гена *cus* в системе координат первого (F1) и второго фактора (F2)
(расшифровку символов см. в таблице 4)

Fig. 3. Factor loadings for 30 important agronomic characters in peanut at the Kuban Experiment Station of VIR, and the expression level of the *cus* gene in the coordinate system of the first (F1) and second factors (F2)
(see Table 4 for the explanation of the symbols)

Таблица 4. Результаты факторного анализа по методу главных компонент для 33 признаков арахиса

Table 4. Factor values resulting from the factor analysis with the principal component method for 33 characters in peanut

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Период «всходы – цветение», дни	gm-fr	0,55	-0,11	-0,07	0,23	26–31,5
Вызреваемость, %	mt%	0,33	0,20	0,14	-0,27	41,4–60,6
Продуктивность, г	p	-0,34	-0,06	0,71	0,13	23,0–61,1
Содержание лузги в бобах, %	lj	0,27	-0,49	0,47	-0,54	30,4–42,7
Масса 1000 семян, г	ms1000	-0,56	0,07	0,54	-0,58	301,0–589,0
Масса 1000 бобов, г	mp1000	-0,79	0,30	0,30	0,04	891,0–1903,0
Величина боба, см	sp	-0,61	-0,01	0,41	0,09	1,5–6,0
Форма боба	fp	0,60	0,02	0,10	0,27	коконообразная вальковато-цилиндрическая вздутая

Таблица 4. Продолжение

Table 4. Continued

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Число семян, шт.	Ns	0,63	0,35	0,47	-0,22	1–5
Наличие перехвата	Phv	0,39	0,33	0,67	-0,28	невыраженный слабый средний сильный
Форма семени	fs	-0,84	-0,20	0,02	0,34	округлая удлиненно-овальная овальная
Величина семени, см	ss	-0,52	-0,11	0,11	0,15	0,4–2,0
Окраска семени	cs	0,16	-0,50	0,17	-0,73	светло-розовая розовато-коричневая буро-красная черно-фиолетовая
Форма куста	fb	0,22	-0,84	0,38	-0,14	кустовая полукустовая стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	0,06	-0,92	-0,03	-0,10	слабая средняя сильная
Длина междоузлий, см	intn	-0,18	-0,83	-0,15	-0,10	1,4–8,0
Степень опушения	pbs	-0,78	0,36	-0,11	0,03	слабая средняя сильная
Антоциановая окраска	cn c	-0,47	-0,19	0,457	-0,41	слабая средняя сильная
Величина листочков, см	s.lft	-0,11	0,76	0,35	-0,47	3,0–9,0
Форма листочков	f.lft	-0,34	0,20	0,29	0,68	обратнойцевидная эллиптическая широкоэллиптическая удлиненно-овальная
Окраска листа	lfc	-0,16	-0,74	0,43	0,03	светло-зеленая темно-зеленая
Длина черешка, см	lpt	0,07	0,71	-0,37	-0,19	2,0–10,0
Форма прилистника	fbct	-0,53	0,14	-0,56	-0,19	линейно-ланцетная клевовидная
Величина цветка, см	sfl	0,14	0,13	0,76	0,14	0,5–2,0
Размер чашечки, см	fcl	0,13	0,01	0,87	0,31	0,3–1,0
Опушение чашечки	pbcl	0,50	0,10	-0,28	0,07	слабое среднее сильное

Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

Название признака / Plant character	Символ признака / Symbol	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака / Character manifestation variability
Содержание белка, %	PR	0,42	0,68	-0,13	-0,47	17,1-28,62
Содержание масла, %	O	-0,10	0,64	0,25	-0,62	33,4-41,64
Содержание олеиновой жирной кислоты, %	OA	0,18	-0,44	-0,52	-0,36	32,12-42,2
Содержание линолевой жирной кислоты %	LA	0,77	-0,25	0,11	-0,16	28,45-35,2
Экспрессия гена <i>cis</i> в стебле	ES	-0,34	-0,02	-0,42	-0,50	0,01-2,79
Экспрессия гена <i>cis</i> в корнях	ER	-0,48	-0,32	-0,27	-0,66	0,06-3,14
Экспрессия гена <i>cis</i> в листьях	EL	-0,63	-0,03	-0,01	-0,32	0,06-2,42
Expl.Var		7,12	6,36	5,37	4,40	
Prp.Totl		0,21	0,19	0,16	0,13	

станции ВИР, мы сочли возможным объединить в факторном анализе результаты по экспрессии гена *cis* с данными, полученными на Кубанской ОС ВИР.

Основную часть дисперсии определяют четыре фактора (21% – F1; 19% – F2; 16% – F3; 13% – F4). С первым фактором связаны важные хозяйственно ценные признаки: масса 1000 бобов (-0,79), величина боба (-0,61), содержание линолевой жирной кислоты (0,77), число семян в бобе (0,63), продолжительность периода «всходы – цветение» (0,55), а также некоторые морфологические: форма семени (-0,84), степень опушения (-0,78), форма боба (0,60). Вместе с этими признаками в первом факторе максимальную дисперсию демонстрирует признак экспрессии гена *cis* в листьях (-0,63), что свидетельствует о его взаимосвязи с вышеперечисленными показателями.

Во втором факторе выделяются признаки габитуса растения: степень выраженности стебля (-0,92), форма куста (-0,84), длина междоузлий (-0,83), окраска листа (-0,74), величина листочков (0,76), длина черешка (0,71) и показатели содержания белка и масла в семенах арахиса. Это может свидетельствовать о том, что растения с более развитым габитусом накапливают больше питательных веществ.

Третий фактор объединяет изменчивость морфологических признаков – таких как форма прилистника (-0,56), размер чашечки (0,87), величина цветка (0,76), наличие перехвата на бобе (0,67), а также несет максимальную дисперсию признаков продуктивности и содержания олеиновой жирной кислоты.

Четвертый фактор содержит как морфологические – окраска семени (-0,73), форма листочков (0,68), – так и важные хозяйственно ценные признаки – содержание масла в семенах (-0,62), масса 1000 семян (-0,58), содержание лузги в бобах (-0,54) – вместе с наибольшей дисперсией экспрессии гена *cis* в корнях (-0,66). Нахождение

всех этих признаков в одном факторе однозначно говорит в пользу их взаимосвязи. Таким образом, результаты факторного анализа показывают взаимосвязь экспрессии гена *cis* и некоторых других проанализированных нами признаков арахиса.

Обсуждение

В результате оценки только морфологических и хозяйственно ценных признаков выявлены определенные закономерности. Признаки продуктивности объединяются в один фактор и взаимосвязаны: чем выше масса 1000 бобов, тем больше масса 1000 семян. Бобы крупнее, если больше размер семян, и, соответственно, масса бобов и семян увеличивает продуктивность растения. Объединение в один фактор продолжительности вегетационного периода и признаков продуктивности отмечено только на Кубанской ОС ВИР, что связано с менее благоприятными условиями для арахиса (отсутствие полива, более плотная структура почвы) по сравнению с ПАФНЦ, из-за которых продуктивность сильнее зависит от продолжительности вегетационного периода.

Исследования функционирования природных трансогенов с использованием генетического материала, контрастного по экспрессии генов синтеза опинов, позволяют приблизиться к пониманию их функции клТ-ДНК, поскольку известно, что опины могут секретироваться в окружающую среду из растительных клеток и влиять на микробное сообщество ризосферы.

Питательные вещества из корневых экссудатов растений могут избирательно способствовать колонизации определенными ризобактериями (Wang et al., 2022). Вещества, секретируемые корнями растений, могут разлагаться специфическими бактериями, а образующиеся метаболиты будут способствовать колонизации другими бактериями. Предполагается, что этот эффект может

в значительной степени участвовать в регуляции колонизации корней полезными ризобактериями (Sasse et al., 2018).

Влияние вторичных метаболитов на микробиоту у растений рода *Arachis* L. довольно часто встречается в природе. Органические кислоты в корневых экссудатах арахиса, в том числе лимонная, яблочная и щавелевая, способствуют образованию в его ризосфере бактериальной биопленки штамма ризобактерий *Burkholderia* (Han et al., 2023). Корни арахиса могут чувствовать цианидный стресс, вызываемый соседними растениями, и вырабатывать этилен, чтобы привлечь полезные ризобактерии для приспособления к стрессовой среде (Chen et al., 2020).

Кукумопин-синтаза, предположительно, может влиять на увеличение эффективности фотосинтеза, что объясняет обнаруженную взаимосвязь с уровнем экспрессии гена *cus* в листьях и признаками продуктивности. Так, в исследовании взаимодействий между эндомитными грибами и растениями-хозяевами (Kong et al., 2024) были получены белки семейства PF18631, которые содержат домен С-концевого спирального пучка кукумопин-синтазы, выделенные из эндомитных грибов. Некоторые из этих ферментов катализируют синтез триптопина А (1-ацетил-3-карбокси-β-карболина) путем конденсации L-триптофана и метилглиоксала. Триптопин А может способствовать росту растений и, транскрипционно перепрограммируя пути, связанные с фотосинтезом, одновременно увеличивать скорость фотосинтеза на 25%.

Уровень экспрессии гена *cus* в корнях объединяется в одном факторе с такими важными признаками, как процент лузги в бобах, содержание масла и масса 1000 семян. Так как нами показана связь признаков продуктивности друг с другом, можно предположить влияние экспрессии гена, контролирующего синтез кукумопин-синтазы, на урожайность арахиса. Таким образом, наше исследование подтверждает возможность влияния продуктов экспрессии гена синтеза опина на проявление важных для селекции признаков арахиса.

Выводы

Показана тенденция взаимосвязи между высоким уровнем экспрессии гена, кодирующего кукумопин-синтазу, и хозяйственно ценными признаками (продуктивность, продолжительность периода «всходы – цветение», масса 1000 бобов).

References / Литература

Anashchenko A.V., Rostova N.S. Correlation and factor analysis of morphological and agronomic traits in rapeseed (Korrelyatsionny i faktorny analiz morfologicheskikh i khozyaystvennykh priznakov rapsa). *Agricultural Biology*. 1991;26(4):129-135. [in Russian] (Анащенко А.В., Ростова Н.С. Корреляционный и факторный анализ морфологических и хозяйственных признаков рапса. *Сельскохозяйственная биология*. 1991;26(4):129-135).

Barkley N.A., Dean R.E., Pittman R.N., Wang M.L., Holbrook C.C., Pederson G.A. Genetic diversity of cultivated and wild-type peanuts evaluated with M13-tailed SSR markers and sequencing. *Genetical Research*. 2007;89(2):93-106. DOI: 10.1017/s0016672307008695

Bemova V.D., Matveeva T.V. Prospects for the use of natural transgenic cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) in

breeding. *Ecological Genetics*. 2022;20:35. DOI: 10.17816/ecogen112340

Bertioli D.J., Jenkins J., Clevenger J., Dudchenko O., Gao D., Seijo G. et al. The genome sequence of segmental allo-tetraploid peanut *Arachis hypogaea*. *Nature Genetics*. 2019;51(5):877-884. DOI: 10.1038/s41588-019-0405-z

Bogomaz O.D., Bemova V.D., Mirgorodskii N.A., Matveeva T.V. Evolutionary fate of the opine synthesis genes in the *Arachis* L. genomes. *Biology (Basel)*. 2024;13(8):601. DOI: 10.3390/biology13080601

Brutch N.B. Correlation and factor analysis of some traits of fiber flax. *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1989;188:45-46. [in Russian] (Брutch Н.Б. Корреляционный и факторный анализ некоторых признаков льна-долгунца. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1989;188:45-46).

Burlyaeva M.O., Malyshev L.L. Application of factor and discriminant analysis for evaluation of the source material of soybean for green manure yield and differentiation of varieties by direction of utilization. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;173:55-67. [in Russian] (Бурляева М.О., Малышев Л.Л. Применение факторного и дисперсионного анализа для оценки исходного материала сои по урожайности зеленой массы и дифференциация сортов по направлениям использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;173:55-67).

Chen Y., Bonkowski M., Shen Y., Griffiths B.S., Jiang Y., Wang X. et al. Root ethylene mediates rhizosphere microbial community reconstruction when chemically detecting cyanide produced by neighbouring plants. *Microbiome*. 2020;8(1):4. DOI: 10.1186/s40168-019-0775-6

Gavrilova V.A., Anisimova I.N., Alpatieva N.V., Porokhovina E.A. Structuring the genetic collection of sunflower. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):130-142. [in Russian] (Гаврилова В.А., Анисимова И.Н., Алпатьева Н.В., Пороховинова Е.А. Структурирование генетической коллекции подсолнечника. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):130-142). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-130-142

Han L., Zhang H., Bai X., Jiang B. The peanut root exudate increases the transport and metabolism of nutrients and enhances the plant growth-promoting effects of *Burkholderia pyrrocinia* strain P10. *BMC Microbiology*. 2023;23(1):85. DOI: 10.1186/s12866-023-02818-9

Kong D., Cui L., Wang X., Wo J., Xiong F. Fungus-derived opine enhances plant photosynthesis. *Journal of Advanced Research*. [preprint] 2024. DOI: 10.1016/j.jare.2024.11.029

Krapovickas A. The origin, variability and spread of the groundnut (*Arachis hypogaea*). In: P.J. Ucko, G.W. Dimbleby (eds). *The Domestication and Exploitation of Plants and Animals*. Chicago: Aldine Pub. Co.; 1969, p.427-442.

Matveeva T.V., Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium*. *Plant Molecular Biology*. 2019;101(4-5):415-437. DOI: 10.1007/s11103-019-00913-y

Sasse J., Martinoia E., Northen T. Feed your friends: Do plant exudates shape the root microbiome? *Trends in Plant Science*. 2018;23(1):25-41. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.09.003

Settaluri V.S., Kandala C.V.K., Puppala N., Sundaram J. Peanuts and their nutritional aspects – A review. *Food and Nutrition Sciences*. 2012;3(12):1644-1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215

Vakhrusheva T.E. Evaluation of the peanut collection (*Arachis hypogaea* L.). Guidelines (Izucheniye kollektsii ara-

khisa (*Arachis hypogaea* L.). Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (Бахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).

Wang T., Balla B., Kovács S., Kereszt A. *Varietas delectat*: Exploring natural variations in nitrogen-fixing symbiosis research. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:856187. DOI: 10.3389/fpls.2022.856187

Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives: systematics, geography, cytogenetics, immunity, ecology, origin, utilization (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi: sistematika, geografiya, tsitogenetika, immunitet, ekologiya, proiskhozhdeniye, ispolzovaniye). Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи: систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование. Ленинград: Колос; 1971).

Информация об авторах

Виктория Дмитриевна Бемова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, viktoria.bemova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

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

Тамара Владимировна Якушева, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2, kos-vir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>

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

Вера Алексеевна Гаврилова, 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, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

Information about authors

Viktoria D. Bemova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, viktoria.bemova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

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

Tamara V. Yakusheva, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station – branch of VIR, 2 Tsentrlnaya St., Botanika Settlement, Gulkevichsky District, Krasnodar Territory 352183, Russia, kos-vir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>

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

Vera A. Gavrilova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000 Russia, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 14.04.2024. The article was submitted on 28.02.2025; approved after reviewing on 10.04.2025; accepted for publication on 14.04.2024.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 634.723.1:634.1.581.19(470.2)

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-92-107



Основные показатели питательной и биологической ценности плодов черной смородины в условиях Северо-Запада России

О. А. Тихонова, А. Е. Смоленская, В. С. Попов

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Виталий Сергеевич Попов, popovitaly@yandex.ru

Актуальность. Изучение химического состава ягод новых сортов дает возможность пополнения знаний о важнейших биохимических компонентах плодов и позволяет выделить наиболее ценные образцы с повышенным уровнем аккумуляции питательных и биологически активных веществ для использования их в селекционных программах и практических целях.

Материалы и методы. Объектами исследования служили 36 образцов из генофонда черной смородины ВИР. Изучение биохимического состава плодов проводили в 2019–2021 гг. в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР с использованием традиционных методик. При статистической обработке данных использовали программу Microsoft Excel и методические указания Б. А. Доспехова.

Результаты и заключение. В условиях Северо-Запада России плоды черной смородины содержат 15,3–25,7% сухих веществ, 8,3–15,1% сахаров, 2,0–3,3% кислот, 96,7–255,3 мг% аскорбиновой кислоты и 148,4–442,3 мг% антоцианов. Выделены сорта с высоким уровнем накопления отдельных компонентов химического состава – сухих веществ, сахаров, аскорбиновой кислоты, антоцианов – и низким содержанием общих кислот для использования в селекции. Комплексным сочетанием лучших показателей биохимического состава плодов обладают сорта 'Навля' (к-42228), 'Арапка' (к-44175), 'Gagatai' (к-44168), 'Свитязянка' (к-41979), 'Elo' (к-44171), 'Karri' (к-44172), 'Валентина' (к-49786). Из всех изученных компонентов наибольшую стабильность имела концентрация сухих веществ в плодах.

Ключевые слова: *Ribes L.*, сухие вещества, сумма сахаров, аскорбиновая кислота, титруемая кислотность, антоцианы

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда плодовых, ягодных культур, винограда и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

Для цитирования: Тихонова О.А., Смоленская А.Е., Попов В.С. Основные показатели пищевой и биологической ценности плодов черной смородины в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):92-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-92-107

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-92-107

Main indicators of nutritional and biological value in black currant berries under the conditions of Northwest Russia

Olga A. Tikhonova, Anastasia E. Smolenskaya, Vitaliy S. Popov

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Vitaliy S. Popov, popovitaly@yandex.ru

Background. Studying the chemical composition in the berries of new cultivars makes it possible to replenish the knowledge about the most important biochemical components of fruits and identify the most valuable genotypes with enhanced accumulation of nutrients and bioactive compounds for breeding programs and practical purposes.

Materials and methods. Thirty-six black currant accessions from the VIR collection served as the material for this study. The biochemical composition of their fruits was analyzed in 2019–2021 at VIR's Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology using conventional techniques. The Microsoft Excel software and B. A. Dospekhov's guidelines were used for statistical data processing.

Results and conclusion. Berries of black currants grown in Northwest Russia contained 15.3–25.7% of dry matter, 8.3–15.1% of sugars, 2.0–3.3% of acids, 96.7–255.3 mg% of ascorbic acid, and 148.4–442.3 mg% of anthocyanins. Cultivars were identified for enhanced accumulation of individual chemical components (dry substances, sugars, ascorbic acid, and anthocyanins) and low total acid content. They can be employed in breeding practice. Fruits of cvs. 'Navlya' (k-42228), 'Arapka' (k-44175), 'Gagatai' (k-44168), 'Svityazyanka' (k-41979), 'Elo' (k-44171), 'Karri' (k-44172), and 'Valentina' (k-49786) exhibited a complex combination of the best values in their biochemical composition. Among all the studied components, the concentration of dry substances in fruits had the greatest stability.

Keywords: *Ribes* L., dry substances, total sugars, ascorbic acid, titrated acidity, anthocyanins

Acknowledgements: the study was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of fruit and berry crops, grapes, 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: Tikhonova O.A., Smolenskaya A.E., Popov V.S. Main indicators of nutritional and biological value in black currant berries under the conditions of Northwest Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):92-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-92-107

Введение

Черная смородина – популярная ягодная культура, плоды которой по энергетической и витаминной значимости в рациональном питании человека сложно переоценить (Strel'tsina, Tikhonova, 2010). Главным достоинством ягод является высокое содержание в них аскорбиновой кислоты при низком содержании ферментов, ее разрушающих. Этим обеспечивается высокая сохранность витамина С в продуктах переработки (Sokolov, Zamotaev, 1988). Помимо аскорбиновой кислоты, ягоды черной смородины содержат Р-активные вещества (флавонолы, флаваны, фенолкарбоновые кислоты). Витамины С и Р содержатся в ягодах в легко усвояемой форме. Этим черная смородина выгодно отличается от других плодовых культур. Сочетание витаминов С и Р очень важно для человека, организм которого не способен синтезировать ни то, ни другое соединение (Samorodova-Bianki et al., 1992). Ягоды являются источником органических кислот (2,0–4,3%, преобладающей является лимонная кислота) и благоприятно сбалансированных сахаров (10–14%), отличаются высоким содержанием глюкозы и фруктозы (в практически равном соотношении) и низким – сахарозы. Они содержат минеральные вещества, провитамин А, витамины группы В, К, Е, РР, кумарины, фурукумарины, дубильные, пектиновые и красящие вещества, эфирные масла, многоатомные спирты и др. (Shirko, Yarochevich, 1991; Vitkovsky, 2003; Makarkina, Yan-chuk, 2009).

Современные селекционные программы по черной смородине обязательно включают задания по созданию сортов с высокой питательной и витаминной ценностью плодов и их улучшенными вкусовыми качествами. Знания о наиболее важных компонентах химического состава плодов, которые определяют эти характеристики, очень важны, поскольку позволяют выделить и привлечь в селекционный процесс лучшие генотипы по степени выраженности и стабильности как отдельного признака, так и комплекса наиболее важных показателей.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте плодовых культур (ВНИИСПК, г. Орел) доктором сельскохозяйственных наук Т. П. Огольцовой разработана модель «идеального сорта» черной смородины, которая наряду с важнейшими морфометрическими и другими показателями включает определенные требования и к качеству продукции. Так, согласно этим требованиям плоды «идеального сорта» черной смородины должны содержать: > 200 мг/100 г аскорбиновой кислоты, > 20% растворимых сухих веществ, > 10% сахаров, < 3% органических кислот и > 200 мг/100 г антоциановых веществ (Ogoltsova, 1992).

Генофонд черной смородины ВИР ежегодно пополняется новыми образцами, которые проходят всестороннее изучение, направленное на выделение источников важнейших биолого-хозяйственных признаков для использования в селекции и лучших сортов для возделывания в промышленном и любительском садоводстве. Помимо оценки устойчивости к биотическим и абиотическим факторам среды, изучения биологии цветения и плодоношения, все образцы коллекции проходят проверку и на качество плодов.

Потребительские качества плодов помимо основных морфометрических показателей определяются и их биохимическим составом. В связи с этим определение химического состава плодов является непременным и обязательным условием изучения образцов коллекции.

Задача нашего исследования состояла в изучении химического состава ягод новых образцов из генофонда черной смородины ВИР с целью выделения генотипов с высокими показателями хозяйственной ценности для последующего использования в селекции.

Материалы и методы

Объектами изучения служили 34 образца отечественной и зарубежной селекции и два контрольных сорта 'Нара' (для ранних сортов) и 'Бинар' (для сортов, созревающих в средние сроки) из генофонда черной смородины научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Павловск, в 30 км южнее Санкт-Петербурга) (табл. 1).

Среди новых образцов коллекции исследованы по биохимическому составу плодов 25 сортов, элитный сеянец 2780-20-33, созданный во ВНИИСПК, и отдаленный межвидовой гибрид *Ribes hudsonianum* × *R. dikuscha* селекции А. Рилишкиса (Литва). Для семи сортов ('Albos', 'Almo', 'Ats', 'Elo', 'Karri', 'Mulgi Must', 'Varmas') селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) наряду с биохимическим исследованием провели углубленное сортоизучение (2016–2023 гг.) по признакам «зимостойкость», «устойчивость к болезням и вредителям», «самоплодность», «продуктивность» и срокам наступления и протекания основных фенологических фаз, а результаты опубликовали в статье О. А. Тихоновой и В. С. Попова (Tikhonova, Popov, 2024). В настоящую статью для полноты анализа новых сортов коллекции ВИР включены биохимические данные для перечисленных выше семи сортов эстонской селекции ('Albos', 'Almo', 'Ats', 'Elo', 'Karri', 'Mulgi Must', 'Varmas') за 2019–2021 гг.

Сбор плодов проводили на коллекции черной смородины ВИР во время их полного созревания – в июле 2019–2021 гг. Химический состав ягод определяли в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР.

Содержание сухого вещества определяли методом высушивания при температуре 100–102°C до постоянной массы (Ermakov et al., 1987).

Антоцианы определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре LKB Ultrospec II UV/Vis. Экстракцию пигментов проводили при 40°C 1-процентным раствором соляной кислоты. Оптическую плотность экстрактов измеряли при длине волны 510 нм в кювете толщиной 1 см, используя в качестве раствора сравнения 1-процентную соляную кислоту. Содержание суммы антоцианов пересчитывали на цианидин-3,5-дигликозид (удельный коэффициент поглощения – 453) (Wu et al., 2006).

Аскорбиновую кислоту определяли методом титрования краской Тильманса до устойчивого розового цвета с предварительной сорбцией каолином антоциановых пигментов. (Popov, Smyatskaya, 2006).

Определение общей кислотности проводили методом титрования в присутствии индикатора фенолфталеина, при этом в расчете учитывали, что 0,1 М раствор щелочи соответствует 6,4 мг лимонной кислоты.

Содержание моно- и олигосахаров определяли (в %) спектрофотометрическим методом с предварительным построением градуировочного графика по чистым растворам глюкозы. Реакция основана на взаимодействии темно-синего щелочного раствора глицерата меди (II) с восстанавливающими сахарами при нагревании с образованием окиси меди (I) красного цвета, соответствующей количеству сахара в растворе. Аб-

Таблица 1. Объекты исследования

Table 1. Research materials

Название образца / Name of the accession	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Географическое происхождение / Geographic origin
‘Андреевская’	49787	Россия, Санкт-Петербург, ВИР
‘Бинар’ (контроль)	32649	– « –
‘Валентина’	49786	– « –
‘Добрыня’	42515	Россия, г. Брянск, ВНИИ люпина
‘Литвиновская’	45542	– « –
‘Навля’	42228	– « –
‘Нара’ (контроль)	40606	– « –
‘Партизанка Брянская’	45548	– « –
‘Севчанка’	44177	– « –
‘Селеченская 2’	42637	– « –
‘Светлолистная’	43129	Россия, г. Мичуринск, Тамбовский ГАУ
‘Арапка’	44175	Россия, г. Орел, ВНИИСПК
2780-20-33	49788	– « –
‘Вертикаль’	45528	Россия, г. Самара, Самарская опытная станция
‘Купалинка’	32610	Беларусь, г. Минск, БНИИП
‘Свитязянка’	41979	– « –
‘Голосеевский Великан’	44176	Украина, г. Киев Национальный университет биоресурсов и природопользования (бывш. НАУ)
‘Яринка’	44190	– « –
‘Альта’	43125	Украина, г. Киев, Институт садоводства УААН
‘Вернисаж’	43126	– « –
‘Казкова’	44196	– « –
‘Козацкая’	44187	– « –
‘Софиевская’	43131	– « –
‘Юбилейная Копаня’	44189	– « –
‘Диамант’	44186	Украина, учреждение не установлено
‘Albos’	44167	Эстония, Polli Horticultural Research Center
‘Almo’	44169	– « –
‘Ats’	44166	– « –
‘Elo’	44171	– « –
‘Karri’	44172	– « –
‘Mulgi Must’	38061	– « –
‘Varmas’	44174	– « –
‘Joninai’	43124	Литва, г. Каунас, Lithuanian Research Center for Agriculture and Forestry
‘Gagatai’	44168	– « –
<i>Ribes hudsonianum</i> × <i>Ribes dikuscha</i>	42536	Литва, г. Вильнюс, Вильнюсский университет
‘Татран Слава’	44182	Происхождение не установлено

сорбцию полученных экстрактов после отстаивания осадка окиси меди измеряли при длине волны 582 нм. В качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду. Олигосахариды определяли как разницу между суммой всех сахаров (после гидролиза) и суммой моносахаров (без гидролиза), умноженной на коэффициент 0,95, учитывающий потерю воды (Егмаков et al., 1987). Значения всех показателей рассчитывали в % на исходный (сырой) вес ягод, содержание антоцианов – в мг%.

этот период затянулся до 19 дней. В 2020 и 2021 г. цветение продолжалось в течение 5–12 дней. Созревание плодов от начала окрашивания ягод до полной их зрелости в годы исследования было длительным и продолжалось от 16 до 19 дней.

Средние температуры воздуха в 2019 и 2020 г. во время завязывания и формирования плодов были близки, но 2020 г. характеризовался большим количеством осадков. Самым жарким и засушливым оказался 2021 г. (рис. 1).

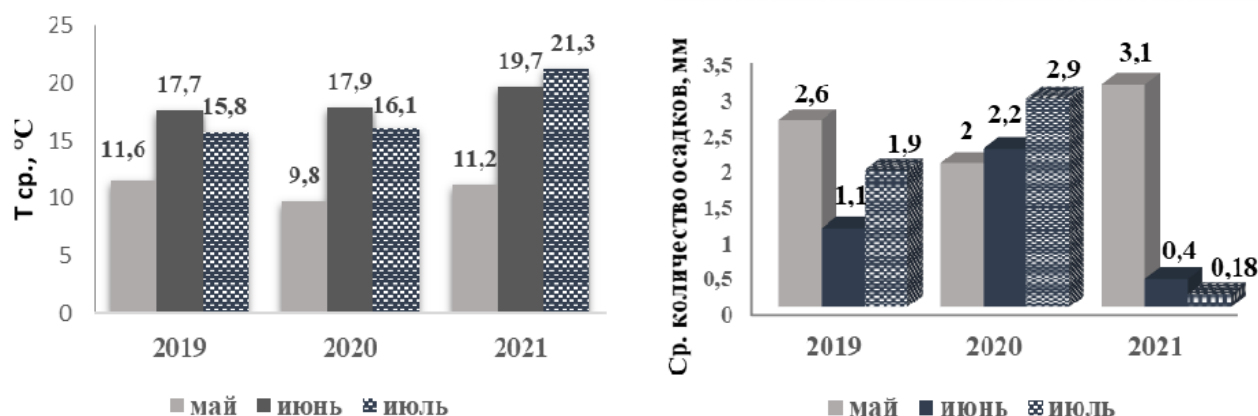


Рис. 1. Средняя температура и количество осадков в годы исследований
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)

Fig. 1. Mean temperatures and precipitation during the years of research
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

Статистическую обработку данных проводили при помощи пакета программ Microsoft Excel и методических рекомендаций (Dospekhov, 1985). Метеоданные по вегетационным периодам 2019–2021 гг. получали в отделе автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений (АИС). Изучение химического состава плодов проводили в двух аналитических повторностях, не менее трех лет по каждому образцу.

С целью оценки возможности применения параметрических методов нормальность распределения каждой выборки протестировали с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Поскольку все выборки продемонстрировали соответствие нормальному распределению, для анализа статистической значимости различий между ними выбрали t-критерий Стьюдента. Графики демонстрируют средние значения, дополненные отрезками, отображающими величину среднеквадратичного отклонения (СКО).

Погодные условия в годы изучения. Во все годы изучения (2019–2021) во время начала вегетации растений в течение длительного времени держалась холодная погода, что приводило к значительному замедлению фазы выдвижения зеленого конуса и начала ростовых процессов. Внезапное повышение температуры воздуха в мае провоцировало начало раннего цветения растений и приводило к тому, что практически не наблюдалось существенной разницы по наступлению данной фенофазы между сортами разных сроков цветения. Во время жаркой, сухой погоды в мае 2019 г. наблюдалась самая короткая продолжительность цветения (5–9 дней), но из-за наступившего почти сразу после начала цветения продолжительного похолодания, у ультраранних сортов

Результаты и обсуждение

Сухие вещества

Содержание растворимых сухих веществ в плодах служит важнейшим технологическим показателем (Levgerova, 2007).

Количество содержащихся в ягодах сухих веществ различно в разных зонах возделывания культуры, но из всех компонентов химического состава этот показатель является наиболее стабильным. Так, многолетними исследованиями в условиях Центрально-Черноземной зоны России установлено, что содержание сухих веществ в ягодах черной смородины не отличается большим сортовым разнообразием и составляет у основной массы сортов 12,0–13,9% при незначительной вариабельности ($V = 7\%$). Максимальное содержание сухих веществ ($> 14\%$) в данном регионе выявлено в ягодах сортов 'Владимирская' (15,5%), 'Элевеста' (15,0%), 'Вернисаж' (14,3%), 'Юбилейная Копаня' (14,3%) и др. (Makarkina et al., 2010; Shavyrkina et al., 2016). Несколько большим накоплением сухих веществ характеризуются сорта черной смородины в условиях Брянской области – 13,6–19,8% (Kazakov et al., 2007). В условиях Адыгеи ягоды черной смородины накапливают от 14,8 до 24,5% указанных веществ (Bzhetsseva, 2017); в Башкортостане их содержание варьирует от 14,8 до 23,4% (Nigmatzyanov et al., 2021). В Румынии уровень накопления указанных веществ варьирует от 17,9 до 23,2% (Nour et al., 2011). Близким к этим показателям является количество сухих веществ в ягодах черной смородины в Болгарии – 17,4–23,4% (Georgiev, Georgieva, 2020).

По данным, полученным нами, в условиях Северо-Западного региона России содержание в ягодах сухих ве-

ществ за годы исследования составило в среднем 19,9% с размахом варьирования от 15,3% до 25,7%. Параметры модели идеального сорта предусматривают накопление в плодах > 20% сухих веществ. Наши исследования показали, что этим требованиям отвечают 44,4% изученных образцов. Среди них сорта: 'Свитязянка' (25,7%), 'Mulgi Must' (24,7%), 'Elo' (23,1%), 'Karri' (22,7%), 'Андреевская' (22,1%), 'Вертикаль' (21,7%) и др. (табл. 2). В ягодах контрольных сортов 'Нара' и 'Бинар' содержалось 18,6% и 19,1% сухих веществ соответственно. При этом, по нашим данным, на Северо-Западе России ягоды сортов 'Альта', 'Вернисаж', 'Козацкая' и 'Юбилейная Копаня' содержат больше сухих веществ на 4,3–4,9% по сравнению с аналогичными сортами в Центрально-Черноземном регионе России, которые приводят исследователи (Makarkina et al., 2010; Yanchuk, 2014), а сорта 'Нара', 'Севчанка' и 'Партизанка Брянская' также аккумулируют в ягодах больше сухих веществ на 4,3–5,3% по сравнению с южными регионами страны (Prichko et al., 2017).

Достаточно сопоставимы с полученными нами данными величины содержания в ягодах сухих веществ в Адыгее, Башкортостане, Болгарии и Румынии (Nour et al., 2011; Bzhetsseva, 2017; Georgiev, Georgieva, 2020; Nigmatzyanov et al., 2021).

Сорта 'Elo', 'Karri' и 'Ats' при возделывании на юге Эстонии также отличаются высокой концентрацией сухих веществ (Kikas et al., 2020), величины которых близки к данным, полученным нами.

Следует отметить, что для технологической переработки пригодны сорта, содержащие в плодах 14% и выше сухих веществ, таким образом все изученные нами сорта могут служить отличным сырьем для пищевой промышленности.

Уровень накопления указанных веществ отличался относительным постоянством. Средняя вариабельность признака отмечена лишь у двух ранних сортов – 'Яринка' ($V = 13,2\%$) и 'Голосеевский Великан' ($V = 15,5\%$). У всех остальных изученных образцов коэффициент вариации (V) находился в пределах 0,41–10,0%.

Сахара

По данным разных авторов, общее количество сахаров в плодах черной смородины колеблется в широких пределах – от 6,4 до 14,0% (Nour et al., 2011; Shavyrkina et al., 2016; Kikas et al., 2017; Nigmatzyanov et al., 2021).

По данным, полученным нами, в условиях Северо-Запада России суммарное содержание сахаров составило в среднем 10,1% с диапазоном изменчивости от 7,4% у ранозревающего контрольного сорта 'Нара' до 15,1% у сорта 'Свитязянка'. Повышенное содержание сахаров (> 10%), помимо указанного сорта 'Свитязянка', отмечено в ягодах сортов 'Gagatai' (12,4%), 'Mulgi Must' (12,3%), 'Elo' (11,6%), 'Юбилейная Копаня', межвидового образца *Ribes hudsonianum* × *R. dikuscha* и др. (см. табл. 2). В ягодах контрольного сорта 'Бинар' сумма сахаров составила 9,6%. Ранозревающий контрольный сорт 'Нара' аккумулировал лишь 7,4% сахаров, что оказалось на 0,9–3,0% ниже, чем у сортов 'Купалинка', 'Вернисаж', 'Голосеевский Великан', 'Яринка' и 'Varmas', также созревающих в ранние сроки (см. табл. 2).

Уровень накопления сахаров по сравнению с количеством сухих веществ в большей степени зависел от влияния погодных условий. Между количеством осадков во время созревания плодов и накоплением сахаров существует высокая отрицательная корреляция ($r = -0,93$); между температурным фактором и содержанием саха-

ров – высокая положительная корреляционная зависимость ($r = 0,93$).

Стабильность данного параметра ($V = 0,5–9,7\%$) была характерна для 29,4% сортов. Среди них можно отметить сорта, которые имеют при этом повышенное содержание сахаров – 'Albos', 'Elo' и 'Gagatai'. Средним, но стабильным уровнем накопления сахаров отличались сорта 'Бинар' (контроль), 'Вертикаль', 'Севчанка', 'Добрыня', 'Селеченская 2' и 'Казкова'.

Средняя изменчивость признака ($V = 10,4–18,6\%$) отмечена у 55,9% изученных образцов; из них повышенный уровень накопления сахаров имеют сорта 'Karri', 'Varmas', 'Mulgi Must', 'Арапка', 'Татран Слава', 'Валентина', 'Светлолистная', 'Юбилейная Копаня' и 'Диамант'.

Высокая изменчивость показателя ($V = 21,0–28,7\%$) наблюдалась лишь у 5 образцов (14,7%) – 'Андреевская', 'Козацкая', 'Joninai', 2780-20-33 и 'Свитязянка', причем последний сорт характеризуется высоким содержанием сахаров (15,1%).

Проведенные исследования показали, что повышенное содержание сахаров (> 10%) в сочетании с высоким уровнем накопления сухих веществ (> 20%) присуще сортам 'Навля', 'Арапка', 'Gagatai', 'Elo', 'Albos', 'Varmas', 'Karri', 'Almo', 'Mulgi Must', 'Татран Слава', 'Светлолистная' и 'Валентина'.

Среднее содержание в плодах олигосахаридов составило 0,85% при диапазоне от 0,17 ('Партизанка Брянская') до 2,3% ('Свитязянка'). Этот компонент химического состава характеризовался самой большой изменчивостью – у 91,4% изученных образцов отмечена очень большая вариабельность показателя. Незначительная степень изменчивости количества олигосахаридов ($V = 5,8\%$) в годы исследования наблюдалась у контрольного сорта 'Бинар'. У сорта 'Добрыня' коэффициент вариации имел средние значения – 13,2%; у всех остальных сортов коэффициент вариации был значительно выше – 20%.

Органические кислоты

От содержания в плодах органических кислот в значительной степени зависят их вкусовые и технологические качества. По данным, полученным нами, общее количество титруемых кислот составило в среднем 2,7% при размахе изменчивости 2,0–3,5%. Высокое содержание кислот (> 3%) имели ягоды контрольных сортов 'Бинар' и 'Нара', а также сорта 'Вернисаж', 'Альта', 'Партизанка Брянская', 'Вертикаль' и образец 2780-20-33. У всех остальных сортов содержание в ягодах свободных (титруемых) кислот составило < 3% (см. табл. 2). Низким количеством аккумулируемых свободных кислот (2,0–2,6%) и при этом низким коэффициентом вариации отличались сорта 'Селеченская 2', 'Elo', 'Albos', 'Навля' и 'Татран Слава'. Средней изменчивостью параметра ($V = 14,7–15,5\%$) при низком уровне кислот характеризовались сорта 'Андреевская', 'Литвиновская', 'Юбилейная Копаня', 'Козацкая' и 'Диамант'. Самый низкий уровень накопления кислот (2,0%) отмечен у сорта 'Добрыня', а также у сорта 'Karri' (2,2%); при этом вариабельность признака у первого сорта была низкой ($V = 9,3\%$), а последний сорт характеризовался средней изменчивостью показателя ($V = 13,4\%$). Значительную вариабельность показателя в зависимости от условий года ($V = 25,5\%$) имел сорт 'Севчанка', содержание свободных кислот в ягодах которого также было достаточно низким (см. табл. 2).

По данным А. Kikas и др. (Kikas et al., 2017), сорт 'Karri' характеризуется высокими значениями суммы сахаров, низкой концентрацией аккумулируемых свободных кис-

Таблица 2. Биохимический состав ягод черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)
Table 2. Biochemical composition of black currant berries (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, % $\bar{X} \pm m$ min-max		Кислотность, % / Acidity, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Сахаро-кислотный коэффициент / Sugar/acid ratio $\bar{X} \pm m$ min-max	Сухие вещества, % / Dry substances, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Аскорбиновая кис- лота, мг% / Ascorbic acid, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max	Антоцианы, мг% / Anthocyanins, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max
	Всего Total	в т. ч. олигосахариды / incl. oligosaccharides					
‘Навля’	10,4 ± 0,7 9,3–11,6	0,3 ± 0,07 0,2–0,4	2,5 ± 0,1 2,3–2,7	4,2 ± 0,5 3,7–5,2	20,4 ± 0,6 19,5–21,4	255,3 ± 24,6 235,6–304,2	326,0 ± 80,8 224,2–485,7
‘Вертикаль’	8,9 ± 0,4 8,2–9,5	0,5 ± 0,1 0,4–0,6	3,0 ± 0,3 2,5–3,3	3,0 ± 0,4 2,5–3,8	21,7 ± 0,2 21,3–21,9	248,3 ± 32,8 186,6–298,4	305,1 ± 58,1 190,4–378,8
‘Добрыня’	9,7 ± 0,5 8,9–10,7	0,8 ± 0,1 0,7–0,9	2,0 ± 0,1 1,9–2,6	4,8 ± 0,5 3,9–5,6	16,7 ± 0,6 15,9–17,8	243,3 ± 8,6 237,0–260,3	416,3 ± 140,9 275,4–557,2
‘Арапка’	10,9 ± 0,8 9,8–12,4	0,8 ± 0,2 0,4–1,0	2,8 ± 0,2 0,4–0,9	3,9 ± 0,6 2,5–3,3	21,1 ± 0,5 2,9–4,9	235,1 ± 78,5 151,5–392,0	305,3 ± 6,9 292,3–315,7
‘Литвиновская’	8,8 ± 0,7 8,2–9,5	0,6 ± 0,3 0,3–0,8	2,3 ± 0,2 2,1–2,6	3,9 ± 0,7 3,2–4,6	17,0 ± 0,3 16,7–17,3	211,6 ± 27,4 184,2–239,0	150,8 ± 15,2 135,6–165,9
‘Joninai’	9,5 ± 1,3 8,2–12,1	0,6 ± 0,2 0,2–1,0	2,9 ± 0,1 2,7–3,1	3,3 ± 0,3 2,9–3,9	18,8 ± 0,3 18,3–19,4	209,5 ± 14,6 149,0–224,0	281,3 ± 25,6 255,7–306,8
‘Вернисаж’	9,3 ± 0,7 8,1–10,6	0,3 ± 0,1 0,04–0,5	3,1 ± 0,3 2,7–3,5	3,1 ± 0,5 2,3–4,0	19,2 ± 0,9 17,9–20,9	201,4 ± 86,8 114,6–288,2	389,9 ± 85,1 271,8–555,1
‘Купалинка’	8,3 ± 0,8 7,2–9,7	0,3 ± 0,1 0,2–0,6	2,8 ± 0,1 2,6–3,0	2,9 ± 0,4 2,4–3,7	19,4 ± 0,4 18,7–19,9	199,1 ± 12,4 179,7–221,9	345,9 ± 47,1 266,0–428,9
‘Толосеевский Великан’	9,0 ± 0,9 7,6–10,8	0,97 ± 0,3 0,3–1,3	2,3 ± 0,2 2,1–2,6	3,7 ± 0,6 3,1–4,9	18,0 ± 1,6 16,4–21,3	190,6 ± 29,4 161,1–220,0	236,4
‘Яринка’	9,5 ± 0,9 8,1–11,4	0,9 ± 0,4 0,07–1,5	2,7 ± 0,3 2,1–3,3	3,7 ± 0,9 2,5–5,3	18,4 ± 1,4 16,3–21,1	190,4 ± 27,5 149,3–242,7	182,8 ± 65,1 117,7–247,9
‘Юбилейная Копаня’	11,5 ± 0,7 10,0–12,2	0,5 ± 0,2 0,2–0,8	2,4 ± 0,2 1,9–2,6	4,9 ± 0,7 3,9–6,3	19,9 ± 1,0 17,9–21,4	180,9 ± 50,1 126,7–280,9	284,2 ± 47,4 193,5–353,3
‘Казкова’	8,9 ± 0,5 8,1–9,7	0,8 ± 0,2 0,5–1,3	2,8 ± 0,2 2,5–3,2	3,2 ± 0,1 3,1–3,3	18,4 ± 0,5 17,6–19,4	178,6 ± 61,8 116,7–240,4	148,4 ± 15,2 125,1–176,9
‘Gagatai’	12,4 ± 0,3 12,0–12,7	1,61 ± 0,7 0,9–2,3	3,0 ± 0,3 2,7–3,3	4,2 ± 0,6 3,7–4,8	22,3 ± 1,3 20,3–23,6	177,6 ± 5,3 172,3–182,9	362,0 ± 50,4 311,6–412,4

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, % $\bar{X} \pm m$ min-max		Кислотность, % / Acidity, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Сахаро-кислотный коэффициент / Sugar/acid ratio $\bar{X} \pm m$ min-max	Сухие вещества, % / Dry substances, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Аскорбиновая кис- лота, мг% / Ascorbic acid, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max	Антоцианы, мг% / Anthocyanins, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max
	Всего Total	в т. ч. олигосахариды / incl. oligosaccharides					
‘Елю’	$\frac{11,6 \pm 0,6}{10,6-12,4}$	$\frac{1,3 \pm 0,3}{0,8-1,8}$	$\frac{2,3 \pm 0,04}{2,2-2,3}$	$\frac{5,1 \pm 0,3}{4,6-5,7}$	$\frac{23,1 \pm 1,0}{21,4-24,9}$	$\frac{174,4 \pm 31,8}{123,4-232,8}$	$\frac{288,9 \pm 32,0}{256,9-753,1}$
‘Альга’	$\frac{9,3 \pm 0,4}{8,9-9,7}$	$\frac{1,1 \pm 0,5}{0,7-1,5}$	$\frac{3,1 \pm 0,4}{2,8-3,5}$	$\frac{3,0 \pm 0,3}{2,8-3,3}$	$\frac{17,7 \pm 0,5}{17,2-18,1}$	$\frac{173,7 \pm 13,3}{160,4-186,9}$	$\frac{286,2 \pm 52,7}{193,5-378,8}$
‘Святаязьянка’	$\frac{15,1 \pm 2,3}{12,9-17,4}$	$\frac{2,3 \pm 0,8}{1,4-3,1}$	$\frac{2,7 \pm 0,1}{2,6-2,8}$	$\frac{5,7 \pm 1,0}{4,6-6,7}$	$\frac{25,7 \pm 1,6}{24,1-27,3}$	$\frac{168,7 \pm 39,7}{129,0-208,4}$	$\frac{415,4 \pm 10,5}{404,9-425,9}$
‘Андреевская’	$\frac{9,03 \pm 1,5}{4,9-11,5}$	$\frac{1,2 \pm 0,3}{0,6-2,1}$	$\frac{2,3 \pm 0,2}{2,4-3,5}$	$\frac{3,3 \pm 0,7}{1,4-4,8}$	$\frac{22,1 \pm 0,9}{19,6-24,1}$	$\frac{167,7 \pm 17,4}{129,2-210,5}$	$\frac{317,1 \pm 34,2}{229,2-395,3}$
‘Софиевская’	$\frac{9,5 \pm 0,6}{8,3-9,2}$	$\frac{0,8 \pm 0,3}{0,2-1,3}$	$\frac{2,6 \pm 0,3}{2,0-2,9}$	$\frac{3,8 \pm 0,6}{2,9-4,9}$	$\frac{19,9 \pm 0,5}{19,2-20,9}$	$\frac{167,0 \pm 17,4}{132,7-188,7}$	$\frac{224,7 \pm 52,9}{171,8-277,6}$
2780-20-33	$\frac{10,2 \pm 1,3}{8,1-12,4}$	$\frac{1,2 \pm 0,3}{0,9-1,7}$	$\frac{3,1 \pm 0,3}{2,7-3,7}$	$\frac{3,4 \pm 0,7}{2,2-4,6}$	$\frac{17,8 \pm 0,5}{16,9-18,6}$	$\frac{162,2 \pm 68,3}{71,4-296,0}$	$\frac{210,3 \pm 9,4}{194,4-227,0}$
‘Татран Слава’	$\frac{10,5 \pm 0,7}{9,2-11,4}$	$\frac{0,8 \pm 0,2}{0,5-1,2}$	$\frac{2,5 \pm 0,2}{2,1-2,9}$	$\frac{4,2 \pm 0,3}{3,7-4,5}$	$\frac{21,4 \pm 0,05}{21,4-21,5}$	$\frac{158,8 \pm 14,5}{144,4-173,3}$	$\frac{203,9 \pm 24,1}{157,4-237,9}$
‘Бинар’ (контроль)	$\frac{9,6 \pm 0,6}{7,6-11,4}$	$\frac{1,0 \pm 0,2}{0,5-2,1}$	$\frac{3,5 \pm 0,1}{2,8-3,6}$	$\frac{3,1 \pm 0,2}{2,8-3,6}$	$\frac{19,1 \pm 0,8}{15,2-22,7}$	$\frac{155,3 \pm 9,1}{127,8-196,9}$	$\frac{344,4 \pm 40,9}{265,3-402,5}$
‘Партизанка Брянская’	$\frac{8,9 \pm 0,9}{7,7-10,7}$	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,07-0,35}$	$\frac{3,1 \pm 0,1}{3,0-3,3}$	$\frac{2,9 \pm 0,3}{2,6-3,5}$	$\frac{18,2 \pm 0,4}{17,6-18,9}$	$\frac{153,8 \pm 51,4}{102,4-205,2}$	$\frac{271,1 \pm 74,2}{184,0-418,8}$
‘Козацкая’	$\frac{9,2 \pm 1,9}{7,3-11,0}$	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,1-0,3}$	$\frac{2,6 \pm 0,2}{2,4-2,8}$	$\frac{3,7 \pm 1,0}{2,7-4,6}$	$\frac{17,9 \pm 0,4}{17,5-18,4}$	$\frac{147,9 \pm 72,7}{75,2-220,5}$	$\frac{259,4 \pm 41,9}{147,5-371,3}$
‘Albos’	$\frac{10,5 \pm 0,5}{9,8-11,4}$	$\frac{0,6 \pm 0,2}{0,3-0,9}$	$\frac{2,5 \pm 0,1}{2,3-2,6}$	$\frac{4,3 \pm 0,4}{3,7-5,0}$	$\frac{20,9 \pm 0,5}{19,9-21,6}$	$\frac{142,8 \pm 40,9}{98,2-224,5}$	$\frac{358,7 \pm 66,4}{292,2-491,5}$
‘Varmas’	$\frac{10,4 \pm 0,6}{9,3-11,5}$	$\frac{1,0 \pm 0,3}{0,6-1,5}$	$\frac{2,9 \pm 0,3}{2,4-3,4}$	$\frac{3,6 \pm 0,6}{2,8-4,8}$	$\frac{20,9 \pm 1,2}{19,6-23,3}$	$\frac{138,9 \pm 13,3}{125,6-152,3}$	$\frac{256,4 \pm 52,3}{204,1-308,7}$
‘Светлолист- ная’	$\frac{11,4 \pm 0,9}{9,7-13,0}$	$\frac{0,8 \pm 0,2}{0,6-1,1}$	$\frac{2,8 \pm 0,2}{2,4-3,0}$	$\frac{4,1 \pm 0,2}{3,8-4,4}$	$\frac{21,2 \pm 0,3}{20,6-21,8}$	$\frac{136,8 \pm 17,8}{102,3-161,9}$	$\frac{292,6 \pm 64,1}{164,8-364,2}$

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, % $\bar{X} \pm m$ min-max		Кислотность, % / Acidity, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Сахаро-кислотный коэффициент / Sugar/acid ratio $\bar{X} \pm m$ min-max	Сухие вещества, % / Dry substances, % $\bar{X} \pm m$ min-max	Аскорбиновая кис- лота, мг-% / Ascorbic acid, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max	Антоцианы, мг-% / Anthocyanins, mg% $\bar{X} \pm m$ min-max
	Всего Total	в т. ч. олигосахариды / incl. oligosaccharides					
‘Karri’	$11,1 \pm 1,2$ 8,9–12,3	$1,03 \pm 0,2$ 0,6–1,3	$2,2 \pm 0,2$ 1,9–2,6	$5,0 \pm 0,7$ 3,9–6,3	$22,7 \pm 1,3$ 20,3–24,9	$136,7 \pm 19,8$ 113,9–176,1	$263,8 \pm 88,6$ 175,2–352,4
‘Селеченская 2’	$8,4 \pm 0,5$ 7,6–9,2	$0,4 \pm 0,1$ 0,1–0,7	$2,3 \pm 0,1$ 2,1–2,4	$3,8 \pm 0,1$ 3,5–3,9	$15,3 \pm 0,7$ 14,0–16,8	$135,6 \pm 13,8$ 115,5–176,3	$266,3 \pm 42,8$ 208,2–349,7
‘Almo’	$9,7 \pm 0,6$ 8,9–10,9	$0,91 \pm 0,3$ 0,4–1,4	$2,7 \pm 0,2$ 2,5–3,1	$3,6 \pm 0,4$ 2,9–4,4	$20,6 \pm 1,1$ 18,5–21,9	$132,3 \pm 14,6$ 105,1–154,9	$420,8 \pm 31,0$ 364,6–471,6
‘Ats’	$9,4 \pm 0,3$ 7,8–10,5	$1,0 \pm 0,4$ 0,2–1,4	$2,8 \pm 0,4$ 2,1–3,3	$3,5 \pm 0,7$ 2,6–4,9	$19,8 \pm 0,6$ 18,8–20,8	$132,3 \pm 26,5$ 92,5–182,5	$442,3 \pm 43,9$ 387,9–529,3
‘Mulgi Must’	$12,3 \pm 0,86$ 10,6–13,4	$0,89 \pm 0,48$ 0,12–1,34	$2,5 \pm 0,3$ 1,9–2,9	$5,2 \pm 1,0$ 3,9–7,2	$24,8 \pm 1,0$ 24,7–25,0	$131,7 \pm 30,6$ 95,5–192,6	$392,0 \pm 50,7$ 303,1–478,6
‘Севчанка’	$9,4 \pm 0,04$ 9,3–9,4	$0,44 \pm 0,2$ 0,3–0,6	$2,4 \pm 0,4$ 1,9–2,8	$4,1 \pm 0,8$ 3,3–4,8	$19,3 \pm 0,1$ 19,2–19,3	$123,4 \pm 17,7$ 105,7–141,1	$259,4 \pm 29,2$ 230,2–288,6
‘Валентина’	$10,5 \pm 0,8$ 8,8–12,7	$1,86 \pm 0,39$ 0,96–2,7	$2,8 \pm 1,0$ 2,7–3,0	$3,7 \pm 0,2$ 3,1–4,2	$20,7 \pm 0,9$ 18,4–22,5	$114,5 \pm 12,3$ 89,0–142,9	$437,2 \pm 38,8$ 384,6–512,9
‘Диамант’	$10,5 \pm 0,5$ 8,9–11,9	$0,72 \pm 0,3$ 0,2–0,7	$2,6 \pm 0,1$ 2,3–3,0	$4,0 \pm 0,2$ 3,7–4,5	$18,9 \pm 0,2$ 18,4–19,5	$104,1 \pm 11,5$ 70,7–137,8	$340,9 \pm 46,4$ 231,5–476,1
‘Нара’ (контроль)	$7,4 \pm 0,7$ 5,4–8,3	$0,6 \pm 0,21$ 0,2–1,0	$3,1 \pm 0,2$ 2,7–3,5	$2,4 \pm 0,29$ 1,6–2,9	$18,6 \pm 0,6$ 17,4–20,4	$96,7 \pm 6,0$ 85,9–114,0	$348,8 \pm 43,3$ 286,9–472,3
Ribes hud- sonianum × R. dikuscha	$11,5 \pm 0,6$ 10,9–11,9	$1,28 \pm 0,02$ 1,3–1,4	$2,3 \pm 0,3$ 1,8–2,8	$5,7 \pm 1,2$ 4,5–6,9	$21,04 \pm 1,6$ 17,9–23,5	$82,5 \pm 14,1$ 54,4–98,2	$422,8 \pm 66,5$ 299,9–528,3
среднее	$10,1 \pm 0,24$	$0,85 \pm 0,07$	$2,70 \pm 0,05$	$3,9 \pm 0,13$	$19,9 \pm 0,37$	$166,4 \pm 7,2$	$307,2 \pm 13,3$
min	7,4	0,17	2,0	2,4	15,3	82,5	148,4
max	15,1	2,3	3,5	5,7	25,7	255,3	442,3
V, %	14,0	56,3	11,5	19,7	11,2	41,4	28,9

Примечание: $\bar{X}$ – среднее за 3 года; m – стандартная ошибка; V – коэффициент вариации
 Note: $\bar{X}$ – mean for 3 years; m – standard error; V – coefficient of variation

лот и высоким сахарокислотным индексом и на юге Эстонии, что подтверждается и нашими исследованиями. Также полученные нами данные по количественному содержанию титруемых кислот в плодах эстонских сортов 'Karri' и 'Elo' полностью согласуются с результатами исследований сотрудников Polli Horticultural Research Center, проведенными на юге Эстонии (Kikas et al., 2020), но кислотность сортов 'Almo' и 'Ats' в условиях Северо-Запада России оказалась выше на 0,4–0,5%, чем в Эстонии.

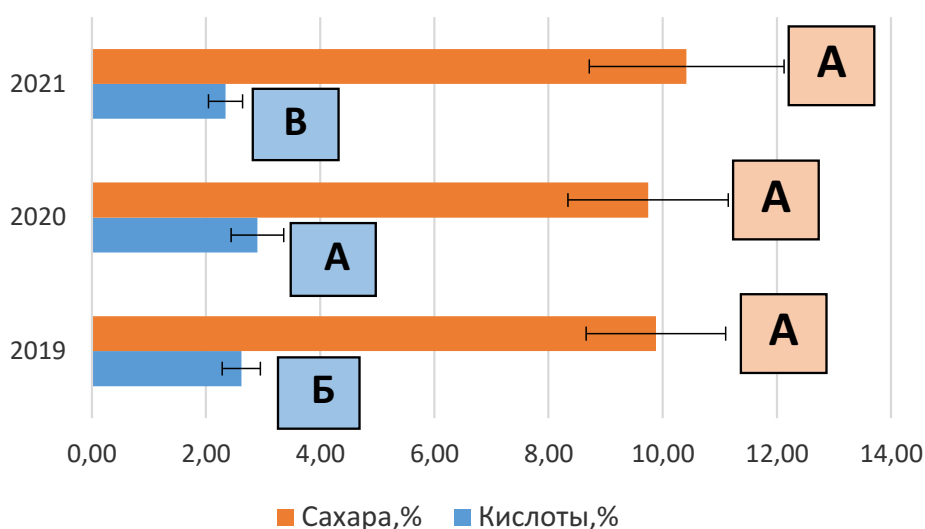
Самое высокое содержание органических кислот при минимальном уровне сахаров в среднем по всем изученным сортам наблюдалось в прохладный, дождливый 2020 г., что согласуется с литературными данными (Zhbanova, 2013). В 2021 г., который характеризовался высокими положительными температурами и малым количеством осадков во время созревания сортов, напротив, наблюдалось накопление большего количества сахаров и меньшего – кислот (рис. 2).

зьянка' (5,7) (см. табл. 2). Высокие значения сахарокислотного коэффициента у большинства перечисленных сортов обусловлены одновременно высоким содержанием сахаров и низким уровнем аккумуляции органических кислот.

Анализ полученных данных позволил выявить, что все изученные сорта, в том числе созревающие в ранние сроки, имели большие значения сахарокислотного индекса по сравнению с контрольным раносозревающим сортом 'Нара'. Более низкие значения СКИ по сравнению с другим контрольным сортом 'Бинар' были характерны лишь для ранних сортов 'Альта', 'Вернисаж' 'Купалинка' и сортов, созревающих в средние и среднепоздние сроки – 'Вертикаль' и 'Партизанка Брянская'.

Аскорбиновая кислота

Одним из основных достоинств черной смородины является высокое содержание в плодах аскорбиновой



Средние значения приведены с точностью $\pm$ СКО. Сравнение выборок проводилось с использованием t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$); разные буквы указывают на значимые различия /
Mean values are given with an accuracy of $\pm$ SD. Comparison among the samples was performed using Student's *t*-test ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences

Рис. 2. Динамика содержания сахаров и органических кислот в плодах в годы исследования (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)

Fig. 2. Dynamics of sugar and organic acid content over the years of research (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

Наши исследования показали, что существует высокая положительная корреляция между суммой осадков в июне и количеством свободных кислот ($r = 0,99$) и отрицательная зависимость с температурным фактором ($r = -0,82$).

Сахарокислотный индекс (СКИ), который является одним из основных показателей вкусовых достоинств плода, варьировал, по нашим данным, от 2,4 до 5,7 при среднем значении 3,9 (см. табл. 2). При этом изменчивость показателя составила в среднем 19,7% при диапазоне варьирования от 3,8% ('Казкова') до 39,7% ('Яринка').

Высоким СКИ характеризовались сорта 'Арапка', 'Литвиновская' (3,9), 'Светлолистная' (4,1), 'Gagatai', 'Татран Слава' (4,2), 'Albos' (4,3), 'Добрыня' (4,8), 'Юбилейная Копаня' (4,9), 'Karri' (5,0), 'Elo' (5,1), 'Mulgi Must' (5,2), 'Святия

кислоты (АК). Уровень накопления витамина С является сортовым признаком, но зависит и от региона возделывания, уровня агротехники, степени зрелости ягод (Gavrisheva et al., 1980; Shirko, Yarochevich, 1991; Knyazev, Ogoltsova, 2004). Провести сравнение содержания АК в разных зонах возделывания очень сложно из-за разрозненных данных и разного набора сортов, по которым проводилось исследование.

Известно, что в условиях Брянской области уровень накопления АК в ягодах черной смородины составляет 133,8–221,8 мг%. Высокой витаминностью выделяется сорт 'Севчанка', содержащий 183,7 мг% АК (Kazakov, Sazonov, 2007). Близки к этому значению и показатели в Тамбовской области – 124–213 мг% (Titova, 2007).

В Орловской области содержание АК в ягодах в зависимости от генотипа варьирует от 71,6 до 313,0 мг%

при среднем значении 161,3 мг% и коэффициенте вариации 25,8% (Knyazev et al., 2016). В более южных регионах России (Краснодарский край) содержание АК в ягодах черной смородины составляет 94,6–167,3 мг% (Prichko et al., 2017). В Польше, согласно данным исследователей (Pluta, Zuravicz, 2007), уровень накопления АК варьирует от 104,6 ('Tines') до 233,3 мг% ('Tisel').

Параметры модели «идеального сорта» по этому признаку предусматривают наличие в ягодах более 200 мг% витамина С (Ogoltsova, 1992). По данным, полученным нами, среднее содержание АК в плодах изученных образцов составило 166,4 мг% при диапазоне варьирования показателя от 82,5 до 255,3 мг%.

В соответствии с уровнем накопления аскорбиновой кислоты изученные сорта ранжированы нами в 4 группы (рис. 3).

Для остальных сортов этой группы была характерна высокая вариабельность признака в зависимости от условий года.

В группу с уровнем накопления АК от 150 до 199,9 мг% объединены 41,7% изученных сортов. Среди них – 'Купалинка', 'Голосеевский Великан', 'Юбилейная Копаня', 'Gagatai', 'Свитязянка' и др. (см. табл. 2), содержание витамина С в ягодах которых было выше, чем у контрольного сорта 'Бинар', также входящего в эту группу. Лишь у одного сорта из этой группы ('Партизанка Брянская') уровень накопления аскорбиновой кислоты в плодах был ниже по сравнению с указанным контрольным сортом 'Бинар'.

Третья группа сортов с уровнем накопления АК от 100 до 149,9 мг% также довольно многочисленна – на ее долю приходится 33,3% изученных сортов. Она образо-

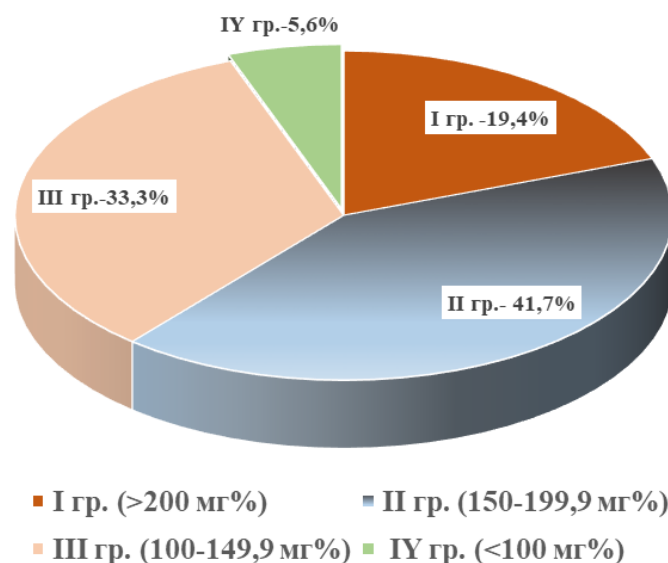


Рис. 3. Распределение сортов черной смородины по содержанию в ягодах аскорбиновой кислоты
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)

Fig. 3. Distribution of black currant cultivars according to the content of ascorbic acid in berries
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

В состав первой группы вошли сорта, содержащие в плодах более 200 мг% аскорбиновой кислоты, – 'Навля', 'Вертикаль', 'Добрыня', 'Арапка', 'Литвиновская', 'Jonina' и 'Вернисаж' (см. табл. 2). Они составили 19,4% от общего числа изученных образцов.

Так же, как и на Северо-Западе, сорт 'Jonina' характеризуется повышенным содержанием АК (> 200 мг/100 г) и в Латвии, на опытной станции Dobeles (Seglina et al., 2008), и в Литве (Rubinskiene et al., 2006; Viskelis et al., 2012).

В то же время сорт 'Арапка', выделенный нами по высокому уровню накопления в плодах витамина С, в условиях Орловской области содержит лишь 94,2 мг% аскорбиновой кислоты (Shavyrkina et al., 2016). Сорт 'Севчанка' в условиях Брянской области, как было указано, аккумулирует 183,7 мг% АК (Kazakov, Sazonov, 2007), в то время как на Северо-Западе России, по нашим данным, накапливает лишь 123,4 мг% витамина С.

Стабильность данного параметра по годам ($V = 6,1\%$) среди сортов, входящих в состав данной группы, отмечена только у сорта 'Добрыня'; у двух сортов – 'Навля' и 'Литвиновская' – наблюдалась средняя изменчивость уровня витамина С ($V = 16,7$ и $18,3\%$ соответственно).

вана сортами 'Козацкая', 'Albos', 'Varmas', 'Karri', 'Almo', 'Ats' и др. (см. табл. 2). По данным ученых Polli Horticultural Research Center, сорт 'Ats' в условиях Эстонии характеризуется низкой концентрацией АК – 98 мг/100 г (Raudsepp et al., 2019); по нашим данным, содержание витамина С в ягодах этого сорта на Северо-Западе России чуть выше – 132,3 мг%.

Низкий уровень аккумуляции витамина С наблюдался у раносозревающего контрольного сорта 'Нара' и отдаленного межвидового гибрида *Ribes hudsonianum* × *R. dikuscha* (см. табл. 2).

Содержание АК является одним из наиболее вариабельных компонентов химического состава. Изменчивость данного параметра составила в среднем 41,4% с колебаниями от 4,2 ('Gagatai') до 57,8% ('Арапка'). При этом высокую изменчивость показателя имели 64,7% изученных сортов. Средняя вариабельность ($V = 10,7–20,0\%$) отмечена у 29,4% сортов, и, как уже отмечалось, только два сорта ('Добрыня' и 'Gagatai') характеризовались стабильностью данного признака.

Как показали исследования, наибольшее содержание аскорбиновой кислоты в ягодах изученных сортов наблюдалось в прохладное лето 2019 г.

Антоцианы. Ягоды черной смородины характеризуются высоким содержанием веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, основной составляющей которых являются растительные флавоноидные пигменты – антоцианы. Они являются более мощными антиоксидантами, чем витамины С и Е; обеспечивают не только многообразие окраски растений, но и повышают их стрессоустойчивость; обладают антиканцерогенным, противовоспалительным, антимикробным, гепатопротекторным действием; могут использоваться для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (Butenko, Podgornaya, 2016).

Проведенные нами исследования показали, что количество антоциановых веществ в зависимости от образца варьирует в широких пределах – от 148,4 до 442,3 мг% при среднем содержании по всем изученным образцам 307,2 мг% (см. табл. 2).

В соответствии с уровнем накопления антоцианов изученные сорта отнесены нами к трем группам (табл. 3).

По полученным нами данным, больше всего антоцианов в среднем по всем изученным сортам аккумулировалось в более дождливом июне 2020 г. (рис. 4).

Положительная корреляция ($r = 0,61$) существует между количеством антоцианов и содержанием сухих веществ, и незначительная ($r = 0,41$) взаимосвязь – с концентрацией сахаров.

Несмотря на то что различия между 2019 и 2021 г. ($p = 0,086$), а также между 2020 и 2021 г. ($p = 0,086$) не достигли уровня статистической значимости ($p < 0,05$), полученные значения p -value указывают на тенденцию к различиям.

В то же время существует мнение о том, что уровень накопления антоцианов практически не зависит от климатических условий выращивания, а определяется в основном генотипом сорта. К такому выводу пришли ученые (Deineka et al., 2011) при сравнении количественного состава антоцианов в ягодах семи сортов черной смородины, выращенных в разных географических зонах (Белгород, Москва и Санкт-Петербург). Это утверждение, по

Таблица 3. Дифференциация сортов черной смородины по уровню накопления антоцианов
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)

Table 3. Differentiation of black currant cultivars according to their anthocyanin levels
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

Уровень накопления антоцианов, мг% / Anthocyanin accumulation levels, mg%		
< 200	200 – 300	> 300
‘Яринка’, ‘Литвиновская’, ‘Казкова’	‘Светлолистная’, ‘Elo’, ‘Альта’, ‘Юбилейная Копаня’, ‘Joninai’, ‘Партизанка Брянская’, ‘Karri’, ‘Селеченская 2’, ‘Козацкая’, ‘Севчанка’, ‘Varmas’, ‘Толосевский Великан’, ‘Софиевская’, 2780-20-33, ‘Татран Слава’	‘Ats’, ‘Валентина’, <i>Ribes hudsonianum</i> × <i>R. dikuscha</i> , ‘Almo’, ‘Добрыня’, ‘Святая-зянка’, ‘Mulgi Must’, ‘Вернисаж’, ‘Gagatai’, ‘Albos’, ‘Нара’ (контроль), ‘Купалинка’, ‘Бинар (контроль)’, ‘Диамант’, ‘Навля’, ‘Андреевская’, ‘Арапка’, ‘Вертикаль’

Как показали исследования, 91,7% изученных сортов характеризовались высоким уровнем накопления антоциановых веществ. Все они, за исключением трех сортов, соответствуют по этому показателю модели идеального сорта, который предусматривает наличие в плодах > 200 мг% указанных веществ. Самое низкое содержание антоцианов было лишь у двух сортов – ‘Литвиновская’ и ‘Казкова’ – 148,4 и 150,8 мг% соответственно. У сорта ‘Яринка’ количество антоцианов составило чуть менее 200 мг% (см. табл. 2).

Уровень антоциановых веществ в плодах черной смородины характеризовался большой изменчивостью. Коэффициент вариации признака составил в среднем 28,9% при размахе изменчивости от 3,9 до 62,3%. Стабильностью показателя отличались сорта ‘Святая-зянка’, ‘Арапка’ ($V = 3,6\%$) и крупноплодный сеянец 2780-20-33 селекции ВНИИСПК. Средняя изменчивость признака отмечена у сортов ‘Литвиновская’, ‘Joninai’, ‘Gagatai’, ‘Almo’, ‘Ats’, ‘Севчанка’ и ‘Валентина’. Все остальные сорта характеризовались значительной изменчивостью содержания антоцианов.

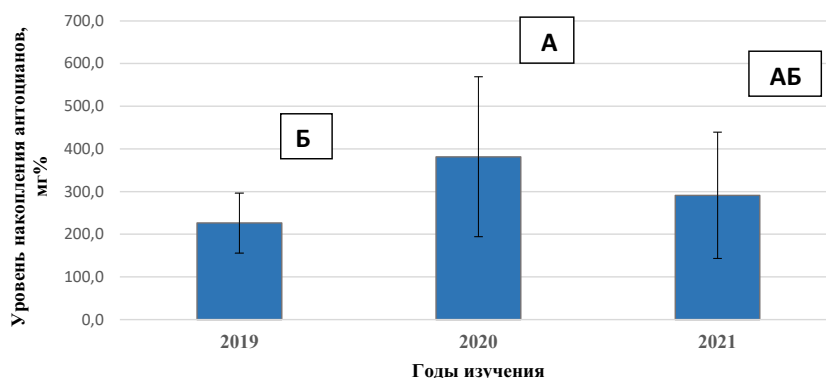
Между количеством осадков во время формирования плодов в июне и количеством антоцианов выявлена положительная взаимосвязь ($r = 0,68$). Аналогичная закономерность выявлена Е. В. Жбановой при оценке химического состава плодов красной смородины (Zhbanova, 2013).

их мнению, вполне согласуется с выводами сотрудников Литовского института плодоводства (Rubinskiene et al., 2008), которые считают, что генотип сорта в данном случае является определяющим. Противоположной точки зрения придерживаются ученые, в течение трех лет проводившие исследования на севере и юге Швеции, в результате которых они пришли к выводу, что содержание антоцианов в плодах в значительной степени зависит и от условий местности, где этот сорт выращивается (Vagiri et al., 2016).

По нашим данным, количество антоцианов, содержащихся в ягодах сорта ‘Нара’ в условиях Северо-Запада России, оказалось на 100 мг% больше, по сравнению с данными, приведенными для Белгорода и Москвы. В то же время данные по содержанию антоцианов в ягодах сортов ‘Нара’, ‘Севчанка’ и ‘Партизанка Брянская’, полученные нами, очень близки по значению к данным, полученным Т. Г. Причко и др. (Prichko et al., 2017) в Краснодарском крае.

В образцах смородины, выращенной в Самарской области, содержание антоцианов в ягодах в среднем было ниже, чем в нашем исследовании – от 40,7 до 267,7 мг% (Makarova et al., 2015).

В Финляндии при изучении уровня накопления биологически активных веществ в плодах 32 сортов черной смородины было установлено, что общее содержание антоцианов варьирует в пределах 1260–2868 мг% на сухой



Средние значения приведены с точностью $\pm$ СКО. Сравнение выборок проводилось с использованием t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$); разные буквы указывают на значимые различия / Mean values are given with an accuracy of $\pm$ SD. Comparison among the samples was performed using Student's *t*-test ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences

Рис. 4. Динамика содержания антоцианов в годы исследования
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2021 гг.)

Fig. 4. Dynamics of anthocyanin content over the years of research
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2021)

вес (Mattila et al., 2016). В Латвии самым высоким содержанием антоцианов характеризовался сорт 'Вернисаж', плоды которого аккумулировали 229,17 мг% указанных веществ (Seglina et al., 2008). В условиях Северо-Запада России содержание антоцианов в плодах этого сорта гораздо выше и составляет, по нашим данным, 389,9 мг% (см. табл. 1).

В Сербии общее содержание антоцианов в плодах черной смородины варьировало от 207,5 ('Ben Sarek') до 372,9 мг% ('Čačanska Crna') (Paunović et al., 2017). Близким по своим величинам оказалось содержание антоцианов в ягодах черной смородины в Румынии (Nour et al., 2011) и Литве (Kampuss, Strautina, 2004) – 212,8 мг% и 216 мг% соответственно.

В Эстонии по высокому содержанию антоцианов выделяется сорт 'Almo' (Raudsepp et al., 2019); их содержание соответствует 212 мг%. По данным A. Kikas и др. (Kikas et al., 2020), сорта 'Almo' и 'Ats' на юге Эстонии также отличаются высоким содержанием антоциановых веществ, но содержат указанных пигментов на порядок выше – 330 и 358 мг% соответственно. На Северо-Западе России, по нашим данным, уровень аккумуляции антоцианов у этих сортов составляет 420,8 и 442,3 мг% соответственно. У сорта 'Varmas' уровни накопления антоцианов в условиях Северо-Западного региона России и Эстонии имеют близкие значения.

Заключение

Исследование питательных и биологически активных веществ плодов черной смородины позволило выявить значительные сортовые различия по компонентам химического состава ягод. В условиях Северо-Запада России плоды черной смородины содержат: сухих веществ – 15,3–25,7%, сахаров – 8,3–15,1%, кислот – 2,0–3,3%, аскорбиновой кислоты – 96,7–255,3 мг%, антоцианов – 148,4–442,3 мг%.

В качестве источников для селекции можно рекомендовать выделенные нами сорта с высоким и стабильным содержанием:

– *сухих веществ* – 'Навля' (к-42228), 'Арапка' (к-44175), 'Gagatai' (к-44168), 'Вертикаль' (к-45528), 'Elo' (к-44171),

'Свитязянка' (к-41979), 'Андреевская' (к-49787), 'Татран Слава' (к-44182), 'Albos' (к-44176), 'Varmas' (к-44174), 'Светлолистная' (к-43129), 'Karri' (к-44172), 'Almo' (к-44169), 'Mulgi Must' (к-38061), 'Валентина' (к-49786) и отдаленный межвидовой гибрид *Ribes hudsonianum* × *R. dikuscha* (к-42536);

– *сахаров* – 'Gagatai', 'Elo' и 'Albos';

– *аскорбиновой кислоты* – 'Навля', 'Вертикаль', 'Добрыня' (к-42515), 'Арапка', 'Литвиновская' (к-45542), 'Joninai' (к-43124), 'Вернисаж' (к-43126);

– *антоциановых веществ* – 'Арапка', 'Gagatai', 'Свитязянка', 'Андреевская', 'Бинар' (к-32649), 'Almo', 'Ats' (к-44166), 'Валентина'.

Низким уровнем кислотности обладают сорта 'Добрыня', 'Литвиновская', 'Селеченская 2' (к-42637), 'Elo', 'Karri', 'Mulgi Must'.

Повышенное содержание сахаров (> 10%) в сочетании с высоким уровнем накопления сухих веществ в плодах (> 20%) присуще сортам 'Навля', 'Арапка', 'Gagatai', 'Elo', 'Albos', 'Varmas', 'Karri', 'Almo', 'Mulgi Must', 'Татран Слава', 'Светлолистная' и 'Валентина'. Эти сорта могут быть использованы в селекции на данные признаки.

Комплексным сочетанием улучшенных биохимических показателей обладают сорта 'Навля', 'Арапка', 'Gagatai', 'Свитязянка', 'Elo', 'Karri', 'Валентина'.

Результаты проведенного исследования химического состава плодов черной смородины свидетельствуют об их высокой питательной и энергетической ценности для использования в питании человека – как в свежем виде, так и для приготовления высококачественных продуктов переработки.

References / Литература

Butenko L.I., Podgornaya Zh.V. Studies of the anthocyanin complex in berries that have undergone cryoprocessing (Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, proshedsikh kriobrabotku). *Advances in Current Natural Sciences*. 2016;(11):14-17. [in Russian] (Бутенко Л.И., Подгорная Ж.В. Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криобработку. *Успехи современного естествознания*. 2016;(11):14-17).

- Bzhetseva N.R. Biochemical composition of currant fruits. *New Technologies*. 2017;(2):90-98. [in Russian] (Бжецева Н.Р. Биохимический состав плодов черной смородины. *Новые технологии*. 2017;(2):90-98).
- Deineka L.A., Anisimovich I.P., Shaposhnik E.I., Chulkov A.N., Deineka V.I., Aladina O.N. et al. Fruit anthocyanins of Moscow and St. Peterbourg blackcurrants. *Regional Geosystems*. 2011;9-2(104):271-276. [in Russian] (Дейнека Л.А., Анисимович И.П., Шапошник Е.И., Чулков А.Н., Дейнека В.И., Аладина О.Н. и др. Антоцианы плодов черной смородины Москвы и Санкт-Петербурга. *Региональные геосистемы*. 2011;9-2(104):271-276).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- Gavrisheva I.F., Stepanova T.I., Samorodova-Bianki G.B. The chemical composition of the black currant berries under the irrigated conditions of the Lower Volga region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1980;66(3):106-112. [in Russian] (Гавришева И.Ф., Степанова Т.И., Самородова-Бианки Г.Б. Особенности химического состава плодов черной смородины в нижнем Поволжье на орошении. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1980;66(3):106-112).
- Georgiev D., Georgieva M. Drying blackcurrant fruit in a dryer with an alternative source of energy. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. 2020;64(2):57-60.
- Kampuss K., Strautina S. Evaluation of blackcurrant resources for sustainable production. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 2004;12:147-158.
- Kazakov I.V., Sazonov F.F. Evaluation and development of blackcurrant source material for priority breeding trends (Otsenka i sozdaniye iskhodnogo materiala smorodiny chernoy dlya prioritnykh napravleniy selektsii). In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: collection of scientific papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.81-90. [in Russian] (Кзаков И.В., Сазонов Ф.Ф. Оценка и создание исходного материала смородины черной для приоритетных направлений селекции. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника: сборник научных трудов*. Мичуринск; 2007. С.81-90).
- Kikas A., Kahu K., Arus L., Kaldmäe H., Rätsep R., Libek A.V. Qualitative properties of the fruits of blackcurrant *Ribes nigrum* L. genotypes in conventional and organic cultivation. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2017;71(3):190-197. DOI: 10.1515/prolas-2017-0032
- Kikas A., Rätsep R., Kaldmäe H., Aluvee A. and Libek A.-V. Comparison of polyphenols and anthocyanin content of different blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars at the Polli Horticultural Research Centre in Estonia. *Agronomy Research*. 2020;18(S4):2715-2726. DOI: 10.15159/AR.20.208
- Knyazev S.D., Levgerova N.S., Makarkina M.A., Pikunova A.V., Salina E.S., Chekalin E.I., Yanchuk T.V., Shavyrkina M.A.. Black currant breeding: methods, achievements, trends (Selektsiya chernoy smorodiny: metody, dostizheniya, napravleniya). Orel: VNIISPК; 2016. [in Russian] (Князев С.Д., Левгерова Н.С., Макаркина М.А., Пикунова А.В., Салина Е.С., Чекалин Е.И., Янчук Т.В., Шавыркина М.А. Селекция черной смородины: методы, достижения, направления. Орел: ВНИИСПК; 2016).
- Knyazev S.D., Ogoltsova T.P. Breeding of black currant at the present stage. (Selektsiya chernoy smorodiny na sovremennom etape). Orel: Orel State Agrarian University; 2004. [in Russian] (Князев С.Д., Огольцова Т.П. Селекция черной смородины на современном этапе. Орел: Орловский государственный аграрный университет; 2004).
- Levgerova N.S. Chemical and technological assessment of black currant cultivars for various types of processing (Khimiko-tekhnologicheskaya otsenka sortov smorodiny chernoy dlya razlichnykh vidov pererabotki). In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: collection of scientific papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.277-284. [in Russian] (Левгерова Н.С. Химико-технологическая оценка сортов смородины черной для различных видов переработки. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника: сборник научных трудов*. Мичуринск; 2007. С.277-284).
- Makarkina M.A., Yanchuk T.V. Nutrients of black currant berries (Pitatelnye veshchestva yagod chernoy smorodiny). In: *Breeding, Genetics and Varietal Agricultural Practices of Fruit Crops: collection of scientific articles (Selektsiya, genetika i sortovaya agrotekhnika plodovykh kultur: sbornik nauchnykh statey)*. Orel: VNIISPК; 2009. p.110-115. [in Russian] (Макаркина М.А., Янчук Т.В. Питательные вещества ягод черной смородины. В кн.: *Селекция, генетика и сортовая агротехника плодовых культур: сборник научных статей*. Орел: ВНИИСПК; 2009. С.110-115).
- Makarkina M.A., Yanchuk T.V., Knyazev S.D. Black currant breeding for increased content of soluble solids in berries (Selektsiya smorodiny chernoy na povyshennoye soderzhaniye v yagodakh rastvorimyykh sukhikh veshchestv). *Bulletin of Agrarian Science*. 2010;6(27):122-125. [in Russian] (Макаркина М.А., Янчук Т.В., Князев С.Д. Селекция смородины черной на повышение содержания в ягодах растворимых сухих веществ. *Вестник аграрной науки*. 2010;6(27):122-125).
- 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*. 2015;(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*. 2015;(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

- Nigmatzyanov R., Sorokopudov V., Nazaryuk N. Biochemical composition of black currant berries (*Ribes nigrum* L.) for development of new cultivars in Bashkortostan. *BIO Web of Conferences*. 2021;30:04004. DOI: 10.1051/bioconf/20213004004
- Nour V., Trandafir I., Ionica M.E. Ascorbic acid, antocyanins, organic acids and mineral content of some black and red currant cultivars. *Fruits*. 2011;66(5):353-362. DOI: 10.1051/fruits/2011049
- Ogoltsova T.P. Black currant breeding: past, present, and future (Seleksiya chernoy smorodiny – proshloye, nastoyashcheye, budushcheye). Tula; 1992. [in Russian] (Огольцова Т.П. Селекция черной смородины – прошлое, настоящее, будущее. Тула; 1992).
- Paunović S.M., Mašković P., Nicolici M., Miletić R. Bioactive compounds and antimicrobial activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) berries and leaves extract obtained by different soil management system. *Scientia Horticulture*. 2017;222:69-75. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.05.015
- Pluta S., Zuravicz E. Breeding work on blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) and gooseberry (*Ribes grossularia* L.) in Poland. In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: collection of scientific papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.142-149.
- Popov V.S., Smyatskaya Yu.A. A modified titrimetric method for the quantitative determination of vitamin C in colored plant extracts. *Vestnik of Perm National Research Polytechnic University (PNRPU Bulletin). Chemical Technology and Biotechnology*. 2020;(4):43-53. [in Russian] (Попов В.С., Смятская Ю.А. Модифицированный титриметрический метод количественного определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2020;(4):43-53). DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.04
- 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., Германова М.Г. Биохимические показатели качества ягод смородины с учетом сортовых особенностей. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2017;45(3):105-113).
- Raudsepp P., Kaldmäe H., Kikas A., Libec A.V., Püssa T. Nutritional quality of berries and bioactive compounds in the leaves of black currant (*Ribes nigrum* L.) cultivars evaluated in Estonia. *Journal of Berry Research*. 2010;1(1):53-59. DOI: 10.3233/BR-2010-006
- Rubinskiene M., Viskelis P., Jasutiene I., Duchovskis P., Bobinas C. Changes in biologically active constituents during ripening in black currants. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 2006;14 Suppl 2:237-246.
- Rubinskiene M., Viskelis P., Stanys V., Šikšnianas T., Sasnauskas A. Quality changes in black currant berries during ripening. *Scientific Works of Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture*. 2008;27:235-243.
- Samorodova-Bianki G.B., Streltsina S.A., Zdorenko N.A. Fruits and berries as a valuable source of substances that increase the human body's resistance to extreme factors (Plody i yagody kak tsenny istochnik veshchestv, povyshayushchikh ustoichivost organizma cheloveka k ekhstremalnym faktoram). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1992;229:65-68. [in Russian] (Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А., Здоренко Н.А. Плоды и ягоды как ценный источник веществ, повышающих устойчивость организма человека к экстремальным факторам. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1992; 229:65-68).
- Seglina D., Krasnova I., Ruisa S., Strautiņa S., Heidemane G. Research on antioxidant activity of berries grown in Latvia. In: *Proceedings of International Scientific Conference "Sustainable Fruit Growing: From Plant to Product"; May 28-31, 2008; Jurmala-Dobele, Latvia*. Dobele: Latvia State Institute of Fruit-Growing; 2008. p.265-272. Available from: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20103169559> [accessed Feb. 03, 2025].
- Shavyrkina M.A., Knyazev S.D., Makarkina M.A., Tovar-nitskaya M.V. The evaluation of promising black currant genotypes for productivity and biochemical composition. *Contemporary Horticulture*. 2016;4(20):30-35. [in Russian] (Шавыркина М.А., Князев С.Д., Макаркина М.А., Товарническая М.В. Оценка устойчивых к мучнистой росе сортообразцов смородины черной по урожайности и биохимическому составу. *Современное садоводство*. 2016;4(20):30-35).
- Shirko T.S., Yaroshevich I.V. Biochemistry and fruit quality (Biochimiya i kachestvo plodov). In: *Fruit Growing (Plodovodstvo)*. Minsk; 1991. p.158-180. [in Russian] (Ширко Т.С., Ярошевич И.В. Биохимия и качество плодов. В кн.: *Плодоводство*. Минск; 1991. С.158-180).
- Sokolov S.Ya., Zamotaev I.P. Reference manual on medicinal plants (Spravochnik po lekarstvennym rasteniyam). Moscow: Meditsina; 1988. [in Russian] (Соколов С.Я., Замотаев И.П. Справочник по лекарственным растениям. Москва: Медицина; 1988).
- Strel'tsina S.A., Tikhonova O.A. Nutritious and biologically active substances of berries and leaves of a black currant (*Ribes nigrum* L.) in conditions of Northwest of Russia. *Agrarian Russia*. 2010;(1):24-31. [in Russian] (Стрельцина С.А., Тихонова О.А. Питательные и биологически активные вещества ягод и листьев смородины черной (*Ribes nigrum* L.) в условиях Северо-Запада России. *Аграрная Россия*. 2010;(1):24-31).
- Tikhonova O. A., Popov V. S. Black currant cultivars, developed at the Polli Horticultural Research Center (Estonia), in Northwest Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;184(3):120-134. [in Russian] (Тихонова О.А., Попов В.С. Сорты черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;(3):120-134). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-120-134
- Titova L.V. Cultivars of the European, Siberian, and Scandinavian subspecies of black currant and *Ribes dikuscha* are the basis for breeding highly vitamin forms (Sorta yevropeyskogo, sibirskogo, skandinavskogo podvidov smorodiny chernoy, smorodiny dikushi – osnova seleksii vysokovitaminnykh form). In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: collection of scientific papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.312-319. [in Russian] (Титова Л.В. Сорты европейского, сибирского, скандинавского подвида смородины черной, смородины дикуши – основа селекции высоковитаминных форм. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника: сборник научных трудов*. Мичуринск; 2007. С.312-319).
- Vagiri M., Rumpunen K., Johansson E. Quality traits in black currant (*Ribes nigrum* L.) as affected by genotype and loca-

- tion. *Acta Horticulturae*. 2016;1117:207-212. DOI: 10.17660/Acta Horticulture.2016.1117.33
- Viskelis P., Bobinaite R., Rubinskiene M., Sasnauskas A., Lanauskas J. Chemical composition and antioxidant activity of small fruits. In: A.I.L. Maldonado (ed.). *Horticulture*. London: IntechOpen Ltd.; 2012. p.75-102. DOI: 10.5772/35723
- Vitkovsky V.L. Fruit plants of the world (Plodovye rasteniya mira). St. Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan; 2003. [in Russian] (Витковский В.Л. Плодовые растения мира. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань; 2003).
- Wu X., Beecher G.R, Holden J.M., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E., Prior R.L. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(11):4069-4075. DOI: 10.1021/jf060300l
- Yanchuk T.V. Berry biochemical composition of black currant cultivars of Ukrainian breeding, cultivated in conditions of Orel district. *Contemporary Horticulture*. 2014;1(9):60-67. [in Russian] (Янчук Т.В. Биохимический состав ягод смородины черной сортов украинской селекции, возделываемых в условиях Орловской области. *Современное садоводство*. 2014;1(9):60-67).
- Zhbanova E.V. Biochemical assessment of red currant cultivars under the conditions of the Central Black Soil Region (Biokhimicheskaya otsenka sortov smorodiny krasnoy v usloviyakh TsChR). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2013;37(1):146-152. [in Russian] (Жбанова Е.В. Биохимическая оценка сортов смородины красной в условиях ЦЧР. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2013;37(1):146-152).

Информация об авторах

Ольга Анатольевна Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Анастасия Евгеньевна Смоленская, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, 190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, nastya-smolenska.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6062-4139>

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических 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, popovitaly@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Information about the authors

Olga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Anastasia E. Smolenskaya, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, nastya-smolenska.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6062-4139>

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, popovitaly@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 07.03.2025; одобрена после рецензирования 23.04.2025; принята к публикации 27.05.2025. The article was submitted on 07.03.2025; approved after reviewing on 23.04.2025; accepted for publication on 27.05.2025.

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.16:632.732
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113



Генетический контроль устойчивости сортов ярового ячменя к шведской мухе

А. Г. Семенова¹, Е. Е. Радченко²

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

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

Автор, ответственный за переписку: Евгений Евгеньевич Радченко, eugene_radchenko@rambler.ru

Актуальность. За последнее десятилетие существенно возросла вредоносность шведских мух (*Oscinella frit* L. и *O. pusilla* Meig.) на посевах ячменя и других зерновых культур, что связывают с глобальным изменением климата и повсеместными нарушениями агротехники. Дополнением либо альтернативой агротехническим и химическим мерам ограничения численности фитофагов является селекция устойчивых форм. Возделывание генетически защищенных сортов экономично, экологически безопасно и не наносит вреда полезным организмам. Необходимые условия успешной селекции – выявление слабо повреждаемых шведскими мухами образцов ячменя, изучение механизмов устойчивости и способа наследования признака.

Материалы и методы. На провокационном фоне заселения ячменя *O. frit* изучали генетический контроль устойчивости к фитофагу у сортов ярового ячменя 'Белогорский' (к-22089, Ленинградская обл.) и 'Nordic' (к-22342, США) при их скрещивании с восприимчивым сортом 'Криничный' (к-27605, Беларусь). В период кушения определяли поврежденность главных стеблей родительских форм, а также гибридов F_1 и F_2 .

Результаты и выводы. Обсуждаются ожидаемое и фактическое соотношения фенотипов гибридов F_2 с учетом степени повреждения *O. frit* гомозигот по генам устойчивости, а также гетерозигот (F_1). Выявлено моногенное не полностью доминантное наследование устойчивости к овсяной шведской мухе у двух изученных сортов. Эти гены имеют разную экспрессивность: ген сорта 'Белогорский' контролирует 15,4-процентное повреждение насекомым главных стеблей, а ген сорта 'Nordic' – повреждение личинками 5,3% стеблей. Изученные образцы могут быть рекомендованы в качестве доноров устойчивости для селекции на иммунитет к шведской мухе.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *Oscinella frit* L., поврежденность, гены устойчивости, неполная пенетрантность, селекция растений

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».

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

Для цитирования: Семенова А.Г., Радченко Е.Е. Генетический контроль устойчивости ячменя к шведской мухе. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(2):108-113. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars

Alla G. Semenova¹, Evgeny E. Radchenko²¹ St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Evgeny E. Radchenko, eugene_radchenko@rambler.ru

Background. Over the last decade, the harmfulness of frit flies (*Oscinella frit* L., and *O. pusilla* Meig.) on barley and other cereals has increased significantly, which is associated with global climate change and widespread violations of agricultural practices (for example, the wide use of surface tillage techniques). A supplement or alternative to agrotechnical and chemical measures to control the abundance of phytophages is the breeding of resistant cultivars. This control method is economical, environmentally friendly, and harmless for beneficial organisms. Successful breeding for this trait requires identification of barley genotypes resistant to frit flies, and studying the mechanisms of such resistance and patterns of its inheritance.

Materials and methods. Using provocative conditions of infestation with *O. frit*, the genetic control of resistance to the phytophage was studied in the spring barley cultivars 'Belogorsky' (k-22089, Leningrad Province) and 'Nordic' (k-22342, USA), when crossed with the susceptible cultivar 'Krinichny' (k-27605, Belarus). During the tillering period, damage to the main stems of the parent forms, as well as F_1 and F_2 hybrids, was assessed.

Results and conclusions. The expected and factual ratios of phenotypes were calculated, taking into account the percentage of damage to homozygotes as well as heterozygotes (F_1) for resistance and susceptibility genes. Incompletely dominant monogenic inheritance of the frit fly resistance trait was observed in the two studied cultivars. Their genes showed different expressiveness: the gene in cv. 'Belogorsky' controlled 15.4% of the insect damage to the main stems, and the gene in cv. 'Nordic' controlled larval damage to 5.3% of the stems. The studied accessions can be recommended as donors for breeding for frit fly resistance.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Oscinella frit* L., damage, resistance genes, incomplete penetrance, plant breeding

Acknowledgements: the study was conducted within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and grain 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: Semenova A.G., Radchenko E.E. Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):108-113. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

Введение

В России и сопредельных странах на зерновых и кормовых культурах питаются 73 вида мух (Narchuk, 1981). Повсеместно распространены и вредоносны два вида – овсяная (*Oscinella frit* L.) и ячменная (*O. pusilla* Meig.) шведские мухи (Illarionov, Samsonov, 2010). Вредоносность *O. frit* особенно значительна в Нечерноземной зоне России, тогда как *O. pusilla* распространена преимущественно в регионах с сухим климатом (Pavlov, 1983).

На Северо-Западе России экономически важный ущерб наносят личинки, которые в фазу кушания, питаясь эмбриональными тканями растения ячменя, разрушают конус нарастания, то есть фактически уничтожают стебель, что внешне проявляется в усыхании центрального листа. Отмечено, что в случае позднего срока сева поврежденность главных стеблей ячменя может достигать 60%, а всех стеблей – 50% (Semenova et al., 2021). За последнее десятилетие вредоносность шведских мух существенно возросла, что связывают с глобальным изменением климата и повсеместным использованием поверхностных способов обработки почвы (Shpanev, 2022).

Скрытый образ жизни вредителя определяет сложность организации химической борьбы. Дополнением либо альтернативой агротехническим и химическим мерам ограничения численности насекомого является выделение генетически защищенных сортов. Эта стратегия борьбы экологически безопасна, не наносит вреда полезной энтомофауне и наиболее экономична в сравнении с широко используемыми способами защиты растений. Для успешной селекции на иммунитет необходимо идентифицировать надежные источники устойчивости к вредителю, изучить возможные механизмы слабой повреждаемости растений и характер наследования признака устойчивости.

Отечественные работы, посвященные устойчивости зерновых культур к шведской мухе, весьма многочисленны, иностранная литература очень скудна. Следует отметить многолетние исследования П. Г. Чеснокова, который в результате анализа генетических ресурсов ячменя и других зерновых культур по устойчивости к шведской мухе подтвердил сформулированные Н. И. Вавиловым закономерности эколого-географической дифференциации растений по иммунитету. Было показано, что слабо повреждаются насекомым образцы ячменя из Аравии, а местные формы из Малой Азии достаточно выносливы к повреждению. Устойчивые к шведской мухе образцы ячменя происходят из Сибири, некоторых районов Кавказа, предгорных зон Закавказья, из Казахстана, а также из стран Западной Европы (Chesnokov, 1956).

Восприимчивые к шведской мухе образцы ячменя содержат больше каротиноидов и хлорофилла в сравнении с устойчивыми генотипами. Повышенная концентрация этих соединений в тканях растений свидетельствует о более высоком содержании легко утилизируемых биополимеров, что в итоге обуславливает сильную поврежденность растений. Показано, что в листьях устойчивых образцов накапливается больше сухого вещества, чем в тканях сильно повреждаемых генотипов (Budnitskaia, 1952; Semenova, Nefedova, 2005).

Ускоренный рост в начальный период развития растений может быть важным фактором устойчивости к шведской мухе. В этом случае личинка не успевает внедриться, вытесняется из зоны конуса нарастания и в результате погибает. На сортах с интенсивным начальным ростом к месту питания добирается до 3% личинок, а по-

врежденность стеблей у сортов, характеризующихся медленным начальным ростом, достигает 85% (Velibekova et al., 2017; Ershova, Golova, 2019).

Установлено, что умеренно устойчивые образцы ячменя обладают более широкими компенсаторными возможностями (то есть повышенной кустистостью в ответ на повреждение насекомым) по сравнению с восприимчивыми генотипами (Semenova, Nefedova, 2005; Velibekova et al., 2017; Ershova, Golova, 2019).

Упомянутые выше общебиологические признаки, сформировавшиеся в эволюции независимо от вредителя, защищают растения от повреждения фитофагом. Зависящая от таких признаков устойчивость чаще всего наследуется полигенно. Нам известна всего лишь одна публикация, обсуждающая олигогенно контролируемую устойчивость ячменя. Установлено, что по одному доминантному независимому гену устойчивости, которые контролируют слабую поврежденность растений фитофагом, имеют линии, выделенные из образцов ярового ячменя Прекоциус 123-2-1 (к-734, Армения) и Местный 5-2 (к-6618, Армения) (Semenova, Odintsova, 1993).

Цель настоящей работы – исследовать генетический контроль устойчивости к шведской мухе у двух сортов ярового ячменя, выделенных нами в предыдущих исследованиях (Semenova et al., 2014, 2021).

Материалы и методы

В 2023 г. изучили наследование устойчивости к шведской мухе сортов 'Белогорский' (к-22089, Ленинградская обл.) и 'Nordic' (к-22342, США), которые в течение многих лет на Северо-Западе России стабильно слабо повреждались насекомым. Выделенные образцы в 2022 г. скрещивали с восприимчивым сортом 'Криничный' (к-27605, Беларусь) на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин). Материнские устойчивые растения кастрировали по общепринятой методике. Кастрированные колосья опыляли пылью неустойчивого (отцовская форма) сорта twell-методом (Merezhko et al., 1973). Часть семян F_1 репродуцировали в оранжерее для получения семян F_2 .

Опыты проводили в поле на провокационном фоне (разреженный поздний посев рядом с озимой рожью), который обеспечивает сильное заселение растений шведской мухой (Chesnokov, 1956). Зерновки родительских форм, гибридов F_1 и F_2 высевали деланками в метровые ряды с расстоянием между ними 20 см, в ряду – 5 см. Для соблюдения равенства генотипических классов экспериментальный материал высевали одновременно двумя блоками, каждый из которых включал:

- гомозиготы по генам устойчивости (устойчивый сорт);
- гомозиготы по генам восприимчивости (восприимчивый сорт);
- гетерозиготы (гибриды F_1);
- гибриды F_2 .

Повторяющийся восприимчивый сорт ('Криничный') высевали в каждом блоке.

Растения заселяла преимущественно овсяная шведская муха, численность имаго которой среди отловленных при кошении сачком особей превышала 90%, что согласуется с наблюдениями А. М. Шпанева, который в отловах на посевах ячменя и других зерновых культур в Ленинградской области идентифицировал 99% имаго *O. frit* и лишь единичные особи *O. pusilla* (Shpanev, 2022).

Абсолютно устойчивых к фитофагу сортов нет, выделяют только слабо повреждаемые образцы. Устойчивые к шведской мухе сорта ячменя отличаются от восприимчивых по частоте (%) поврежденных растений. Экспрессия устойчивости лишь у части растений анализируемого сорта может зависеть от условий опыта, от гетерогенности данного сорта по изучаемому признаку, а также от пенетрантности, то есть частоты или вероятности проявления генов. Пенетрантность может быть полной и неполной, если у части особей, несущих данный ген, он не проявляется в фенотипе. В наших опытах «шумы» (гетерогенность и различие условий опыта) были минимизированы, что позволило анализировать признак устойчивости ячменя к шведской мухе как не полностью пенетрантный.

Определяли процент растений, заселенных личинками вредителя во всех элементах экспериментального блока: у гибридов F_2 , у гомозигот по гену (генам) устойчивости (AA – сорта 'Белогорский' и 'Nordic'), гомозигот по гену (генам) восприимчивости (aa – сорт 'Криничный') и гетерозигот (Aa – гибриды F_1). Данные полевых учетов использовали для расчета поправок на пенетрантность признака устойчивости у соответствующих генотипических классов при расчете ожидаемых соотношений поврежденных и неповрежденных растений гибридов F_2 (Radchenko, Odintsova, 2008).

Степень соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому оценивали с помощью критерия χ^2 , который рассчитывали по формуле:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f-F)^2}{F},$$

где F – ожидаемые, f – фактически полученные данные. Если вычисленное значение χ^2 не превышало таб-

личного значения χ^2 , находящегося в графе с вероятностью 0,05 (то есть 3,84), считали, что фактически полученные данные удовлетворительно соответствуют теоретически ожидаемым.

Результаты и обсуждение

По наличию симптомов повреждения классифицировали 190 растений гибридов F_2 комбинации скрещивания 'Nordic' × 'Криничный'. Среди них 162 растения были здоровыми, 28 повреждены (имели стебли с усохшим центральным листом). Повреждение главного стебля выявили у четырех растений F_1 из 21 изученного. В исследуемой выборке (190 растений F_2) ожидается 47,5 растений с генотипом AA. Этот генотипический класс должен содержать, как и сорт 'Nordic', 5,3% поврежденных растений. Ожидаемое число поврежденных растений этого класса составляет 2,52, а неповрежденных – 44,98. Ожидаемое число здоровых и поврежденных растений класса Aa (с поправкой на поврежденность гибридов F_1 19%) составляет 76,95 и 18,05 растений соответственно, а класса aa – 38,43 и 9,07 (табл. 1). Ожидаемое соотношение фенотипических классов – 160,36 здоровых и 29,64 поврежденных, что соответствует фактически наблюдаемому ($\chi^2 = 0,1075$; $P = 0,50-0,75$).

При фенотипировании 359 растений F_2 комбинации 'Белогорский' × 'Криничный' 286 растений не имели симптомов повреждения, у 73 выявлено усыхание главного стебля. У шести растений F_1 из 27 обнаружено повреждение главного стебля. Анализ данных о соотношении здоровых и поврежденных растений у гибридов F_2 (табл. 2) соответствует предположению о контроле признака устойчивости к шведской мухе одним геном ($\chi^2 = 0,0003$; $P = 0,95-0,98$).

Таблица 1. Расщепление по устойчивости к шведской мухе гибридов от скрещивания устойчивого сорта 'Nordic' (AA) с неустойчивым сортом 'Криничный' (aa)

Table 1. Segregation for frit fly resistance among the hybrids from crossing the resistant cv. 'Nordic' (AA) with the susceptible cv. 'Krinichny' (aa)

Генотип / Genotype	% поврежденных растений / % of damaged plants	Ожидаемое число растений при соотношении 1 : 2 : 1 / Expected number of plants at a ratio of 1 : 2 : 1		
		всего / total	здоровых / undamaged	поврежденных / damaged
AA	5,3	47,5	44,98	2,52
Aa	19,0	95	76,95	18,05
aa	19,1	47,5	38,43	9,07
Соотношение фенотипов	ожидаемое	190	160,36	29,64
	фактическое	190	162	28

Таблица 2. Расщепление по устойчивости к шведской мухе гибридов от скрещивания устойчивого сорта 'Белогорский' (AA) с неустойчивым сортом 'Криничный' (aa)**Table 2.** Segregation for frit fly resistance among the hybrids from crossing the resistant cv. 'Belogorsky' (AA) with the susceptible cv. 'Krinichny' (aa)

Генотип / Genotype	% поврежденных растений / % of damaged plants	Ожидаемое число растений при соотношении 1 : 2 : 1 / Expected number of plants at a ratio of 1 : 2 : 1		
		всего / total	здоровых / undamaged	поврежденных / damaged
AA	15,4	89,75	75,93	13,82
Aa	22,2	179,5	139,65	39,85
aa	21,1	89,75	70,81	18,94
Соотношение фенотипов	ожидаемое	359	286,39	72,61
	фактическое	359	286	73

Заключение

Полученные нами результаты согласуются с предположением о моногенном не полностью доминантном контроле устойчивости к шведской мухе у сортов 'Белогорский' и 'Nordic'. Эти гены имеют разную экспрессивность: ген сорта 'Белогорский' контролирует 15,4-процентное повреждение насекомым, а ген сорта 'Nordic' – повреждение личинками 5,3% стеблей. Выделившиеся доноры устойчивости рекомендуются для использования в селекции на иммунитет к опасному фитофагу.

References / Литература

- Budnitskaya E.V. Modern ideas about the biosynthesis and physiological role of carotenoids (Sovremennye predstavleniya o biosinteze i fiziologicheskoy roli karotinoidov). *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*. 1952;(4):80-82. [in Russian] (Будницкая Е.В. Современные представления о биосинтезе и физиологической роли каротиноидов. *Известия Академии наук СССР*. 1952;(4):80-82).
- Chesnokov P.G. Resistance of cereal crops to insects (Ustoychivost zernovykh kultur k nasekomym). Moscow: Sovyetskaya Nauka; 1956. [in Russian] (Чесноков П.Г. Устойчивость зерновых культур к насекомым. Москва: Советская наука; 1956).
- Ershova L., Golova T. Estimation of stability of perspective lines and sorts of a spring barley to stratosfernye pests. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2019;3(58):67-70. [in Russian] (Ершова Л.А., Голова Т.Г. Оценка устойчивости перспективных линий и сортов ярового ячменя к скрытостебельным вредителям. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019;3(58):67-70).
- Illarionov A.I., Samsonov R.A. Corn flies: spreading, harmfulness and their number restriction practice. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2010;1(24):10-26. [in Russian] (Илларионов А.И., Самсонов Р.А. Злаковые мухи: распространение, вредоносность и приемы ограничения их численности. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2010;1(24):10-26).

Merezhko A.F., Ezrokhin L.M., Yudin A.E. Guidelines for an effective pollination technique for cereal crops (Metodicheskiye ukazaniya po effektivnomu metodu opyleniya zernovykh kultur). Leningrad: VIR; 1973. [in Russian] (Мережко А.Ф., Эзрохин Л.М., Юдин А.Е. Методические указания по эффективному методу опыления зерновых культур. Ленинград: ВИР; 1973).

Narchuk E.P. Chloropidae family – grass flies (Semeystvo Chloropidae – zlakovye mukhi). In: *Insects and Mites, Crop Pests: in 4 volumes. Vol. 4. Hymenoptera and Diptera (Nasekomye i kleshchi – vrediteli selskokhozyaystvennykh kultur: v 4 tomakh. T. 4. Pereponchatokrylye i dvukrylye)*. Leningrad: Nauka; 1981. p.161-187. [in Russian] (Нарчук Э.П. Семейство Chloropidae – злаковые мухи. В кн.: *Насекомые и клещи – вредители сельскохозяйственных культур. Т. 4. Перепончатокрылые и двукрылые*. Ленинград: Наука; 1981. С.161-187).

Pavlov I.F. Protection of field crops from pests (Zashchita polevykh kultur ot vreditel'ey). Moscow: Rosselkhozizdat; 1983. [in Russian] (Павлов И.Ф. Защита полевых культур от вредителей. Москва: Россельхозиздат; 1983).

Radchenko E.E., Odintsova I.G. Identification of cereal genes for resistance to harmful organisms (Identifikatsiya genov ustoychivosti zernovykh kultur k vrednym organizmam). In: *Studying Cereal Crop Genetic Resources for Resistance to Harmful Organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.306-331. [in Russian] (Радченко Е.Е., Одицова И.Г. Идентификация генов устойчивости зерновых культур к вредным организмам. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.306-331).

Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N. Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):108-116. [in Russian] (Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):108-116). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116

- Semenova A.G., Kovaleva O.N., Orlov S.Yu., Yudin I.O. Resistance of barley varieties to *Oscinella frit*. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2014;(7):16-18. [in Russian] (Семенова А.Г., Ковалева О.Н., Орлов С.Ю., Юдин И.О. Устойчивость к шведской мухе сортов ячменя. *Защита и карантин растений*. 2014;(7):16-18).
- Semenova A.G., Nefedova L.I. Factors of barley resistance to oat frit fly (Faktory ustoichivosti yachmenya k ovsyanoj shvedskoy mukhe). *Plant Protection News*. 2005;(1):38-44. [in Russian] (Семенова А.Г., Нефедова Л.И. Факторы устойчивости ячменя к овсяной шведской мухе. *Вестник защиты растений*. 2005;(1):38-44).
- Semenova A.G., Odintsova I.G. Inheritance of resistance to frit flies in barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1993;147:61-66. [in Russian] (Семенова А.Г., Одинцова И.Г. Наследование устойчивости к шведским мухам у ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1993;147:61-66).
- Shpanev A.M. Frit flies (Diptera: Chloropidae, *Oscinella* spp.) in the agroecosystems of agricultural crops of the North-West of Russia. *Proceedings of the Russian Entomological Society*. 2022;93:178-186. [in Russian] (Шпанев А.М. Шведские мухи (Diptera: Chloropidae, *Oscinella* spp.) в агроценозах сельскохозяйственных культур Северо-Запада России. *Труды Русского энтомологического общества*. 2022;93:178-186). DOI: 10.47640/1605-7678_2022_93_178
- Velibekova E.I., Ershova L.A., Malokostova E.I. Resistance of spring wheat and barley genotypes to harmful organisms. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2017;(10):13-15. [in Russian] (Велибекова Е.И., Ершова Л.А., Малокозова Е.И. Устойчивость генотипов яровой пшеницы и ячменя к вредным организмам. *Защита и карантин растений*. 2017;(10):13-15).

Информация об авторах

Алла Георгиевна Семенова, кандидат биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2, a.g.semenova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2817-8615>

Евгений Евгеньевич Радченко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Information about the authors

Alla G. Semenova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, St. Petersburg State Agrarian University, 2 Peterburgskoye Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196601, Russia, a.g.semenova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2817-8615>

Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 01.04.2025; принята к публикации 14.04.2025. The article was submitted on 06.02.2025; approved after reviewing on 01.04.2025; accepted for publication on 14.04.2025.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 633.13:631.52
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-114-120



Некоторые результаты селекции овса в условиях Волго-Вятского региона России

Г. А. Баталова¹, И. Г. Лоскутов²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.В. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Аркадьевна Баталова, g.batalova@mail.ru

Актуальность. К важнейшим зерновым продовольственным и кормовым культурам наряду с ячменем относят овес. Это одна из значимых в мировом земледелии зерновая культура. К сожалению, площади под этой культурой в России неуклонно сокращаются. По данным 2024 г., овес в Российской Федерации высевали на площади всего 1,7 млн гектаров. Это первый показатель по площадям возделывания в мире и второй после совокупного объема производства зерна овса странами Евросоюза. В то же время Россия обладает наиболее благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания этой хозяйственно важной культуры. И в связи с этим страна могла бы занять достойное место лидера не только по производству зерна овса, но и как ведущий мировой экспортер этой культуры.

Результаты. С 2024 г. включен в Госреестр РФ и допущен в производство новый сорт овса пленчатого 'Кировский 2' для выращивания в Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном регионах районирования страны как ценный по качеству зерна и кормовой массы. Новый сорт овса пленчатого устойчив к полеганию, имеет практическую устойчивость к пыльной головне и корончатой ржавчине, толерантен к повреждению шведской мухой, слабо поражается корневыми гнилями. Вирус желтой карликовости ячменя (ВЖКЯ) на растениях не наблюдали.

Закключение. Созданный новый конкурентоспособный сорт овса пленчатого зернокармального направления использования, сочетающий высокую урожайность с высоким качеством зерна и кормовой массы, рекомендован для выращивания в условиях Северо-Западного, Центрального, Волго-Вятского, Центрально-Черноземного регионов России. Он может быть использован селекционными учреждениями РФ для получения перспективных генотипов овса пленчатого.

Ключевые слова: овес пленчатый, сорт, продуктивность, зерно, урожайность, производство зерна, посевные площади

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по темам № FNWE-2022-0007 и № FGEM-2022-0009.

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

Для цитирования: Баталова Г.А., Лоскутов И.Г. Некоторые результаты селекции овса в условиях Волго-Вятского региона России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):114-120. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-114-120

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-114-120

Some results of oat breeding under the conditions of the Volga-Vyatka region of Russia

Galina A. Batalova¹, Igor G. Loskutov²¹ Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia² N.V. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Galina A. Batalova, g.batalova@mail.ru

Background. Along with barley, oat is among the most important food and feed cereals. It is one of the most significant grain crops in world agriculture. Unfortunately, the area under this crop in Russia is steadily decreasing. According to the 2024 data, oats in Russia were sown on a total area of 1.7 million hectares. It is the largest acreage among the world's countries and second in the aggregate grain production after the European Union. However, Russia has the most favorable soil and climate conditions for growing this economically important crop. With this in view, Russia could win the leadership not only as an oat producer but also as the world's top exporter of this crop.

Results. Since 2024, 'Kirovsky 2', a new covered oat cultivar, has been included in the State Register of the Russian Federation and approved for cultivation in the Northwestern, Central, Volga-Vyatka, and Central Black Earth regions of Russia as an outstanding source of high-quality grain and forage biomass. This new cultivar of covered oat is resistant to lodging, exhibits practical resistance to loose smut and crown rust, shows tolerance to damage by the frit fly, and is weakly affected by root rot. Barley yellow dwarf virus (BYDV) was not observed on its plants.

Conclusion. Thus, a new competitive covered oat cultivar was released for food and feed uses, combining high yield with high quality of grain and forage biomass, adapted to the conditions of the Northwestern, Central, Volga-Vyatka, and Central Black Earth regions of Russia. Russian breeding centers can include this cultivar into the breeding process to obtain promising genotypes of covered oat for introduction into agricultural production.

Keywords: covered oat, cultivar, productivity, grain, yield, grain production, cropping areas

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Projects No. FNWE-2022-0007 and No. FGEM-2022-0009.

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

For citation: Batalova G.A., Loskutov I.G. Some results of oat breeding in the Volga-Vyatka region of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):114-120. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-114-120

Введение

Обеспечение населения продуктами питания высокого качества определяет в значительной мере рост экономики региона и государства в целом (Barcho et al., 2023). При этом основой стабильного развития общества остается обеспеченность страны продуктами зерновой группы, на которую влияет эффективность селекции. К важнейшим зерновым продовольственным и кормовым культурам наряду с ячменем относят овес. Это одна из значимых в мировом земледелии культур, которая занимала в 2023 г. 13 млн га и была на седьмом месте по объему производства зерна (<https://vk.com/@-196954611-oves-ego-gaznovidnosti-i-osobennosti>) при 1908 тыс. гектаров в России. По данным 2024 г., овес в РФ высевали на площади 1707,6 тыс. га (Cultivated areas..., 2024), что на 0,8% меньше площади посевов 2023 г. (Crop cultivation areas..., 2024). Это первый показатель по площадям возделывания в мире и второй после совокупного объема производства зерна овса странами Евросоюза. Следует отметить, что в дореволюционной России (1916 г.) при большой численности лошадей посевы овса только на европейской территории занимали 14 355,5 тыс. га (Petrovavlovsky, 1931).

Аналитики отмечают рост интереса к выращиванию продовольственного овса в Евросоюзе и Великобритании при некотором снижении производства пшеницы в 2024 г. (Medvedeva, 2024). Это связано с ростом спроса на продукты питания из овса, маркетинговыми стратегиями и успехами селекции. Рост спроса на пищевую овес влияет на увеличение его стоимости, и на текущий период цена пищевого овса выше цены на пшеницу.

Овес возделывают в Европе, США, Канаде, Китае, России, в других странах мира. С 2014 г. наметился рост потребления в питании населения продуктов из овса (Wani et al., 2014) и, соответственно, рост производства зерна. Так, в сезон 2021/2022 г. мировой сбор зерна овса составил 22,7 млн метрических тонн, в 2022/2023 г. – около 25,13 млн метрических тонн. По результатам сезона 2023–2024 гг. Россия является одним из ключевых мировых производителей зерна овса и занимает второе место после Евросоюза по производству овса в мире – 2,6 млн тонн, или 17,2% (Grain market..., 2024). Основные посевы культуры сосредоточены в Сибирском и Приволжском федеральных округах (Rating of regions..., 2024). Десять основных регионов – производителей овса в стране собрали 45,3% урожая культуры, среди них Кировская область занимает седьмое место (Russian oat market..., 2024). Среднегодовая урожайность овса в России возросла с 15,9 ц/га в 2004–2013 гг. до 18,0 ц/га в 2014–2023 гг. Повышение урожайности связано с успехами селекции, в том числе в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока) (<https://gossortrf.ru/registry/>).

Овес – культура универсальная, зерно используют для получения продуктов питания, в том числе здорового благодаря наличию в нем пищевых волокон (Loskutov, Polonskiy, 2017) и отсутствию глютена, в качестве несоложенного сырья в пивоварении (Meledina et al., 2017), в медицине (Batalova, 2009). Зеленую массу и солому, которая соответствует качеству сена среднего класса, используют на корм скоту. Солома овса превосходит по питательности пшеничную и ржаную, содержит 0,28 кормовых единиц, 41 г сырого и 13 г перевариваемого протеина, 5 МДж обменной энергии, 5 г кальция и 0,7 г фосфора (Lazarevich, Lesnov, 2016).

Зерно овса востребовано на мировом рынке. По итогам января – февраля 2024 г., суммарные объемы вывоза российского зерна овса выросли в 3,5 раза в натуральном выражении в сравнении с тем же периодом 2023 г. и превысили отметку в 64 тыс. тонн (Akulov, 2024). Основные импортеры овса – Китай и Монголия. По предварительным расчетам, к 2030 г. потенциал российского экспорта овса достигнет уровня 500–600 тыс. тонн (Protasov, 2024).

Российская Федерация располагает большим сортиментом районированных сортов овса, разнообразных по хозяйственно важным признакам, хорошо адаптированных ко всем регионам страны. Ряд сортов из Реестра селекционных достижений (табл. 1) обладает повышенными показателями качества зерна и может уже в настоящее время использоваться для пищевых целей. У России есть богатейшая мировая коллекция образцов овса ВИР, которая является исходным материалом для создания новых высокопродуктивных и высококачественных сортов овса с использованием традиционных методов селекции для переноса отдельных аллелей генов в селекционный материал. Путем улучшения процесса семеноводства и качества производственных посевов Россия могла бы стать экспортером овса, так как ни в одной стране мира нет более благоприятных почвенно-климатических условий для выращивания этой хозяйственно важной культуры. Это позволило бы России занять достойное место лидера не только по производству овса, но и в качестве ведущего мирового экспортера этой культуры (Loskutov, 2007a, 2007b).

Представляемые результаты исследований в области селекции овса полностью соответствуют Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в части приоритетного направления: «...переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».

Работы, проводимые в ФАНЦ Северо-Востока, направлены на получение новых генотипов овса пленчатого для производства ценного по качеству зерна и качественной кормовой массы.

Результаты и обсуждение

В производство на территории России в 2024 г. допущено 159 сортов овса пленчатого и голозерного, среди них 17 сортов селекции ФАНЦ Северо-Востока, допущенные в производство в период с 1995 по 2024 г. (<https://gossortrf.ru/registry/>). Сорт овса пленчатого 'Кречет' занимает в рейтинге сортов культуры седьмое место по распространению в посевах (Top oat cultivars..., 2024), востребован в производстве в силу сочетания высокой урожайности (до 9,1 т/га), пластичности, повышенного качества зерна (натурная масса – 493 г/л, пленчатость – 25,5%, белка в зерне – 10,82%), пригодности к выращиванию на низкоплодородных почвах на зерно и кормовую массу.

С использованием пленчатых и голозерных образцов генофонда ВИР создан среднеспелый сорт овса пленчатого 'Медведь', характеризующийся крупным зерном высокого качества (масса 1000 зерен – 41,9 г в среднем, пленчатость – 26,2%, белок в зерне – 13,74%, натурная

Таблица 1. Сорта овса селекции ФАНЦ Северо-Востока в Госреестре РФ 2024 г.**Table 1. Oat cultivars developed by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky in the State Register of the Russian Federation in 2024**

Сорт / Cultivar	Год допуска / Year of admission	Регион допуска* / Region of admission*	Родословная / Pedigree
пленчатые сорта (<i>Avena sativa</i> L.)			
‘Факир’	1995	2, 4	‘Chief’ (США) × ‘Tiger’ (Германия)
‘Аргамак’	1996	1, 2, 3, 4	‘Etzel’ (Германия) × ‘Писаревский’ (Россия)
‘Дэнс’	2002	4, 5, 6, 8	‘Siegfried’ (Германия) × ‘Улов’ (Россия)
‘Фауст’	2002	5, 6	И-1842 из F ₃ (‘Штрих’ × Е-8969) × ‘Скакун’ (Россия)
‘Кречет’	2005	1, 2, 4	‘АС-805’ (Германия) × ‘Siegfried’ (Германия)
‘Гунтер’	2007	1, 4	‘Кировский’ (Россия) × [‘Patnem 61’ (Мексика) × ‘Serbo’ (Швеция)]
‘Эклипс’	2011	3, 4	‘Wilma’ (Нидерланды) × И-2049 (‘Кировский’ × ‘Чек’) (Россия)
‘Медведь’	2016	3, 4	[(‘Adam’ (Чехия) × ‘Rodney Е’ (Чехия)) × ‘Улов’ (Россия)]
‘Сапсан’	2016	3, 4	[‘Freya’ (Швеция) × ‘Улов’ (Россия)] × ‘Улов’ (Россия)
‘Аватар’	2017	5	‘Dolphin’ (Австралия) × IL 85-2069 (США)
‘Бербер’	2019	2	И-3040 и. о. из ‘Аргамак’ (Россия) × ‘Гунтер’ (Россия)
‘Фаленец’	2022	3, 4	‘Буцефал’ (Россия) × ‘Rodgers’ (США)
‘Кировский 2’	2024	2, 3, 4, 5	651h03 [Фауст (Россия) × ‘Manu’ (Германия)] × ‘Конкур’ (Россия)

Примечание: * – регион допуска: 1 – Северный, 2 – Северо-Западный, 3 – Центральный, 4 – Волго-Вятский, 5 – Центрально-Черноземный, 6 – Северо-Кавказский, 8 – Нижневолжский

Note: * – regions of admission: 1 – Northern, 2 – Northwestern, 3 – Central, 4 – Volga-Vyatka, 5 – Central Black Earth, 6 – North Caucasus, 8 – Lower Volga

масса – 575 г/л) и высоким стеблестоем (91,4–104,8 см), что позволяет выращивать его на зерно и кормовую массу.

С 2024 г. включен в Госреестр РФ и допущен в производство новый сорт овса пленчатого ‘Кировский 2’ для выращивания в Северо-Западном (2), Центральном (3), Волго-Вятском (4), Центрально-Черноземном (5) регионах районирования страны как ценный по качеству зерна и кормовой массы. В основе сорта – селекционная линия 651h03, полученная путем скрещивания пленчатого сорта (собственной селекции) ‘Фауст’ с урожайностью 90,4 ц/га, натурной массой зерна 525 г/л, массой 1000 зерен 34,5 г, пленчатостью 25,9%, отобранного на окультуренных и алюмокислых дерново-подзолистых почвах Кировской области, и голозерного образца генофонда ВИР – ‘Manu’ (Германия) – в качестве отцовского компонента. Для повышения продуктивности и крупности зерна отобранной чистой линии применяли насыщение генплазмой пленчатого овса сорта ‘Конкур’ (Россия), сочетающего высокую урожайность зерна с высоким и прочным стеблем. В третьем поколении гибридной популяции выделили элитное растение – линию 325h12 с белым безостым выполненным зерном, которую по результатам конкурсно-экологического сортоиспытания ФАНЦ Северо-Востока (Киров, Фаленки) и Пермского НИИ сельского хозяйства – филиала Пермского научного центра РАН – передали на государственное сортоиспытание (ГСИ).

Урожайность зерна нового сорта, по данным Госсортокомиссии, достигает 86,2 ц/га, по данным конкурсного сортоиспытания ФАНЦ Северо-Востока – 83,1 ц/га, доля зерна в урожае – 51,5%, зерно высокого качества (натурная масса – 573 г/л, пленчатость – 23,4%, масса 1000 зерен – 38,5 г, белка – 11,58%, жира – 5,51%), выход крупы – 61,4% (табл. 2). Средний максимальный за годы ГСИ показатель урожайности – 65,8 ц/га.

Новый сорт ‘Кировский 2’ превосходит распространенный в посевах России сорт ‘Кречет’ селекции ФАНЦ Северо-Востока по урожайности зерна в питомнике конкурсного сортоиспытания на 10,6 ц/га, сбору сухого вещества на 17,8 ц/га, сорт ‘Фаленец’ на 10,0 ц/га, при показателе 74,6 ц/га. Сорт рекомендован к использованию для выращивания фуражного и продовольственного зерна, для получения кормовой массы в чистом виде и в смеси с зернобобовыми и другими зерновыми культурами. В 2018 г. на фоне пониженных температур и интенсивных осадков в период цветения и завязывания семян урожайность нового сорта составила 57,4 ц/га, что на 9,9 ц/га выше показателя сорта ‘Кречет’, ранее использовавшегося в качестве стандарта, и на 4,2 ц/га – сорта ‘Фаленец’. Средняя за 2018–2020 гг. экологического конкурсного сортоиспытания урожайность составила в условиях Фаленской селекционной станции 62,3 ц/га, максимальная – 81,0 ц/га; в экологическом сортоиспытании Пермского НИИСХ новый сорт превысил по урожайности (33,8 ц/га) стандарт – сорт ‘Стайер’ на 6,7 ц/га.

Таблица 2. Некоторые результаты государственного сортоиспытания овса пленчатого сорта 'Кировский 2', 2022–2023 гг.**Table 2.** Some results of the State Variety Trials for covered oat cv. 'Kirovsky 2', 2022–2023

Область, край / Province or Territory	Урожайность, ц/га / Productivity, 100 kg/ha			
	зерна / of grain		ранней продукции / of early produce	
	X	± к st*	X	± к st*
Северо-Западный регион допуска / Northwestern region of admission				
Тверская	39,6	+4,6	–	–
Ярославская	48,2	+3,6	67,2	+6,6
Среднее	40,6	+0,2	51,0	+2,8
Центральный регион допуска / Central region of admission				
Брянская	48,0	+4,4	55,5	+3,9
Калужская	43,0	+3,6	48,4	+4,3
Рязанская	52,6	+4,8	54,5	+5,2
Смоленская	54,2	+6,4	74,6	+3,3
Тульская	55,1	+6,4	94,6	0,0
Среднее	45,4	+4,0	69,4	+3,7
Волго-Вятский регион допуска / Volga-Vyatka region of admission				
Кировская	58,3	+2,5	56,8	+2,4
Нижегородская	51,6	+3,3	–	–
Пермский	47,0	+3,0	60,4	+15,0
Свердловская	48,2	+4,4	–	–
Среднее	48,9	+2,5	53,0	+2,4
Центрально-Черноземный регион допуска / Central Black Earth region of admission				
Белгородская	32,2	+7,3	94,2	+28,6
Орловская	65,8	+1,8	105,6	+9,0
Среднее	51,7	+2,6	85,2	+9,0
Среднее по регионам	46,7	+2,4	64,7	+4,5

Примечание: + к st* – отклонение от стандарта

Note: + к st* – deviation from the reference standard

Сорт 'Кировский 2' имеет крупное (масса 1000 зерен – 38,5 г), ценное по качеству зерно (натура – 573 г/л, пленчатость – 23,4%, жира – 5,51%, белка – 11,58%, выход ядра – 76,6%); зерно хорошо вымолачивается при уборке, выход зерна из снопового образца – 51,5%, при 47,6% у стандарта 'Кречет' и 50,6% у сорта 'Фаленец'. Овес пленчатый 'Кировский 2' устойчив к полеганию и осыпанию, высота растений – 90,7 см (90,1–91,6 см), что на 6,5 см выше показателя стандарта и на 2,4 см – сорта 'Фаленец'. В конкурсном экологическом сортоиспытании Фаленской селекционной станции высота растений нового сорта составила 103,5 см за годы изучения (89,5–110,2 см), у сорта 'Фаленец' – 101,2 см, стандарта 'Кречет' – 93,8 см; масса зерна с метелки составила соответственно 1,65 г; 1,64 г и 1,26 г. Новый сорт превосходит стандарт 'Кречет' по сбору сухого вещества

на 17,8 ц/га, сорт 'Фаленец' – на 10,0 ц/га, при среднем показателе 74,6 ц/га.

Овес пленчатый 'Кировский 2' в условиях естественного развития заболеваний характеризуется практической устойчивостью к пыльной головне и устойчивостью к корончатой ржавчине, в условиях инфекционного фона – слабой восприимчивостью к пыльной головне. За годы изучения поражение ВЖКЯ и фузариозом было слабое, либо отсутствовало. Разновидность нового сорта – var. *mutica*, растение среднерослое, метелка средней длины, двухсторонняя, с полуприподнято-горизонтальным расположением ветвей, колоски пониклые, колосковая чешуя средней длины, со слабым/средним восковым налетом, нижняя цветковая чешуя белая, средней длины, со средним восковым налетом. Тенденция к остистости у первой зерновки слабая.

Средняя урожайность зерна в 2022–2023 гг. изучения на сортоучастках по регионам районирования составила: в Центральном – 45,4 ц/га, в Волго-Вятском – 48,9 ц/га, в Центрально-Черноземном – 51,7 ц/га. В Смоленской области прибавка к среднему стандарту составила 6,4 ц/га, в Нижегородской – 5,2 ц/га, в Курской – 3,7 ц/га при урожайности 54,2 ц/га, 51,6 ц/га и 64,6 ц/га соответственно по областям. Максимальная урожайность зерна – 86,2 ц/га – получена в 2022 г. на ГСУ в Курской области. Средняя за годы ГСИ урожайность зеленой массы в пересчете на сухое вещество в регионах районирования составила: в Северо-Западном – 51,0 ц/га, в Центральном – 69,4 ц/га, в Волго-Вятском – 53,0 ц/га, в Центрально-Черноземном – 85,2 ц/га. В Ярославской области прибавка к среднему стандарту составила 6,6 ц/га, в Смоленской – 3,3 ц/га, в Пермском крае – 15,0 ц/га, в Липецкой области – 9,2 ц/га при урожайности 67,2 ц/га, 74,6 ц/га, 60,4 ц/га и 90,8 ц/га соответственно. Максимальная урожайность зеленой массы в пересчете на сухое вещество – 123,7 ц/га – получена в Орловской области в 2023 г.

Заключение

Таким образом, создан и допущен в производство новый конкурентоспособный сорт овса пленчатого 'Кировский 2' зернокармального направления использования, сочетающий высокую урожайность зерна до 65,8 ц/га и кормовой массы до 113,0 т/га в среднем за годы ГСИ, с высоким качеством зерна (натурная масса – 573 г/л, пленчатость – 23,4%, масса 1000 зерен – 38,5 г, белка в зерне – 11,58% и жира – 5,51%, выход крупы – 61,4%), по данным ФАНЦ Северо-Востока. Новый сорт по результатам ГСИ включен в Госреестр и допущен в производство на зерно и кормовую массу для выращивания в условиях Северо-Западного, Центрального, Волго-Вятского, Центрально-Черноземного регионов России. Сорт 'Кировский 2' на фоне естественного развития заболелый характеризуется практической устойчивостью к корончатой ржавчине, в условиях инфекционного фона – слабой восприимчивостью к пыльной головне, толерантен к повреждению шведской мухой, слабо поражается ВЖКЯ. Наряду с использованием в производстве для получения зерна и кормовой массы, в том числе в смешанных посевах с зернобобовыми культурами, новый сорт овса пленчатого 'Кировский 2' актуален для использования в целях пищевой переработки и в качестве источника в селекционных программах.

Патентообладатели нового сорта – ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Север-Востока им. Н.В. Рудницкого» и ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр ФИЦ УрО РАН».

References / Литература

Akulov A. Volumes of oat exports from Russia have skyrocketed (Obъemy vyvoza ovsa iz Rossii vzleteli). Lenta.ru; 2024. [in Russian] (Акулов А. Объемы вывоза овса из России взлетели. Lenta.ru; 2024). URL: <https://lenta.ru/news/2024/03/13/vyvoz-ovsa-iz-rossii-vzletel/> [дата обращения: 16.12.2024].

Barcho M.Kh., Denisenko K.M., Salo A.D., Utkin A.I. Ensuring food security of the Russian Federation in the conditions of sanctions. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2023;1(54):51-56. [in Russian] (Барчо М.Х., Денисенко К.М., Сало А.Д., Уткин А.И. Обеспечение продо-

вольственной безопасности Российской Федерации в условиях действия санкций. *Вестник Академии знаний*. 2023;1(54):51-56).

Batalova G.A. Utilization of oat and products of its processing in nutrition, folk medicine, and cosmetics (Ispolzovaniye ovsa i produktov yego pererabotki v pitanii, narodnoy meditsine i kosmetike). Kirov: Research Institute of Agriculture of the North-East; 2009. [in Russian] (Баталова Г.А. Использование овса и продуктов его переработки в питании, народной медицине и косметике. Киров: НИИСК Северо-Востока; 2009).

Crop cultivation areas in Russia, data for 2024 (Posevnyye ploshchadi selskokhozyaystvennykh kultur v Rossii, daniye na 2024 god). AB-Centre.ru; 2024. [in Russian] (Посевные площади сельскохозяйственных культур в России, данные на 2024 год. AB-Centre.ru; 2024). URL: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploshchadi-nekotorykh-klyuchevykh-selskokhozyaystvennykh-kultur-v-rossii-dannyye-na-2024-god> [дата обращения: 16.12.2024].

Cultivated areas in the Russian Federation in 2024 (Posevnyye ploshchadi Rossiyskoy Federatsii v 2024 godu). Moscow: Rosstat; 2024. [in Russian] (Посевные площади Российской Федерации в 2024 году. Москва: Росстат; 2024). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2024.xlsx [дата обращения: 16.12.2024].

Grain market in the Russian Federation: Russia's place in the world, export prospects, and stakeholders (Rynok zerna v RF: mesto Rossii v mire, perspektivy eksporta, krupneyshie igroki). Delprof.ru; 2024. [in Russian] (Рынок зерна в РФ: место России в мире, перспективы экспорта, крупнейшие игроки. Delprof.ru; 2024). URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-zerna-v-rf-mesto-rossii-v-mire-perspektivy-eksporta-krupneyshie-igroki/> [дата обращения: 16.12.2024].

Lazarevich A.N., Lesnov A.P. Straw in the farm animal rations: recommendations (Soloma v ratsionakh selskokhozyaystvennykh zhivotnykh: rekomendatsii). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Research Institute of Animal Husbandry; 2016. [in Russian] (Лазаревич А.Н., Леснов А.П. Солома в рационах сельскохозяйственных животных: рекомендации. Красноярск: Красноярский НИИ животноводства; 2016).

Loskutov I. Oats – the past, the present and the future. *Khleboproducty = Bread Products*. 2007a;(5):52-54. [in Russian] (Лоскутов И. Овес – прошлое, настоящее и будущее. *Хлебопродукты*. 2007a;(5):52-54).

Loskutov I. Oats – the past, the present and the future. Finished. *Khleboproducty = Bread Products*. 2007b;(6):50-52. [in Russian] (Лоскутов И. Овес – прошлое, настоящее и будущее. Окончание. *Хлебопродукты*. 2007b;(6):50-52).

Loskutov I.G. Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus

Medvedeva A. The European Union is giving up its positions on wheat and is betting on oats (Yevrosoyuz sdayet pozitsii po pshenitse i deleyet stavku na oves). AgroXXI.ru; 2024. [in Russian] (Медведева А. Евросоюз сдает позиции по пшенице и делает ставку на овес. AgroXXI.ru; 2024). URL: <https://www.agroxxi.ru/mirovye-agronovosti/>

- evrosoyuz-sdaet-pozicii-po-pshenice-i-delaet-stavku-na-oves.html [дата обращения: 16.12.2024].
- Meledina T.V., Matveev I.V., Fedorov A.V. Unmalted materials in brewing: a manual (Nesolozhennye materialy v pivovarenii: uchebnoye posobiye). St. Petersburg: ITMO University; 2017. [in Russian] (Меледина Т.В., Матвеев И.В., Федоров А.В. Несоложенные материалы в пивоварении: учебное пособие. Санкт-Петербург: Университет ИТМО; 2017).
- Oats. Its varieties and features (Oves. Yego raznovidnosti i osobennosti). [in Russian] (Овес. Его разновидности и особенности). URL: <https://vk.com/@-196954611-oves-yego-raznovidnosti-i-osobennosti> [дата обращения: 16.12.2024].
- Petrovavlovsky M.F. Cultivated oats of the USSR (Vozdelyvayemye ovsy SSSR). Leningrad: Institute of Plant Industry; 1931. [in Russian] (Петропавловский М.Ф. Возделываемые овсы СССР. Ленинград: Институт растениеводства; 1931).
- Protasov A. Oat exports may grow up to 500 thousand tons by 2030 (Eksport ovsa mozhet vyrasti do 500 tys. tonn k 2030 godu). Sfera.fm; 2024. [in Russian] (Протасов А. Экспорт овса может вырасти до 500 тыс. тонн к 2030 году. Sfera.fm; 2024). URL: <https://sfera.fm/news/zernovye/eksport-ovsa-mozhet-vyrasti-do-500-tys-tonn-k-2030-godu> [дата обращения: 16.12.2024].
- Rating of regions by grain harvest in 2023 (in general and by species) (Reyting regionov po urozhayu zerna v 2023 g. [v tselom i po vidam]). Sdelanounas.ru; 2024. [in Russian] (Рейтинг регионов по урожаю зерна в 2023 г. (в целом и по видам). Sdelanounas.ru; 2024). URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/158306/> [дата обращения: 16.12.2024].
- Russian oat market: comprehensive analysis (Rossiyskiy rynek ovsa: kompleksny analiz). AB-Centre.ru; 2024. [in Russian] (Российский рынок овса: комплексный анализ. AB-Centre.ru; 2024). URL: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynek-ovsa-kompleksnyy-analiz> [дата обращения: 16.12.2024].
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage. Volume 1. Plant varieties: [website]. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений: [сайт]). URL: <https://gossortrf.ru/registry/> [дата обращения: 16.12.2024].
- Top oat cultivars for 2023 (Top sortov ovsa za 2023 god). DIRECT.FARM; 2024. [in Russian] (Топ сортов овса за 2023 год. DIRECT.FARM; 2024). URL: <https://direct.farm/post/top-sortov-ovsa-za-2023-god-13400> [дата обращения: 16.12.2024].
- Wani S.A., Rouf S.T., Bazaria B., Nayik G.A., Gull A., Muzaffar K. et al. Oats as a functional food: a review. *Universal Journal of Pharmacy*. 2014;3(1):14-20.

Информация об авторах

Галина Аркадьевна Баталова, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель директора, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, g.batalova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, доцент, 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, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Information about the authors

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

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, 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, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

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 23.12.2024; одобрена после рецензирования 12.02.2025; принята к публикации 30.03.2025. The article was submitted on 23.12.2024; approved after reviewing on 12.02.2025; accepted for publication on 30.03.2025.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 631.52:633.853.494
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-121-127



Новый селекционный материал рапса озимого (*Brassica napus* L.) с повышенной урожайностью и высоким содержанием олеиновой кислоты в масле семян

А. А. Голова, Л. А. Горлова, С. Г. Ефименко

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алёна Александровна Голова, lelyk96@mail.ru

Актуальность. Создание сортов рапса с высоким содержанием олеиновой кислоты в масле семян является важной целью селекционных программ рапса во всем мире, однако урожайность высокоолеиновых линий и сортов уступает урожайности традиционных высокопродуктивных сортов и гибридов. Получение рапса озимого, сочетающего высокие показатели олеиновой кислоты и урожайности, позволит в большей степени финансово заинтересовать сельхозтоваропроизводителей в выращивании высокоолеиновых сортов для наращивания объемов производства полезных продуктов.

Материалы и методы. В работе изучены растения поколений S_3 и S_4 от скрещивания линий из сортов 'Селегор' и 'Сармат' с обычным содержанием олеиновой кислоты (60–63%) и высокоолеиновых линий ВН-1844 и ВН-1848 глубокого поколения инбридинга (S_{14}), содержащих 79–81% омеги-9. Хозяйственная оценка проводилась в контрольном питомнике и питомнике оценки потомств в сезоне 2023/2024 г. Жирнокислотный состав определяли на приборе MATRIX-I Bruker Optics.

Результаты. В 2023 г. выделили лучшие линии с высокой урожайностью (4,64–5,00 т/га), высоким уровнем олеиновой кислоты (78,1–80,2%) и масла (47,9–50,1%), укороченным на 2–6 суток вегетационным периодом и невысоким (13,0–17,6 мкмоль/г) содержанием глюкозинолатов. В условиях 2024 г. лучшие линии по урожайности превосходили как высокоолеиновый сорт 'Оливин' (на 0,22–1,02 т/га), так и сорт-стандарт 'Лорис' (на 0,05–0,70 т/га). Рекомбинантные линии характеризовались высоким содержанием олеиновой кислоты (78,1–80,0%) и масла (49,6–51,6%), оптимальным содержанием глюкозинолатов (14,4–20,7 мкмоль/г) и укороченным на 1–6 суток вегетационным периодом.

Заключение. Выделенные линии пройдут тестирование в питомниках предварительного, конкурсного и экологического сортоиспытания и будут использованы в качестве родительских компонентов при создании ЦМС-гибридов.

Ключевые слова: линии, внутривидовая гибридизация, оценка, жирные кислоты, вегетационный период, содержание масла, глюкозинолаты

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания FGRU-2024-0006 «Создать высокоурожайные, адаптивные, технологичные сорта озимых и яровых масличных культур семейства капустные с совокупностью хозяйственно полезных признаков на основе исходного материала, выведенных с использованием классических и современных методов селекции».

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

Для цитирования: Голова А.А., Горлова Л.А., Ефименко С.Г. Новый селекционный материал рапса озимого (*Brassica napus* L.) с повышенной урожайностью и высоким содержанием олеиновой кислоты в масле семян. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):121-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-121-127

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-121-127

New breeding material of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with increased yield and high oleic acid content in seed oil

Alena A. Golova, Lyudmila A. Gorlova, Sergey G. Efimenko

Federal Research Center "All-Russia Research Institute of Oil Crops by V.S. Pustovoi", Krasnodar, Russia

Corresponding author: Alena A. Golova, lelyk96@mail.ru

Background. The development of rapeseed cultivars with higher oleic acid content in seed oil is an important goal of rapeseed breeding programs worldwide, but the yield of high-oleic lines and cultivars is lower than that of traditional high-yielding cultivars and hybrids. Obtaining winter rapeseed that would combine high oleic acid and yield indicators will allow agricultural producers to be more financially interested in growing high-oleic cultivars to increase the production of useful products.

Materials and methods. The study involved S_3 and S_4 generation plants from crosses between lines from cvs. 'Selegor' and 'Sarmat' with normal oleic acid content (60–63%), and high-oleic lines VN-1844 and VN-1848 from a deep inbreeding generation (S_{14}) containing 79–81% of omega-9. Agronomic assessment was carried out in the control nursery and the progeny evaluation nursery in 2023/2024. The fatty acid composition was measured on a MATRIX-I Bruker Optics device.

Results. In 2023, the best lines were identified for their high yields (4.64–5.00 t/ha), high levels of oleic acid (78.1–80.2%) and oil (47.9–50.1%), a shortened growing season (by 2–6 days), and low glucosinolate content (13.0–17.6 mmol/g). Under the 2024 conditions, the best lines surpassed in their yield both the high-oleic cv. 'Olivin' (by 0.22–1.02 t/ha) and the reference cv. 'Loris' (by 0.05–0.70 t/ha). The recombinant lines were characterized by high levels of oleic acid (78.1–80.0%) and oil (49.6–51.6%), optimal content of glucosinolates (14.4–20.7 mmol/g), and a shortened growing season (by 1–6 days).

Conclusion. The selected lines will be tested in nurseries in the framework of preliminary, competitive, and environmental variety trials, and used as parent components in the production of CMS hybrids.

Keywords: lines, intraspecific hybridization, evaluation, fatty acids, growing season, oil content, glucosinolates

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state task FGRU-2024-0006 "To develop high-yielding, adaptable and easily producible cultivars of winter and spring oilseed crops of the crucifer family with a set of useful agronomic traits, based on the source material obtained through the use of classical and modern plant breeding techniques".

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

For citation: Golova A.A., Gorlova L.A., Efimenko S.G. New breeding material of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with increased yield and high oleic acid content in seed oil. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):121-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-121-127

Введение

Растительные масла подсолнечника, рапса, сои и сафлора с высоким содержанием олеиновой кислоты становятся все более популярными источниками оксистероидного и полезного масла на рынках Европы, Австралии и Северной Америки (Nath et al., 2016). С повышением уровня жизни спрос на пищевое растительное масло улучшенного качества растет с каждым годом. В прошлом линолевая и линоленовая кислоты считались незаменимыми жирными кислотами для человеческого организма, поэтому они привлекали большое внимание (Kim et al., 2013). Недавние исследования показывают, что олеиновая кислота является не менее важной ненасыщенной жирной кислотой (Picklo et al., 2016). Преимущество высокоолеинового масла заключается в сочетании низкого содержания насыщенных жирных кислот и возможности его многократного использования в обжаривании продуктов питания при высокой температуре без потери вкусовых качеств и без вреда для здоровья (Kaur et al., 2020).

Кроме того, в последние годы наблюдается растущий интерес к использованию растительных масел с высоким содержанием олеиновой кислоты и низким содержанием линоленовой в качестве возобновляемого сырья для производства биотоплива (Nath et al., 2016).

Создание селекционного материала рапса с высоким содержанием олеиновой кислоты является важной целью селекционных программ по этой культуре во всем мире. Однако все мутантные линии изначально показывали невысокую селекционную ценность и характеризовались низкой урожайностью и зимостойкостью, высоким содержанием глюкозинолатов (Srasibionek et al., 2020). Результаты исследований иностранных селекционеров показали, что признак содержания олеиновой кислоты имеет значительную отрицательную корреляцию с урожайностью (Chang et al., 2022).

Достижением многолетней работы селекционеров и биохимиков Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) стал первый высокоолеиновый отечественный сорт рапса озимого 'Оливин', в масле семян которого содержится около 79% олеиновой кислоты, однако потенциальная урожайность этого сорта несколько уступает традиционным высокоурожайным сортам. Вегетационный период сорта 'Оливин' существенно длиннее в сравнении с коммерческими сортами и гибридами рапса озимого, что также является нежелательным фактором (Bochkaryova et al., 2020). Дальнейшая селекция была направлена на получение нового селекционного материала с повышенной урожайностью и высоким содержанием омега-9 в масле семян рапса озимого. С этой целью провели реципрокные скрещивания высокопродуктивных линий с высокоолеиновыми, а также беккроссирование и отбор полученных биотипов при самоопылении (Golova, 2023). Лучшие по заданным характеристикам рекомбинантные линии проходили хозяйственную оценку в поле.

Целью данного исследования являлась оценка полученных линий S_3 и S_4 в питомниках разного уровня по комплексу хозяйственно ценных признаков и выделение лучших высокоолеиновых линий для дальнейшего тестирования в питомниках предварительного, конкурсного и экологического испытания, а также их использования в создании гетерозисных высокоолеиновых гибридов.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2023 и 2024 г. в условиях центральной зоны Краснодарского края. Изучали растения поколений S_3 и S_4 от скрещиваний линий из сортов 'Селегор' и 'Сармат' с обычным содержанием олеиновой кислоты (60–63%) и высокоолеиновых линий ВН-1844 и ВН-1848 глубокого поколения инбридинга (S_{14}) из сорта 'Оливин', содержащих 79–81% омега-9 в масле семян. Хозяйственную оценку проводили в питомнике оценки потомств на двухрядных делянках площадью 2,25 м² и в контрольном питомнике с четырехрядными делянками площадью 7,5 м² в двукратной повторности. Во время вегетационного периода выполняли фенологические наблюдения и учеты. В фазу цветения лучшие по фенотипу растения были закрыты индивидуальными изоляторами из агроспанбонда. Для дальнейшей работы отбирали семена, завязавшиеся при самоопылении под изолятором. Весь материал проходил оценку на содержание: масла, олеиновой кислоты в масле семян и глюкозинолатов с помощью ИК-спектрометрии на приборе MATRIX-I Bruker Optics в целых семенах средней пробы (9–20 г) в кювете диаметром 51 мм в программе OPUS LAB (Efimenko et al., 2023). Посев и уборку проводили специализированной селекционно-семеноводческой техникой Wintersteiger.

Погодные условия для роста и развития растений рапса озимого в сезоне 2022/2023 г. были удовлетворительными. Средние температуры воздуха с декабря по март находились на уровне +5,4 °C и –2,1 °C соответственно. Минимальные температуры наблюдались в конце первой декады января и составляли –16,0 °C без снежного покрова. Условия весенней вегетации для озимых капустных складывались благоприятно. Прохладные температуры воздуха, обильные осадки апреля и мая позволили растениям озимых масличных капустных реализовать потенциал продуктивности благодаря их способности к самоопылению.

В сезоне 2023/2024 г. средние температуры воздуха с декабря по февраль находились на уровне +6,4 °C и +1,7 °C соответственно. Минимальные температуры наблюдались в конце первой декады и в третьей декаде января (–12,3 °C и –12,7 °C соответственно), в первой декаде января – со снежным покровом, во второй декаде – без снежного покрова. С начала ноября по конец февраля выпало 385 мм осадков, что на 54% больше нормы: это привело к переувлажнению и переуплотнению почвы. Такие стрессовые условия вызвали нарушение развития корневой системы и отмирание надземной биомассы растений рапса. Также наблюдалось выпирание корневой шейки.

Результаты

В 2023 г. из 35 изученных рекомбинантных линий S_3 в питомнике оценки потомств выделили 7 лучших линий, которые превосходили по урожайности на 0,48–0,80 т/га высокоолеиновый сорт 'Оливин'. Они характеризовались аналогичным или более высоким уровнем олеиновой кислоты (78,1–81,8%), масличности (47,4–49,2%) и невысоким содержанием глюкозинолатов в семенах – 14,5–17,6 мкмоль/г (табл. 1).

В условиях 2023 г. из 33 изучаемых линий S_3 в контрольном питомнике были выделены две, которые существенно превосходили (на 0,35–0,79 т/га) высокоолеиновый сорт 'Оливин' по урожайности. Весь выделенный материал характеризовался аналогичным уровнем олеино-

Таблица 1. Характеристика высокоолеиновых линий рапса озимого в питомнике оценки потомств, 2022/2023 гг.**Table 1. Characteristics of high-oleic winter rapeseed lines in the progeny evaluation nursery, 2022/2023**

Линия	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, т/га	Масличность, %	Содержание	
					олеиновой кислоты, %	глюкозинолатов, мкмоль/г
ВН-2147/23	ВН-1844 × 'Сармат'	269	4,68	49,2	80,2	14,5
ВН-2148/23		267	4,72	48,9	79,6	15,6
ВН-2149/23		267	4,89	48,4	79,0	17,6
ВН-2150/23	ВН-1848 × 'Сармат'	271	4,90	47,9	79,6	15,3
ВН-2153/23	'Сармат' × ВН-1848	265	4,86	47,9	78,6	17,3
ВН-2154/23	'Сармат' × ВН-1848	266	4,78	49,4	78,1	16,7
ВН-2165/23	'Селегор' × ВН-1848	268	5,00	47,4	81,8	17,0
'Оливин'	высокоолеиновый стандарт	271	4,20	47,8	78,5	14,8
'Лорис'	стандарт	266	5,04	47,1	64,5	17,0

вой кислоты (79,2–80,1%), более высоким уровнем масличности (49,1–50,1%) и невысоким содержанием глюкозинолатов в семенах – 13,0–15,2 мкмоль/г. Продолжительность вегетационного периода лучших линий питомника составляла 264 и 266 суток (табл. 2).

Высокоолеиновая линия ВН-1103/23 не имела существенных отличий по урожайности от традиционного высокопродуктивного сорта 'Лорис', превосходила его по масличности на 3,0%, содержанию олеиновой кислоты на 13,3%. По продолжительности вегетационного периода и содержанию глюкозинолатов в семенах ВН-1103/23 находилась на уровне сорта-стандарта.

Высокоолеиновая линия ВН-1100/23 превосходила 'Лорис' по масличности на 2,0%, содержанию олеиновой кислоты на 14,2%. По продолжительности вегетационного периода и содержанию глюкозинолатов в семенах ВН-1100/23 находилась на уровне сорта-стандарта, однако существенно уступала ему по урожайности (на 0,44 т/га) (см. табл. 2).

Для того чтобы не допустить попадания чужой пыльцы на цветки высокоолеиновых растений, все изучаемые

высокоолеиновые линии в фазу «начало цветения» были укрыты индивидуальными изоляторами из агроспан-бонда. После комплексной оценки полученные от самоопыления семена высокоолеиновых линий были высеяны в сезоне 2023/2024 гг. в питомниках оценки потомств и контрольном питомнике с другой нумерацией.

В 2024 г. из 21 рекомбинантных линий S_4 в питомнике оценки потомств выделили 5 линий, которые превзошли (на 0,37–1,02 т/га) высокоолеиновый сорт 'Оливин' по урожайности семян. Лучшие линии характеризовались более высоким (на 0,3–0,9%) содержанием олеиновой кислоты и масла (на 0,9–1,4%). Уровень глюкозинолатов в семенах составлял 14,7–20,5 мкмоль/г. Продолжительность вегетационного периода выделившихся линий питомника варьировала от 241 до 244 суток (табл. 3).

Все лучшие высокоолеиновые линии питомника оценки потомств 2024 г. превосходили по урожайности на 0,05–0,70 т/га высокопродуктивный сорт-стандарт 'Лорис'. Они характеризовались более высокой масличностью (на 1,0–1,5%), повышенным уровнем олеиновой

Таблица 2. Характеристика высокоолеиновых линий рапса озимого в контрольном питомнике, 2022/2023 гг.**Table 2. Characteristics of high-oleic winter rapeseed lines in the control nursery, 2022/2023**

Линия	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, т/га	Масличность, %	Содержание	
					олеиновой кислоты, %	глюкозинолатов, мкмоль/г
ВН-1100/23	ВН-1844 × 'Сармат'	266	4,64	49,1	80,1	13,0
ВН-1103/23	'Сармат' × ВН-1848	264	4,88	50,1	79,2	15,2
'Оливин'	высокоолеиновый стандарт	270	4,09	47,7	79,5	11,9
'Лорис'	стандарт	264	5,08	47,1	65,9	13,7
НСР ₀₅		4	0,30	1,5	1,0	3,9

Таблица 3. Характеристика высокоолеиновых линий рапса озимого в питомнике оценки потомств, 2023/2024 гг.**Table 3. Characteristics of high-oleic winter rapeseed lines in the progeny evaluation nursery, 2023/2024**

Линия	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, т/га	Масличность, %	Содержание	
					олеиновой кислоты, %	глюкозинолатов, мкмоль/г
ВН-1778/24	‘Сармат’ × ВН-1848	242	2,35	49,0	78,1	14,7
ВН-1785/24	ВН-1848 × ‘Сармат’	242	2,28	50,1	78,6	20,7
ВН-1787/24		244	2,36	49,8	79,2	20,5
ВН-1844/24	ВН-1848 × ‘Селегор’	241	2,03	49,6	78,9	18,6
ВН-1845/24		241	1,71	49,6	79,0	20,5
‘Оливин’	высокоолеиновый стандарт	244	1,34	48,7	78,3	18,4
‘Лорис’	стандарт	240	1,66	48,6	64,3	19,0

кислоты (на 13,3–14,9%) и не различались по содержанию глюкозинолатов в семенах (14,7–20,7 мкмоль/г). Продолжительность вегетационного периода новых высокоолеиновых линий отличалась на 1–2 суток от сорта-стандарта, кроме линии ВН-1787/24 (на 4 суток) (см. табл. 3).

В условиях 2024 г. из 15 исследуемых линий S_4 в контрольном питомнике выделились 8, которые существенно превосходили (на 0,22–0,74 т/га) высокоолеиновый сорт ‘Оливин’ по урожайности семян. Они сочетали высокий уровень олеиновой кислоты (78,5–80,0%), повышенную на 0,3–1,8% масличность и невысокое содержание глюкозинолатов в семенах – 13,9–19,6 мкмоль/г.

Продолжительность вегетационного периода лучших линий питомника составляла 238–244 суток (табл. 4).

Неблагоприятные условия перезимовки 2024 г., а именно переувлажнение почвы в осенне-зимний период и, как следствие, вымокание, выпирание и переуплотнение почвы, позволили оценить селекционный материал на устойчивость к данному рода явлениям. Выделенные высокоолеиновые линии продемонстрировали более высокую стрессоустойчивость и адаптивность, превысив по урожайности сорт-стандарт ‘Лорис’ на 0,05–0,57 т/га в контрольном питомнике 2024 г. Перспективные линии характеризовались более высокой масличностью (на 0,3–1,8%) и повышенным содержанием

Таблица 4. Характеристика высокоолеиновых линий рапса озимого в контрольном питомнике, 2024 г.**Table 4. Characteristics of high-oleic winter rapeseed lines in the control nursery, 2024**

Линия	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, т/га	Масличность, %	Содержание	
					олеиновой кислоты, %	глюкозинолатов, мкмоль/г
ВН-879/24	ВН-1844 × ‘Сармат’	243	2,07	50,7	79,0	16,6
ВН-880/24		244	2,16	50,2	79,6	16,2
ВН-883/24	‘Селегор’ × ВН-1844	238	2,09	51,1	79,0	14,6
ВН-884/24	‘Селегор’ × ВН-1844	240	2,21	50,5	79,9	14,4
ВН-885/24		240	2,46	51,2	78,7	16,1
ВН-888/24	ВН-1848 × ‘Селегор’	244	2,53	51,6	78,6	19,6
ВН-889/24	‘Сармат’ × ВН-1848	242	2,15	51,5	78,5	18,1
ВН-904/24		242	2,59	50,1	80,0	13,9
‘Оливин’	высокоолеиновый стандарт	244	1,85	49,8	79,5	15,9
‘Лорис’	стандарт	241	2,02	49,8	64,9	19,1
НСР ₀₅		4	0,22	0,5	0,3	2,4

ем олеиновой кислоты (на 13,7–15,1%). По продолжительности вегетационного периода и содержанию глюкозинолатов в семенах новые высокоолеиновые линии находились на уровне сорта-стандарта (см. табл. 4).

Обсуждение

Во ВНИИМК селекция рапса озимого с повышенным содержанием олеиновой кислоты в масле семян началась в 2002 г., когда были обнаружены спонтанные мутанты с высоким содержанием омеги-9 (69,6–69,7%) и пониженным содержанием омеги-3 (5,4–6,9%). Используя мутанты с повышенным содержанием олеиновой кислоты, дальнейшую внутривидовую гибридизацию и индивидуальный отбор самоопыленных растений, получили высокоолеиновые линии рапса озимого с урожайностью семян либо на уровне сорта-стандарта, либо ниже. Причиной сниженной семенной продуктивности высокоолеиновых линий являлось меньшее число стручков на растении и меньшая масса 1000 семян (Gorlova et al., 2016). В 2020 г. в Государственную комиссию по испытанию и охране селекционных достижений был передан первый отечественный сорт рапса озимого 'Оливин' с высоким (79,5%) содержанием олеиновой кислоты, но характеризующийся пониженной (на 12–15%) урожайностью.

В результате внутривидовой гибридизации высокоолеиновых и высокопродуктивных линий рапса озимого, возвратных скрещиваний и самоопыления удалось получить широкую линейку рекомбинантных линий с комплексом хозяйственно ценных признаков и закрепленным признаком высокого содержания олеиновой кислоты в масле семян. Линии, полученные в результате реципрокных скрещиваний, оказались более успешными в сравнении с линиями, созданными в результате беккроссирования высокоолеиновым или высокоурожайным родителем.

Оценка лучших реципрокных комбинаций в условиях 2024 г. показала их преимущество перед сортом-стандартом 'Лорис' в питомниках оценки потомств и контрольном питомнике по урожайности в среднем на 0,49 и 0,26 т/га соответственно. По масличности и содержанию олеиновой кислоты в масле семян выделенные линии превосходили стандарт на 1,0–1,1% и 14,5–14,3% соответственно. Продолжительность вегетационного периода и количество глюкозинолатов в семенах лучших высокоолеиновых линий были на уровне сорта 'Лорис'.

Наиболее перспективные линии пройдут тестирование в питомнике предварительного, конкурсного и экологического сортоиспытания. Выделенные высокоолеиновые линии используют в качестве родительских компонентов при создании гетерозисных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности.

Заключение

В результате оценки в 2023 г. в питомниках разного уровня выделены лучшие линии с высокой урожайностью (4,64–5,00 т/га), высоким уровнем олеиновой кислоты (78,1–80,2%) и масла (47,9–50,1%), укороченным на 2–6 суток вегетационным периодом и невысоким (13,0–17,6 мкмоль/г) содержанием глюкозинолатов в семенах. В условиях 2024 г. лучшие линии по урожайности превосходили как высокоолеиновый сорт 'Оливин' (на 0,22–1,02 т/га), так и сорт-стандарт 'Лорис' (на 0,05–0,70 т/га). Рекомбинантные линии характеризовались высоким со-

держанием олеиновой кислоты (78,1–80,0%) и масла (49,6–51,6%), оптимальным содержанием глюкозинолатов (14,4–20,7 мкмоль/г) и укороченным на 1–6 суток вегетационным периодом. Выделенные линии будут испытаны в старших питомниках предварительного, конкурсного и экологического сортоиспытания и использованы в качестве родительских компонентов при создании ЦМС гибридов.

References / Литература

- Bochkaryova E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A., Efimenko S.G. A variety of high oleic winter rapeseed Olivin. *Oil Crops*. 2020;2(182):154-157. [in Russian] (Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Ефименко С.Г. Сорт высокоолеинового рапса озимого Оливин. *Масличные культуры*. 2020;2(182):154-157). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-54-157
- Chang T., Wu J., Wu X., Yao M., Zhao D., Guan C. et al. Comprehensive evaluation of high-oleic rapeseed (*Brassica napus*) based on quality, resistance, and yield traits: A new method for rapid identification of high-oleic acid rapeseed germplasm. *PLoS One*. 2022;17(8):e0272798. DOI: 10.1371/journal.pone.0272798
- Efimenko S.G., Efimenko S.K., Usatenko L.O. The determination of oil content and the main fatty acid contents in oil of winter rapeseed seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops*. 2023;2(194):40-50. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Усатенко Л.О. Определение содержания масла и основных жирных кислот семян рапса озимого с помощью ИК-спектроскопии. *Масличные культуры*. 2023;2(194):40-50). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-40-50
- Golova A.A. Inheritance of the trait of high oleic acid content in F_2 and generation BC_1 of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Oil Crops*. 2023;2(194):28-33. [in Russian] (Голова А.А. Наследование признака высокого содержания олеиновой кислоты в масле семян F_2 и поколения BC_1 рапса озимого (*Brassica napus* L.). *Масличные культуры*. 2023;2(194):28-33). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-28-33
- Gorlova L.A., Bochkaryova E.B., Serdyuk V.V. High-oleic low-linolenic lines of winter rapeseed selected by VNIIMK. In: *Rapeseed: Present and Future (to the 30th anniversary of rapeseed cultivation in Belarus): materials of the III International Scientific and Practical Conference; Zhodino; 15–16 September 2016*. Minsk; 2016. p.18-21. [in Russian] (Горлова Л.А., Бочкарева Э.Б., Сердюк В.В. Высокоолеиновые низколиноленовые линии рапса озимого селекции ВНИИМК. В кн.: *Рапс: настоящее и будущее (к 30-летию возделывания рапса в Беларуси): материалы III Международной научно-практической конференции; г. Жодино; 15–16 сентября, 2016 г.* Минск; 2016. С.18-21).
- Kaur H., Wang L., Stawniak N., Sloan R., van Erp H., Eastmond P. et al. The impact of reducing fatty acid desaturation on the composition and thermal stability of rapeseed oil. *Plant Biotechnology Journal*. 2020;18(4):983-991. DOI: 10.1111/pbi.13263
- Kim Y., Kelly O.J., Ilich J.Z. Synergism of α -linolenic acid, conjugated linoleic acid and calcium in decreasing adipocyte and increasing osteoblast cell growth. *Lipids*. 2013;48(8):787-802. DOI: 10.1007/s11745-013-3803-5
- Nath U.K., Kim H.T., Khatun K., Park J.I., Kang K.K., Nou I.S. Modification of fatty acid profiles of rapeseed (*Brassica napus* L.) oil for using as food, industrial feed-stock and

- biodiesel. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2016;4(2):123-134. DOI: 10.9787/PBB.2016.4.2.123
- Picklo M.J., Murphy E.J. A high-fat, high-oleic diet, but not a high-fat, saturated diet, reduces hepatic α -linolenic acid and eicosapentaenoic acid content in mice. *Lipids*. 2016;51(5):537-547. DOI: 10.1007/s11745-015-4106-9
- Spasibionek S., Mikołajczyk K., Ćwiek-Kupczyńska H., Piętka T., Krótka K., Matuszczak M. et al. Marker assisted selection of new high oleic and low linolenic winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) inbred lines revealing good agricultural value. *PLoS One*. 2020;15(6):e0233959. DOI: 10.1371/journal.pone.0233959

Информация об авторах

Алёна Александровна Голова, научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», 350038 Россия, Краснодар, ул. Филатова, 17, lelyk96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2540-5242>

Людмила Анатольевна Горлова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», 350038 Россия, Краснодар, ул. Филатова, 17, lagorlova26@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0987-5087>

Сергей Григорьевич Ефименко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», 350038 Россия, Краснодар, ул. Филатова, 17, biohim@vniimk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8068-6668>

Information about the authors

Alena A. Golova, Researcher, Federal Research Center "All-Russia Research Institute of Oil Crops by V.S. Pustovoit", 17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia, lelyk96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2540-5242>

Lyudmila A. Gorlova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Research Center "All-Russia Research Institute of Oil Crops by V.S. Pustovoit", 17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia, lagorlova26@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0987-5087>

Sergey G. Efimenko, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Leading Researcher, Federal Research Center "All-Russia Research Institute of Oil Crops by V.S. Pustovoit", 17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia, biohim@vniimk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8068-6668>

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 19.12.2024; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 19.03.2025. The article was submitted on 19.12.2024; approved after reviewing on 20.02.2025; accepted for publication on 19.03.2025.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 633.16:58.084.5
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-128-137



Адаптивный потенциал ячменя при токсичном воздействии кадмия в различных условиях оценки

Е. В. Товстик^{1,2}, О. Н. Шуплецова¹, Л. В. Панихина¹, Ю. А. Злобина¹

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

² Вятский государственный университет, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгения Владимировна Товстик, tovstik2006@inbox.ru

Актуальность. Определение уровня совместимости реакции генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) на токсичность кадмия в различных тест-системах актуально для повышения объективности оценки их стрессоустойчивости. Цель работы заключалась в сравнительном анализе устойчивости ячменя к кадмию в лабораторных и вегетационных опытах.

Материалы и методы. Объектами исследования служили 9 сортов ячменя различного эколого-географического происхождения. Оценка устойчивости сортов к кадмию проводили в рулонной культуре. Полученные данные сопоставляли с результатами вегетационного опыта.

Результаты и заключение. Токсический эффект 20 и 50 мг/дм³ Cd²⁺ проявлялся в снижении длины корней и ростков проростков ячменя, а также асинхронности их роста. Сорта ячменя с более высокой урожайностью в условиях кадмиевого стресса, характеризовались большим содержанием свободных фенольных соединений (ФС) в корнях и ростках, а также общим содержанием ФС в ростках. Наличие взаимосвязи между уровнем накопления ФС в корнях и индексом длины корня, а также между накоплением ФС в проростках и урожайностью указывает на потенциальную ценность ФС в отборе устойчивых к кадмию сортов ячменя.

Ключевые слова: стресс, устойчивость, корень, росток, фенольные соединения, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого по теме № FNWE-2025-0008 «Разработка новых биотехнологических методов создания перспективных генотипов сельскохозяйственных культур со стабильной продуктивностью, толерантных к абиотическим стрессорам, получение нового исходного материала регенерантного происхождения для селекции адаптивных сортов растений».

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

Для цитирования: Товстик Е.В., Шуплецова О.Н., Панихина Л.В., Злобина Ю.А. Адаптивный потенциал ячменя при токсичном воздействии кадмия в различных условиях оценки. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):128-137. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-128-137

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-128-137

Adaptive potential of barley under toxic impact of cadmium in various conditions of assessmentEvgeniya V. Tovstik^{1,2}, Olga N. Shupletsova¹, Lyubov V. Panikhina¹, Yulia A. Zlobina¹¹ Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia² Vyatka State University, Kirov, Russia**Corresponding author:** Evgeniya V. Tovstik, tovstik2006@inbox.ru

Background. Determining the level of compatibility in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for cadmium toxicity in various test systems is important for increasing the objectivity of assessing their stress resistance. The purpose of this work was a comparative analysis of barley resistance to cadmium in laboratory and pot experiments.

Materials and methods. Nine barley cultivars of various ecogeographic origin served as the material for the study. Their cadmium resistance was assessed in roll culture. The data obtained were compared with the results of the pot experiment.

Results and conclusion. The toxic effect of 20 and 50 mg/dm³ Cd²⁺ was manifested in a decrease in the length of the roots and shoots of barley plantlets, and in the asynchrony of their growth. Barley cultivars with higher yields under cadmium stress conditions demonstrated high content of free phenolic compounds (PC) in roots and shoots, as well as the total content of PC in shoots. The relationships between the level of PC accumulation in roots and the root length index, and between PC accumulation in shoots and yield, indicated the potential value of PC in the selection of cadmium-resistant barley cultivars.

Keywords: stress, resistance, root, shoot, phenolic compounds, yield

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher of the Russian Federation within the state task assigned to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Theme No. FNWE-2025-0008 "Development of new biotechnological methods for producing promising crop genotypes with stable productivity and tolerance to edaphic stressors, and obtaining new source material of regenerative origin for breeding adaptable plant cultivars".

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

For citation: Tovstik E.V., Shupletsova O.N., Panikhina L.V., Zlobina Yu.A. Adaptive potential of barley under toxic impact of cadmium in various conditions of assessment. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):128-137. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-128-137

Введение

Существенные различия в толерантности растений к токсичности тяжелых металлов обусловлены механизмами различной природы. Мониторинг этих изменений может дать представление о стратегиях поддержания метаболического гомеостаза и выявить защитные соединения, которые повышают толерантность растений к стрессу (Goncharuk, Zagoskina, 2023).

Кадмий – один из наиболее токсичных и высокомолекулярных тяжелых металлов. Легко поглощаясь корневой системой, он может накапливаться в различных органах растений, передаваться по трофическим цепям (Shupletsova, Tovstik, 2021).

По данным Россельхознадзора, земли сельскохозяйственного назначения испытывают загрязнение кадмием на уровне 0,60–0,84 мг/кг. В число населенных пунктов, почвы которых загрязнены кадмием, входят города Свирск (Иркутская обл.), Кировоград, Ревда, Реж (Свердловская обл.), Владикавказ (Республика Северная Осетия-Алания), Новосибирск (Новосибирская обл.) (State report..., 2024).

Несмотря на широкий спектр работ по оценке влияния кадмия на растения, многие из них проведены в краткосрочных опытах до окончания естественного биологического цикла растений (Vassilev et al., 2004; Geras'kin et al., 2021). Эффекты длительного воздействия кадмия на растения до сих пор изучены недостаточно. Отмечается, что токсический эффект кадмия снижается по мере увеличения времени его воздействия на растения, что связано с адаптацией, происходящей в онтогенезе (Wu et al., 2003). На примере яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) показано, что возделывание культуры на черноземах с содержанием подвижного кадмия более чем 0,4 мг/кг ведет к загрязнению зерновой продукции выше санитарно-гигиенических нормативов, но не влияет на продуктивность (Lukin et al., 2004).

Ямень отличается высокой чувствительностью к почвенным стрессорам, которая объясняется слабым развитием корневой системы и низкой способностью к хелатообразованию (Kosareva, 2012). В условиях загрязнения почвы кадмием устойчивые к токсиканту сорта ярового ячменя превосходят по продуктивности чувствительные. Однако не у всех генотипов наблюдаются изменения морфофизиологических признаков. Подобная дифференциальная толерантность к кадмиевому стрессу в основном объясняется его транслокацией и антиоксидантной защитой растений (Rahman et al., 2016). При возделывании ярового ячменя на фоне с умеренно опасным содержанием кадмия в почве (2 мг/кг) отмечено повышение урожайности на 26% от контроля и снижение урожайности на 5% на фоне с опасным содержанием кадмия в почве (9 мг/кг) (Ilinskiy, Vinogradov, 2016). Наиболее отчетливо градиция сортов по толерантности прослеживается при концентрации кадмия в почве 50 мг/кг, в то время как концентрация 25 мг/кг недостаточна для дифференциации сортов по продуктивности (Dikarev et al., 2024).

Все больше исследований указывают на то, что при содержании кадмия в почве ниже порога токсичности проявляется его горметический эффект (Gorbunova et al., 2020). У молодых растений он объясняется активацией антиоксидантной системы для защиты клеток от окислительных повреждений, вызванных низкоуровневым стрессом (Wang et al., 2023), в том числе за счет гетероауксинов и фенольных соединений (ФС) (Małkowski et al.,

2020). При усилении кадмиевой нагрузки включаются дополнительные/иные адаптационные механизмы. При этом увеличение биосинтеза ФС в условиях стресса часто связывают с более высокой толерантностью растений (Jańczak-Pieniżek et al., 2022).

Лабораторные эксперименты обеспечивают проведение скрининга генотипов в течение короткого периода с применением различных стрессовых нагрузок, в том числе более высоких, чем встречаются в природе, что актуально для определения пределов толерантности растений. Сопоставление результатов лабораторных и вегетационных испытаний позволяет изучить генотипическую реакцию ячменя на различных стадиях онтогенеза.

Цель работы заключалась в сравнительном анализе устойчивости ячменя к кадмию в лабораторных и вегетационных опытах.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2024 г. на базе Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока) (г. Киров, Кировская область, Россия). Объектами исследования служили 9 сортов ячменя различного эколого-географического происхождения (табл. 1).

Изучаемые сорта по признаку «происхождение» относились к трем группам: 1) сорта гибридного происхождения селекции ФАНЦ Северо-Востока; 2) сорта регенерантного происхождения селекции ФАНЦ Северо-Востока; 3) сорта гибридного происхождения зарубежной селекции (Беларусь, Дания, Австрия). Сорта-регенеранты индуцированы от исходных генотипов в каллусной культуре *in vitro* на среде с 40 мг/дм³ Al³⁺ при pH = 3,8 ('Форвард', 'Витрум') и на среде аналогичного состава с добавлением полиэтиленгликоля в качестве осмотика ('Бионик'); зарегистрированы в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений: 'Бионик' (№ 9295 от 25.10.2017) и 'Форвард' (№ 9152 от 11.07.2017). Сорт 'Витрум' – заявка № 86497/7754415 от 31.05.2022.

Оценивали устойчивость сортов ячменя к кадмию в лабораторных условиях на проростках. Полученные данные сопоставляли с результатами по урожайности этих же генотипов в вегетационном опыте. Схема опыта, как в лабораторных, так и вегетационных условиях, включала контрольный (без воздействия кадмия) и токсичный фон (с кадмием). Модельными токсикантами служили соответственно сульфат (3CdSO₄·8H₂O) и ацетат кадмия(II) (Cd(CH₃COO)₂·2H₂O) в виде кристаллогидратов. Использование для почвенной культуры ацетата кадмия было обусловлено его хорошей растворимостью в воде, меньшей способностью закрепляться в почве, а также не подкислять ее. Заменяя ацетат кадмия на сульфат в рулонной культуре, минимизировали влияние элемента питания. Применение в экспериментах более высоких, чем встречаются в природе, концентраций кадмия (ориентировочно-допустимая концентрация по валовым формам – 0,5–2,0 мг/кг почвы) было обусловлено поиском пределов толерантности ячменя.

Лабораторный скрининг

Проращивали зерна в рулонной культуре в контрольных (дистиллированная вода без внесения соли кадмия; pH = 6,0) и стрессовых условиях (водные растворы солей с 20 и 50 мг/дм³ Cd²⁺; pH = 5,2) по ГОСТ 12038-84 (ГОСТ 12038-84..., 1986). Повторность опыта четырехкратная, по 25 зерен в одной повторности каждого варианта. По-

Таблица 1. Характеристика исследуемых сортов ячменя

Table 1. Description of the studied barley cultivars

Сорт	Номер каталога	Страна происхождения	Критерий отбора
‘Витрум’	я-416**	Россия (Кировская область)	Алюмо- и кислотоустойчивость
‘Новичок’	к-30806*		
‘Родник Прикамья’	к-26965*		
‘Форвард’	я-389**		Засуха-, алюмо- и кислотоустойчивость
‘Бионик’	я-207**		
‘Дина’	к-29216*		Скороспелость, кислотоустойчивость
‘Зазерский 85’	к-26965*	Беларусь	Высокая урожайность
‘Triumph’	к-31188*	Дания	
‘Tallon’	к-30290*	Австралия	

Примечание: * – каталог ВИР; ** – каталог ФАНЦ Северо-Востока

Note: * – VIR catalogue; ** – catalogue of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky

сле 8-дневного культивирования проростков (стадия роста GS10-GS19 по шкале Задокса) оценивали морфологические параметры: длину и сухую массу корня и ростка (надземная часть проростка), рассчитывали массовое соотношение корней/ростков. По результатам биометрических показателей корневой системы рассчитывали индекс длины корня (ИДК, %) (соотношение средней длины корней в стрессовых и контрольных условиях) (Lisitsyn, 2018).

После учета ростовых и массовых характеристик из растительной ткани экстрагировали ФС: свободные – 70-процентным этиловым спиртом при температуре 5°C в течение 24 часов, суммарные, в том числе связанные с клеточной стенкой – щелочью (2 н. NaOH) при 80°C в течение 2 часов (Sun et al., 2001). Содержание ФС в экстрактах определяли на спектрофотометре (ПЭ5300ВИ, ООО «Экросхим», Россия), стандартом служила галловая кислота (GOST R 55488-2013..., 2014).

Почвенная культура в вегетационном опыте

Вегетационный опыт проводили в условиях, приближенных к полевым. Почвы были представлены дерново-подзолистым суглинком, которым заполняли емкости размером 1,5 × 1,3 × 0,3 м. Посев производили ручным способом по 35 шт. на 1 емкость по схеме 4 × 15 см рядками. Почва характеризовалась средним содержанием гумуса ($C_{орг} = 2,5 \pm 0,3\%$), низким содержанием подвижного фосфора ($C(P_2O_5) = 50 \pm 10$ мг/кг), очень низким содержанием нитратного азота ($C(NO_3^-) = 1,7 \pm 0,5$ мг/кг), $pH_{KCl} = 6,5 \pm 0,1$. Токсичный почвенный фон создавали путем внесения в почву раствора ацетата кадмия в концентрации 10,86 г/дм³ в пересчете на кристаллогидрат. По данным атомно-абсорбционной спектроскопии, содержание подвижных соединений кадмия в почве при этом составило $6,4 \pm 0,5$ мг/кг. Контролем служила почва без внесения токсиканта. Фоновое содержание подвижных соединений кадмия в почве контрольного варианта составило $0,040 \pm 0,008$ мг/кг.

Растения выращивали в естественных условиях до получения семян. В период длительного отсутствия атмосферных осадков проводили полив растений водопроводной водой, поддерживая влажность почвы на уровне 60% от полной влагоемкости. Контроль влажности поч-

вы и корректировку объема полива осуществляли с использованием портативного влагомера.

Достоверность различий тестируемых параметров между контролем и опытными вариантами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Для установления статистической зависимости между параметрами оценки использовали корреляционный анализ Пирсона ($p < 0,05$). Статистическая обработка данных выполнена в Excel для Microsoft Office 2007.

Результаты и обсуждение

В рулонной культуре токсический эффект кадмия в концентрациях 20 и 50 мг/дм³ проявлялся в снижении длины корней и ростков ячменя. Для большинства сортов различия по данным параметрам в контроле и опытных вариантах были статистически значимы. Отсутствие изменений как в длине корня, так и ростка в аналогичных условиях фиксировали лишь у сортов ‘Новичок’ и ‘Родник Прикамья’. Снижение длины корня и ростка относительно контроля в варианте с 20 мг/дм³ Cd²⁺ в среднем по сортам составило 19,2 и 18,8%; 50 мг/дм³ Cd²⁺ – 39,3 и 20,0% соответственно (табл. 2).

На ранней стадии развития ячменя кадмий в большей степени оказывал влияние на рост корней, чем ростков, что объясняется непосредственным контактированием корней с токсикантом (Moreira et al., 2020). Аналогичные закономерности выявлены и у других сельскохозяйственных культур, например гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Horbowicz, Mitrus, 2020). Снижение длины корня под действием кадмия у растений неаккумулирующего экотипа связывают с сокращением меристематической ткани и зоны удлинения корня (Li et al., 2023).

Отчетливо прослеживались генотипические различия по влиянию кадмия на корневую систему. Так, наибольшие значения ИДК были зафиксированы (20 и 50 мг/дм³ Cd²⁺) у сортов ‘Новичок’ (106,0 и 69,8%), ‘Родник Прикамья’ (91,4 и 72,7%) и ‘Форвард’ (92,7 и 64,5%). В то же время более чувствительными к кадмию оказались сорта ‘Витрум’ (77,6 и 48,1%), ‘Дина’ (76,6 и 54,5%) и ‘Tallon’ (67,9 и 60,4%). Повышение концентрации от 20 до 50 мг/дм³ кадмия сопровождалось асинхронно-

Таблица 2. Морфологические параметры проростков ячменя в зависимости от концентрации кадмия
Table 2. Morphological parameters of barley plantlets depending on cadmium content

Сорт	Длина, см Масса корней, мг			ИДК, %		Длина, см Масса ростков, мг			Массовое соотношение корень / росток		
	0 мг/дм ³	20 мг/дм ³	50 мг/дм ³	20 мг/дм ³	50 мг/дм ³	0 мг/дм ³	20 мг/дм ³	50 мг/дм ³	0 мг/дм ³	20 мг/дм ³	50 мг/дм ³
‘Витрум’	$\frac{15,6 \pm 0,3}{233 \pm 21}$	$\frac{12,1 \pm 0,9^*}{190 \pm 16^*}$	$\frac{7,5 \pm 1,0^*}{145 \pm 19^*}$	77,6	48,1	$\frac{8,9 \pm 1,4}{203 \pm 29}$	$\frac{7,9 \pm 0,3}{198 \pm 33}$	$\frac{7,2 \pm 0,4^*}{215 \pm 13}$	114,8	96,0	67,4
‘Новичок’	$\frac{11,6 \pm 1,6}{210 \pm 26}$	$\frac{12,3 \pm 0,9}{290 \pm 20^*}$	$\frac{8,1 \pm 0,4^*}{220 \pm 16}$	106,0	69,8	$\frac{7,9 \pm 0,3}{230 \pm 62}$	$\frac{6,9 \pm 0,5}{225 \pm 59}$	$\frac{7,9 \pm 1,4}{205 \pm 34}$	91,3	128,9	107,3
‘Родник Прикамья’	$\frac{12,8 \pm 0,8}{243 \pm 19}$	$\frac{11,7 \pm 0,9}{293 \pm 19^*}$	$\frac{9,3 \pm 0,2^*}{228 \pm 26}$	91,4	72,7	$\frac{7,1 \pm 0,4}{188 \pm 29}$	$\frac{7,0 \pm 0,1}{265 \pm 26^*}$	$\frac{6,1 \pm 0,1^*}{228 \pm 26}$	129,3	110,6	100,0
‘Форвард’	$\frac{12,4 \pm 0,5}{218 \pm 32}$	$\frac{11,5 \pm 1,2}{278 \pm 29^*}$	$\frac{8,0 \pm 0,4^*}{180 \pm 12}$	92,7	64,5	$\frac{7,9 \pm 0,4}{153 \pm 15}$	$\frac{6,8 \pm 0,3^*}{213 \pm 22^*}$	$\frac{6,2 \pm 0,2^*}{200 \pm 29^*}$	142,5	130,5	90,0
‘Бионик’	$\frac{15,4 \pm 0,7}{283 \pm 32}$	$\frac{11,8 \pm 0,5^*}{238 \pm 21^*}$	$\frac{8,4 \pm 0,5^*}{225 \pm 19^*}$	76,6	54,5	$\frac{9,2 \pm 0,3}{218 \pm 19}$	$\frac{7,2 \pm 0,5^*}{245 \pm 53}$	$\frac{6,5 \pm 0,2^*}{155 \pm 25^*}$	129,8	97,1	145,2
‘Дина’	$\frac{14,0 \pm 0,5}{240 \pm 23}$	$\frac{11,7 \pm 0,5^*}{260 \pm 37}$	$\frac{8,1 \pm 0,3^*}{235 \pm 25}$	83,6	57,9	$\frac{8,3 \pm 0,4}{240 \pm 46}$	$\frac{6,8 \pm 0,4^*}{215 \pm 25}$	$\frac{6,9 \pm 0,5^*}{185 \pm 25^*}$	100,0	120,9	127,0
‘Зазерский 85’	$\frac{15,0 \pm 0,8}{248 \pm 35}$	$\frac{10,8 \pm 0,9^*}{198 \pm 13^*}$	$\frac{9,8 \pm 0,8^*}{220 \pm 16}$	72,0	65,3	$\frac{8,8 \pm 1,1}{255 \pm 19}$	$\frac{6,2 \pm 0,2^*}{170 \pm 22^*}$	$\frac{6,9 \pm 0,3^*}{215 \pm 13^*}$	97,3	116,5	102,3
‘Triumph’	$\frac{13,0 \pm 0,9}{260 \pm 38}$	$\frac{9,3 \pm 0,7^*}{253 \pm 39}$	$\frac{7,7 \pm 0,9^*}{145 \pm 17^*}$	71,5	59,2	$\frac{8,1 \pm 0,3}{200 \pm 22}$	$\frac{6,6 \pm 0,8^*}{215 \pm 21}$	$\frac{6,9 \pm 0,1^*}{190 \pm 28}$	130,0	117,7	76,3
‘Tallon»	$\frac{15,9 \pm 0,3}{230 \pm 12}$	$\frac{10,8 \pm 1,1^*}{225 \pm 34}$	$\frac{9,6 \pm 0,7^*}{215 \pm 19}$	67,9	60,4	$\frac{10,0 \pm 0,3}{285 \pm 57}$	$\frac{6,4 \pm 0,3^*}{250 \pm 35}$	$\frac{6,6 \pm 0,4^*}{240 \pm 28}$	80,7	90,0	89,6
Среднее	$\frac{14,0}{240}$	$\frac{11,3^*}{247}$	$\frac{8,5^*}{201^*}$	–	–	$\frac{8,5}{219}$	$\frac{6,9^*}{222}$	$\frac{6,8^*}{204}$	–	–	–

Примечание: * означает достоверные различия от контроля при $p \leq 0,05$; прочерк (–) указывает, что показатель не рассчитывался

Note: * marks significant differences from the control at $p \leq 0,05$; dash (–) means that the indicator not calculated

стью роста корней и ростков ячменя. Коэффициент корреляции (r) между данными морфологическими показателями в ряду исследованных сортов составил в контроле 0,86 (сильная положительная); в варианте с $20 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$ – 0,59 (средняя положительная); при $50 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$ – -0,35 (умеренная отрицательная).

В отличие от линейного роста проростков, кадмий в концентрации 20 мг/дм^3 способствовал увеличению массы корней у растений отдельных сортов (в 1,4 раза у 'Родника Прикамья' и 'Форварда'), однако, согласно усредненным по сортам значениям, не оказывал значимого влияния на данный параметр. Одной из причин гормонального эффекта $20 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$ могло стать увеличение размера паренхимных клеток корня с целью повышения сопротивления радиальным потокам токсиканта с водой (Maksimović et al., 2007). При этом выявленный гормезис при токсическом воздействии кадмия может указывать на адаптацию растений к данному виду стресса. В случае высокой концентрации ($50 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$) масса корней однозначно снижалась (в среднем на 16% относительно контроля).

По массе ростков при концентрации кадмия 20 мг/дм^3 различия с контролем для большинства сортов были недостоверны. Исключениями являлись сорта 'Родник Прикамья' (+77 мг к контролю), 'Форвард' (+60 мг к контролю) и 'Зазерский 85' (-85 мг к контролю).

Важным аспектом представленного исследования явился анализ массового соотношения корней и ростков. Низкие значения данного параметра в последнее время рассматриваются в качестве индикатора слабого накопления токсиканта в надземной массе растений (Xu et al., 2018). В данной работе к сортам с низким значением данного показателя отнесены 'Витрум', 'Родник Прикамья', 'Форвард', 'Triumph'. У остальных сортов этот же показатель в присутствии кадмия оставался неизменным или увеличивался.

Наряду с морфологическими изменениями проростков, исследовали их биохимические показатели. Для этого определяли содержание свободных ФС и их сумму в растительной ткани. Общее содержание ФС в корнях варьировало от 25 до 37 мг/г. Для большинства сортов, независимо от концентрации кадмия, значения данного показателя были стабильны. Увеличение содержания ФС при действии кадмия отмечали у сортов 'Витрум' – на 44,0 и 32,0% относительно контроля при концентрации 20 и $50 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$ соответственно; у 'Дины' и 'Triumph' – на 21,4% и 10,7% при $50 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$ (рис. 1, а, б).

Содержание свободных ФС в корнях, по сравнению с суммой, варьировало в более широком диапазоне (от 8,8 до 16,5 мг/г) и определялось как сортом, так и концентрацией кадмия. При более низкой концентрации кадмия (20 мг/дм^3) регистрировали как повышение содержания свободной фракции ФС в корнях (на 19,8–36,8% относительно контроля) у сортов ('Витрум', 'Новичок', 'Родник Прикамья', 'Дина'), так и отсутствие достоверных различий с контролем. Закономерности в реакции сортов на стресс более высокого уровня ($50 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cd}^{2+}$) частично сохранялись. Так, высокая концентрация кадмия индуцировала синтез свободных ФС у сортов 'Витрум' – на 40,5%, 'Новичок' – 40,4%, 'Родник Прикамья' – 57,3%; либо, напротив, ингибировала у сортов 'Бионик' – на 15,2%, 'Triumph' – 18,8%.

По результатам проведенной работы выявили сорта ячменя, в проростках которых в присутствии кадмия повышается содержание свободных ФС. Среди них – 'Витрум', 'Дина', 'Triumph', 'Новичок', 'Родник Прикамья'. В то же время у некоторых сортов, таких как 'Triumph', данные по содержанию различных фракций ФС в структурных частях проростков, в частности корне, иногда были противоречивы, что указывает на сложность задействованных в ответной реакции на кадмиевый стресс механизмов адаптации (рис. 2, а, б).

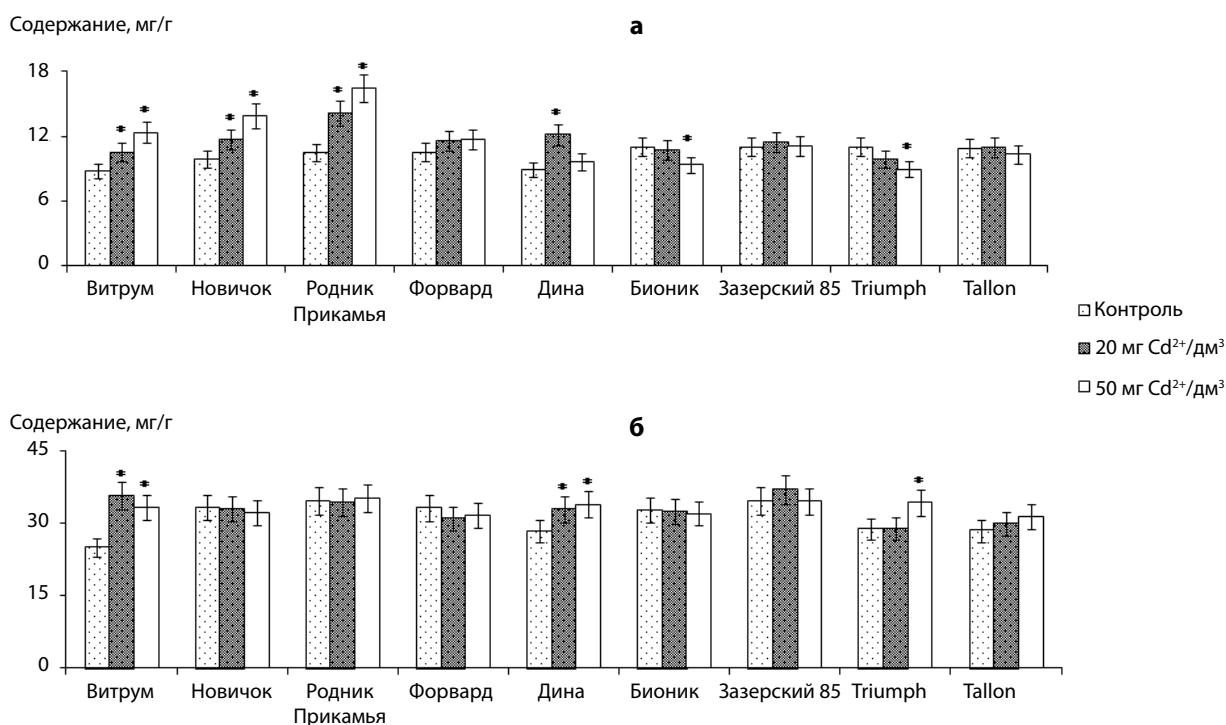
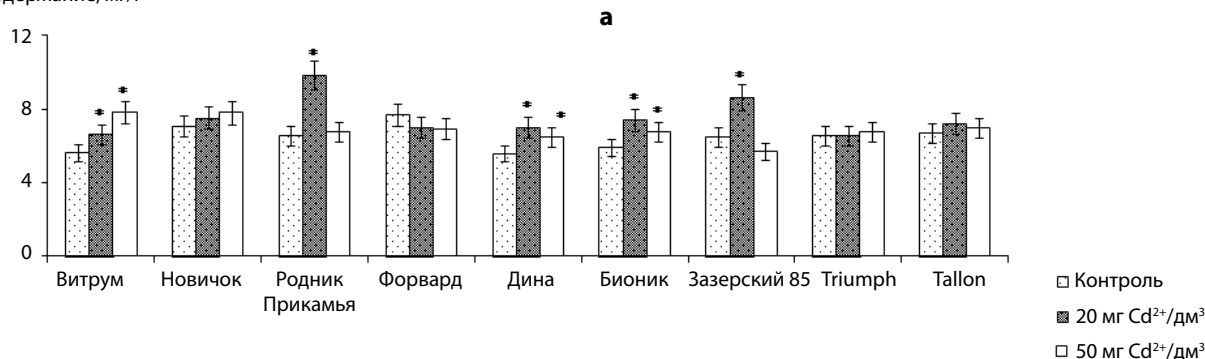


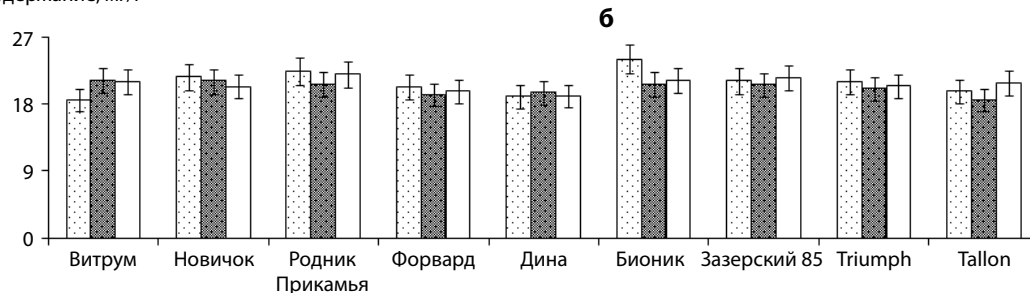
Рис. 1. Содержание свободных (а) и суммы (б) фенольных соединений в корнях проростков ячменя

Fig. 1. Content of free (а) and total (б) phenolic compounds in the roots of barley plantlets

Содержание, мг/г



Содержание, мг/г

**Рис. 2.** Содержание свободных (а) и суммы (б) фенольных соединений в ростках проростков ячменя**Fig. 2.** Content of free (a) and total (б) phenolic compounds in the shoots of barley plantlets

Полученные данные по биохимическим параметрам корней сопоставляли с ИДК. В результате была выявлена средняя положительная корреляция между уровнем накопления свободных ФС в корнях и ИДК ($r = 0,62$).

В целом по комплексу морфологических и биохимических параметров, оцененных в лабораторных условиях, выделились сорта с повышенной стрессоустойчивостью и имеющие наибольшее сходство в ответных реакциях на кадмиевый стресс. К ним относились 'Витрум', 'Новичок', 'Родник Прикамья'.

Известно, что ответные реакции растений на стресс обусловлены формированием как специфических, так и неспецифических адаптивных механизмов (Shupletsova, Shchennikova, 2016). Необходимо учитывать, что результаты лабораторной оценки растений на ранних

стадиях онтогенеза могут не совпадать с результатами исследований зрелых растений в почвенных условиях. С увеличением времени воздействия негативный эффект кадмия может становится более очевидным, при этом генотипические различия в реакции растений на токсичность кадмия могут сохранять стабильность на протяжении всего периода роста (Elguera et al., 2003).

Использование урожайности в качестве ключевого параметра стрессоустойчивости растений позволило выявить сорта, показавшие превосходство по адаптивному потенциалу к кадмию. В их число вошли 'Новичок' и 'Tallon', показавшие повышение урожайности в стрессовых условиях (на 8 и 36% соответственно). Остальные сорта на почвенном фоне с кадмием показывали снижение урожайности по сравнению с контролем от 5% ('Дина') до 37% ('Витрум') (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность сортов в условиях вегетационных испытаний, приближенных к полевым в 2024 году**Table 3.** Yield of barley cultivars tested under pot experiment conditions close to field trials in 2024

Сорт	Урожайность, г/м ²	
	Контрольный фон	Фон с кадмием
'Витрум'	337	212
'Новичок'	237	257
'Родник Прикамья'	295	242
'Форвард'	296	206
'Дина'	176	168
'Бионик'	334	263
'Зазерский 85'	240	154
'Triumph'	297	189
'Tallon'	168	229

Данные по урожайности на контрольном и стрессовом почвенных фонах сопоставляли с результатами оценки параметров стрессоустойчивости сортов на стадии проростков в лабораторном опыте (табл. 4).

Анализ коэффициентов корреляции Пирсона позволил установить, что в контроле сорта с более высокой

ет о потенциальной ценности ФС в качестве ключевого критерия отбора устойчивых к кадмию генотипов ячменя. Для повышения объективности оценки устойчивости сортов ячменя к кадмию требуется комплексный подход, сочетающий как лабораторные, так и вегетационные испытания.

Таблица 4. Взаимосвязь параметров оценки стрессоустойчивости сортов в лабораторных условиях и урожайностью этих же генотипов в вегетационном опыте

Table 4. Relationship between the parameters of stress resistance assessment of the cultivars under laboratory conditions and the yield of the same genotypes in a pot experiment

Параметр оценки	Структурная часть проростка	Условия		
		Контроль	Стресс	
			20 мг/дм ³ Cd ²⁺	50 мг/дм ³ Cd ²⁺
Длина	Росток	-0,59	0,16	0,23
	Корень	-0,34	0,43	-0,17
Масса	Росток	-0,55	0,43	0,29
	Корень	-0,24	0,57	0,27
Общее содержание ФС	Росток	0,39	0,24	0,31
	Корень	0,06	-0,19	-0,49
Содержание свободных ФС	Росток	-0,12	0,13	0,51
	Корень	0,08	0,13	0,39

Примечание: в таблице приведены значения коэффициентов корреляции Пирсона

Note: the table shows the values of the Pearson correlation coefficients

урожайностью ('Бионик' и 'Витрум') характеризовались более низкими значениями длины и массы ростка (корреляция умеренная отрицательная). При переходе от контрольных к стрессовым условиям, напротив, отмечали положительную корреляцию данных по урожайности с параметрами лабораторной оценки проростков. Данная закономерность прослеживалась только в случае более низкой концентрации кадмия (20 мг/дм³). При высоком уровне стресса (50 мг/дм³ Cd²⁺) коэффициенты корреляции были низкими.

Параметры биохимической оценки в большей степени коррелировали с урожайностью в стрессовых условиях (50 мг/дм³ Cd²⁺). Умеренная положительная корреляция отмечалась между урожайностью и уровнем свободных ФС в корнях и ростках ($r = 0,39$ и $r = 0,51$); а также урожайностью и общим содержанием ФС в ростках ($r = 0,54$). В случае корней отмечали умеренную отрицательную корреляцию с урожайностью.

Заключение

В ходе исследования выявлена высокая вариабельность морфометрических и биохимических показателей проростков ячменя в условиях кадмиевого стресса. Наличие частичных несовпадений результатов лабораторной оценки стрессоустойчивости сортов с их градацией по показателям урожайности в почвенных условиях с тем же стрессором указывает на специфические механизмы адаптации растений к кадмию, в том числе на различных этапах онтогенеза. Наличие взаимосвязи между уровнем накопления ФС в корнях и ИДК, а также накоплением ФС в проростках и урожайностью свидетельству-

References / Литература

- Dikarev A.V., Dikarev D.V., Krylenkin D.V. Varietal differentiation of spring barley in terms of cadmium resistance based on morphometric, biochemical parameters, and productivity. *Agricultural Chemistry*. 2024;(10):68-82. [in Russian] (Дикарев А.В., Дикарев Д.В., Крыленкин Д.В. Сортовая дифференциация ярового ячменя по устойчивости к кадмию на основе морфометрических, биохимических показателей и продуктивности. *Агрохимия*. 2024;(10):68-82). DOI: 10.31857/S0002188124100083
- Elguera J.C.T., Barrientos E.Y., Wrobel Kaz., Wrobel Kat. Effect of cadmium (Cd(II)), selenium (Se(IV)) and their mixtures on phenolic compounds and antioxidant capacity in *Lepidium sativum*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012;35(2):431-441. DOI: 10.1007/s11738-012-1086-8
- Geras'kin S.A., Dikarev A.V., Dikarev V.G., Dikareva N.S. Analysis of intraspecific polymorphism in barley for resistance to cadmium. *Agricultural Chemistry*. 2021;(8):49-56. [in Russian] (Гераськин С.А., Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С. Анализ внутривидового полиморфизма ячменя по устойчивости к действию кадмия. *Агрохимия*. 2021;(8):49-56). DOI: 10.31857/S0002188121080081
- Goncharuk E.A., Zagorskina N.V. Heavy metals, their phytotoxicity, and the role of phenolic antioxidants in plant stress responses with focus on cadmium: review. *Molecules*. 2023;28(9):3921. DOI: 10.3390/molecules28093921
- Gorbulnova V.A., Zubkova V.M., Belozubova N.Yu. Productivity and photosynthetic activity of *Linum usitatissimum* L. plants during soil contamination with cadmium. *Agrarian Russia*. 2020;(3):27-32. [in Russian] (Горбунова В.А., Зуб-

- кова В.М., Белозубова Н.Ю. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность растений льна-долгунца при загрязнении почвы кадмием. *Аграрная Россия*. 2020;(3):27-32. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-3-27-32
- GOST 12038-84. Interstate standard. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standartinform; 1986. [in Russian] (ГОСТ 12038-84. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Стандартинформ; 1986). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84> [дата обращения: 04.12.2024].
- GOST R 55488-2013. National standard of the Russian Federation. Propolis. Method for the determination of polyphenols. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ Р 55488-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Прополис. Метод определения полифенолов. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://megainform.ru/Data2/1/4293774/4293774185.pdf> [дата обращения: 04.12.2024].
- Horbowicz M., Mitrus J. Impact of short-term exposure to lead and cadmium of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seedlings grown in hydroponic culture. *Journal of Elementology*. 2020;25(2):633-644. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.4.1908
- Ilnitskiy A.V., Vinogradov D.V. The question of spring barley tolerance when growing on the land polluted with heavy metals. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2016;2(30):23-28. [in Russian] (Ильинский А.В., Виноградов Д.В. К вопросу толерантности ярового ячменя при выращивании на почве, загрязненной комплексом тяжелых металлов. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2016;2(30):23-28).
- Jańczak-Pieniążek M., Cichoński J., Michalik P., Chrzanowski G. Effect of heavy metal stress on phenolic compounds accumulation in winter wheat plants. *Molecules*. 2022;28(1):241. DOI: 10.3390/molecules28010241
- Kosareva I.A. The study of crops and wild relatives collections for signs of resistance to toxic elements of acid soils. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:34-44. [in Russian] (Косарева И.А. Изучение коллекции сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:34-44).
- Li Y., Rahman S.U., Qiu Z., Shahzad S.M., Nawaz M.F., Huang J. et al. Toxic effects of cadmium on the physiological and biochemical attributes of plants, and phytoremediation strategies: A review. *Environmental Pollution*. 2023;325:121433. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121433
- Lisitsyn E.M. Indexes of root system development for barley edaphic breeding. *Legumes and Groat Crops*. 2018;2(26):66-71. [in Russian] (Лисицын Е.М. Показатели развития корневых систем в эдафической селекции ячменя. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;2(26):66-71). DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10019
- Lukin S.V., Kononenko L.A., Miroshnikova Yu.V. The effect of cadmium on the development of photosynthetic apparatus and yield of spring wheat. *Agricultural Chemistry*. 2004;(3):63-68. [in Russian] (Лукин С.В., Кононенко Л.А., Мирошникова Ю.В. Влияние кадмия на развитие фотосинтетического аппарата и урожайность яровой пшеницы. *Агрохимия*. 2004;(3):63-68).
- Maksimović I., Kastori R., Krstić L., Luković J. Steady presence of cadmium and nickel affects root anatomy, accumulation and distribution of essential ions in maize seedlings. *Biologia Plantarum*. 2007;51:589-592. DOI: 10.1007/s10535-007-0129-2
- Małkowski E., Sitko K., Szopiński M., Gieroń Ż., Pogrzeba M., Kalaji H.M. et al. Hormesis in plants: The role of oxidative stress, auxins and photosynthesis in corn treated with Cd or Pb. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(6):2099. DOI: 10.3390/ijms21062099
- Moreira I.N., Martins L.L., Mourato M.P. Effect of Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn on seed germination and seedling growth of two lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.). *Plant Physiology Reports*. 2020;25(2):347-358. DOI: 10.1007/s40502-020-00509-5
- Rahman M.F., Islam M., Begum M.C., Kabir A.H., Alam M.F. Genetic variation in cadmium tolerance is related to transport and antioxidant activities in field peas (*Pisum sativum* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2016;63(4):578-585. DOI: 10.1080/03650340.2016.1224859
- Shupletsova O.N., Shchennikova I.N. Results of using cell technologies for creation of new barley varieties resistant against aluminum toxicity and drought. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):623-628. [in Russian] (Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):623-628). DOI: 10.18699/VJ16.183
- Shupletsova O.N., Tovstik E.V. Accumulation of cadmium and zinc in barley regenerants on a provocative soil background with cadmium. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):117-125. [in Russian] (Шуплецова О.Н., Товстик Е.В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):117-125). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125
- State report "On the status and protection of the environment in the Russian Federation in 2023" (Gosudarstvenny doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2023 godu"). Moscow: Ministry of Natural Resources and the Environment of the Russian Federation; 2024. [in Russian] (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». Москва: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации; 2024). URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/doklad/pochvy-i-zemelnye-resursy/harakteristika-pochvy-i-zemelnyh-resursov/> [дата обращения: 16.01.2025].
- Sun R.C., Sun X.F., Zhang S.H. Quantitative determination of hydroxycinnamic acids in wheat, rice, rye, and barley straws, maize stems, oil palm frond fiber, and fast-growing poplar wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49(11):5122-5129. DOI: 10.1021/jf010500r
- Vassilev A., Lidon F.C., Ramalho J.C., do Céu Matos M., Bareiro M.G. Shoot cadmium accumulation and photosynthetic performance of barley plants exposed to high cadmium treatments. *Journal of Plant Nutrition*. 2004;27(5):775-795. DOI: 10.1081/PLN-120030613
- Wang B., Lin L., Yuan X., Zhu Y., Wang Y., Li D. et al. Low-level cadmium exposure induced hormesis in peppermint young plant by constantly activating antioxidant activity based on physiological and transcriptomic analyses. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1088285. DOI: 10.3389/fpls.2023.1088285

Wu F., Qian Q., Zhang G. Genotypic differences in effect of cadmium on growth parameters of barley during ontogenesis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2003;34(13-14):2021-2034. DOI: 10.1081/CSS-120023234

Xu Z.M., Mei X.Q., Tan L., Li Q.S., Wang L.L., He B.Y. et al. Low root/shoot (R/S) biomass ratio can be an indicator of low

cadmium accumulation in the shoot of Chinese flowering cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) cultivars. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2018;25(36):36328-36340. DOI: 10.1007/s11356-018-3566-x

Информация об авторах

Евгения Владимировна Товстик, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, доцент, Вятский государственный университет, 610000 Россия, Киров, ул. Московская, 36, tovstik2006@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

Ольга Наумовна Шуплецова, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, olga.shuplecova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4679-0717>

Любовь Владимировна Панихина, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, priemnaya@fanc-sv.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Юлия Александровна Злобина, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, ylechkaaaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0949-1403>

Information about the authors

Evgeniya V. Tovstik, Cand. Sci. (Biology), Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, Associate Professor, Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia, tovstik2006@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

Olga N. Shupletsova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, olga.shuplecova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4679-0717>

Lyubov V. Panikhina, Postgraduate Student, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, priemnaya@fanc-sv.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Yulia Al. Zlobina, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, ylechkaaaa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0949-1403>

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 01.02.2025; одобрена после рецензирования 05.04.2025; принята к публикации 18.04.2025. The article was submitted on 01.02.2025; approved after reviewing on 05.04.2025; accepted for publication on 18.04.2025.

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

Original article

UDC 633.18:631.527:581.143.6:575.234

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-138-146



Intracallus cytotypic variation of regenerated *Oryza sativa* L. plants in the *in vitro* androgenesis

Marina V. Ilyushko

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia

Corresponding author: Marina V. Ilyushko, ilyushkoiris@mail.ru

Background. The *in vitro* androgenesis has proven to be a reliable method for obtaining doubled haploids for many plant species. In the breeding of *Oryza sativa* L., *in vitro* culture of anthers is used, which go through the stage of callus formation followed by regeneration. The ratios between cells of different types and green regenerated plantlets on the callus might not coincide, since not all genetic disorders that accumulate in the *in vitro* culture at the cellular level can go through the stage of morphogenesis and cannot always lead to regeneration. The objective of the study was to assess the frequency of intracallus cytotypic variability of regenerated *O. sativa* plants in the *in vitro* androgenesis.

Materials and methods. We studied regenerated plantlets obtained on *O. sativa* calli through the *in vitro* androgenesis of thirty F_1 and F_2 hybrids. According to their morphological features, regenerated plants were divided into five cytotypic groups: haploids, doubled haploids, aneuploids, tetraploids, and plants that died in the early stages of growth and development.

Results. The experiment employed 409 calli with multiple regenerations. Only haploid plants were formed on 79 calli, only doubled haploids on 60 calli, only aneuploids on three calli, only dead plantlets on one callus, and only tetraploids on two calli. It was established that 265 (64.8%) calli were polymorphic. The calli polycytotypicity with two types of regenerated plants, excluding the dead ones, was 138 pcs. (33.7%), with three types 62 pcs. (15.2%), and with four types 7 pcs. (1.7%). The differences between the calli of the F_1 and F_2 hybrids were highly significant in the haploids, doubled haploids, tetraploids, and dead regenerated plants ($p < 0.0002$). An increase in the number of regenerated plantlets per callus occurred due to the presence of haploid plants; the correlation coefficient was $r = 0.81$ ($p < 0.05$).

Conclusion. The intracallus cytotypic variability of *O. sativa* in the *in vitro* androgenesis was 64.8%, which was comparable to the proportion of the calli with different cell ploidy.

Keywords: *in vitro* androgenesis, intracallus variability, calli polycytotypicity, regeneration

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task assigned to the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Project FNGW-2022-0008 "To develop new genotypes of agricultural crops with high productivity, resistant to abiotic and biotic environmental factors".

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

For citation: Ilyushko M.V. Intracallus cytotypic variation of regenerated *Oryza sativa* L. plants in the *in vitro* androgenesis. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):138-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-138-146

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

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-138-146

Внутрикallусная цитотипическая изменчивость регенерантов *Oryza sativa* L. в андрогенезе *in vitro*

М. В. Илюшко

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Владиславовна Илюшко, ilyushkoiris@mail.ru

Актуальность. Андрогенез *in vitro* зарекомендовал себя как надежный способ получения удвоенных гаплоидов для многих видов растений. В селекции *Oryza sativa* L. используется культура пыльников *in vitro*, которые проходят стадию каллусообразования с последующей регенерацией. Соотношение клеток разного типа и зеленых регенерантов на каллусе может не совпадать, так как не все генетические нарушения, которые накапливаются в культуре *in vitro* на клеточном уровне, могут пройти этап морфогенеза и не всегда могут привести к регенерации. Целью исследования являлось изучение частоты внутрикallусной цитотипической изменчивости регенерантов *O. sativa* в культуре пыльников *in vitro*.

Материалы и методы. Исследовали регенеранты, полученные на каллусах риса *O. sativa* в андрогенезе *in vitro* тридцати гибридов F_1 и F_2 . По морфологическим признакам регенеранты разделяли на пять цитотипических групп: гаплоиды, удвоенные гаплоиды, анеуплоиды, тетраплоиды и растения, погибшие на ранних этапах роста и развития.

Результаты. В эксперименте использовано 409 каллусов с множественной регенерацией. На 79 каллусах образовались только гаплоидные растения, на 60 – только удвоенные гаплоиды, на трех – только анеуплоиды, на одном – только погибшие, на двух – только тетраплоиды. Полиморфными оказались 265 (64,8%) каллусов. Полицитотипичность каллусов с двумя типами регенерантов без учета погибших составляет 138 шт. (33,7%), с тремя типами – 62 шт. (15,2%), с четырьмя типами – 7 шт. (1,7%). Различия между каллусами гибридов F_1 и F_2 высокосignификантны по гаплоидам, удвоенным гаплоидам, тетраплоидным и погибшим регенерантам ($p < 0,0002$). Увеличение числа регенерантов на каллус происходит за счет гаплоидных растений, коэффициент корреляции $r = 0,81$ ($p < 0,05$).

Заключение. Внутрикallусная цитотипическая изменчивость риса *O. sativa* в андрогенезе *in vitro* составляет 64,8%, что сопоставимо с долей каллусов с различной ploидностью клеток.

Ключевые слова: андрогенез *in vitro*, внутрикallусная изменчивость, полицитотипичность каллусов, регенерант

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки по теме FNGW-2022-0008 «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды».

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

Для цитирования: Илюшко М.В. Внутрикallусная цитотипическая изменчивость регенерантов *Oryza sativa* L. в андрогенезе *in vitro*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(2):138-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-138-146

Introduction

In vitro androgenesis has proven to be a reliable method for producing doubled haploids (DH) for many plant species (Seguí-Simarro et al., 2021). The method is used in genomics and gene mapping, and is quite effective in crop breeding programs, since DH are completely homozygous (Germana, 2011; Niaziyan, Shariatpanahi, 2020). The haploid technology of the *in vitro* androgenesis was first described in 1964, and currently allows the production of haploids and doubled haploids for a large number of cultivated species (Seguí-Simarro et al., 2021). It is based on the ability of a microspore to switch the development program from the gametophytic path to the sporophytic path with the formation of a haploid and subsequent spontaneous doubling of chromosome sets (Niaziyan, Shariatpanahi, 2020).

For haploid induction in the *in vitro* androgenesis, two main approaches are used: isolated microspore culture, and anther culture (Niaziyan, Shariatpanahi, 2020; Seguí-Simarro et al., 2021). The first method makes it possible to obtain a plant of embryoidogenic origin from a single microspore. With the second method, one anther can provide up to several dozen plants developed from microspores (Seguí-Simarro et al., 2021). In both cases, callus formation is possible under certain conditions (Seguí-Simarro et al., 2021). However, a callus develops from a single microspore genotype in the microspore embryoidogenesis, and it can be formed by one or several genotypes of microspores in anther culture (Chen C.C., Chen C.M., 1980).

In general, the protocols for obtaining haploids/DH in many plant species have been well studied, and their features have been described (Germana, 2011; Niaziyan, Shariatpanahi, 2020). Callus-free methods are considered preferable. There are a number of species where isolated microspore culture for DH embryoidogenesis has not yet been successful (Seguí-Simarro et al., 2021). These include *Oryza sativa* L. (Sarao, Gosal, 2018). Despite the fact that this species was among the first to be responsive to the *in vitro* androgenesis (Niizeki, Oono, 1968), for a long time only anther culture was possible for *O. sativa* (Sarao, Gosal, 2018). In 1995, a report on the microspore *in vitro* embryoidogenesis in rice appeared (Ogawa et al., 1995); however, for a long time no one reproduced this result. The research group of S. Tajedini et al. published a protocol for obtaining a few haploids in the microspore *in vitro* culture (Tajedini et al., 2022). However, for breeding purposes, mass production of doubled haploids is needed for subsequent selection of the best ones (Goncharova, 2018). Thus, anther culture is still widely used in the *in vitro* androgenesis for the selection of the widespread sought-after species *O. sativa*. Moreover, rice anthers go through the stage of callus formation, followed by regeneration (Goncharova et al., 2019; Sakhina et al., 2020; Lantos et al., 2022).

Issues of the intracallus variability of regenerated *O. sativa* plants in anther culture were studied *in vitro* at the morphological and genetic level, as well as nuclear DNA content (Ilyushko et al., 2021, 2022, 2023). It is known that most calli are polymorphic and variable, but with a small set of morphotypes and genotypes on one callus. The issue of the intracallus cytotypic variability of regenerated plants in anther culture has not been discussed. C. C. Chen and C. M. Chen reported that rice calli, obtained *in vitro* from a single microspore in anther culture, contained haploid, doubled, triploid, and aneuploid cells (Chen C.C., Chen C.M., 1980). The presence of certain types of cells in the callus does not mean their regeneration. The ratios between different cell types in a callus and green regenerated plantlets

on a callus might not coincide, since not all genetic disorders that accumulate in *in vitro* culture at the cellular level can go through the stage of morphogenesis and cannot always lead to regeneration (Kuznetsova et al., 2006). The research objective was to study the frequency of intracallus cytotypic variability of regenerated *O. sativa* plants in anther *in vitro* culture.

Materials and methods

We studied green regenerated plantlets obtained through the *in vitro* androgenesis of F_2 rice hybrids (*O. sativa*) from the following crossing combinations: $R \times D \times 67$ (two plants), $D \times S \times H$ (three plants), and $K \times V \times K$ in 2017; F_1 hybrids of combinations $D \times M$, $4P$, $L \times 5A$, $242 \times R$, $Db \times V$, $Db \times At$, $R \times O \times 23$, Abc , and $A \times M$ in 2018; $2P \times L$ (two plants), $L \times 3P$ (four plants), $K \times 2P$ (two plants), $D \times M$ (3), $D \times 5A$ (two plants), and $D \times 257$ in 2020; $K52 \times 9 \times D$ (three plants) in 2021. A total of 30 hybrids were used as donor plants. Table 1 shows the hybrid combinations' breakdown. The method of obtaining and growing regenerated plants was described previously (Ilyushko et al., 2018, 2023).

Callus aggregates (calli) measuring 2–5 mm were removed from the anthers at intervals of seven days. A callus line was considered as all callus aggregates of one anther.

On the basis of their morphological features, regenerated plants were divided into five cytotypic groups: haploids – H (sterile plants with very small flowers); doubled haploids – DH (plants with seeds); aneuploids – An (formed flowers of normal size but did not form seeds on two or more panicles); tetraploids – TH (plants with few very large seeds, a pronounced keel, and ribbing on the flower scales); and plants that died at the early stages of growth and development – L. The error in assigning regenerated plants to the corresponding cytotype on the basis of their morphological characteristics, when compared with data on nuclear DNA content, was 4.5% (Ilyushko et al., 2018).

Differences in the polycytotypicity of the calli obtained from the F_1 and F_2 hybrids were determined using the chi-square (χ^2) test. ANOVA (Fisher's F-test) was employed to identify differences between the calli in the regenerated plants belonging to different cytotypes. To identify differences between the calli within the F_1 and F_2 hybrids, ANOVA (Kruskal–Wallis H-test) was used. This criterion was chosen because of a small number of regenerated calli ($n \geq 4$) on some hybrids (see Table 1). The correlation coefficient (r) was calculated between the total number of green regenerated plantlets per callus and plants of five cytotypes. Statistical data processing was carried out using the Statistica 10 software (StatSoft, Inc., USA).

Results

From one to five callus aggregates developed on one rice anther. The experiment involved 266 callus lines with multiple regenerations, i.e., four or more green plants per callus were obtained. In some cases, regenerated plants belonging to different cytotypes were formed on callus aggregates of one anther (Table 2). For example, only doubled haploids developed on the first callus, only haploids and one dead plant were formed on the second callus in callus line 68.2 of the $K \times 2P(1)$ hybrid. This finding confirmed the possibility of forming one rice anther callus by several microspores (Chen C.C., Chen C.M., 1980) and became the basis for considering each callus aggregate separately (Fig. 1). Two calli were formed on 61 callus lines, three calli on 12 callus lines, four

Table 1. Rice hybrids (*Oryza sativa* L.) and the sample size in the *in vitro* androgenesis**Таблица 1. Гибриды риса *Oryza sativa* L. и объем выборки в андрогенезе *in vitro***

Hybrid combination	Hybrid code	Hybrid generation	Number of calli, pcs.
Romanika × (Dariy 122 × 9167)	R × D × 67(15)	F ₂	10
	R × D × 67(16)	F ₂	4
Don 4237 × (Szorvasi 70 × Heyludjan)	D × S × H(5)	F ₂	18
	D × S × H(7)	F ₂	11
	D × S × H(8)	F ₂	30
Kitaetz × (VNIIR 3223 × Kenzo)	K × V × K	F ₂	8
Dolyniy × Magnat	D × M(1)	F ₁	5
Almaz × [(Maratelli 5A × Boyarin) × Maratelli 5A]	4P	F ₁	26
Lugovoy × Maratelli 5A	L × 5A	F ₁	12
242-01 × Rassvet	242 × R	F ₁	11
Dubrava × Viola	Db × V	F ₁	6
Dubrava × Atlant	Db × At	F ₁	4
Rassvet × (Oxy 2x × Dariy 23)	R × O × 23	F ₁	10
Almaz × Magnat	A × M	F ₁	5
Austral × 718-5 × (Oxy 2x × Dariy 23)	Abc	F ₁	4
Khankayskiy 52 × (Ungi №9 × Dolynniy)	K52 × 9 × D(1)	F ₁	11
	K52 × 9 × D(2)	F ₁	15
	K52 × 9 × D(3)	F ₁	8
(Augusztá × Otello №1) × Lugivoy	2P × L(2)	F ₁	6
	2P × L(3)	F ₁	53
Lugovoy × [(Dariy 8 × Khayauki) × Slavutich]	L × 3P(1)	F ₁	10
	L × 3P(2)	F ₁	4
	L × 3P(3)	F ₁	12
	L × 3P(5)	F ₁	9
Kaskad × (Augusztá × Otello №1)	K × 2P(1)	F ₁	72
	K × 2P(4)	F ₁	9
Dolynniy × Magnat	D × M(3)	F ₁	4
Dolynniy × Maratelli 5A	D × 5A(1)	F ₁	11
	D × 5A(2)	F ₁	17
Dolynniy × Szs 257	D × 257	F ₁	4
Total			409

Table 2. Examples of the cytotypic responsiveness of *Oryza sativa* L. in androgenic callus lines *in vitro***Таблица 2.** Примеры цитотипической отзывчивости риса *Oryza sativa* L. в андрогенных каллусных линиях *in vitro*

Hybrid	Callus line	Callus unit number	Number, pcs.				
			H	DH	An	L	TH
Different cytotypic responsiveness							
2P × L(3)	31.1	1	13	5	0	1	0
		2	0	14	0	2	0
		3	0	2	11	1	0
		4	0	0	5	1	0
		5	1	13	3	1	0
K × 2P(1)	68.2	1	0	31	0	1	0
		2	12	0	0	1	0
K × 2P(1)	70.2	1	0	15	0	0	0
		2	23	0	0	1	0
4P(1)	418.2	1	0	0	7	2	1
		2	0	15	0	0	0
Same cytotypic responsiveness							
D × 5A(2)	113.1	1	36	0	0	5	0
		2	22	0	0	1	0
2P × L(3)	103.1	1	1	19	1	0	0
		2	2	37	2	2	0

Note: in Tables 2 and 3, H – haploids, DH – doubled haploids, An – aneuploids, TH – tetraploids, L – dead plants

Примечание: в таблицах 2 и 3 H – гаплоиды, DH – удвоенные гаплоиды, An – анеуплоиды, TH – тетраплоиды, L – погибшие растения.

**Fig. 1.** Calli on an *Oryza sativa* L. anther in the *in vitro* androgenesis**Рис. 1.** Каллусные агрегаты на пыльнике риса *Oryza sativa* L. в андрогенезе *in vitro*

calli on ten callus lines, and five calli were formed on seven callus lines. A total of 409 calli were analyzed.

Only haploid plants were formed on 79 calli, only DH on 60 calli, only An on three calli, only L on one callus, and only TH on two calli. It was established that 265 (64.8%) callus aggregates were polymorphic. The polycytotypicity of the calli with two types of regenerated plants, excluding L, was 138 pcs. (33.7%), with three types 62 pcs. (15.2%), and with four types 7 pcs. (1.7%). A higher number of calli with three and four types of regenerated plants developed on the F_2 hybrids, compared to the F_1 hybrids. The differences between the F_1 and F_2 hybrids were significant: $\chi^2 = 9.72$ (at $p = 0.0018$) and $\chi^2 = 70.58$ (at $p = 0.00001$), respectively.

It was calculated that 8172 green regenerated plantlets were formed on calli. On the anthers of the F_1 hybrids, 328 callus aggregates were obtained, which formed 5306 regenerated plants. The F_2 anthers contained 81 callus aggregates with 2866 regenerated green plants. The highest regeneration rates were detected on the F_2 hybrids for H – 162 pcs. per callus, with 121 for DH, 26 for An, and 12 for TH; the highest number of dead plants (27 pcs. for L) was observed on the F_1 hybrids. The average rates of regenerated plants per callus for five cytotypes were higher among the F_2 hybrids (Fig. 2). The differences between the calli of the F_1 and F_2 hybrids were highly significant in H, DH, L, and TH ($p < 0.0002$), and in An at $p = 0.055$ (Table 3). There were no differences between the calli within the F_1 and F_2 hybrids.

An increase in the number of regenerated plants per callus occurred due to the presence of haploid plants, the correlation coefficient was $r = 0.81$ ($p < 0.05$). There was a tendency for the number of regenerated plants per callus to increase from the number of doubled haploids $r = 0.55$ and dead plants $r = 0.44$ ($p < 0.05$).

Discussion

The formation of several calli on a single anther does not mean that they originate from different microspores. Therefore, the same cytotypic responsiveness of regenerated plants was revealed on calli of different orders in many cases due to the division of one callus into several aggregates under the *in vitro* conditions (see Table 2). It was noted that the calli of 2–3 microspores most often developed on one anther. However, multiple induction of microspores (up to nine) and callus formation on only one microspore can occur in *O. sativa* (Chen C.C., Chen C.M., 1980). The cited work was performed on the rice cultivar ‘Tainan’ obtained through self-pollination. Quite often, *in vitro* haploid techniques are tested on plant cultivars that are homozygous for most genes. However, when we reach the stage of working with hybrids that are heterozygous for a large number of genes, the effectiveness of the protocols for the *in vitro* androgenesis is significantly reduced or even absent due to low callus formation and/or regeneration rates. In such cases, it is customary to refer to the genotypic dependence of androgenic responses *in vitro* in plants (Germana, 2011; Murovec, Bohanec, 2012; Sarao, Gosal, 2018). Many authors point to the higher responsiveness of F_2 hybrids compared to F_1 hybrids in the *in vitro* androgenesis (Murovec, Bohanec, 2012; Sarao, Gosal, 2018), the heterozygosity of which is also distinguishable. This experiment confirmed a similar pattern; the regeneration of all cytotypes was higher in the F_2 hybrids. Thus, the actual number of microspores with calli on one anther of first-generation hybrids may be very limited. The results of the genetic analysis of androgenic doubled haploids using *Pi* genes demonstrated that from one to three microspores were induced, four in very rare cases (Ilyushko et al., 2023).

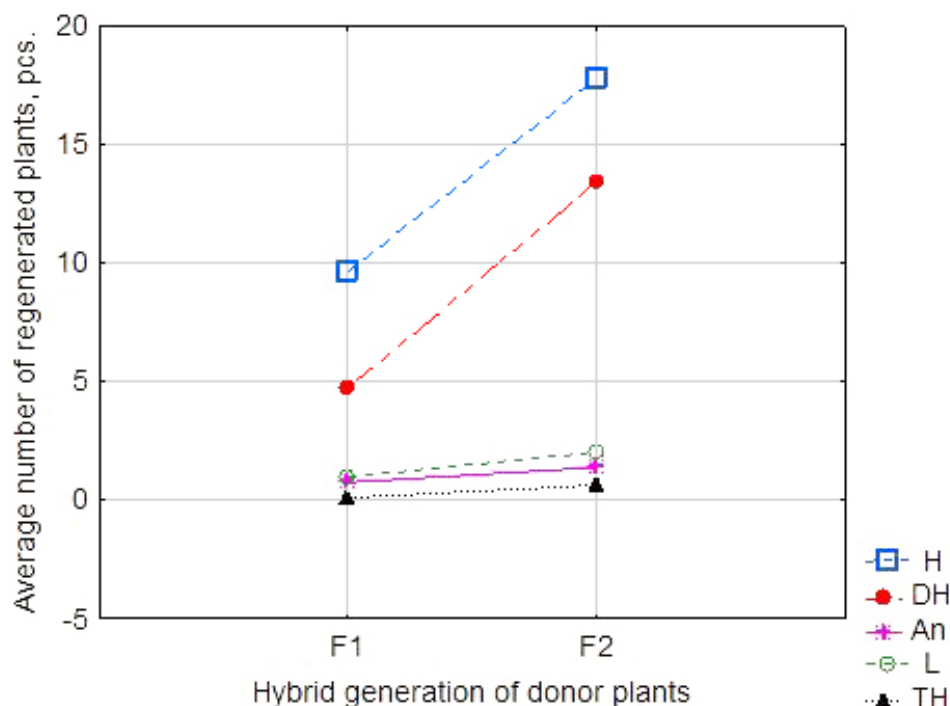


Fig. 2. The number of regenerated plants on the *in vitro* androgenic calli of the first (F_1) and second (F_2) generation hybrids (*Oryza sativa* L.): H – haploids, DH – doubled haploids, An – plants without seeds, L – dead, and TH – tetraploids

Рис. 2. Численность регенерантов на андрогенных каллусах *in vitro* гибридов первого (F_1) и второго (F_2) поколений *Oryza sativa* L.: H – гаплоиды, DH – удвоенные гаплоиды, An – растения без семян, L – погибшие, TH – тетраплоиды

Table 3. Regeneration of the *in vitro* androgenic calli of *Oryza sativa* L.
Таблица 3. Регенерация *in vitro* андрогенных каллусов *Oryza sativa* L.

Index	Type of regenerated plants				
	H	DH	An	L	TH
F₁ hybrids, number of calli: 328 pcs.					
Average number per callus, pcs.	9.63	4.76	0.76	0.97	0.06
Highest number per callus, pcs.	81	47	20	27	3
Share of the total, %	59.6	29.4	4.7	6.0	0.4
F₂ hybrids, number of calli: 81 pcs.					
Average number per callus, pcs.	17.84	13.44	1.40	2.05	0.65
Highest number per callus, pcs.	162	121	26	13	12
Share of the total, %	50.4	40.0	3.9	5.8	1.9

Note: the differences between F₁ and F₂ are significant for H, DH, L, and TH at $p < 0.0002$, and for An at $p = 0.055$

Примечание: различия между F₁ и F₂ достоверны по H, DH, L и TH при $p < 0,0002$, по An при $p = 0,055$

The proportion of calli with different cell ploidy is 67.4% (Chen C.C., Chen C.M., 1980), and the proportion of calli with different cytotypes of regenerated plants is the same – 64.8%. Thus, in rice, cell ploidy is a good predictor of calli cytotypic variability in the *in vitro* androgenesis. However, the necessary mass production of regenerated plants, especially DH, requires simple, cheap methods for diagnosing the cultivated material. Conventional flow cytometry and cytological screening methods are expensive, time-consuming and labor-intensive, while morphological discrimination of different cytotypes of *O. sativa* plants is quite reliable (Singh et al., 2023). A high number of dead plants (up to 6.0%) were formed among the regenerated ones (see Table 3), which is the rule in the *in vitro* androgenesis (Goncharova, 2018). However, it is impossible to determine the cytotype of nonviable forms by appearance without special diagnostics. Apart from the dead plants, 50.6% of the calli manifested polycytotypicity, forming haploids, doubled haploids, aneuploids, and tetraploids in various combinations.

Haploid tissue is characterized by significant genetic stability. The rapid rate of cell division and short mitotic index make it more competitive with respect to polyploid, binuclear and aneuploid cells (Tyrnov, Davoyan, 1976), therefore the proportion of haploids affects the overall regenerative capacity of calli ($r = 0.81$) and accounts for more than half of all the green regenerated plantlets (see Table 3).

In general, the issue of the total yield of spontaneously doubled haploids attracts the interest of researchers, since it significantly affects the overall yield of DH. It ranges from 30 to 40% in rice, reaching 72–95% in some cases (Germana, 2011; Sarao, Gosal, 2018; Sartbaeva et al., 2018). Many researchers consider the third stage of doubled haploid obtaintment to be the induced chromosome duplication by antimetabolic substances with establishing the *in vitro* culture or treating haploids *ex vitro*. Even in this case, a significant increase in the yield of doubled haploids is not observed; still, the proportion of doubled haploids remains about 35% (Hooghorst et al., 2018). It seems to us that the problem lies not in the methods of induced chromosome duplication, but in the imbalance of chromosome sets in haploid plants, incapable of duplication followed by mitotic division. Studies on the hap-

loid morphological variability and variability in nuclear DNA content revealed significant differences both among haploids of one hybrid and within the callus line (Ilyushko et al., 2018, 2022). Apparently, spontaneous chromosome duplication in the *in vitro* androgenesis of rice reaches the maximum or almost the maximum possible rates in existing protocols. Subsequent manipulations to increase the yield of DH are not justified due to the laboriousness and danger when working with antimetabolic substances.

Regardless of *in vitro* anther culture, *O. sativa* is capable of producing tetraploid plants whose fertility remains insufficiently high for cultivar production due to cytogenetic defects in meiosis (Luan et al., 2009; Chen L. et al., 2019). It is considered possible to increase the fertility of tetraploid rice through selection (Tu et al., 2007), i.e., increased homozygosity. The generation of a hybrid (F₁ or F₂) affects the overall yield of regenerated plants with a multiple set of chromosomes in the *in vitro* androgenesis – the number of DH and TH is higher among F₂ hybrids (see Figure 2). Many authors noted the genotypic dependence of the intensity of the spontaneous chromosome duplication in the *in vitro* androgenesis (Germana, 2011; Sartbaeva et al., 2018). And in this sense, hybrids of the first and second generations, even in the transmission of the same hybrid combination, are genotypically distinguishable, and, therefore, respond differently in *in vitro* anther culture. In the context of allotetraploidy of *O. sativa* (subspecies *japonica* and *indica*), there is a predominance of chromosome number over chromosome loss, and rice has a clear tendency to be in the aneuploid stage (Wu et al., 2018). Variations in aneuploidy in rice are extensive (Ilyushko et al., 2018; Wu et al., 2018), and provide optimism towards polyploid speciation in crop plants (Wu et al., 2018). Anther culture *in vitro* can become a reliable assistant in achieving this goal, considering aneuploid morphogenesis among hybrids in a range of 3.9–4.7%.

Conclusions

1. The intracallus cytotypic variability of *O. sativa* in the *in vitro* androgenesis was 64.8%, which was comparable to the proportion of calli with different cell ploidy. Apart from

the dead plants, 50.6% of all the calli formed from two to four types of regenerated plants in various combinations.

2. The F_2 hybrids formed a higher number of haploids, doubled haploids, tetraploids, and dead regenerated plants than the F_1 hybrids.

3. A higher number of calli with three and four types of regenerated plants developed on the F_2 hybrids than on the F_1 hybrids.

4. The overall increase in the number of regenerated plantlets per callus occurred mainly due to the presence of haploid plants ($r = 0.81$, $p < 0.05$).

References / Литература

- Chen C.C., Chen C.M. Changes in chromosome number in microspore callus of rice during successive subcultures. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*. 1980;22(4):607-614. DOI: 10.1139/g80-066
- Chen L., Yuan Y., Wu J., Chen Z., Wang L., Shahid M.Q. et al. Carbohydrate metabolism and fertility related genes high expression levels promote heterosis in autotetraploid rice harboring double neutral genes. *Rice (New York, NY)*. 2019;12(1):34. DOI: 10.1186/s12284-019-0294-x
- Germana M.A. Anther culture for haploids and doubled haploid production. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2011;104(3):283-300. DOI: 10.1007/s11240-010-9852-z
- Goncharova Y.K. Molecular marking in rice breeding (Молекулярное маркирование в селекции риса. Краснодар: ВНИИ риса; 2018). [in Russian] (Гончарова Ю.К. Молекулярное маркирование в селекции риса. Краснодар: ВНИИ риса; 2018).
- Goncharova Y.K., Vereshchagina S.A., Gontcharov S.V. Nutrient media for double haploid production in anther culture of rice hybrids. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2019;20(23-24):1215-1223.
- Hooghvorst I., Ramos-Fuentes E., López-Cristofannini C., Ortega M., Vidal R., Serrat X. et al. Antimitotic and hormone effects on green doubled haploid plant production through anther culture of Mediterranean japonica rice. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2018;134(2):205-215. DOI: 10.1007/s11240-018-1413-x
- Ilyushko M.V., Guchenko S.S., Romashova M.V. Intracallus and intercallus morphological variability of rice doubled haploids obtained in *in vitro* androgenesis. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;47(1):11-16. DOI: 10.3103/S1068367421010080
- Ilyushko M.V., Romashova M.V., Guchenko S.S. Intracallus variability for rice blast resistance genes in *Oryza sativa* L. indicated by genetic analysis of androgenic doubled haploids. *Agricultural Biology*. 2023;58(3):554-566. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.3.554eng
- Ilyushko M.V., Skaptsov M.V., Romashova M.V. Nuclear DNA content in rice (*Oryza sativa* L.) regenerants derived from anther culture *in vitro*. *Agricultural Biology*. 2018;53(3):531-538. DOI: 10.15389/agrobiol.2018.3.531eng
- Ilyushko M.V., Skaptsov M.V., Romashova M.V. Variability of morphological features and nuclear DNA content in haploid and doubled haploids of androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):172-180. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-172-180
- Kuznetsova O.I., Ash O.A., Gostimsky S.A. The effect of duration of callus culture on the accumulation of genetic alteration in pea *Pisum sativum* L. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(5):555-562. DOI: 10.1134/s1022795406050139
- Lantos C., Jancsó M., Székely A., Nagy E., Szalóki T., Pauk J. Improvement of anther culture to integrate doubled haploid technology in temperate rice (*Oryza sativa* L.) breeding. *Plants*. 2022;11(24):3446. DOI: 10.3390/plants11243446
- Luan L., Wang X., Long W.B., Liu Y.H., Tu S.B., Xiao X.Y. et al. A comparative cytogenetic study of the rice (*Oryza sativa* L.) autotetraploid restorers and hybrids. *Russian Journal of Genetics*. 2009;45(9):1074-1081. DOI: 10.1134/S1022795409090087
- Murovec J., Bohanec B. Haploids and doubled haploids in plant breeding. In: I.Y. Abdurakhmonov (ed.). *Plant Breeding*. London: IntechOpen; 2012. p.87-106. DOI: 10.5772/29982
- Niazian M., Shariatpanahi M. *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements. *Euphytica*. 2020;216(5):69. DOI: 10.1007/s10681-020-02609-7
- Niizeki H., Oono K. Induction of haploid rice plant from anther culture. *Proceedings of the Japan Academy*. 1968;44(6):554-557. DOI: 10.2183/pjab1945.44.554
- Ogawa T., Fukuoka S., Ohkawa Y. Plant regeneration through direct culture of isolated pollen grains in rice. *Japanese Journal of Breeding*. 1995;45(3):301-307. DOI: 10.1270/JSBBS1951.45.301
- Sakhina A., Mir S., Najeeb S., Zargar S.M., Nehvi F.A., Rather Z.A. et al. Improved protocol for efficacious *in vitro* androgenesis and development of doubled haploids in temperate japonica rice. *PLoS One*. 2020;15(11):e0241292. DOI: 10.1371/journal.pone.0241292
- Sarao N.K., Gosal S.S. *In vitro* androgenesis for accelerated breeding in rice. In: S.S. Gosal, S.H. Wani (eds). *Biotechnologies of Crop Improvement. Vol. 1*. Cham: Springer; 2018. p.407-435. DOI: 10.1007/978-3-319-78283-6_12
- Sartbaeva I.A., Usenbekov B.N., Rysbekova A.B., Mukhina Zh.M., Kazkeev D.N., Zhambakin K.Zh. et al. Obtaining of doubled haploid lines for selection of glutinous rice. *Biotechnology in Russia*. 2018;34(2):26-36. DOI: 10.21519/0234-2758-2018-34-2-26-36
- Seguí-Simarro J.M., Jacquier N.M.A., Widiez T. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. *Methods in Molecular Biology*. 2021;2287:3-22. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_1
- Singh S.K., Jeughale K.P., Dash B., Bhuyan S.S., Chandravani M., Chidambaramanathan P. et al. Discrimination of haploids and doubled haploids/diploids in *indica* rice: correlation of morphological indicators with molecular markers. *Biologia Plantarum*. 2023;67(7):294-302. DOI: 10.32615/bp.2023.008
- Tajedini S., Fakheri B., Niazian M., Mahdinezhad N., Ganim A.M.A., Pour A.K. et al. Efficient microspore embryogenesis and haploid induction in mutant *indica* rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2022;42(4):2345-2359. DOI: 10.1007/s00344-10709-y
- Tu S., Luan L., Liu Y., Long W., Kong F., He T. et al. Production and heterosis analysis of rice autotetraploid hybrids. *Crop Science*. 2007;47(6):2356-2363. DOI: 10.2135/cropsci2007.01.0058
- Tyrnov V.S., Davoyan N.I. Cytogenetics of somatic tissues in haploids (Tsitogenetika somaticheskikh tkaney gaploidov). In: V.A. Krupnov (ed.). *Haploidy and Breeding (Gaploidiya i selektsiya)*. Moscow: Nauka; 1976. p.57-65 [in Russian] (Тырнов В.С., Давоян Н.И. Цитогенетика соматических тканей гаплоидов. В кн.: Гаплоидия и селекция / под ред. В.А. Крупнова. Москва: Наука; 1976. С.57-65).
- Wu Y., Sun Y., Sun S., Li G., Wang J., Wang B. et al. Aneuploidization under segmental allotetraploidy in rice and its phenotypic manifestation. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):1273-1285. DOI: 10.1007/s00122-018-3077-7

Information about the author

Marina V. Ilyushko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, ilyushkoiris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7042-8641>

Информация об авторе

Марина Владиславовна Илюшко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, ilyushkoiris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7042-8641>

Статья поступила в редакцию 26.12.2023; одобрена после рецензирования 11.03.2025; принята к публикации 08.04.2025
The article was submitted on 26.12.2023; approved after reviewing on 11.03.2025; accepted for publication on 08.04.2025.

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

Научная статья

УДК 581.6

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-147-159



К вопросу об идентификации некоторых видов рода *Galeopsis* (Lamiaceae) в связи с наполнением базы данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья

Е. А. Сухолозова¹, Ю. В. Орлова², Е. А. Сухолозов³, Д. А. Комаров⁴, К. Н. Стельмах¹, А. В. Сафонов⁵¹Всероссийский центр карантина растений, Пензенский филиал, Пенза, Россия²Всероссийский центр карантина растений, Московская область, Россия³Российский центр защиты леса, Центр защиты леса Пензенской области, Пенза, Россия⁴Всероссийский центр карантина растений, Волгоградский территориальный отдел Южного филиала, Волгоград, Россия⁵Всероссийский центр карантина растений, Новороссийский филиал, Новороссийск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Александровна Сухолозова, E_kobozeva@mail.ru

Актуальность. Представлены результаты комплексной работы по увеличению достоверности ботанических сведений, заносимых в создаваемую во Всероссийском центре карантина растений «Базу данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья для обеспечения экспортного потенциала региона». Безошибочность ботанических данных часто связана с проблемами, возникающими при идентификации. Объектами исследований выбраны сорные виды рода *Galeopsis*, которые регулируются фитосанитарными требованиями стран – импортеров российской растениеводческой продукции и произрастают в агроценозах РФ, а их плоды встречаются в зерне.

Материалы и методы. Проанализированы существующие ключи и описания, использованы фондовые материалы ведущих коллекций России. Собственные сборы сделаны в Пензенской области и Приморском крае в 2020–2022 гг. Используются методы световой и сканирующей электронной микроскопии.

Результаты. Установлено, что из всех сорных пикульников только *G. ladanum* можно определить безошибочно. Остальные (*G. bifida*, *G. tetrahit*, *G. speciosa*) можно успешно идентифицировать до вида только по гербарным образцам или в естественной среде обитания. Их эремы невозможно по имеющимся анатомо-морфологическим макро- и микропризнакам достоверно отличить друг от друга.

Заключение. Разработанные ключи апробированы при исследовании 196 посевов пшеницы и льна Пензенской и Самарской областей и засоренности 1269 образцов готовой продукции. Полученные результаты использованы для наполнения создаваемой базы данных. Предложено вносить таксоны и в ранге вида, и подрода.

Ключевые слова: карпологический образец, анатомические и морфологические макро- и микропризнаки, сорные регулируемые виды, подрод *Galeopsis*, база данных

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации тем государственных заданий Всероссийского центра карантина растений: № 1022040900012-7-4.1.1 «Разработка базы данных по сорным растениям Среднего Поволжья (на примере Пензенской и Самарской областей) для обеспечения экспортного потенциала пшеницы», № 1022060500004-4-4.1.1 «Разработка базы данных по сорным растениям в посевах масличного льна Среднего Поволжья (на примере Пензенской и Самарской областей) для обеспечения экспортного потенциала региона» и № 223011600041-0 «Разработка методических рекомендаций по выявлению и идентификации сорных растений рода Пикульник (*Galeopsis* L.)». Авторы признательны сотрудникам гербариев LE, MHA, MW, VLA, RWBG, RV, PKM, Ботанического музея БИН РАН за предоставленные карпологические материалы из научных фондов и лично: В. О. Романовой, М. Б. Шелудяковой, М. В. Легченко, Н. Ю. Степановой, Н. С. Гамовой, З. В. Кожевниковой, А. Н. Шмараевой, А. А. Мироновой, Т. М. Чепкасовой. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Сухолозова Е.А., Орлова Ю.В., Сухолозов Е.А., Комаров Д.А., Стельмах К.Н., Сафонов А.В. К вопросу об идентификации некоторых видов рода *Galeopsis* (Lamiaceae) в связи с наполнением базы данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):147-159. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-147-159

© Сухолозова Е.А., Орлова Ю.В., Сухолозов Е.А., Комаров Д.А., Стельмах К.Н., Сафонов А.В., 2025

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-147-159

On the identification of some *Galeopsis* spp. (Lamiaceae) in connection with filling up the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region

Ekaterina A. Sukholozova¹, Yuliya V. Orlova², Evgeniy A. Sukholozov³, Dmitriy A. Komarov⁴, Ksenia N. Stelmakh¹, Alexey V. Safonov⁵

¹ All-Russian Plant Quarantine Center, Penza Branch, Penza, Russia

² All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow Province, Russia

³ Russian Center of Forest Health, Forest Protection Center of Penza Province, Penza, Russia

⁴ All-Russian Plant Quarantine Center, Volgograd Territorial Department of the Southern Branch, Volgograd, Russia

⁵ All-Russian Plant Quarantine Center, Novorossiysk Branch, Novorossiysk, Russia

Corresponding author: Ekaterina A. Sukholozova, E_kobozeva@mail.ru

Background. Presented here are the results of a comprehensive work to increase the reliability of the botanical information entered in the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region for ensuring the regional export potential, developed at the All-Russian Plant Quarantine Center. The accuracy of botanical data is often associated with identification problems. The target materials were *Galeopsis* spp. (*G. ladanum*, *G. bifida*, *G. tetrahit*, and *G. speciosa*) regulated by the phytosanitary requirements of the countries importing Russian crop production, growing in local agrocenoses, and whose fruits occur in grain harvests.

Materials and methods. The existing keys and descriptions were analyzed. Holdings of the leading Russian collections were reviewed. Plant samples were collected in segetal and urbanized habitats of Penza Province and Primorsky Territory in 2020–2022. Light and scanning electron microscopy techniques were applied in the search for stable anatomical and morphological features for reliable identification.

Results. It was established that *G. ladanum* in its natural environment could be precisely identified using herbarium and carpological specimens. The remaining *Galeopsis* spp. were successfully identifiable to the species rank only from their herbarium specimens or in their natural habitat. Their carpological samples cannot be reliably distinguished from each other by the available anatomical and morphological macro- and microtraits.

Conclusion. The developed keys were tested in the study of 196 wheat and flax crops in Penza and Samara Provinces and the contamination in 1269 samples of finished products. The obtained results served as the material for filling up the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region for ensuring the regional export potential. Due to the difficulties in identifying erems of three *Galeopsis* spp., it is proposed to enter data not only in the rank of the species, but also in the rank of the subgenus.

Keywords: carpological sample, anatomical and morphological macro- and microtraits, regulated weedy species, subgenus *Galeopsis*, database

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the implementation of the state tasks assigned to the All-Russian Plant Quarantine Center: No. 1022040900012-7-4.1.1 “Development of a database of weeds in the Middle Volga region (a case study of Penza and Samara Center) to ensure the export potential of wheat”, No. 1022060500004-4-4.1.1 “Development of a database of weeds in oilseed flax crops in the Middle Volga region (a case study of Penza and Samara Center) to ensure the regional export potential”, and No. 223011600041-0 “Development of methodological recommendations for detecting and identifying weedy plants of the genus *Galeopsis* L.”.

The authors are grateful to the staff of the herbaria LE, MHA, MW, VLA, RWBG, RV, RKM, and the Botanical Museum of BIN RAS for the carpological materials provided from their scientific holdings, and personally to V. O. Romanova, M. B. Sheludyakova, M. V. Legchenko, N. Yu. Stepanova, N. S. Gamova, Z. V. Kozhevnikova, A. N. Shmaraeva, A. A. Mironova, and T. M. Chepkasova.

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

For citation: Sukholozova E.A., Orlova Yu.V., Sukholozov E.A., Komarov D.A., Stelmakh K.N., Safonov A.V. On the identification of some *Galeopsis* spp. (Lamiaceae) in connection with filling up the database of weeds in wheat and flax crops in the Middle Volga region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):147-159. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-147-159

Введение

Мировая глобальная цифровизация подразумевает создание самых разнообразных баз данных, которые становятся неотъемлемой частью эффективной работы в любой сфере деятельности человека. При значительном разнообразии тематических направлений создаваемых и уже существующих баз данных одно всегда остается неизменно важным – достоверность и правильность заносимой информации, потому что при массовом использовании этих данных ошибки многократно повторяются пользователями.

Создаваемая во Всероссийском центре карантина растений база данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья (на примере Пензенской и Самарской областей) для оценки экспортного потенциала регионов будет включать сведения о не менее чем 200 видах растений, встречающихся на полях пшеницы и льна выбранных регионов, семена которых попадают после уборки и хранения в готовую продукцию. Для адекватной оценки засоренности посевов и зерна теми или иными видами необходима безошибочная идентификация как растений целиком, так и их карпологических образцов. В качестве примера растений с трудной идентификацией рассмотрены представители рода *Galeopsis* L. (Пикульник), многие виды которого часто встречаются на российских полях в качестве сорных растений.

По данным ревизии, проведенной Н. В. Тюнниковой (Tyunnikova, 2006), род *Galeopsis* (Lamiaceae) включает 9 видов однолетних растений, относящихся к двум под родам: subgen. *Galeopsis* C.C. Towns. и subgen. *Ladanum* (S.F. Gray) Reichenb. Пять видов из девяти регулируются фитосанитарными требованиями стран – импортеров растениеводческой продукции: *G. tetrahit* L., *G. bifida* Boenn., *G. speciosa* Mill. (подрод *Galeopsis*) и *G. angustifolia* Ehrh. ex Hoffm., *G. ladanum* L. (подрод *Ladanum*). Пять стран – импортеров российского зерна (Мексика, Бразилия, Сирия, Иран, Китай) не допускают или ограничивают наличие плодов перечисленных видов в зерновой продукции (<http://www.fsvps.ru/fsvps/importexport>). Таким образом, необходима правильная идентификация регулируемых видов пикульников.

Из них только *G. angustifolia* встречается на территории Российской Федерации спорадически, указываются единичные его находки (Stankov, Taliev, 1957; Gubareva, 1995; Tyunnikova, 2006; <https://www.inaturalist.org>), все из которых – далеко за пределами основной зоны возделывания сельскохозяйственных культур, а обнаружения последних лет приурочены к железнодорожным насыпям в Московской и Тульской областях (<https://www.inaturalist.org>), поэтому плоды этого вида в российское зерно не попадают. Остальные виды, регулируемые странами – импортерами российской растениеводческой продукции: *G. tetrahit*, *G. bifida*, *G. speciosa* и *G. Ladanum*, – в той или иной степени приурочены к основным зонам возделывания сельскохозяйственных культур в России, поэтому и являются объектами нашего исследования.

Цель исследования – увеличить достоверность ботанической информации, заносимой в базу данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья, на примере сорных растений рода *Galeopsis*.

Задачи исследования. 1. Проанализировать признаки, пригодные для идентификации целых растений и эремов видов *Galeopsis*, произрастающих в агроценозах России. 2. Апробировать составленные ключи в собственных исследованиях при определении сорных пикульни-

ков в полях пшеницы и льна, а также для идентификации их эремов, попадающих в готовую зерновую продукцию. 3. Обобщить данные о встречаемости различных пикульников на полях пшеницы и льна и о засоренности их эремами готовой зерновой продукции. 4. Внести полученные сведения в разрабатываемую базу данных.

Материалы и методы

Для составления ключей по сорным видам пикульников по признакам вегетативных и генеративных органов целого растения и по эремам¹ проанализированы существующие ключи и имеющиеся описания (Juzepczuk, 1935, 1954; Stankov, Taliev, 1957; Dobrokhoto, 1961; Wojciechowska, 1966; Gladkova, Menitsky, 1978; Maysuryan, Atabekova, 1978; Probatova, 1995; Doronkin, 1997; Moskalenko, Yudin, 1999; Tyunnikova, 2006; Tyunnikova, Maslova, 2007; Volkova et al., 2007; Maslova, 2008; Mayorov, Zakakova, 2014), использованы собственные сборы и фондовые материалы из гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (БИН РАН) (LE), карпологической коллекции Ботанического музея БИН РАН, гербария Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) (MHA); гербария Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (VLA); гербария ботанического сада Южного федерального университета (RWBG) и кафедры ботаники ЮФУ им. проф. И.В. Новопокровского (RV); гербария им. И.И. Спрыгина Пензенского государственного университета (PKM).

Собственные гербарные и карпологические образцы *G. bifida* для анализа признаков собраны в Пензенской области (посевы пшеницы, льна, кукурузы, сахарной свеклы) в 2020–2021 гг. и в Приморском крае (поля сои Уссурийского городского округа, зарастающие газоны г. Уссурийска; зарастающие газоны, клумбы г. Владивостока) в 2021 г. Гербарий и эремы *G. speciosa* для анализа собраны в посевах льна и пшеницы Пензенской области в 2020–2022 гг. Гербарные образцы с плодами *G. tetrahit* собраны в сосновых посадках г. Пензы в 2021 г. Плоды взяты с точно идентифицированных цветущих растений. В случае, если определенные растения еще не плодоносили, их пересаживали на опытный участок и доращивали до массового плодоношения.

Для поиска надежных морфологических признаков, пригодных для идентификации эремов пикульников, использовали методы световой и сканирующей электронной микроскопии.

При определении гербарных образцов для рассмотрения деталей строения цветка его первоначально необходимо распарить. Для этого аккуратно пинцетом отделить от гербарного образца 2–3 цветка, поместить их в чашку Петри, добавить воду так, чтобы она полностью покрыла поверхность цветков, накрыть чашку Петри крышкой и оставить ориентировочно на 1–2 часа. Затем, предварительно проверив, что ткани цветка размягчились, под стереомикроскопом на малом увеличении двумя препаровальными иглами или энтомологическими булавками расправить части цветка в воде: боковые и срединную лопасти нижней губы. Далее приступить к идентификации.

¹Эрем – закрытая не вскрывающаяся односеменная часть плода ценобия, опадающая при его созревании (Kaden, Zakolyukina, 1965). Ценобий – синкарпный, верхний, образованный двумя плодолистками, ложнотетрахгнездный плод с оболочкой из спайнолистной чашечки (Kaden, Smirnova, 1968).

Морфологические особенности эремов изучали с помощью стереомикроскопа Carl Zeiss Stemi 2000 C. Для измерения линейных размеров эремов использовали окуляр-микрометр стереоскопического микроскопа.

Макрофото съемку плодов проводили с использованием метода послойной фотографии с помощью стереомикроскопа Carl Zeiss SteREO Discovery V20 с системой визуализации на базе фотоаппарата Canon EOS 5D MkIV. Результирующее изображение плодов получали с помощью программы Zerene Stacker, в которой снимки комбинировались послойно.

Сравнительное анатомо-морфологическое исследование эремов пикульников проводили на поперечных срезах. Эремы видов из разных частей ареала (Пензенская область, Приморский край) и собранные в разных экологических условиях произрастания (поля различных культур, урбанизированные местообитания) исследовали в 5–10-кратных повторностях. Перед проведением анатомического исследования сухие эремы выдерживали в смеси Страсбургера (90-процентный этиловый спирт – глицерин – дистиллированная вода в равных соотношениях) в течение 2 суток, затем вручную получали поперечные срезы с помощью безопасных лезвий. Для определения степени одревеснения клеточных стенок перикарпия проводили гистохимическую реакцию на одревеснение с флороглюцином и соляной кислотой согласно стандартным методикам (Voronin, 1981). Тонкие окрашенные срезы помещали в каплю глицерина, полученные временные микропрепараты изучали с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star и фотографировали. Для измерения высоты склеренхимного слоя перикарпия использовали окулярную и объективную линейки.

Для изучения гистологических зон перикарпия эремы предварительно помещали в 20-процентный раствор щелочи на 2 ч. После такой обработки зоны перикарпия легко отделялись друг от друга. Далее ткани аккуратно укладывали на предметное стекло и окрашивали флороглюцином для выявления одревесневших оболочек.

Ультроструктуру поверхности эремов растений рода *Galeopsis* изучали с помощью электронного сканирующего микроскопа СЭМ Hitachi TM4000 Plus в режиме низкого вакуума без предварительной пробоподготовки образца (без гидратации и напыления металлами). Зрелые сухие эремы монтировали с помощью двухстороннего углеродного скотча на металлические столики. Поверхность семян просматривалась и фотографировалась выборочно при увеличениях микроскопа в диапазоне от 100 до 1000 раз.

Исследование частоты встречаемости разных видов рода *Galeopsis* проводили на полях пшеницы и масличного льна (табл. 1) с 2019 по 2024 г. во всех районах Пензенской области и в 2023–2024 гг. во всех районах Самарской области. Всего за годы исследований участие пикульников в составе сорной флоры посевов учтено на 196 полях. Каждое поле на наличие сорных пикульников осматривали по краям и в основной части посевов. Засоренность готовой продукции эремами разных представителей пикульников изучали в 121 образце льна и 825 образцах пшеницы из Пензенской области, а также в 92 образцах масличного льна и 231 образце пшеницы из Самарской области. 1269 образцов (табл. 2) исследовали методом ручного разбора, постепенно высыпая содержимое на разборочную доску небольшими порциями и перебирая шпателем с использованием налобной лампы.

Результаты исследований

В результате анализа ранее предложенных другими авторами признаков (Juzepczuk, 1935, 1954; Stankov, Taliev, 1957; Gladkova, Menitsky, 1978; Probatova, 1995; Doronkin, 1997; Tyunnikova, 2006; Tyunnikova, Maslova, 2007; Maslova, 2008; Mayorov, Kazakova, 2014; etc) и изучения фондовых и собственных гербарных материалов были отобраны диагностические признаки, пригодные для определения сорных пикульников в естественной среде и по гербарным образцам: окраска и особенности строения цветка (соотношение размеров верхней и средней долей нижней губы относительно друг друга, форма верхней губы, соотношение размеров долей средней губы относительно друг друга, наличие выемки на средней доле нижней губы), особенности опушения стебля и его локализация, толщина междоузлий.

Используя представленный ключ, определены пикульники, обнаруженные в исследованных полях пшеницы и льна в Пензенской и Самарской областях. Полученные данные о частоте встречаемости видов рода *Galeopsis* представлены в таблице 1. Примерно в половине исследованных полей выявлен пикульник ладанниковый, в почти 22% посевов отмечен пикульник двунадрезанный, только на 7 полях из 196 обследованных найден пикульник красивый (см. табл. 1). Пикульник обыкновенный в исследованных посевах не обнаружен, что согласуется с его основным ареалом на территории страны, захватывающим только северо-западную часть России (Tyunnikova, 2006; Afonin et al., 2008), за пределами которого вид не связан с агроценозами, что мы и наблюдали в Пензенской области, где собирали его в сосновых насаждениях.

Ко времени уборки урожая озимой и яровой пшеницы и масличного льна, как в Пензенской, так и в Самарской областях, сорные пикульники плодоносят, так как для них, как и для многих сорных растений, характерен длительный период плодоношения. В связи с этим высокая вероятность попадания эремов сорных видов *Galeopsis* в готовую продукцию.

Плод пикульников – ценобий, однако в продукцию попадает не плод целиком, а его закрытые не вскрывающиеся односеменные части – эремы, опадающие при созревании. Обычно в ценобии развивается 4 эрема. В таком случае их форма обратнойцевидная. Эремы с округлой верхушкой и суженным основанием; в поперечном сечении в средней части неясно, в основании отчетливо трехгранные; дорсальная и вентральная стороны выпуклые; на вентральной стороне расположено ребро, особенно выраженное от половины эрема к его основанию. Рубчик овальный или эллиптический, обычно окаймленный светлым валиком. Эремы коричневые с темными и светлыми пятнами, гладкие, слабо блестящие или матовые.

Эремы *G. ladanum* хорошо отличаются от эремов *G. bifida*, *G. speciosa*, *G. tetrahit* меньшим размером, они более узкие с острыми ребрами (рис. 1). Внутри подрода *Galeopsis*, напротив, эремы разных представителей крайне похожи. Во многих работах отмечается, что эремы *G. bifida*, *G. tetrahit* и *G. speciosa* характеризуются большим морфологическим сходством и зачастую неотличимы друг от друга (Juzepczuk, 1935, 1954; Dobrokhотов, 1961; Maysuryan, Atabekova, 1978; Volkova et al., 2007).

Для поиска достоверных признаков для идентификации эремов подрода *Galeopsis* первоначально использовали морфологический и морфометрический методы.

Таблица 1. Частота встречаемости сорных видов *Galeopsis* L. на полях пшеницы и льна Пензенской и Самарской областей**Table 1. Frequencies of occurrence of weedy *Galeopsis* L. spp. in the fields of wheat and flax in Penza and Samara Provinces**

Регион исследования	Год исследований	Культура	Тип культуры	Число исследованных полей	Количество случаев обнаружения видов рода <i>Galeopsis</i> L.			
					<i>G. bifida</i>	<i>G. ladanum</i>	<i>G. speciosa</i>	<i>G. tetrahit</i>
Пензенская область	2019	пшеница	озимая	9	4	3	0	0
	2020	пшеница	озимая	12	4	6	0	0
			яровая	3	1	3	0	0
	2021	лен	масличный	21	4	18	4	0
		пшеница	озимая	3	2	1	0	0
	2022	лен	масличный	16	7	11	1	0
		пшеница	озимая	7	1	3	0	0
	2023	пшеница	яровая	15	7	6	1	0
			озимая	8	3	3	0	0
		лен	масличный	4	1	2	0	0
	2024	пшеница	озимая	2	0	2	0	0
			яровая	6	2	2	0	0
		лен	масличный	5	3	3	0	0
Самарская область	2023	пшеница	озимая	13	0	7	0	0
			яровая	12	0	3	0	0
		лен	масличный	4	0	1	0	0
	2024	пшеница	озимая	14	1	5	1	0
			яровая	8	1	3	0	0
		лен	масличный	17	2	6	0	0
	Итого			196	43	93	7	0

Ключ для определения сорных видов пикульников

1. Стебель покрыт преимущественно оттопыренными вниз жесткими щетинковидными многоклеточными волосками с примесью мягких простых и железистых волосков, под узлами расширенный. Верхняя губа венчика шлемовидная, сопоставима по длине со средней долей нижней губы, которая едва шире боковых ее долей или почти равна им (подрод *Galeopsis*) 2
+ Стебель опушен мягкими простыми и железистыми волосками, не расширенный под узлами. Верхняя губа венчика слегка изогнутая, намного короче средней доли нижней губы, которая, в свою очередь, значительно шире боковых ее долей (подрод *Ladanum*) *Galeopsis ladanum* L. (пикульник ладанниковый)
2. Венчик бледно-желтый, крупный, 20–35 мм длиной, большая часть нижней губы окрашена в фиолетовый цвет различной интенсивности *Galeopsis speciosa* Mill. (пикульник красивый)
+ Венчик не длиннее 20 мм, розовый или пурпурный с изменчивым рисунком из пятен и линий 3
3. Средняя доля нижней губы венчика довольно узкая, у основания перетянута, на конце с заметной выемкой, полностью окрашена в пурпурный или розовый цвет, размер рисунка варьирует. Стебель под узлами и все междоузлие покрыты густыми жесткими щетинковидными волосками *Galeopsis bifida* Boenn. (пикульник двунадрезанный)
+ Средняя доля нижней губы более широкая в сравнении с предыдущим видом, квадратно-округлая, без выемки на конце, иногда волнистая, но никогда не двунадрезанная, окрашена в бледно-пурпурный цвет, по краям с широкой светлой каймой и с рисунком при основании. Стебель густо покрыт жесткими щетинковидными волосками преимущественно в узлах, междоузлие слабо опушено или почти голое *Galeopsis tetrahit* L. (пикульник обыкновенный)

Таблица 2. Встречаемость эремов сорных пикульников в зерне пшеницы и семенах льна из Пензенской и Самарской областей**Table 2. Occurrence of weedy *Galeopsis* carpological samples in wheat grain and flax seeds from Penza and Samara Provinces**

Регион исследования	Культура	Год урожая	Число исследованных образцов	Количество случаев обнаружения эремов видов рода <i>Galeopsis</i> L.	
				<i>G. ladanum</i> L.	subgen. <i>Galeopsis</i> C.C. Towns. (incl. <i>G. tetrahit</i> L., <i>G. speciosa</i> Mill., <i>G. bifida</i> Boenn.)
Пензенская область	пшеница	2018	81	15	17
		2019	197	71	63
		2020	197	64	102
		2021	124	34	48
		2022	109	28	48
		2023	117	52	79
	лен	2020	3	3	3
		2022	33	16	18
		2023	85	43	28
Самарская область	пшеница	2023	231	23	9
	лен	2023	92	3	1
Итого			1269	352	416

Полученные результаты с приведением статистических расчетов подробно изложены и опубликованы авторами в статье Е. А. Сухолюзовой с соавторами (Sukholozova et al., 2022), здесь мы приводим только краткие выводы. Проанализированы качественные морфологические (форма эрема, его окраска; число пятен; форма, окраска и расположение рубчика эрема, характер поверхности дорсальной стороны эрема, наличие на дорсальной поверхности эремов продольных краевых валиков) и морфометрические (длина, ширина и толщина эрема, длина эрема до максимальной ширины, длина и ширина рубчика эрема, соотношение длины и ширины эрема) признаки 859 эремов. Большинство проанализированных морфологических признаков варьировало у каждого вида и во многом зависело от количества эремов в ценности. Если закладывалось меньшее число эремов (1–3), что могло быть обусловлено, например, применением гербицидов и нарушением репродуктивных процессов у растений, форма эремов изменялась от обратнойцевидной до почти шаровидной, смещалось положение рубчика, его форма и т. д. Окраска изменялась в зависимости от степени зрелости эремов. Проверенные морфометрические показатели характеризовались значительным перекрытием диапазонов, а значит, также не могли быть использованы как диагностические. Единственный морфологический признак, отличающий эремы *G. speciosa* от эремов *G. bifida* и *G. tetrahit*, – наличие продольных краевых плоских валиков на дорсальной стороне эрема (см. рис. 1), однако у 10% исследованных образцов они отсутствовали.

Таким образом, проведенный анализ качественных и количественных признаков свидетельствует о большом морфологическом сходстве эремов трех видов под-

рода *Galeopsis* (*G. bifida*, *G. tetrahit* и *G. speciosa*) и убеждает в необходимости поиска других возможных способов диагностики.

Анатомическое исследование перикарпия эремов

Перикарпий пикульников дифференцирован на три гистогенетические зоны: экзо-, мезо- и эндокарпий. Для выявления признаков, пригодных для видовой диагностики эремов подрода Пикульник, исследовали особенности строения экзо- и мезокарпия.

Экзокарпий представлен однослойной эпидермой. Она состоит из двух типов клеток (рис. 2). Согласно исследованиям (Wojciechowska, 1966; Tyunnikova, 2006), клетки первого типа явно или неявно шестиугольные, столбчатыми в разной степени антиклинальными стенками и струйчато-зернистыми, вогнутыми наружными периклинальными стенками; клетки второго типа имеют слабоутолщенные или лишенные утолщения антиклинальные стенки и слегка или явно выпуклые, ямчатые наружные периклинальные стенки. Именно наличие в эпидермальном слое двух типов клеток обуславливает «мраморную» поверхность эремов, более или менее выраженную у разных видов пикульников. С одной стороны, общий план строения этого слоя у видов подрода *Galeopsis* сходный, как по данным наших исследований, так и по данным B. Wojciechowska (Wojciechowska, 1966). С другой стороны, согласно нашим наблюдениям, слой этих клеток довольно непрочный и при даже незначительном механическом воздействии легко стирается, особенно при попадании эремов в готовую продукцию. Анализируя образцы зерна, отмечены эремы пикульников, полностью лишенные этого слоя. Таким образом, ис-

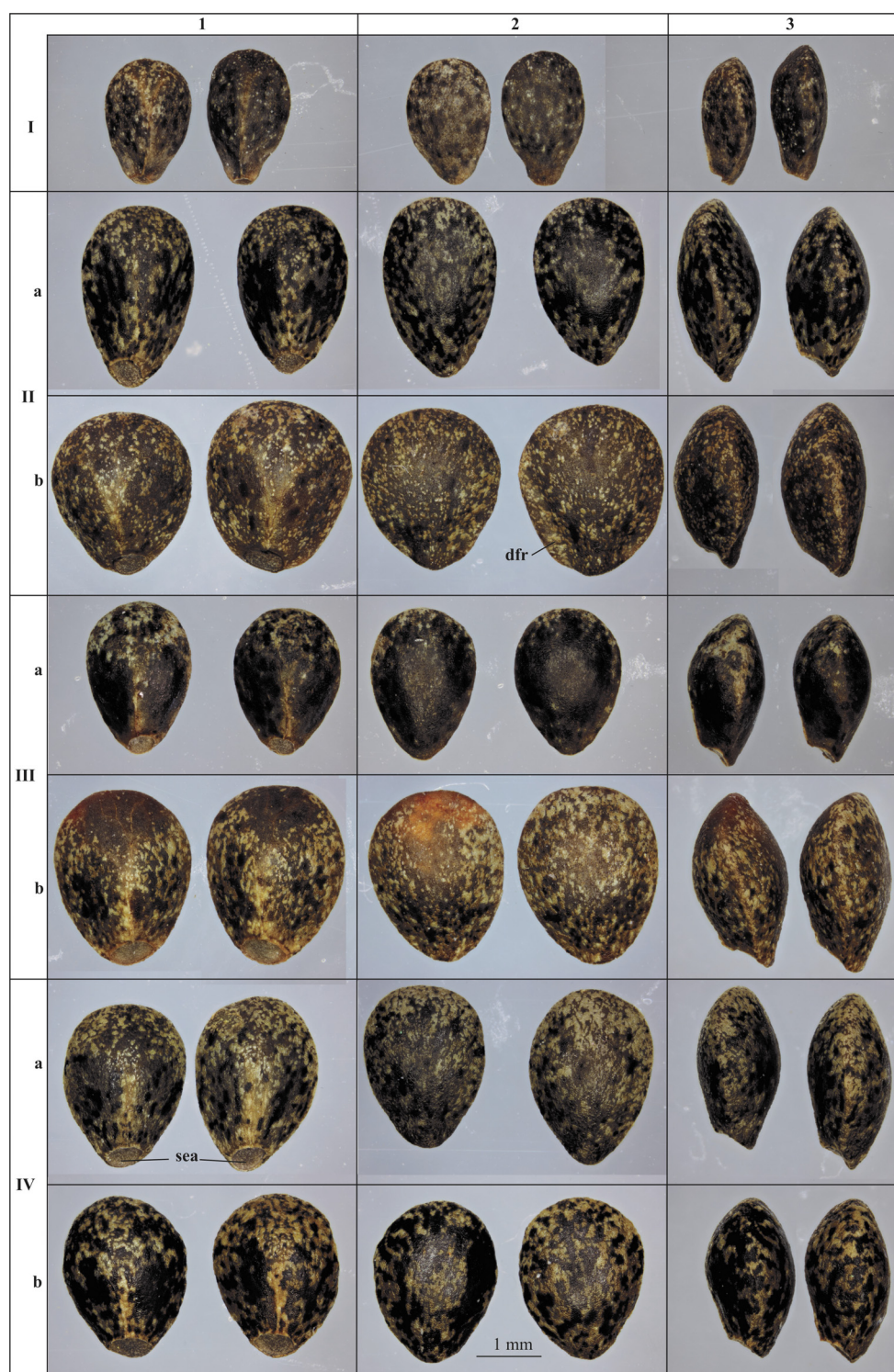


Рис. 1. Образцы эремов видов *Galeopsis* L.:

I – *G. ladanum* (Пензенская область, поле пшеницы, 30.07.2021); **II – *G. speciosa*** (**a** – Пензенская область, посевы льна, 25.08.2020; **b** – образец МНА 0154 297, Смоленская область, ольшаник, 8.08.1974); **III – *G. tetrahit*** (**a** – сосновые посадки г. Пензы, 31.08.2021; **b** – образец МНА 0154 329, Смоленская область, овсяное поле, 6.08.1974); **IV – *G. bifida*** (**a** – Пензенская область, поле пшеницы, 30.07.21; **b** – г. Владивосток, морской торговый порт, 18.08.2021); 1 – ventral surface, 2 – dorsal surface, 3 – lateral surface; dfr – дорсальный плоский краевой валик, sea – рубчик эрема

Fig. 1. Carpological samples of *Galeopsis* L. spp.:

I – *G. ladanum* (Penza Province, wheat field, July 30, 2021); **II – *G. speciosa*** (**a** – Penza Province, flax fields, Aug. 25, 2020; **b** – MNA 0154 297 sample, Smolensk Province, alder thicket, Aug. 8, 1974); **III – *G. tetrahit*** (**a** – pine plantings, Penza, Aug. 31, 2021; **b** – MNA 0154 329 sample, Smolensk Province, oat field, Aug. 6, 1974); **IV – *G. bifida*** (**a** – Penza Province, wheat field, July 30, 2021; **b** – Vladivostok, sea trading port, Aug. 18, 2021); 1 – ventral surface, 2 – dorsal surface, 3 – lateral surface; dfr – dorsal flat roller; sea – scar of carpological sample attachment

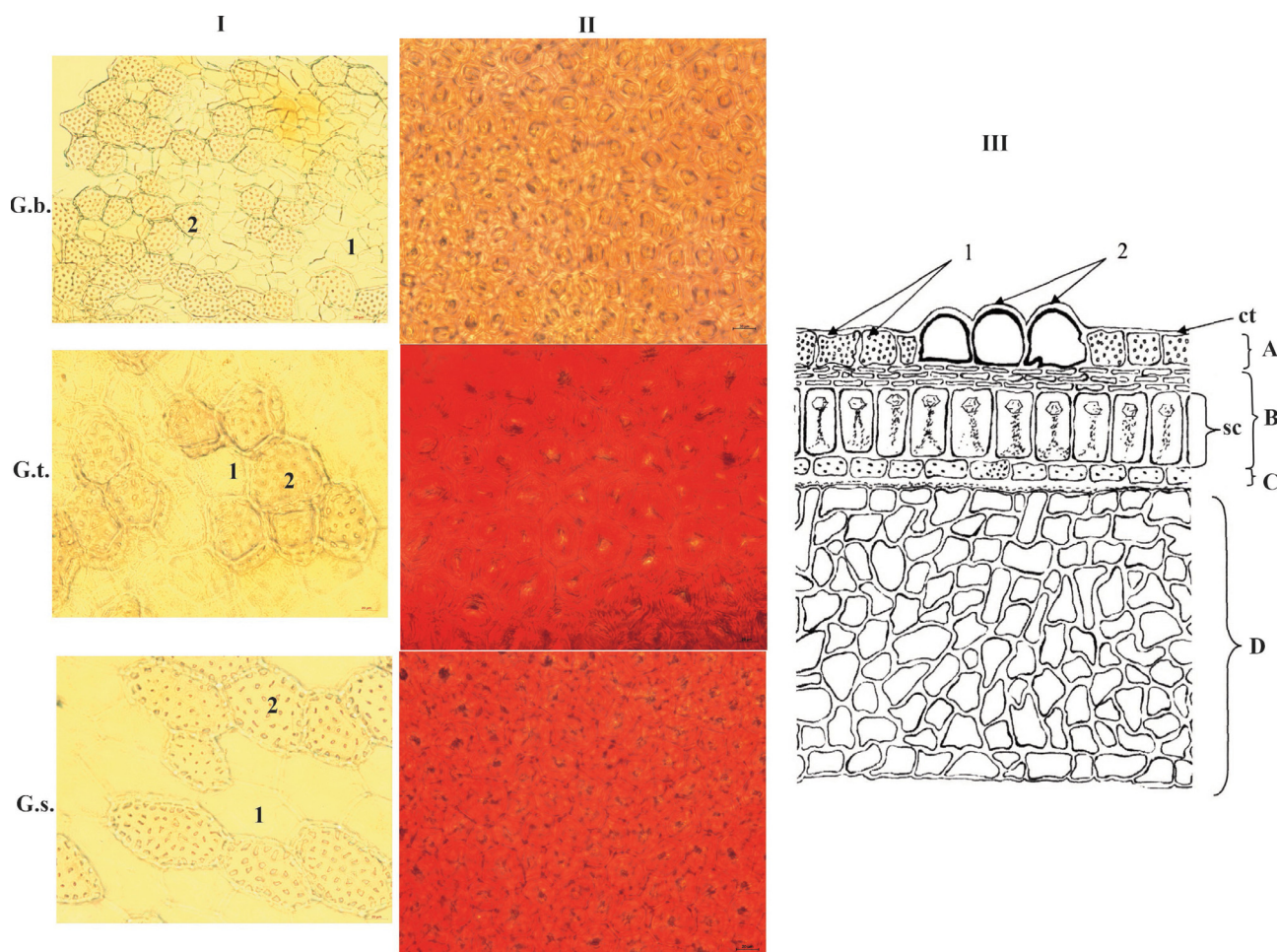


Рис. 2. Особенности анатомического строения перикарпия эремов видов подрода *Galeopsis*: I – клетки экзокарпия – вид с поверхности (фото авторов); II – клетки склеренхимы – вид с поверхности (фото авторов); III – общая схема строения поперечного среза эрема видов рода *Galeopsis* (по: Wojciechowska, 1966; Tyunnikova, 2006, с изменениями).

G.b. – *G. bifida*; **G.t.** – *G. tetrahit*; **G.s.** – *G. speciosa*; 1 – клетки первого типа; 2 – клетки второго типа (объяснения – в тексте); A – экзокарпий; B – мезокарпий; C – эндокарпий; D – эндосперм; ct – кутикула; sc – склеренхима

Fig. 2. Anatomical structure features of the carpological sample pericarp in the *Galeopsis* subgenus species: I – exocarp cells, view from the surface (photo by the authors); II – sclerenchyma cells, view from the surface (photo by the authors); III – general scheme of the carpological sample cross-section structure in *Galeopsis* spp. (from Wojciechowska, 1966; Tyunnikova, 2006, with amendments).

G.b. – *G. bifida*; **G.t.** – *G. tetrahit*; **G.s.** – *G. speciosa*; 1 – cells of the first type; 2 – cells of the second type (see the text for explanations); A – exocarp; B – mesocarp; C – endocarp; D – endosperm; ct – cuticle; sc – sclerenchyma

пользование этого признака в прикладных исследованиях нецелесообразно.

Мезокарпий дифференцирован на две топографические зоны. Внешняя зона представлена паренхимными клетками. Внутренняя зона мезокарпия образована вытянутыми в тангентальном направлении склеренхимными клетками (рис. 2, III). На поперечном срезе они хорошо просматриваются: эти клетки имеют округлые очертания, равномерно утолщены, одревесневшие (окрашены в красный цвет) (рис. 2, II). По мнению В. Wojciechowska (Wojciechowska, 1966), высота склеренхимного слоя (рис. 3) является надежным признаком, отличающим эремы *G. tetrahit* (40–50 мкм) и *G. speciosa* (80 мкм) (*G. bifida* в исследованиях автора не рассматривался). Однако выполненные нами поперечные срезы эремов вынуждают нас не согласиться с представленными данными. Высота клеток склеренхимы довольно сильно варьировала в серии срезов у одного и того же вида, а также изменя-

лась в зависимости от расположения на срезе и составляла у *G. bifida* от 42,5 до 100 мкм, у *G. tetrahit* от 45 до 70 мкм и у *G. speciosa* от 62,5 до 100 мкм. Таким образом, диапазон полученных значений перекрывается, следовательно этот признак не может быть использован для надежной идентификации видов.

Исследование ультраструктуры поверхности эремов подрода *Galeopsis* методом сканирующей электронной микроскопии

Признаки ультраструктуры поверхности эремов использовали для диагностики разных таксономических единиц семейства Губоцветные (Budantsev, 1993a, 1993b; Bazarragchaa, 2016; etc.). Н. В. Тюнникова (Tyunnikova, 2006) относит ультраструктуру поверхности эремов к сетчато-бугорчатой, рельеф которой обусловлен двумя типами клеток. Б. Базаррагчаа (Bazarragchaa, 2016) отно-

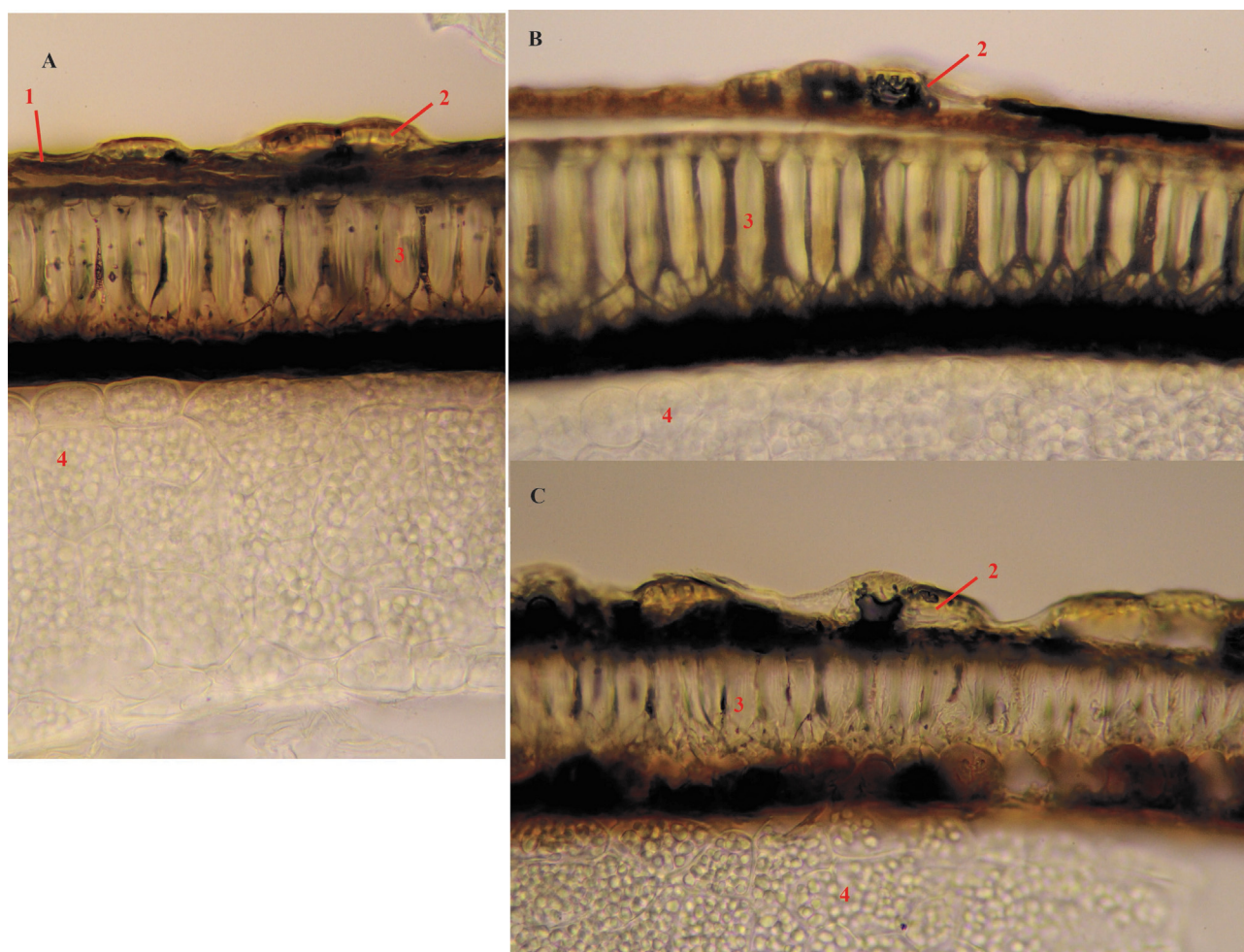


Рис. 3. Поперечные срезы эремов видов подрода *Galeopsis* (увеличение x40): А – *G. speciosa*; В – *G. bifida*; С – *G. tetrahit*; 1 – клетки первого типа; 2 – клетки второго типа (объяснения – в тексте); 3 – склеренхима; 4 – клетки эндосперма

Fig. 3. Carpological sample cross-sections in the *Galeopsis* subgenus species (zoom x40): А – *G. speciosa*; В – *G. bifida*; С – *G. tetrahit*; 1 – cells of the first type; 2 – cells of the second type (see the text for explanations); 3 – sclerenchyma; 4 – endosperm cells

сит ультраструктуру поверхности эремов пикульников к гладкой, сетчатой и описывает те же два типа клеток. На рисунках 4–6 представлены собственные СЭМ-микрорафии поверхностей эремов изучаемых видов. Структура поверхности изученных видов идентична. Сходные варианты скульптуры поверхности характерны и для других родов семейства Lamiaceae, например для рода *Nepeta* (*N. bucharica* Lipsky и *N. clarkei* Hook. f., *N. connata* Royle ex Benth. и *N. linearis* Royle ex Benth. и др.) (Budantsev, 1993a). Исходя из этого, признаки ультраструктуры поверхности эремов подрода *Galeopsis* в качестве диагностических для таксонов данного ранга не пригодны.

Таким образом, проанализированные литературные данные (Juzepczuk, 1935, 1954; Dobrokhoto, 1961; May-suryan, Atabekova, 1978; Moskalenko, Yudin, 1999; Tyunnikova, 2006; Volkova et al., 2007) и проведенные авторами собственные исследования эремов видов подрода *Galeopsis* свидетельствуют об их значительном анатомо-морфологическом сходстве (см. рис. 1, 2, 3), связанном с рядом причин.

1) Для рода в целом характерны активные процессы межвидовой гибридизации, затрудняющие понимание границ видов (Müntzing, 1930; Tyunnikova, 2006; Maslova,

2008). И *G. bifida*, и *G. tetrahit* имеют гибридное происхождение; у каждого из них одной из родительских форм выступал *G. speciosa* (Müntzing, 1930; Tyunnikova, 2006; Maslova, 2008).

2) *G. bifida* имеет обширный евроазиатский ареал (Juzepczuk, 1935, 1954; Tyunnikova, 2006), на протяжении которого качественные и количественные морфологические признаки эремов вида крайне изменчивы.

3) Число эремов в ценوبии может варьировать, если из-за отсутствия оплодотворения не образовались семязачатки (Kaden, Zakolyukina, 1965; Kaden, Smirnova, 1968). Тогда вместо четырех эремов в ценобии образуется 1–3. Вероятная причина нарушения репродуктивных процессов – применение гербицидной и пестицидной обработки полей (Sukholozova et al., 2022). В связи с изменением числа эремов в ценобии размеры и типичная их форма – обратнойцевидная с округлой верхушкой и суженным основанием – варьировали; изменялись и форма, и размеры рубчика эрема и т. д.

Таким образом, на данный момент отсутствуют надежные качественные и количественные анатомо-морфологические макро- и микропризнаки, позволяющие достоверно установить видовую принадлежность выявленных эремов подрода *Galeopsis*.

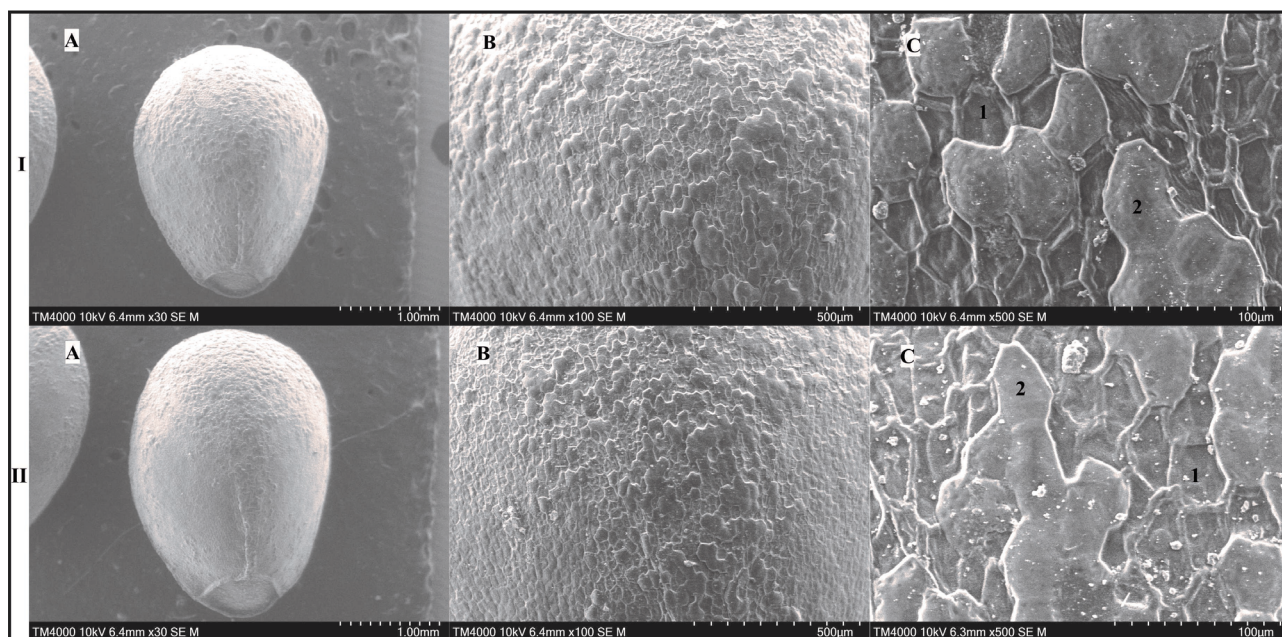


Рис. 4. Ультраструктура поверхности эремов *Galeopsis bifida*: I – образец из Пензенской области, посевы льна; II – образец из г. Владивостока, сорное на заросшем газоне; A – ventральная сторона эремов, увеличение – x30; B, C – поверхность эремов под разным увеличением: B – x100; C – x500

Fig. 4. Ultrastructure of the carpological sample surface in *Galeopsis bifida*: I – a sample from Penza Province, flax fields; II – a sample from Vladivostok, weed on the overgrown lawn; A – ventral side of the carpological sample (zoom x30); B, C – carpological sample surfaces under different zooms: B – x100; C – x500

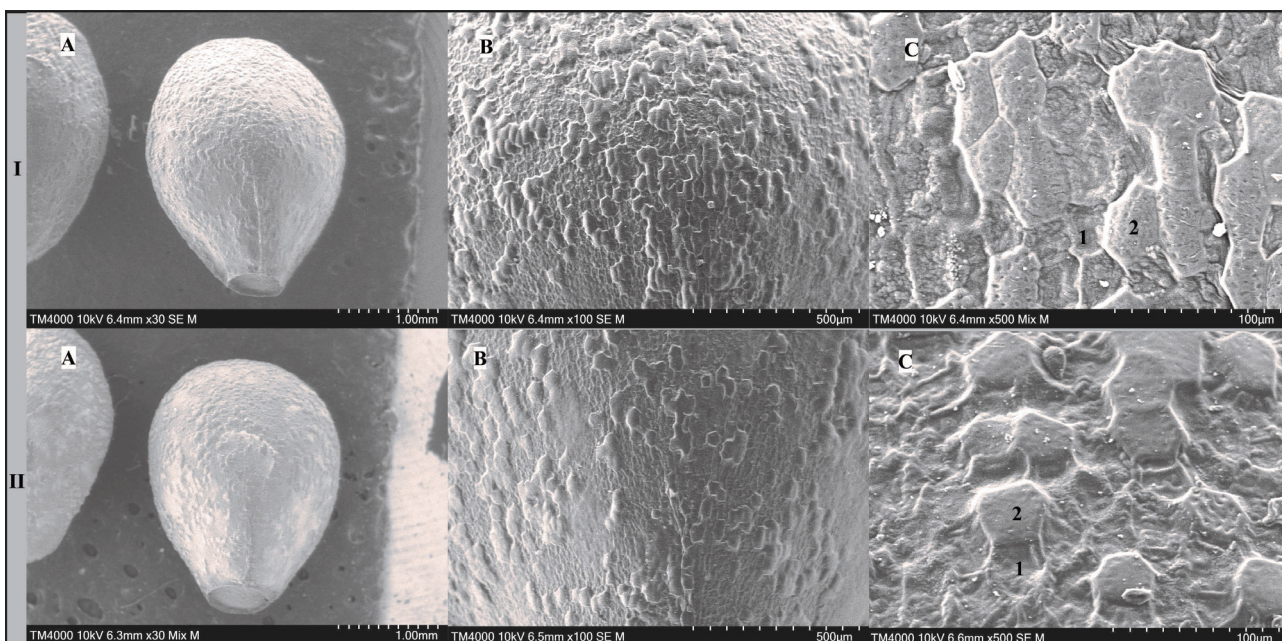


Рис. 5. Ультраструктура поверхности эремов *Galeopsis tetrahit* из Пензенской области: I – образец, собранный в сосновых насаждениях; II – образец, собранный на приусадебном участке; A – ventральная сторона эремов, увеличение – x30; B, C – поверхность эремов под разным увеличением: B – x100; C – x500

Fig. 5. Ultrastructure of the carpological sample surface in *Galeopsis tetrahit* from Penza Province: I – a sample collected in pine plantations; II – a sample collected in a homestead orchard; A – ventral side of the carpological sample (zoom x30); B, C – carpological sample surfaces under different zooms: B – x100; C – x500

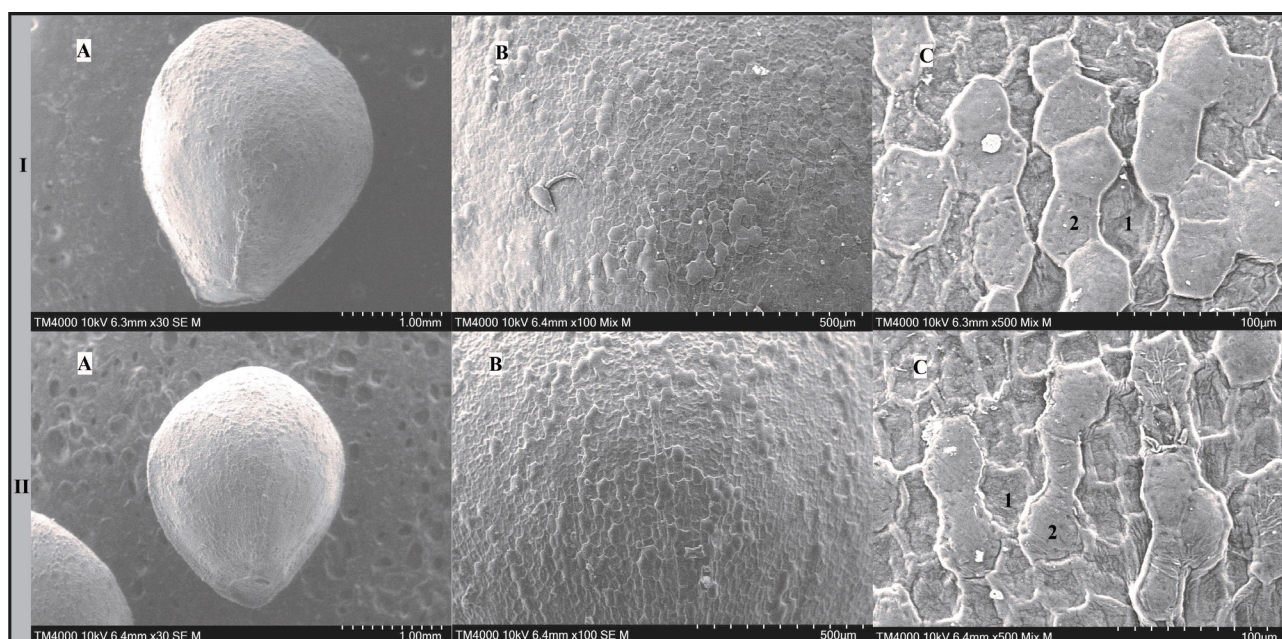


Рис. 6. Ультраструктура поверхности эремов *Galeopsis speciosa* (Пензенская область, посевы льна):

I – образец из Наровчатского района; II – образец из Кузнецкого района; A – ventральная сторона эремов, увеличение – x30; B, C – поверхность эремов под разным увеличением: B – x100; C – x500

Fig. 6. Ultrastructure of the carpological sample surface in *Galeopsis speciosa* (Penza Province, flax fields):

I – a sample from Narovchatsky District; II – a sample from Kuznetsky District; A – ventral side of the carpological sample (zoom x30); B, C – carpological sample surfaces under different zooms: B – x100; C – x500

Ключ для определения эремов сорных видов пикульников

1. Эремы 2,0–2,5 мм длиной, 1,0–1,5 мм шириной, узкие. Все ребра эремов острые. Рубчик небольшой, в очертании округло-треугольный *Galeopsis ladanum* L.
+ Эремы крупнее: длиной до 4,5 мм, шириной – до 3 мм. Только краевые ребра эремов острые, ребро двугранной стороны тупое подвид Пикульник, включая пикульник обыкновенный, пикульник красивый, пикульник двунадрезанный (subgen. *Galeopsis* C.C. Towns., incl. *Galeopsis tetrahit* L., *Galeopsis speciosa* Mill., *Galeopsis bifida* Boenn.)

На основе разработанных принципов идентификации определены найденные в образцах зерна пшеницы и семена льна эремы сорных пикульников. Полученные данные о засоренности представлены в таблице 2. В 27,7% случаях обнаруживали эремы пикульника ладанникового, в 32,8% – эремы подвита Пикульник.

Закключение

Суммируя вышеизложенное, с помощью разработанных ключей можно определить *Galeopsis ladanum* в естественных условиях, по гербарным и карпологическим экземплярам. Остальные сорные пикульники (*G. bifida*, *G. tetrahit*, *G. speciosa*), встречающиеся в той или иной степени в агроценозах России, можно успешно идентифицировать до вида только по растениям целиком в виде гербарных образцов или в естественной среде обитания. Эремы этих видов, попадающие в зерновую продукцию, невозможно по имеющимся анатомо-морфологическим макро- и микропризнакам достоверно определить до вида. Принимая во внимание полученные итоги разработки диагностических ключей, в базу данных по сорным растениям в пшенице и льне Среднего Поволжья (на примере Пензенской и Самарской областей) для оценки экспортного потенциала регионов добавлена возможность вносить данные о встречаемости в полях и зерне таксонов сорных растений не только в ранге вида, но и подвита.

References / Литература

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. 2008. [in Russian] (Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. [Интернет-версия 2.0]. 2008). URL: <http://www.agroatlas.ru> [дата обращения: 01.10.2024].
- Bazarragchaa B. Fruit morphology of some species of the Lamiaceae in the flora of Mongolia. *Turczaninowia*. 2016;19(1):34–41. DOI: 10.14258/turczaninowia.19.1.4
- Budantsev A.L. Ultrastructural features of fruit surface in genus *Nereta* (Lamiaceae) (Особенности ультраструктуры поверхности плодов видов рода *Nepeta* [Lamiaceae]). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1993a;78(4):80–87. [in Russian] (Буданцев А.Л. Особенности ультраструктуры поверхности плодов видов рода *Nepeta* [Lamiaceae]). *Ботанический журнал*. 1993a;78(4):80–87).
- Budantsev A.L. Ultrastructural features of fruit surface in genus *Nereta* (Lamiaceae) (Особенности ультраструктуры поверхности плодов видов рода *Nepeta* [Lamiaceae]). *Botanicheskii Zhurnal = Botanical Journal*. 1993b;78(5):100–108. [in Russian] (Буданцев А.Л. Осо-

- бенности ультраструктуры поверхности плодов видов рода *Nepeta* (Lamiaceae). *Ботанический журнал*. 1993b;78(5):100-108).
- Dobrokhoto V.N. Seeds of weedy plants (Semena sornykh rasteniy). Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Доброхотов В.Н. Семена сорных растений. Москва: Сельхозиздат; 1961).
- Doronkin V.M. *Galeopsis* L. – Hemp nettle (*Galeopsis* L. – Pikulnik). In: *Flora of Siberia. Vol. 11 (Flora Sibiri. T. 11)*. Novosibirsk: Nauka; 1997. p.189-190. [in Russian] (Доронкин В.М. *Galeopsis* L. – Пикульник. В кн.: *Флора Сибири. Т. 11*. Новосибирск: Наука; 1997. С.189-190).
- Gladkova V.N., Menitsky G.L. The genus of hemp nettle – *Galeopsis* L. (Rod Pikulnik – *Galeopsis* L.). In: *Flora of the European part of the USSR. Vol. 3 (Flora Yevropeyskoy chasti SSSR. T. 3)*. Leningrad: Nauka; 1978. p.156-160. [in Russian] (Гладкова В.Н., Меницкий Ю.Л. Род Пикульник – *Galeopsis* L. В кн.: *Флора Европейской части СССР. Т. 3*. Ленинград: Наука; 1978. С.156-160).
- Gubareva I.Yu. Floristic finds on the Vislin Spit (Kaliningrad Province) (Floristicheskiye nakhodki na Vislinskoy kose [Kaliningradsкая область]). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1995;80(8):113-116. [in Russian] (Губарева И.Ю. Флористические находки на Вислинской косе (Калининградская область). *Ботанический журнал*. 1995;80(8):113-116).
- iNaturalist: [website]. Available from: <https://www.inaturalist.org> [accessed Oct. 01, 2024].
- Juzepczuk S.V. The genus of hemp nettle – *Galeopsis* L. (Rod Pikulnik – *Galeopsis* L.). In: *Flora of the USSR. Vol. 21 (Flora SSSR. T. 21)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1954. p.111-124. [in Russian] (Юзепчук С.В. Род Пикульник – *Galeopsis* L. В кн.: *Флора СССР. Т. 21*. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1954. С.111-124).
- Juzepczuk S.V. The genus of hemp nettle – *Galeopsis* L. (Rod Pikulnik – *Galeopsis* L.). In: *Weedy Plants of the USSR. Vol. 4 (Sornye rasteniya SSSR. T. 4)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1935. p.41-46. [in Russian] (Юзепчук С.В. Род Пикульник – *Galeopsis* L. В кн.: *Сорные растения СССР. Т. 4*. Москва; Ленинград: Академия наук СССР; 1935. С.41-46).
- Kaden N.N., Smirnova S.A. Morphology of fruits of weedy Lamiaceae plants in the USSR (Morfologiya plodov sornykh gubocvetnykh SSSR). In: *Abstracts of the Presentations at the All-Union Interuniversity Conference on Plant Morphology (Referaty dokladov Vsesoyuznoy mezhvuzovskoy konferentsii po morfologii rasteniy)*. Moscow: Moscow University; 1968. p.117-118. [in Russian] (Каден Н.Н., Смирнова С.А. Морфология плодов сорных губоцветных СССР. В кн.: *Рефераты докладов Всесоюзной межвузовской конференции по морфологии растений*. Москва: Московский университет; 1968. С.117-118).
- Kaden N.N., Zakalyukina T.P. Morphology of the gynaeceum and fruit of Boraginaceae and Lamiaceae (Morfologiya ginetsya i ploda burachnikovyx i gubotsvetnykh). *Moscow University Bulletin*. 1965;6(3):31-41. [in Russian] (Каден Н.Н., Закалюкина Т.П. Морфология гинецея и плода бурачниковых и губоцветных. *Вестник Московского университета*. 1965;6(3):31-41).
- Maslova E.V. Differentiation of two hemp nettle species (*Galeopsis bifida* Boenn. and *G. tetrahit* L.) inferred from morphological characters and DNA markers. *Russian Journal of Genetics*. 2008;44(3):366-373. [in Russian] (Маслова Е.В. Дифференциация двух видов пикульников (*Galeopsis bifida* Boenn. и *G. tetrahit* L.) по морфологическим признакам и ДНК-маркерам. *Генетика*. 2008;44(3):366-373). DOI: 10.1134/S1022795408030113
- Mayorov S.R., Kazakova M.V. Labiatae Juss., nom. altern. (Lamiaceae Lindl.). In: P.F. Mayevsky. *Flora of the middle part of European Russia (Flora sredney polosy yevropeyskoy chasti Rossii)*. 11th ed. Moscow: KMK; 2014. p.416-431. [in Russian] (Майоров С.Р., Казакова М.В. Labiatae Juss., nom. altern. (Lamiaceae Lindl.) – Губоцветные. В кн.: П.Ф. Маевский. *Флора средней полосы Европейской части России*. 11-е изд. Москва: КМК; 2014. С.416-431).
- Maysuryan N.A., Atabekova A.I. Key to seeds and fruits of weeds (Opredelitel semyan i plodov sornykh rasteniy). Moscow: Kolos; 1978. [in Russian] (Майсурян Н.А., Атабекова А.И. Определитель семян и плодов сорных растений. Москва: Колос; 1978).
- Moskalenko G.P., Yudin B.I. Atlas of seeds and fruits of weeds found in quarantined cargoes and materials (Atlas semyan i plodov sornykh rasteniy, vstrechayushchikhsya v podkarantinnykh gruzakh i materialakh). Moscow: KMK; 1999. [in Russian] (Москаленко Г.П., Юдин Б.И. Атлас семян и плодов сорных растений, встречающихся в подкарантинных грузах и материалах. Москва: КМК; 1999).
- Müntzing A. Outlines to a genetic monograph of the genus *Galeopsis*. Lund: Berlingska; 1930.
- Probatova N.S. The genus of hemp nettle – *Galeopsis* L. (Rod Pikulnik – *Galeopsis* L.). In: *Vascular Plants of the Soviet Far East. Vol. 7 (Sosudistye rasteniya sovetского Dalnego Vostoka. T. 7)*. St. Petersburg: Nauka; 1995. p.335-337. [in Russian] (Пробатова Н.С. Род Пикульник – *Galeopsis* L. В кн.: *Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 7*. Санкт-Петербург: Наука; 1995. С.335-337).
- Rosselkhoznadzor. Export/Import: [website]. [in Russian] (Россельхознадзор. Экспорт/импорт: [сайт]). URL: <http://www.fsvps.ru/fsvps/importexport> [дата обращения: 10.09.2024].
- Stankov S.S., Taliev V.I. Key to higher plants of the European part of the USSR (Opredelitel vysshikh rasteniy Yevropeyskoy chasti SSSR). Moscow: Sovetskaya Nauka; 1957. [in Russian] (Станков С.С., Талиев В.И. Определитель высших растений Европейской части СССР. Москва: Советская наука; 1957).
- Sukholozova E.A., Orlova Y.V., Sukholozov E.A. Analysis of morphological features of eremes of weed species of the subgenus *Galeopsis*. In: S.V. Shabalkina, O.N. Perestoronina, N.P. Savynikh, Yu.A. Ovchinnikova (eds). *Biomorphology (Growth Habits) of Plants: Traditional and Modern Approaches: Proceedings of the International Scientific Conference (Kirov, October 19–21)*. Kirov: Vyatka State University; 2022. p.329-335. [in Russian] (Сухолюзова Е.А., Орлова Ю.В., Сухолюзов Е.А. Анализ морфологических признаков эремов сорных видов подрода *Galeopsis*. В кн.: *Биоморфология растений: традиции и современность: материалы международной научной конференции (г. Киров, 19–21 октября 2022 г.)* / под ред. С.В. Шабалкиной, О.Н. Пересторониной, Н.П. Савиных, Ю.А. Овчинниковой. Киров: Вятский государственный университет; 2022. С.329-335). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49721566_54453103.pdf [дата обращения: 10.10.2024].
- Tyunnikova N.V. Genus *Galeopsis* L. (Lamiaceae Lindl.) of the Russian flora: taxonomy, geography, phytochemical features (Rod *Galeopsis* L. (Lamiaceae Lindl.) flory Rossii: sistematika, geografiya, fitokhimicheskiye osobennosti) [dissertation]. St. Petersburg: Komarov Botanical Institute of the RAS; 2006. [in Russian] (Тюнникова Н.В. Род *Galeopsis* L. (Lamiaceae Lindl.) флоры России: систематика, география, фитохимические особенности: дис.

- ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: БИН РАН; 2006).
- Tyunnikova N.V., Maslova E. V. Morphological characteristics of *Galeopsis tetrahit* and *G. bifida* (Lamiaceae). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2007;92(8):1226-1234. [in Russian] (Тюнникова Н.В., Маслова Е.В. Морфологическая характеристика видов *Galeopsis tetrahit* and *G. bifida* (Lamiaceae). *Ботанический журнал*. 2007;92(8):1226-1234).
- Volkova E.M., Dankvert S.A., Maslov M.I., Magomedov U.Sh. Atlas of fruits and seeds of weeds and poisonous plants clogging quarantine products (Atlas plodov i semyan sornykh i yadovitykh rasteniy, zasoryayushchikh podkarantinnuyu produktsiyu). Moscow: KMK; 2007. [in Russian] (Волкова Е.М., Данкверт С.А., Маслов М.И., Магомедов У.Ш. Атлас плодов и семян сорных и ядовитых растений, засоряющих подкарантинную продукцию. Москва: КМК; 2007).
- Voronin N.S. A guide to laboratory classes in plant anatomy and morphology: A textbook for students of pedagogical institutes in the biological specialty (Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam po anatomii i morfologii rasteniy: Uchebnoye posobiye dlya studentov pedagogicheskikh institutov po biologicheskoy spetsialnosti). Moscow: Prosveshcheniye; 1981. [in Russian] (Воронин Н.С. Руководство к лабораторным занятиям по анатомии и морфологии растений: Учебное пособие для студентов педагогических институтов по биологической специальности. Москва: Просвещение, 1981).
- Wojciechowska B. Morphology and anatomy of fruits and seeds of the family Labiatae with particular respect to medicinal species. *Monographiae Botanicae*. 1966;21:3-244. [in Polish] DOI: 10.5586/mb.1966.001

Информация об авторах

Екатерина Александровна Сухолозова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, Пензенский филиал, 440014 Россия, Пенза, ул. Спартаковская, 9, E_kobozeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1272-4586>

Юлия Викторовна Орлова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, 140150 Россия, Московская область, Быково, ул. Пограничная, 32, orl-jul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3330-6976>

Евгений Александрович Сухолозов, кандидат биологических наук, заместитель начальника отдела, Российский центр защиты леса, Центр защиты леса Пензенской области – филиал РЦЗЛ, 440014 Россия, Пенза, ул. Спартаковская, 9, e.sukholozov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7161-8987>

Дмитрий Анатольевич Комаров, младший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, Волгоградский территориальный отдел Южного филиала, 400137 Россия, Волгоград, бульв. 30-летия Победы, 19, komarov_da1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2640-2257>

Ксения Николаевна Стельмах, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, Пензенский филиал, 440014 Россия, Пенза, ул. Спартаковская, 9, xenon535@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6682-5822>

Алексей Викторович Сафонов, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский центр карантина растений, Новороссийский филиал, 353901 Россия, Новороссийск, ул. Портовая, 18А, av.safonov@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1489-0484>

Information about the authors

Ekaterina A. Sukholozova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Plant Quarantine Center, Penza Branch, 9 Spartakovskaya St., Penza 440014, Russia, E_kobozeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1272-4586>

Yuliya V. Orlova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogranichnaya St., Bykovo, Moscow Province 140150, Russia, orl-jul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3330-6976>

Evgeniy A. Sukholozov, Cand. Sci. (Biology), Deputy Head of a Department, Russian Center of Forest Health, Forest Protection Center of Penza Province – branch of the RCFH, 9 Spartakovskaya St., Penza 440014, Russia, e.sukholozov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7161-8987>

Dmitriy A. Komarov, Associate Researcher, All-Russian Plant Quarantine Center, Volgograd Territorial Department of the Southern Branch, 19 30-letiya Pobedy Blvd., Volgograd 400137, Russia, komarov_da1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2640-2257>

Ksenia N. Stelmakh, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Researcher, All-Russian Plant Quarantine Center, Penza Branch, 9 Spartakovskaya St., Penza 440014, Russia, xenon535@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6682-5822>

Alexey V. Safonov, Cand. Sci. (Agriculture), Director, All-Russian Plant Quarantine Center, Novorossiysk Branch, 18A Portovaya St., Novorossiysk 353901, Russia, av.safonov@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1489-0484>

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 17.12.2024; одобрена после рецензирования 06.04.2025; принята к публикации 06.05.2025. The article was submitted on 17.12.2024; approved after reviewing on 06.04.2025; accepted for publication on 06.05.2025.

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 631.527:634.322(470.620)
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-160-170



Номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур

Л. В. Багмет¹, О. В. Курашев²

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

² Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лариса Владимировна Багмет, l.bagmet@vir.nw.ru

Актуальность. В современной селекции крыжовника основными целями выступают устойчивость к американской мучнистой росе и листовым пятнистостям, крупноплодность, высокие вкусовые качества, урожайность, слабая шиповатость, компактный габитус куста. Этим требованиям отвечают сорта крыжовника, выведенные во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур (ВНИИСПК), для которых созданы номенклатурные стандарты, участвующие в данном исследовании.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужила биоресурсная коллекция крыжовника ВНИИСПК. В исследовании участвовали сорта крыжовника 'Дискавери', 'Морячок', 'Некрасовский', 'Солнечный Зайчик' и 'Юпитер'.

Результаты. В качестве номенклатурных стандартов назначены гербарные образцы, оформленные в соответствии с рекомендациями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) по протоколу, разработанному во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). На гербарной этикетке указаны: идентификационный номер образца в Гербарии ВИР, латинское название вида, название сорта, происхождение (название организации, в которой создан сорт), место репродукции (где выращено растение, взятое для гербария), даты сбора, фамилии коллекторов. Каждый гербарный образец дополнен фотографиями цветков и ягод, зарегистрирован в базе данных «Гербарий ВИР» и передан на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

Заключение. Для коллекции номенклатурных стандартов сортов культурных растений отечественной селекции ученые ВИР и ВНИИСПК создали и обнародовали номенклатурные стандарты пяти сортов крыжовника селекции ВНИИСПК.

Ключевые слова: *Grossularia reclinata* (L.) Mill., садоводство, гербарный образец, WIR, культурная флора, прикладная ботаника

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 г. № 075-02-2024-1090 с использованием биоресурсной коллекции крыжовника ВНИИСПК и Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

Авторы выражают благодарность за помощь Марии Юрьевне Шелест (сбор гербария) и Юлии Геннадьевне Титовой (автор фото).

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

Для цитирования: Багмет Л.В., Курашев О.В. Номенклатурные стандарты сортов крыжовника селекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):160-170. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-160-170

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-160-170

Nomenclatural standards of gooseberry cultivars developed at the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding

Larisa V. Bagmet¹, Oleg V. Kurashev²¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel Province, Russia**Corresponding author:** Larisa V. Bagmet, l.bagmet@vir.nw.ru

Background. Among the main targets in modern gooseberry breeding are resistance to American powdery mildew and leaf spots, large size of berries, lower thorniness, better fruit taste, high yield, and compact bush habit convenient for mechanized harvesting. Gooseberry cultivars released by the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK) meet these requirements. This study presents the nomenclatural standards developed for those cultivars.

Materials and methods. The bioresource collection of gooseberries maintained at the VNIISPK served as the material for the study. The gooseberry cultivars 'Diskaveri', 'Moryachok', 'Nekrasovskiy', 'Solnechny Zaychik' and 'Yupiter' participated in the study.

Results. Herbarium specimens designed in line with the recommendations of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP) according to the protocol developed at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were appointed as nomenclatural standards. The herbarium label contains: the identification number of the specimen in the VIR Herbarium, the Latin name of the species, the name of the cultivar, its origin (the name of the organization where the cultivar was developed), the place of reproduction (where the plant taken for the herbarium was grown), the dates of collecting, and the names of collectors. Each herbarium specimen is supplemented with photographs of flowers and berries, registered in the VIR Herbarium database, and deposited in the type collection of the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR).

Conclusion. Scientists of VIR and the VNIISPK devised and published nomenclatural standards for 5 gooseberry cultivars from the VNIISPK. They were included in the collection of nomenclatural standards for crop cultivars of domestic breeding.

Keywords: *Grossularia reclinata* (L.) Mill., horticulture, herbarium specimen, WIR, cultivated flora, applied botany

Acknowledgements: the study was conducted within the framework of the Development Program for the National Center for Plant Genetic Resources under Agreement No. 075-02-2024-1090 signed on February 15, 2024, with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, employing the VNIISPK bioresource collection of gooseberries and the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR).

The authors are grateful to Maria Yu. Shelest (collecting of herbarium specimens) and Yulia G. Titova (the author of the photos) for their kind assistance.

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

For citation: Bagmet L.V., Kurashev O.V. Nomenclatural standards of gooseberry cultivars developed at the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):160-170. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-160-170

Введение

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК) (с 1947 по 1990 г. Орловская плодово-ягодная опытная станция) ведет научную работу с крыжовником с 1956 г. Первоначально собрали коллекцию сортов крыжовника и проводили их сортоизучение, в дальнейшем осуществили первые скрещивания и получили небольшой гибридный фонд. Селекционную работу с культурой с 1992 г. проводит кандидат сельскохозяйственных наук Олег Владимирович Курашев. Среди основных целей селекции крыжовника в институте: устойчивость к наиболее вредоносным заболеваниям, таким как американская мучнистая роса, листовые пятнистости (антракноз, септориоз); крупноплодность; высокие вкусовые качества; урожайность; слабая шиповатость; компактный габитус куста, позволяющий проводить механизированную уборку урожая. С 2001 г. во ВНИИСПК ведется целенаправленная селекционная работа по выведению сортов крыжовника промышленного типа, как правило, пригодных для машинной уборки урожая. Это перспективное и приоритетное направление селекции крыжовника очень актуально и востребовано, ибо преследует своей целью получение конкурентоспособных и высокорентабельных сортов в условиях современной конъюнктуры рынка, соответствующих в первую очередь условиям промышленного возделывания. Для этих целей в отдаленных скрещиваниях в качестве одного из родителей используется крыжовник мощный (*Grossularia robusta* (Jancz.) A. Berger), который за почти тридцатилетний период наблюдений абсолютно не поражен американской мучнистой росой и листовыми пятнистостями в полевых условиях. Полученное с его участием потомство наследует компактный габитус куста, не разваливающийся под большой нагрузкой урожая. При этом часть сеянцев характеризуется сравнительно большой массой ягод (максимальная масса ягод у некоторых отборных сеянцев превышала 4 г, в то время как у самого *G. robusta* масса ягоды не превышает 0,7 г) и хорошими вкусовыми качествами (Kurashev, 2016).

К настоящему времени во ВНИИСПК создана биоресурсная коллекция гибридных форм, отборных и элитных сеянцев, доноров и комплексных генетических источников хозяйственно ценных признаков, созданы сорта 'Дискавери', 'Земляничный', 'Морячок', 'Некрасовский', 'Солнечный Зайчик' и 'Юпитер'. Указанные сорта характеризуются высокой устойчивостью к поражению большинством рас такого опасного для крыжовника патогена, как *Sphaerotheca mors-uvae* Berk. et Curt (американская мучнистая роса) ('Морячок', 'Дискавери'), большой массой ягод ('Юпитер', 'Дискавери'), слабой шиповатостью ('Солнечный Зайчик'), высокими вкусовыми качествами ягод ('Некрасовский'). Наиболее соответствует модели сорта крыжовника промышленного типа сорт 'Солнечный Зайчик', обладающий оптимальным габитусом куста (ярко выраженный ортотропный тип роста побегов), хорошей урожайностью, бесшипностью побегов, удовлетворительными вкусовыми и технологическими качествами ягод.

Совместно с российскими селекционерами во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) проводится работа по созданию коллекции номенклатурных стандартов отечественных сортов культурных растений (Klimenko et al., 2016; Bagmet, Shlyavas, 2021; Tikhonova et al., 2021; Bag-

met, Tikhonova, 2023; Bagmet, Kulyan, 2024). Цель нашего исследования – создание номенклатурных стандартов сортов крыжовника, выведенных во ВНИИСПК: 'Дискавери' (WIR-98512), 'Морячок' (WIR-98513), 'Некрасовский' (WIR-98514), 'Солнечный Зайчик' (WIR-98515), 'Юпитер' (WIR-98516). Созданные номенклатурные стандарты могут быть использованы в качестве носителя подлинности генетической информации селекционного достижения.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужила биоресурсная коллекция крыжовника ВНИИСПК (Орловская область). В исследовании участвовали пять сортов крыжовника:

'Дискавери'. Зимостойкий, среднего срока созревания. Куст слаборослый, среднераскидистый. Побеги толстые, прямые, светло-зеленые, слабоопушенные, матовые. Шипы расположены перпендикулярно побегу или слегка вниз по всей длине побега, средней длины, тонкие, слабые, одиночные и двойные, светлоокрашенные. Листья средней величины, зеленые. Пластинка листа голая, блестящая, кожистая, вогнутая. Зубчики тупые, короткие, неподогнутые. Основание листа прямое. Лист трехлопастный, с глубокими вырезами, верхушка лопастей тупая. Соцветие одноцветковое. Цветки крупные, бледной окраски. Чашелистики средней длины, широкие, бледной окраски, отогнуты кверху, опушение наружной стороны слабое. Завязь среднеопушенная. Форма завязи коническая, со слабо выраженными гранями. Ягоды среднего размера и крупные (5,0–6,0 г, максимальная масса до 10 г), овальные и округло-овальные, светло-желтые. Кожича тонкая. Опушение ягод отсутствует. Плодоножка короткая, зеленая, тонкая. Чашечка закрытая. Семян среднее количество. Вкус кисло-сладкий, без аромата, освежающий, нежный. В ягодах содержится: сахара – 11,0%, титруемых кислот – 1,9%, витамина С – 26,4 мг/100 г.

Достоинства сорта: высокая урожайность, большая масса ягод и их привлекательность, высокие вкусовые качества, устойчивость к американской мучнистой росе.

'Морячок'. Зимостойкий, среднего срока созревания. Куст среднерослый, среднераскидистый. Побеги тонкие, прямые, светло-зеленые, с розовой верхушкой, слабоопушенные, матовые. Шипы расположены в верхней части побега, короткие, тонкие, слабые, одиночные, светлоокрашенные, перпендикулярны побегу. Листья мелкие, светло-зеленые. Пластинка листа слабоопушенная, блестящая, неплотная, выпуклая. Зубчики тупые, короткие, неподогнутые. Основание листа выпуклое. Лист трехлопастный, с глубокими вырезами, верхушка лопастей тупая. Соцветие одноцветковое, редко двухцветковое. Цветки средней величины, бледной окраски. Чашелистики короткие, широкие, бледной окраски, отогнуты кверху, опушение их наружной стороны слабое. Завязь слабоопушенная. Форма завязи округло-овальная, без граней. Ягоды среднего размера и крупные (4,5–5,0 г, максимальная масса до 11 г), округлые, светло-красные. Кожича толстая. Опушение ягод отсутствует. Плодоножка средней длины, зеленая, мясистая. Чашечка полуоткрытая. Семян среднее количество. Вкус кисло-сладкий, освежающий. В ягодах содержится: сахара – 12,5%, титруемых кислот – 1,6%, витамина С – 28,2 мг/100 г.

Достоинства сорта: высокая урожайность, большая масса ягод и их привлекательный вид, высокие вку-

совые качества, устойчивость к американской мучнистой росе.

‘Некрасовский’. Зимостойкий, среднего срока созревания. Куст сильнорослый, среднераскидистый. Побеги толстые, прямые, зеленые, неопушенные. Шипы расположены только в нижней и средней части побега, перпендикулярно ему, средней длины и толщины, слабые, одиночные, светлоокрашенные. Листья средней величины, зеленые. Пластинка листа голая, блестящая, мягкая, выпуклая. Зубчики тупые, короткие, неподогнутые. Основание листа прямое. Лист трехлопастный, с глубокими вырезами, верхушка лопастей тупая. Соцветие двухцветковое. Цветки крупные, бледной окраски. Чашелистики средней длины, средней ширины, бледной окраски, отогнуты кверху, опушение их наружной стороны отсутствует. Завязь голая. Форма завязи овальная, с гранями. Ягоды среднего размера и крупные (3,5–4,5 г), округло-овальные, темно-красные, почти черные. Кожица средней толщины. Опушение ягод отсутствует. Плодоножка средней длины, буро-зеленая, тонкая. Чашечка полуоткрытая. Семян много. Вкус кисло-сладкий, с ароматом, со сливовым привкусом. В ягодах содержится: сахара – 11,8%, титруемых кислот – 2,3%, витамина С – 40 мг/100 г.

Достоинства сорта: высокие вкусовые качества ягод.

‘Солнечный Зайчик’. Зимостойкий, среднепозднего срока созревания. Куст среднерослый, сжатый, ближе к компактному. Побеги средней толщины, прямые, светло-зеленые, опушенные. Шипы на побегах отсутствуют или очень редкие (1–2 шипа на побег в базальной части), одиночные, очень слабые, короткие, светлые, расположены под прямым углом к побегу или слегка отклоненные. Листья средней величины, светло-зеленые. Пластинка листа среднеопушенная, матовая, мягкая, выпуклая. Зубчики тупые, короткие, неподогнутые. Основание листа прямое. Лист пятилопастный, с глубокими вырезами, верхушка лопастей тупая. Соцветие двухцветковое. Цветки средней величины, яркой окраски. Чашелистики средней длины, средней ширины, яркой окраски, отогнуты кверху, опушение их наружной стороны сильное. Завязь голая. Форма завязи овальная, без граней. Ягоды среднего размера (2,8–3,5 г, максимальная масса до 6,7 г), округло-овальные, яйцевидные, желто-зеленые. Кожица тонкая. Опушение ягод отсутствует. Плодоножка средней длины, темно-зеленая, тонкая или средней толщины. Чашечка закрытая. Семян мало. Вкус кисло-сладкий, с ароматом, освежающий, нежный. В ягодах содержится: сахара – 10,6%, титруемых кислот – 2,7%, витамина С – 37 мг/100 г.

Достоинства сорта: высокая адаптивность к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды, высокая урожайность. Ценен для селекции как источник бесшипности.

‘Юпитер’. Среднепозднего срока созревания. Куст среднерослый, среднераскидистый. Побеги средней толщины, изогнутые, зеленые, неопушенные. Шипы расположены перпендикулярно побегу или слегка вниз в средней его части, короткие, тонкие, слабые, одиночные, темноокрашенные. Листья средней величины, зеленые. Пластинка листа голая, блестящая, мягкая, вогнутая. Зубчики тупые, длинные, подогнутые. Основание листа с выемкой средней величины. Лист трехлопастный, с глубокими вырезами, верхушка лопастей острая. Соцветие двухцветковое. Цветки крупные, бледной окраски. Чашелистики средней длины, широкие, бледной окраски, отогнуты кверху, опушение их наружной сторо-

ны отсутствует. Завязь голая. Форма завязи коническая, с гранями. Ягоды средние и крупные (4,5–5,0 г, максимальная масса до 11,5 г), округло-овально-эллипсоидные, темно-красные. Кожица тонкая. Опушение ягод отсутствует. Плодоножка длинная, темно-зеленая, тонкая. Чашечка закрытая. Семян среднее количество. Вкус кисло-сладкий, без аромата, освежающий. В ягодах содержится: сахара – 10,7%, титруемых кислот – 2,1%, витамина С – 35 мг/100 г.

Достоинства сорта: высокие вкусовые качества и большая масса ягод.

Сбор растительного материала проводили в фазе цветения и плодоношения в 2022 г. согласно методике ВИР (Belozor, 1989) под руководством и при непосредственном участии автора сортов, эксперта – куратора коллекции О. В. Курашева. Для гербария выбирали типичные растения с наиболее ярко выраженными таксономическими признаками сорта. Оценку морфологических и хозяйственных признаков сортов проводили согласно методике RTG/0051/2 (крыжовник) на отличимость, однородность и стабильность (<https://gossortfr.ru/publication/metodiki-ispytaniya-na-oos.php>). Описание сортов проводили согласно требованиям Государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений по стандартной форме № 327. Таксономические и хозяйственно ценные признаки сверяли с опубликованными характеристиками сортов (Golyaeva et al., 2015; Kurashev, Titova, 2019; Golyaeva et al., 2020).

Оформление номенклатурных стандартов проведено в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) (Brickell, 2016; International Code..., 2022) и протоколом, разработанным в ВИР (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Каждый гербарный образец содержит фото цветков (17.05.2022) и плодов (18.07.2022) и заверен подписью эксперта, подтверждающего аутентичность представленного растения (О. В. Курашев).

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) переданы номенклатурные стандарты сортов крыжовника *Grossularia reclinata* (L.) Mill., выведенных на базе коллекции ВНИИСПК. Ниже приводим описания номенклатурных стандартов.

Сорт ‘Дискавери’ – ‘Diskaveri’. Включен в Государственный реестр селекционных достижений (далее – Госреестр) в 2014 г. **Nomenclatural standard:** Происхождение: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. Автор: О. В. Курашев. Получен путем скрещивания сортов ‘Финский’ и ‘Сувенир’ в 1992 г. Репродукция: ВНИИСПК. Собирали: 17.05.2022 (цветки), О. В. Курашев, М. Ю. Шелест; 25.07.2022 (плоды, однолетние побеги), Л. В. Багмет, О. В. Курашев. Определил: О. В. Курашев. **WIR-98512.** – Origin: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Author: O. V. Kurashev. It was obtained by crossing the cultivars ‘Finskiy’ and ‘Suvenir’ in 1992. Reproduction: VNIISPK. Collectors: 17.05.2022 (flowers), O. V. Kurashev, M. Yu. Shelest; 25.07.2022 (fruit, first-year shoots), L. V. Bagmet, O. V. Kurashev. Identified by: O. V. Kurashev. **WIR-98512** (рис. 1).

Сорт ‘Морячок’ – ‘Moryachok’. Включен в Госреестр в 2013 г. **Nomenclatural standard:** Происхождение: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. Автор: О. В. Курашев. Получен



Рис. 1. Номенклатурный стандарт крыжовника 'Дискавери'

Fig. 1. Nomenclatural standard of gooseberry 'Diskaveri'

путем скрещивания сортов 'Африканец' и 'Гроссуляр' в 1992 г. Репродукция: ВНИИСПК. Собирали: 17.05.2022 (цветки), О. В. Курашев, М. Ю. Шелест; 25.07.2022 (плоды, однолетние побеги), Л. В. Багмет, О. В. Курашев. Определил: О. В. Курашев. **WIR-98513**. – Origin: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Author: O. V. Kurashev. It was obtained by crossing the cultivars 'Afrikanets' and 'Grossul-

yar' in 1992. Reproduction: VNIISPК. Collectors: 17.05.2022 (flowers), O. V. Kurashev, M. Yu. Shelest; 25.07.2022 (fruit, first-year shoots), L. V. Bagmet, O. V. Kurashev. Identified by: O. V. Kurashev. **WIR-98513** (рис. 2).

Сорт 'Некрасовский' – 'Nekrasovskiy'. Включен в Госреестр в 2008 г. **Nomenclatural standard:** Происхождение: Всероссийский научно-исследовательский ин-



Рис. 2. Номенклатурный стандарт крыжовника 'Морячок'

Fig. 2. Nomenclatural standard of gooseberry 'Moryachok'

ститут селекции плодовых культур. Автор: О. В. Курашев. Получен путем скрещивания сортов 'Африканец' и 'Колобок' в 1992 г. Репродукция: ВНИИСПК. Собрали: 17.05.2022 (цветки), О. В. Курашев, М. Ю. Шелест; 25.07.2022 (плоды, однолетние побеги), Л. В. Багмет, О. В. Курашев. Определил: О. В. Курашев. **WIR-98514**. – Origin: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Au-

thor: O. V. Kurashev. It was obtained by crossing the cultivars 'Afrikanets' and 'Kolobok' in 1992. Reproduction: VNIISPК. Collectors: 17.05.2022 (flowers), O. V. Kurashev, M. Yu. Shelest; 25.07.2022 (fruit, first-year shoots), L. V. Bagmet, O. V. Kurashev. Identified by: O. V. Kurashev. **WIR-98514** (рис. 3).

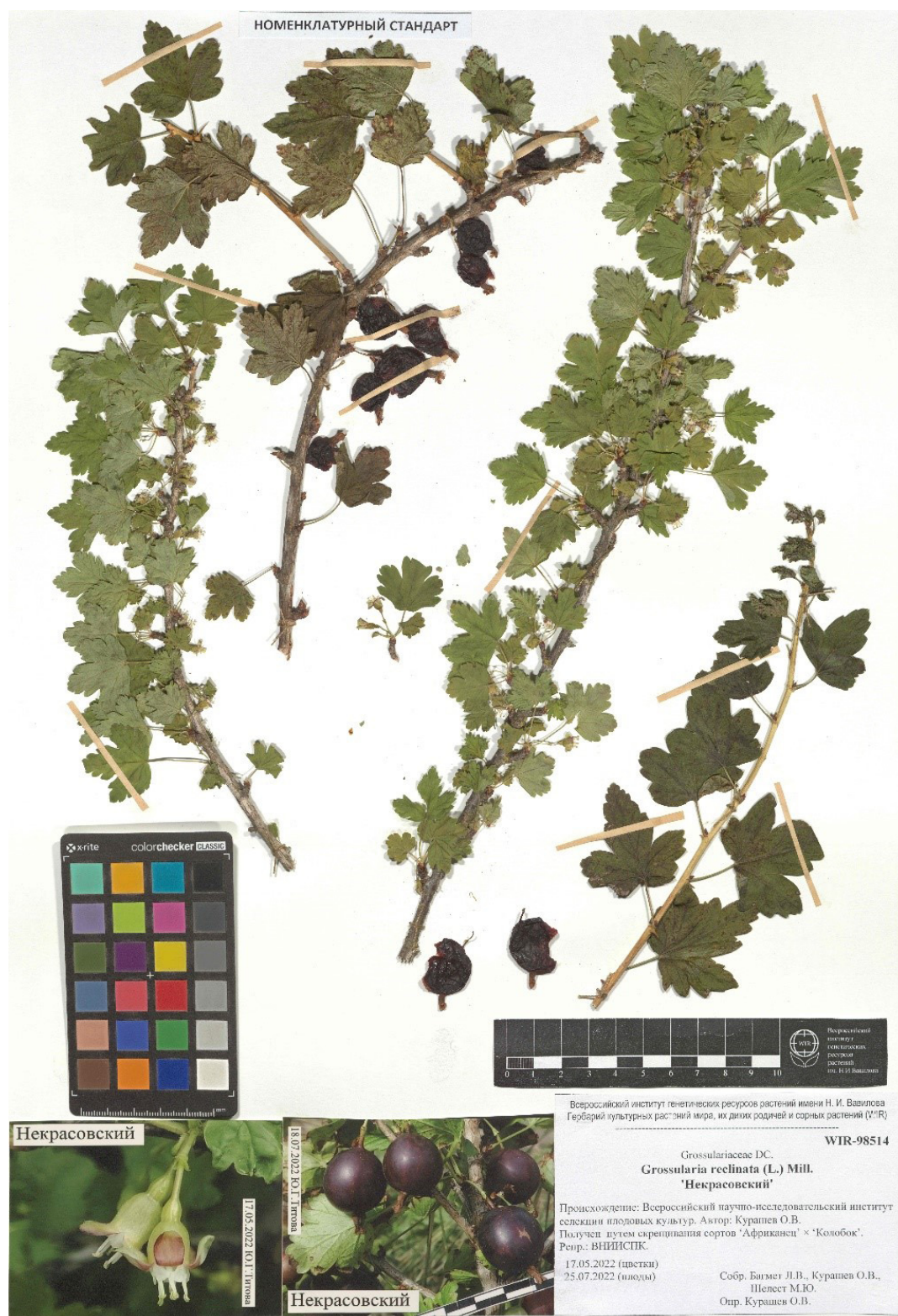


Рис. 3. Номенклатурный стандарт крыжовника 'Некрасовский'

Fig. 3. Nomenclatural standard of gooseberry 'Nekrasovskiy'

Сорт 'Солнечный Зайчик' – 'Solnechny Zaychik'. Включен в Госреестр в 2008 г. **Nomenclatural standard:** Происхождение: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. Автор: О. В. Курашев. Получен путем скрещивания сортов 'Африканец' и 'Колобок' в 1992 г. Репродукция: ВНИИСПК. Собрали: 17.05.2022 (цветки), О. В. Курашев, М. Ю. Шелест; 25.07.2022 (плоды, однолетние побеги), Л. В. Багмет,

О. В. Курашев. Определил: О. В. Курашев. **WIR-98515.** – Origin: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Author: O. V. Kurashev. It was obtained by crossing the cultivars 'Afrikanets' and 'Kolobok' in 1992. Reproduction: VNIISPК. Collectors: 17.05.2022 (flowers), O. V. Kurashev, M. Yu. Shelest; 25.07.2022 (fruit, first-year shoots), L. V. Bagmet, O. V. Kurashev. Identified by: O. V. Kurashev. **WIR-98515** (рис. 4).



Рис. 4. Номенклатурный стандарт крыжовника 'Солнечный Зайчик'

Fig. 4. Nomenclatural standard of gooseberry 'Solnechny Zaychik'

Сорт 'Юпитер' – 'Yupiter'. Включен в Госреестр в 2008 г. **Nomenclatural standard:** Происхождение: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. Автор: О. В. Курашев. Получен путем скрещивания сортов 'Африканец' и 'Гроссулярь' в 1992 г. Репродукция: ВНИИСПК. Собирали: 17.05.2022 (цветки), О. В. Курашев, М. Ю. Шелест; 25.07.2022 (плоды, однолетние побеги), Л. В. Багмет, О. В. Курашев.

Определил: О. В. Курашев. **WIR-98516.** – Origin: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Author: O. V. Kurashev. It was obtained by crossing the cultivars 'Africanets' and 'Grossulyar' in 1992. Reproduction: VNIISPК. Collectors: 17.05.2022 (flowers), O. V. Kurashev, M. Yu. Shelest; 25.07.2022 (fruit, first-year shoots), L. V. Bagmet, O. V. Kurashev. Identified by: O. V. Kurashev. **WIR-98516** (рис. 5).



Рис. 5. Номенклатурный стандарт крыжовника 'Юпитер'

Fig. 5. Nomenclatural standard of gooseberry 'Yupiter'

Заключение

В результате проведенного исследования загербаризованы, оформлены, зарегистрированы в базе данных (БД) «Гербарий ВИР» и назначены номенклатурными стандартами сортов пять гербарных образцов в количестве пяти гербарных листов: 'Дискавери' (WIR-98512), 'Морячок' (WIR-98513), 'Некрасовский' (WIR-98514),

'Солнечный Зайчик' (WIR-98515), 'Юпитер' (WIR-98516). К гербарным образцам номенклатурных стандартов прилагается пакет сопроводительных документов (патенты и копии авторских свидетельств сортов 'Некрасовский', Солнечный Зайчик, 'Юпитер', анкеты сортов). Номенклатурные стандарты переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

References / Литература

- Bagmet L.V., Kulyan R.V. Mandarin cultivar's nomenclatural standards of breeding of Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;10(1):15-28. [in Russian] [Багмет Л.В., Кулян Р.В. Номенклатурные стандарты сортов мандарина селекции Субтропического научного центра РАН. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;10(1):15-28]. DOI: 10.18699/letvjgb-2024-10-3
- Bagmet L.V., Shlyavas A.V. Nomenclatural standards of apple cultivars bred at the Pavlovsk experiment station of VIR. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24. [in Russian] [Багмет Л.В., Шлявас А.В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Павловской опытной станции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24]. DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-3-24
- Bagmet L.V., Tikhonova N.G. Nomenclature standards of honeysuckle varieties selected by the Pavlovsk Experimental Station of the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Horticulture and Viticulture*. 2023;(4):5-13. [in Russian] [Багмет Л.В., Тихонова Н.Г. Номенклатурные стандарты сортов жимолости селекции Павловской опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института генетических ресурсов имени Н. И. Вавилова. *Садоводство и виноградарство*. 2023;(4):5-13]. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-4-5-13
- 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. Available from: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf [accessed Apr. 24, 2024].
- Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): A new approach to cultivar gene pool registration in a genebank. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. [in Russian] [Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):6-17]. DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-02
- Golyaeva O.D., Knyazev S.D., Kurashev O.V. Advances and prospects of small fruits breeding and variety investigation in the All Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. *Horticulture and Viticulture*. 2015;(3):23-28. [in Russian] [Голяева О.Д., Князев С.Д., Курашев О.В. Достижения и перспективы селекции и сортоизучения ягодных культур во ВНИИСПК. *Садоводство и виноградарство*. 2015;(3):23-28]. DOI: 10.31676/0235-2591-2015-3-23-28
- Golyaeva O.D., Kurashev O.V., Knyazev S.D., Bakhotskaya A.Yu. New varieties of currants and gooseberry breeding plants. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020;(4):41-46. [in Russian] [Голяева О.Д., Курашев О.В., Князев С.Д., Бахотская А.Ю. Новые сорта смородины и крыжовника селекции ВНИИСПК. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(4):41-46]. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/41-46
- Guidelines for trials for distinctness, uniformity, and stability: [website]. [in Russian] [Методики испытаний на ООС (однородность, отличимость, стабильность): [сайт]]. URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> [дата обращения: 31.05.2024].
- 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;18:1–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;18:1–XVII+1–190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70]. DOI: 10.30901/2658-3860-2022-1-41-70
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G., Gadzhiev N.M., Evdokimova Z.Z., Lebedeva V.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred at the Leningrad Research Institute for Agriculture "Belogorka". *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):18-54. [in Russian] [Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Гаджиев Н.М., Евдокимова З.З., Лебедева В.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля, выведенные селекционерами Ленинградского НИИСХ «Белогорка». *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):18-54]. DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-03
- Kurashev O.V. *Grossularia robusta* as a source of valuable traits in gooseberry breeding. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2016;3(1):85-89. [in Russian] [Курашев О.В. Вид *Grossularia robusta* как источник ценных признаков в селекции крыжовника. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2016;3(1):85-89].
- Kurashev O.V., Titova Yu.G. Promising elite gooseberry cultivars and accessions of VNIISPК breeding. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2019;6(2):36-39. [in Russian] [Курашев О.В., Титова Ю.Г. Перспективные элитные формы и сорта крыжовника селекции ФГБНУ ВНИИСПК. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019;6(2):36-39].
- Tikhonova O.A., Shabliuk N.O., Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Talovina G.V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred at VIR. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25. [in Russian] [Тихонова О.А., Шаблюк Н.О., Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Таловина Г.В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25]. DOI: 10.30901/2658-3860-2021-2-3-25

Информация об авторах

Лариса Владимировна Багмет, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.bagmet@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>

Олег Владимирович Курашев, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, oleg.kurashev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0210-8520>

Information about the authors

Larisa V. Bagmet, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.bagmet@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>

Oleg V. Kurashev, Leading Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, oleg.kurashev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0210-8520>

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 17.06.2024; одобрена после рецензирования 14.04.2025; принята к публикации 06.05.2025.
The article was submitted on 17.06.2024; approved after reviewing on 14.04.2025; accepted for publication on 06.05.2025.

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 57.084.2:581.41:582.949.2:633.8:635.74:581.145

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-171-179



Особенности цветения и опыления *Melissa officinalis* L.

Х. К. Джумаев¹, К. Г. Ткаченко²

¹ Термезский государственный педагогический институт, Термез, Узбекистан

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кирилл Гаврилович Ткаченко, kigatka@gmail.com

Актуальность. Эфирные масла широко используют в разных областях медицины, косметики и парфюмерии, следовательно эфирномасличные растения представляют значительный интерес для промышленного выращивания. Знание особенностей антокологии позволяет решать проблемы семеноводства каждой конкретной культуры. Цель работы – изучить особенности цветения *Melissa officinalis* L.

Материалы и методы. Исходный материал собран в условиях Южного Узбекистана, растения выращивали в условиях г. Термеза. Наблюдения проводили в период 2020–2024 гг. согласно общепринятым методикам.

Результаты и заключение. Первые цветки открываются в период с 22 по 30 мая. Продолжительность цветения растений составляет 92–95 дней. Соцветие *M. officinalis* – плейотирс. Парциальные соцветия цимойдные (дихазии). Цветки расположены в ложных мутовках, в мутовке главного соцветия находятся по 6 цветков (по 3 шт. в каждой полумутовке). Цветки распускаются в утренние и дневные часы (с 9 до 13), основная масса (64,7%) цветков распускается между 10–11 часами утра. За один день на одной особи распускаются от 71 до 147 цветков. За вегетативный период одна особь может образовать от 5120 до 5586 цветков. В цветке наблюдается дихогамия в виде протандрии. Через час после распускания цветка пыльники распрямленных тычинок лопаются и начинают пылить, начинается тычиночная (мужская) фаза цветения, с ее наступлением венчики приобретают белый цвет, фаза продолжается до 7–8 часов и заканчивается усыханием тычинок. Женская фаза цветения начинается через 3–4 часа после распускания венчика цветка (в 12–13 ч), когда столбик несколько удлиняется и рыльца начинают отклоняться в разные стороны. Продолжительность женской фазы цветения составляет 9–11 часов и заканчивается усыханием рылец. Продолжительность цветения обоеполых цветков составляет 20–24 часа. Период вегетации *M. officinalis* в условиях южного Узбекистана составляет от 175 до 184 дней.

Ключевые слова: Lamiaceae, антокология, динамика распускания цветков, фазы цветения цветка, эфирномасличное и лекарственное растение, листовая пластинка

Благодарности: данная работа финансировалась за счет средств бюджета. Номер темы: 124020100075-2.

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

Для цитирования: Джумаев Х.К., Ткаченко К.Г. Особенности цветения и опыления *Melissa officinalis* L. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(2):171-179. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-171-179

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-171-179

Features of flowering and pollination in *Melissa officinalis* L.

Khudoyberdi K. Dzhumaev¹, Kirill G. Tkachenko²

¹ Termez State Pedagogical Institute, Termez, Uzbekistan,

² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Kirill G. Tkachenko, kigatka@gmail.com

Background. Essential oils are widely used in various fields of medicine, cosmetics and perfumery; therefore, essential oil plants are of considerable interest for industrial cultivation. Knowledge of their anthecology features allows us to solve seed production problems of such crops. The objective of this study was to examine flowering features in *Melissa officinalis* L.

Materials and methods. The source material was collected in Southern Uzbekistan, and the plants were grown under the conditions of Termez. Observations were carried out in 2020–2024 according to generally accepted methods.

Results and conclusion. The first flowers open between May 22–30. The flowering period of plants lasts 92–95 days. The inflorescence is a pleiothyrus. Partial inflorescences are cymoid (dichasia). Flowers are located in false whorls. Each whorl of the main inflorescence contains 6 flowers (3 pcs. in each semiwhorl). Flowers bloom in the morning and afternoon hours (from 9 AM to 1 PM), the bulk (64.7%) of flowers blooms between 10–11 AM. In total, from 71 to 147 flowers bloom in one lemon balm plant per day. During the growing season, one *M. officinalis* plant can form from 5120 to 5586 flowers. Dichogamy in the form of protandry is observed in the flower. An hour after the flower blooms, the anthers of the straightened stamens burst and begin to pollen, and the stamen (male) phase of flowering begins. With the onset of the male phase of flowering, the corollas turn white. The male phase lasts up to 7–8 hours and ends with the drying of the stamens. The female phase of flowering begins 3–4 hours after the corolla opens (noon – 1 PM), when the style lengthens somewhat and the stigmas begin to deviate in different directions. The duration of the female flowering phase is 9–11 hours and ends with the drying of the stigmas. The duration of flowering of bisexual flowers is 20–24 hours. The growing season lasts from 175 to 184 days.

Keywords: Lamiaceae, anthecology, flower blossoming dynamics, flower blossoming phases, essential oil and medicinal plant, leaf blade

Acknowledgements: this work was supported by ongoing institutional funding. Project No. 124020100075-2.

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

For citation: Dzhumaev Kh.K., Tkachenko K.G. Features of flowering and pollination in *Melissa officinalis* L. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):171-179. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-171-179

Введение

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), представитель семейства губоцветных (Lamiaceae), – многолетнее травянистое растение, достигающее от 30 до 60 см (нередко до 1 м) в высоту; стебли прямые, четырехгранные, довольно мощные, ветвистые. Один экземпляр на втором году жизни растения может дать порядка 90 стеблей (Pivovarov et al., 2001). Корневая система ветвистая, хорошо развита. Листорасположение супротивное, листья яйцевидные, верхушка заостренная, при основании округлые или слегка сердцевидные, по краю крупнопильчатые, прицветные листья при основании ширококлиновидные. Цветки на опушенных цветоножках, пониклые, в немногочетковых расставленных облиственных мутовках. Прицветники травянистые, продолговато-эллиптические, опушены длинными волосками. Чашечки 7–8 мм длиной с почти колючими зубцами, в 1,5–2,0 раза более короткими, чем трубка. Венчик белый, снаружи слегка опушенный, 13–14 мм длиной. Орешки (эремы) почти трехгранно продолговатые, темно-коричневые, от 1,6 до 1,8 мм длиной. Масса 1000 штук составляет от 0,5 до 0,7 г. Цветет в июне – августе. Плоды созревают в июле – сентябре. Основные места произрастания – в тени деревьев и скал в среднем поясе гор. Мелисса лекарственная произрастает в Средней Азии (Тянь-Шань, Памиро-Алай), в Крыму, на Кавказе, в Южной Европе, Северной Африке, Иране. (Maznev, 2001; Malankina, 2022). В Узбекистане встречается в Ташкентской и Сурхандарьинской областях (Vvedensky, 1961). Культивируют мелиссу лекарственную в некоторых странах Европы, Азии и США. В России культивируют с середины прошлого века как медоносное и эфирномасличное растение (Malankina, 2022). Публикации по особенностям анэкологии данного вида отсутствуют.

Установлено, что в листьях мелиссы лекарственной содержится 14% витамина С, 7% каротина. В свежесрезанных листьях накапливается от 0,02 до 0,20% эфирного масла, которое частично растворяется в дистилляте. Эфирные масла, выделенные из образцов мелиссы, произрастающих в разных регионах, имеют разное содержание и число основных компонентов. Так, по некоторым данным, основными соединениями являются β-кариофиллен (7,27–26,80%), кариофиллен (2,29–24,4%), гермакрен (27,4%), циклогермакрен (6,94–7,69%), гераниал (0,39–58,64%), геранеол (1,88–48,23%) и сабинен (6,9–17,4%); по другим данным, основными компонентами являются цитронеллал (35,24%), цитронеллол (11,97–37,33%), тимол (11,96%) и цитраль (10,10%) (Pопова, Litvinenko, 2009; Saeb, Gholamrezaee, 2012; Efremov

et al., 2014; Abdellatif et al., 2021; Çelebi et al., 2023; Hosseini-abadi et al., 2024).

Мелисса лекарственная издавна широко известна и находит использование в народной и научной медицине. Отвары этого растения улучшают кровообращение в головном мозге, предотвращают образование тромбов в кровеносных сосудах, полоскание отваром устраняет неприятный запах изо рта. Препараты и настойки применяют как болеутоляющее, против болезней сердца, как противосудорожное, при желудочно-кишечных заболеваниях, как потогонное средство, для снятия чрезвычайного сексуального возбуждения и при болезненных эрекциях, менструациях, для полоскания рта, при стоматитах, как легкое слабительное и мочегонное; ванночки – при кожных заболеваниях, фурункулезе, кожных сыпях; настойка – для растираний при болях в суставах. Используют для приготовления горячих и холодных чайных напитков. Достаточно широко используется в пищевой и парфюмерной промышленности (Maznev, 2001; Ahmedov et al., 2020).

Последние несколько десятилетий вновь уделяется большое внимание изучению вторичных метаболитов этого растения в связи с их биологической активностью и разработкой на их основе новых лечебных препаратов (Akhondzadeh et al., 2003; Mimica-Dukic et al., 2004; De Sousa et al., 2004; Chung et al., 2010; Uyanik, Gürbüz, 2014).

Цель работы – изучение особенностей анэкологии (биологических процессов цветения и опыления) в условиях Термеза (Узбекистан) в связи с перспективами разработки технологий семеноводства и закладки плантаций *Melissa officinalis*.

Материал и методика

Объект исследования – *Melissa officinalis* (мелисса лекарственная), выращиваемая из семян (50 экземпляров) и саженцев (также 50 экземпляров) дикорастущих растений в условиях питомника лекарственных и ароматических растений на территории Термезского государственного педагогического института в 2020–2024 гг. Для сравнения использовали сорт 'Дозя', культивируемый в Научно-исследовательском институте овощебахчевых культур и картофеля (Сурхандарьинский филиал).

В зимний период (в январе) 2020 и 2024 г. на выделенных участках высадили саженцы мелиссы лекарственной, выращенные из корневищ растений, растущих в окрестности села Вахшивор (Гиссарский хребет, Памиро-Алай, 1450–1500 м н. у. м.) Алтынсайского района (рис. 1). Наблюдения проводили на 50 особях (25 экзем-



Рис. 1. Саженцы *Melissa officinalis* L., выращенные в Термезе (март, 2024 г.)

Fig. 1. *Melissa officinalis* L. seedlings grown in Termez (March, 2024)

пляр, высаженных в 2020 г. и 25 экземпляров, высаженных в 2024 г.).

Наблюдения за ритмом развития и цветения растений проводили согласно отработанным общепринятым методикам (Djumaev, Tkachenko, 2021).

Результаты и обсуждение

Наблюдения за растениями проводили в период вегетации с 2021 по 2024 г. в течение семи месяцев (с марта по сентябрь). Особи Melissa лекарственной, полученные из черенков, хорошо адаптировалась к условиям Термеза. С началом вегетации (в первой декаде марта) все особи одновременно и равномерно отрастали, большая часть их (60%) полностью переходила в фазу цветения и далее – плодоношения. К концу сентября растения заканчивали вегетацию.

В весенние месяцы (март, апрель, май) растения активно образуют побеги обрастания, побеги первого порядка образуют боковые побеги второго и третьего порядков. К июлю высота побега достигает от 40 до 60 см (иногда до 65–70 см), длина боковых ветвей – от 10 до 50 см.

Данные о размерах пластинок листьев в зависимости от расположения на стебле по ярусам (верхний, средний и нижний ярусы) приведены на рисунке 2. На каждой из особей, перешедших в фазу «начало цветения», формировалось по 3–4 генеративных побега.

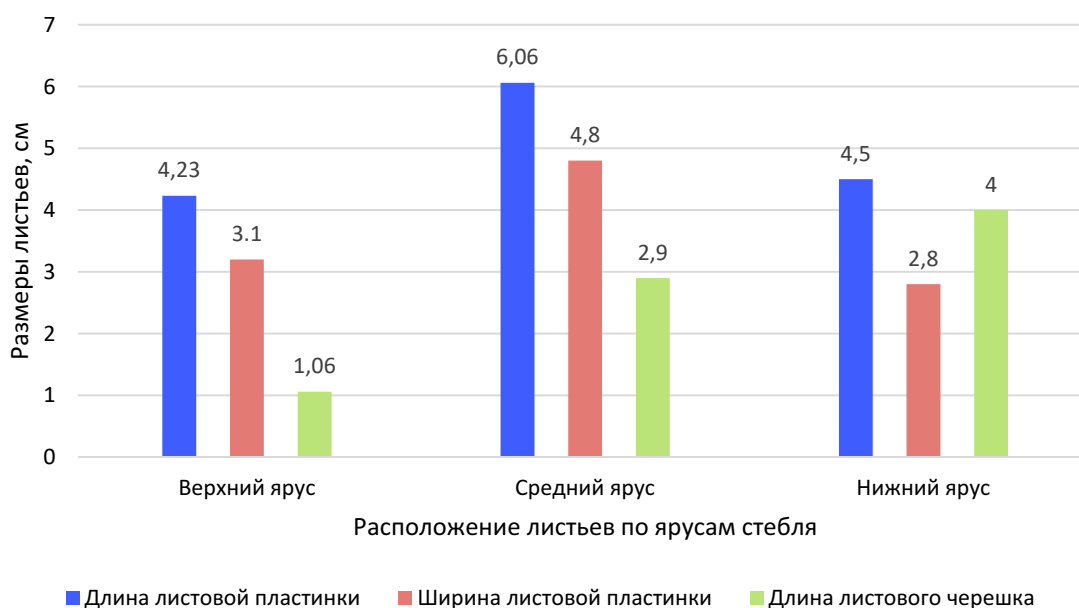


Рис. 2. Изменение размера листьев *Melissa officinalis* L. по ярусам стебля

Fig. 2. Changes in the size of *Melissa officinalis* L. leaves along the stem tiers

Как видно из рисунка 2, самые крупные листья на растении располагаются в средних ярусах побегов.

Соцветия *M. officinalis* являются сложными, типа колосовидный тирс. При этом тирс является полителическим, неограниченным, множественным плейотирсом (Fedorov, Artyushenko, 1979), парциальные соцветия растения в каждой полумутовке цимойдные (дихазии) (рис. 3).

Цветки *M. officinalis* имеют короткие (3–5 мм длиной) цветоножки. В главном и парциальных соцветиях I–III

порядков они расположены в ложных мутовках и число их не всегда одинаково. В каждой мутовке главного соцветия находятся по 6 цветков (по 3 шт. в каждой полумутовке), за исключением верхних мутовок, где число их уменьшается до 1. В ложных мутовках парциальных соцветий цветки *M. officinalis* расположены по 2–5 шт. (рис. 4).

Распускание цветков *M. officinalis* в главном и парциальных соцветиях I–III порядков акропетальное, а в тирсе – базипетальное.

Цветки *M. officinalis* распускаются в утренние и дневные часы (с 9 до 13 ч), основная масса (64,7%) цветков распускается между 10–11 часами утра при температуре воздуха 31°C и относительной влажности воздуха 15–16%. Таким образом, для цветков *M. officinalis* характерен утренний тип распускания (рис. 5). Всего за день на одной особи Melissa распускаются от 71 до 147 цветков.

За вегетативный период одна особь *M. officinalis* может образовать от 5120 до 5586 цветков (рис. 6).

Как видно из рисунка 5 (А и В), май 2020 г. был жарче, чем май 2024 г. И в 2024 г. было отмечено, что максимальное распускание цветков началось на час позже (см. рис. 5, В).

В исследовании участвовали саженцы, выращенные из семян дикорастущих и культивируемых растений (сорт 'Дозя') в Сурхандарьинском филиале Научно-исследовательского института овощебахчевых культур и картофеля. Оказалось, что растения сорта 'Дозя' образуют мень-

ше цветков – 45–66 цветков в день, а дикорастущие – от 136 до 147 цветков. За один сезон один побег у растений сорта 'Дозя' может образовать до 541 шт., а дикорастущие – до 1938 шт. цветков; одна особь сорта 'Дозя' может образовать до 3246 шт., дикорастущая – до 5586.

В процессе наблюдения выявлена разница в прохождении фазы «массовое цветение»: у саженцев дикорастущих растений массовое цветение было отмечено в июне, в то время как у сорта 'Дозя' оно пришлось на июль и начало августа (рис. 7).

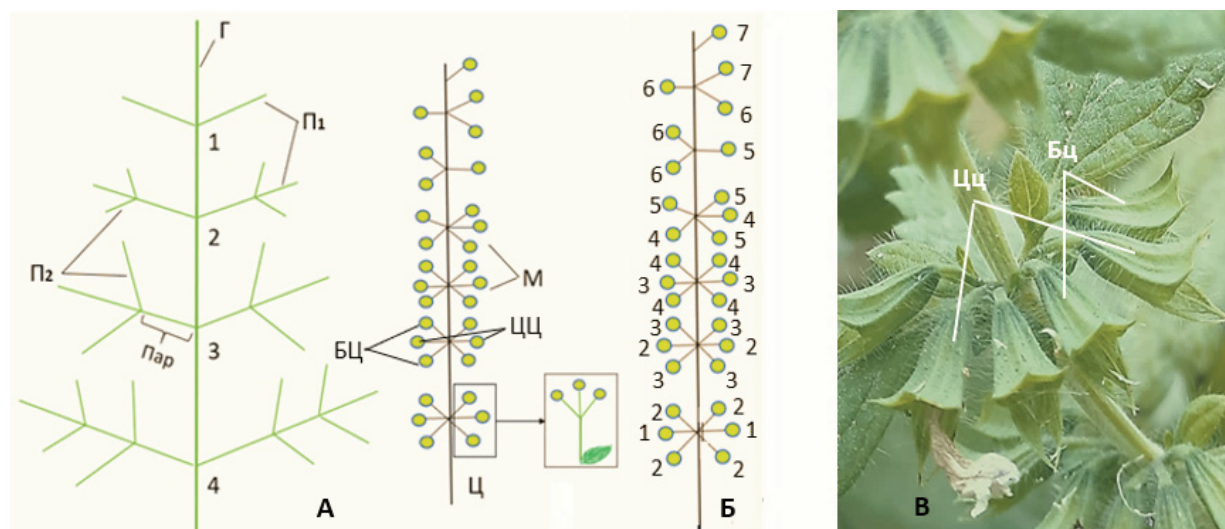


Рис. 3. Схема соцветия (тирса) *Melissa officinalis* L. (А), мутовки соцветия (Б, В): Б – схема распускания цветков в соцветии, Цц – центральный цветок мутовки, Бц – боковые цветки мутовки. Г – главное соцветие; П₁ – парциальные соцветия первого и П₂ – второго порядка; 1–4 – ярусы паракладиев; Пар – паракладии; М – мутовки; Ц – цимойдные соцветия (дихазии)

Fig. 3. Scheme of the inflorescence (thyrsus) of *Melissa officinalis* L. (А), whorls of the inflorescence (Б and В): Б – blossoming scheme of flowers in the inflorescence, Цц – central flower of the whorl, Бц – lateral flowers of the whorl. Г – main inflorescence; П₁ – partial inflorescences of the first order, and П₂ – those of the second order; 1–4 – tiers of the paracladia; Пар – paracladia; М – whorls; Ц – cymoid inflorescences (dichasia)



Рис. 4. Ложные мутовки соцветий *Melissa officinalis* L. и расположение цветков в них
Fig. 4. False whorls of *Melissa officinalis* L. inflorescences, and the arrangement of flowers in them

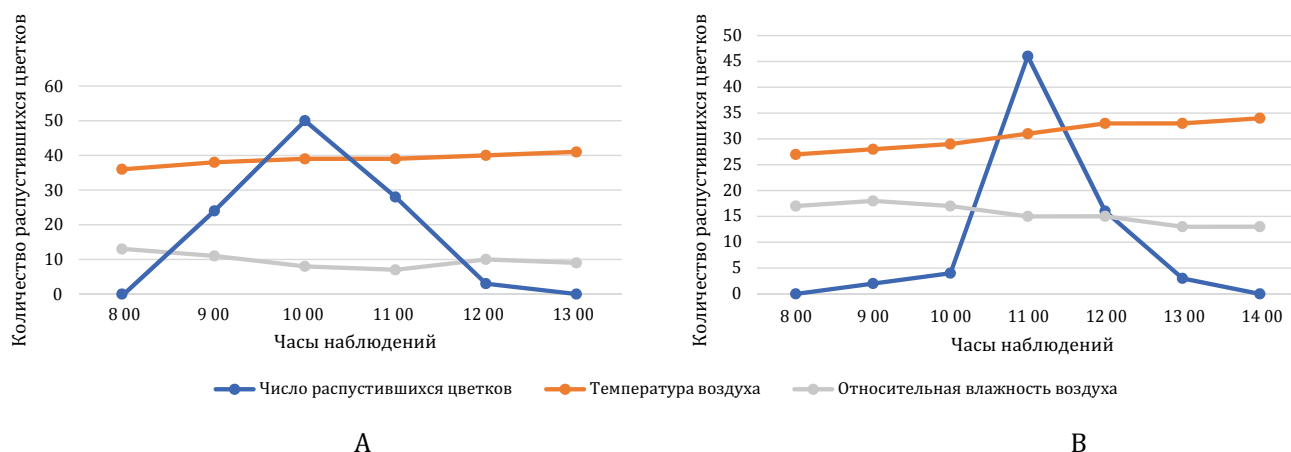


Рис. 5. Суточная динамика распускания цветков в соцветиях *Melissa officinalis* L.: А – 26.05.2020; В – 30.05.2024

Fig. 5. Daily dynamics of flower blooming in *Melissa officinalis* L. inflorescences: А – May 26, 2020; В – May 30, 2024

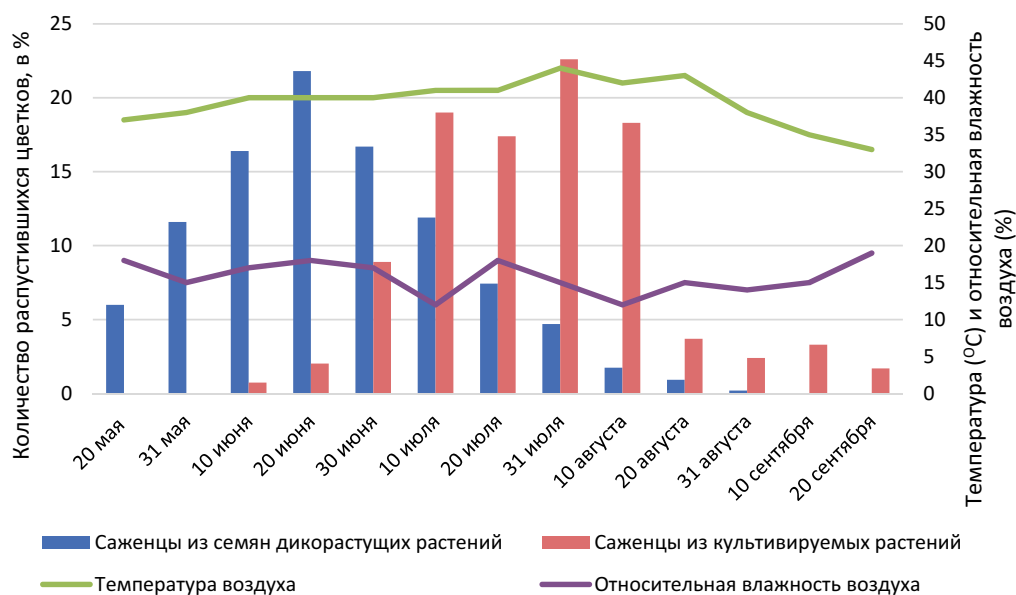


Рис. 6. Сезонная динамика цветения *Melissa officinalis* L. в 2024 году (г. Термез)

Fig. 6. Seasonal flowering dynamics of *Melissa officinalis* L. in 2024 (Termez)

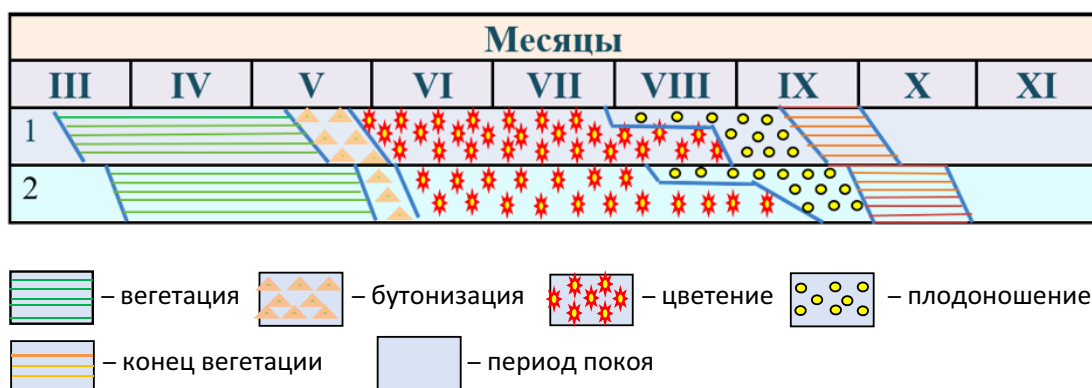


Рис. 7. Феноспектры *Melissa officinalis* L. в условиях Термеза: 1 – развитие саженцев из дикорастущих растений; 2 – развитие саженцев сорта 'Доза'

Fig. 7. Phenospectra of *Melissa officinalis* L. under the conditions of Termez: 1 – development of seedlings from wild plants; 2 – development of seedlings from cv. 'Doza'

В соцветии *M. officinalis* первыми распускаются центральные цветки, а через сутки (иногда одновременно) – два боковых. Распускание боковых цветков совпадает с распусканием центральных цветков, находящихся в вышерасположенной мутовке (см. рис. 3).

Цветки *M. officinalis* обоеполые, тычинок – 4, пара верхних длиннее (9–10 мм), чем нижние (6–7 мм), и все они располагаются под верхней губой, выдаваясь из трубки венчика. Нижние тычинки согнуты (в полузакрученном виде) вовнутрь верхней губы (рис. 8). Пестик имеет длинный столбик, заканчивающийся двухлопастным рыльцем с верхней 4-раздельной завязью.

Венчик в бутоне желтого цвета, желтый цвет сохраняется и после распускания цветка в течение одного часа. В период распускания венчика тычинки и пестик, находящиеся в закрученном виде в бутоне, начинают распрямляться и располагаются под верхней губой венчика.

В цветке *M. officinalis* наблюдается диогогамия в виде протандрии. Через полчаса – час после распускания цвет-

ка пыльники распрямленных тычинок лопаются и начинают пылить, и именно с этого момента в цветке начинается тычиночная (мужская) фаза цветения. С наступлением мужской фазы цветения цветки приобретают белый цвет. Мужская фаза продолжается до 7–8 часов и заканчивается усыханием тычинок.

Женская фаза цветения начинается через 3–4 часа после распускания венчика цветка (12–13 ч), когда столбик несколько удлиняется и рыльца начинают отклоняться в разные стороны. В это время столбик становится намного длиннее тычинок и рыльца выходят из венчика цветка (рис. 9). Продолжительность женской фазы цветения составляет 9–11 часов и заканчивается усыханием рылец. Продолжительность цветения обоеполых цветков составляет 20–24 часа, она зависит в том числе и от активности насекомых-опылителей.

В цветках *M. officinalis* иногда наблюдается некоторое наложение в прохождении мужской и женской фаз цветения. Совмещение этих фаз наступает через 3–4 часа после распускания венчика цветка, то есть с началом на-

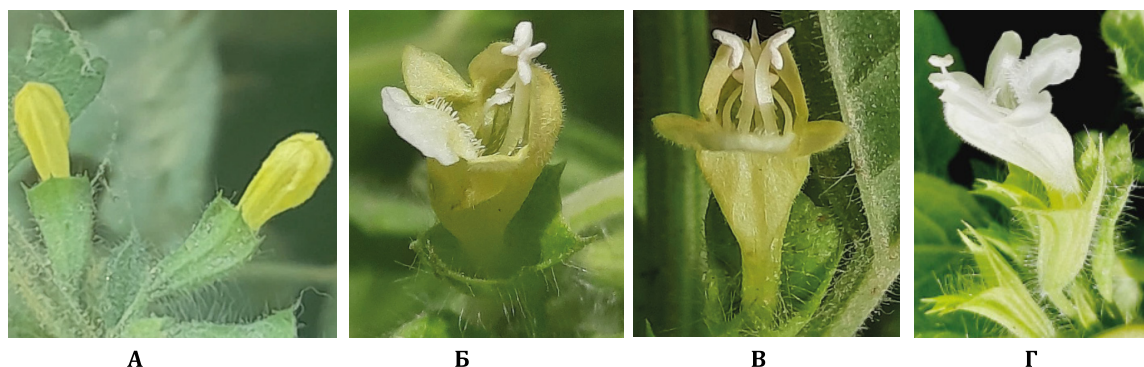


Рис. 8. Бутоны и распускающиеся цветки *Melissa officinalis* L.: А – бутон; Б, В – распустившиеся цветки; Г – мужская фаза цветения

Fig. 8. Buds and blossoming flowers of *Melissa officinalis* L.: А – bud; Б and В – opened flowers; Г – male flowering phase



Рис. 9. Совмещение мужской и женской фаз в цветке *Melissa officinalis* L.

Fig. 9. Overlapping of male and female phases in the *Melissa officinalis* L. flower

ступления женской фазы цветения. Продолжительность совмещения этих фаз в цветках иногда составляет от 4 до 5 часов. Это свидетельствует о возможности самоопыления в цветке (см. рис. 9).

На основании проведенных наблюдений можно предположить, что *M. officinalis* – гиномоноэцичное растение, так как на одном растении встречаются и функционально женские цветки. Такие цветки составляют от 10 до 14% от общего числа цветков на одном растении. Функционально женские цветки намного меньше по размеру (длина цветков – 10,5–11,0 мм, длина чашечек – 3–4 мм, длина венчика – 10,0–10,7 мм), чем гермафродитные цветки (длина цветков – 13,5–14,0 мм, длина чашечек – 5–6 мм, длина венчика – 13,0–13,5 мм). У функционально

женских цветков тычинки недоразвиты (стерильные). У этих цветков через один час после распускания венчика наступает женская фаза цветения, рост пестика происходит намного интенсивнее, чем у обоеполых цветков, а рыльца выходят из венчика цветка (рис. 10). Тычинки этих цветков в момент распускания венчиков находятся внутри верхней губы. Цветение женских цветков намного продолжительнее, чем у гермафродитных цветков. Пестик неопыленных цветков максимально удлиняется и остается жизнеспособным до 24–28 часов (см. рис. 10). После этого и они увядают, а затем осыпаются.

Мелисса лекарственная является энтомофильным растением. В условиях г. Термеза основными опылителями этого вида являются представители отряда *Diptera*

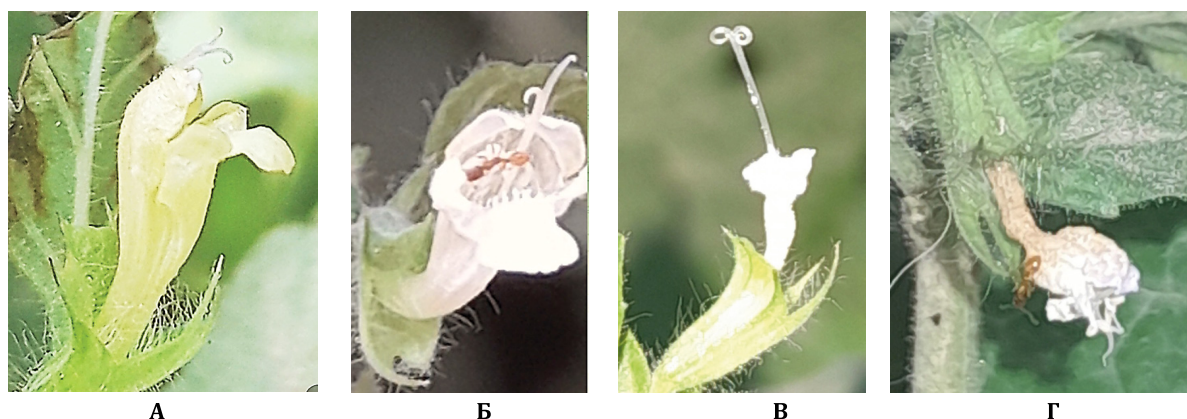


Рис. 10. Цветки *Melissa officinalis* L.: А – через час; Б – через 6 часов; В – через 23 часа, Г – через 28 часов

Fig. 10. *Melissa officinalis* L. flowers: А – after one hour; Б – after 6 hours; В – after 23 hours; Г – after 28 hours

(Syrphidae – мухи-журчалки). Эти насекомые начинают посещать цветки мелиссы с 9 ч утра при температуре от 30°C до 36°C и относительной влажности 16%. Максимальное число прилетающих двукрылых наблюдается в 11 часов, при температуре 43°C и относительной влажности воздуха 12%, а число остальных насекомых, посещающих цветки, незначительно (бабочки, муравьи, божьи коровки) (рис. 11). Пчел же, посещающих цветки мелиссы, отмечали крайне редко.

чение 7–8 часов и заканчивается с усыханием тычинок. Женская же фаза цветения начинается через 8–9 часов после распускания цветков, продолжается в течение 9–11 часов и заканчивается с усыханием столбика пестика.

M. officinalis является энтомофильным растением. Основными опылителями растений являются представители отряда двукрылых – мухи-журчалки (Syrphidae). Посещение цветков ими продолжается в течение 9 часов.

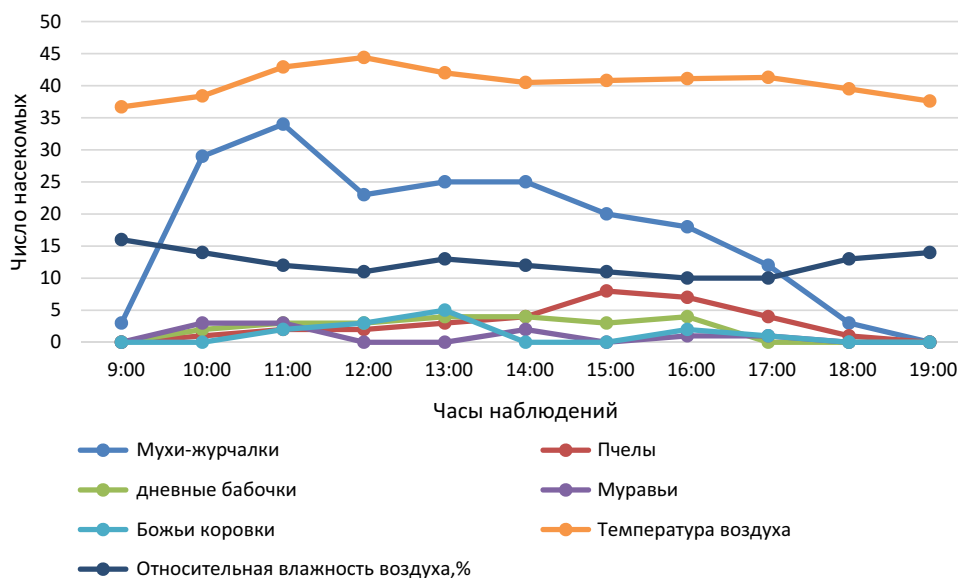


Рис. 11. Динамика численности посещения насекомых-опылителей цветков *Melissa officinalis* L.

Fig. 11. Dynamics of the number of visits of insect pollinators on *Melissa officinalis* L. flowers

Отрастание растений *M. officinalis* в условиях Термеза начинается в начале марта, и уже к 10 – 15 мая начинается период бутонизации. Первые цветки открываются в период с 22 по 30 мая. Продолжительность цветения растений составляет 92–95 дней. В конце августа растения *M. officinalis* заканчивают вегетацию, вступая в период массового созревания плодов (семян – эремов). Общий период вегетации мелиссы лекарственной в условиях Термеза составляет от 175 до 184 дней.

Выводы

Впервые в условиях юга Узбекистана изучено цветение *Melissa officinalis*. Описаны различия обоеполюх и женских цветков, прохождения ими фаз цветения, а также особенности привлечения насекомых-опылителей.

M. officinalis – перспективное эфирномасличное и лекарственное растение для возделывания в условиях Южного Узбекистана.

В условиях юга Узбекистана *M. officinalis* вступает в период бутонизации во второй половине мая, цветение растения начинается в конце мая – начале июня. Цветение продолжается до конца августа. Продолжительность бутонизации в растениях составляет 6–8 дней, цветения – 85–95 дней. Массовое цветение растения наблюдается с 1 июня до 10 июля.

M. officinalis характеризуется утренним типом цветения, которое начинается с 9 утра и продолжается до 12 часов, с продолжительностью 3 часа.

В цветках *M. officinalis* наблюдается дихогамия в виде протандрии. Мужская фаза цветения продолжается в те-

При опылении цветков мелиссы участвуют (как второстепенные) и дневные бабочки, муравьи и жуки (божьи коровки).

Данные по изучению особенностей цветения, опыления и смены генеративных фаз цветения *M. officinalis*, полученные в условиях юга Узбекистана, можно использовать в исследованиях других видов этого семейства, а также при введении в культуру и при создании базы данных по антокологии растений.

References / Литература

- Abdellatif F., Akram M., Begaa S., Messaoudi M., Benarfa A., Egbuna C. Et al. Minerals, essential oils, and biological properties of *Melissa officinalis* L. *Plants (Basel)*. 2021;10(6):1066. DOI: 10.3390/plants10061066
- Ahmedov O', Ergashev A., Abzalov A., Yulchiyeva M., Azimboyev S. Dorivor o'simliklarni yetishtirish texnologiyasi fanidan amaliy mashg'ulotlar. Toshkent: NiF MSH; 2020. [in Uzbek]
- Akhondzadeh S., Nooroonzian M., Mohammadi M., Ohadinia S., Jamshidi A.H., Khani M. *Melissa officinalis* extract in the treatment of patients with mild to moderate Alzheimer's disease: a double blind, randomised, placebo controlled trial. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 2003;74(7):863-866. DOI: 10.1136/jnnp.74.7.863
- Çelebi Ö., Fidan H., Iliev I., Traycheva Petkova N., Dincheva I.N., Gandova V. et al. Chemical composition, biological activities, and surface tension properties of *Melissa officinalis* L. essential oil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2023;47(1):67-78. DOI: 10.55730/1300-011X.3065

- Chung M.J., Cho S.Y., Bhuiyan M.J.H., Kim K.H., Lee S.J. Anti-diabetic effects of lemon balm (*Melissa officinalis*) essential oil on glucose-and lipid-regulating enzymes in type 2 diabetic mice. *The British Journal of Nutrition*. 2010;104(2):180-188. DOI: 10.1017/S0007114510001765
- De Sousa A.C., Alviano D.S., Blank A.F., Alves P.B., Alviano C.S., Gattass C.R. *Melissa officinalis* L. essential oil: antitumoral and antioxidant activities. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2004;56(5):677-681. DOI: 10.1211/0022357023321
- Djumayev Kh.K., Tkachenko K.G. Anthecological features of *Lonicera japonica* Thunb. in the environments of Southern Uzbekistan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):159-166. [in Russian] (Джумаев Х.К., Ткаченко К.Г. Особенности антекологии *Lonicera japonica* Thunb. в условиях юга Узбекистана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):159-166). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-159-166
- Efremov A.A., Zykova I.D., Gorbachev A. Essential oil composition from above-ground part of *Melissa officinalis* L. in the vicinity of Krasnoyarsk by GC/MS-method. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2014;(1):77-81. [in Russian] (Ефремов А.А., Зыкова И.Д., Горбачев А. Компонентный состав эфирного масла мелиссы лекарственной окрестностей Красноярска по данным хромато-масс-спектрометрии. *Химия растительного сырья*. 2014;(1):77-81). DOI: 10.14258/jcprm.201501415
- Fedorov A.A., Artyushenko Z.T. Atlas of descriptive morphology in higher plants. Inflorescence (Atlas po opisatel'noy morfologii vysshikh rasteniy. Sotsvetiye). Leningrad: Nauka; 1979. [in Russian] (Федоров А.А., Артюшенко З.Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Соцветие. Ленинград: Наука; 1979).
- Hosseinabadi S., Yavari A., Abdollahi F. Essential oil variation in *Melissa officinalis* L. cultivated under industrial field conditions: effects of different harvesting times and plant materials. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2024;27(1):1-15. DOI: 10.1080/0972060X.2024.2304581
- Malankina E.L. Medicinal plants in ornamental horticulture (Lekarstvennyye rasteniya v dekorativnom sadovodstve). Moscow: INFRA-M; 2022. [in Russian] (Маланкина Е.Л. Лекарственные растения в декоративном садоводстве. Москва: ИНФРА-М; 2022).
- Maznev N.I. Herbalist (Travnik). Moscow: Gamma-Press 2000; 2001. [in Russian] (Мазнев Н.И. Травник. Москва: Гамма-пресс 2000; 2001).
- Mimica-Dukic N., Bozin B., Sokovic M., Simin N. Antimicrobial and antioxidant activities of *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) essential oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2485-2489. DOI: 10.1021/jf030698a
- Pivovarov V.F., Aramov M.Kh., Dobrutskaia E.G., Turdikulov B.T., Bakhramov B.B., Khasanov A.R., Nadzhiev Zh.N., Kuchkarov A.M. Vegetable and melon crops in Uzbekistan (Ovoshchnye i bakhchevye kultury v Uzbekistane). Moscow: VNISSOK; 2001. [in Russian] (Пивоваров В.Ф., Арамов М.Х., Добруцкая Е.Г., Турдикулов Б.Т., Бахрамов Б.Б., Хасанов А.Р., Наджиев Ж.Н., Кучкаров А.М. Овощные и бахчевые культуры в Узбекистане. Москва: ВНИССОК; 2001).
- Popova N.V., Litvinenko V.I. Analysis of essential oil in lemon balm (Analiz efir'nogo masla melissy lekarstvennoy). *Pharmacom*. 2009;(4):37. [in Russian] (Попова Н.В., Литвиненко В.И. Анализ эфирного масла мелиссы лекарственной. *Фармаком*. 2009;(4):37).
- Saeb K., Gholamrezaee S. Variation of essential oil composition of *Melissa officinalis* L. leaves during different stages of plant growth. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2012;2(2 suppl):547-549. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60271-8
- Uyanik M., Gürbüz B. Chemical diversity in essential oil compositions of leaf, herb and flower in lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 2014;1(2):210-214.
- Vvedensky A.I. Genus 795. (29). *Melissa* L. In: A.I. Vvedensky (ed.). *Flora Uzbekistanica. Tomus V*. Tashkent; Uzbek SSR Academy of Sciences; 1961. p.403. [in Russian] (Введенский А.И. Род 795. (29). *Melissa* L. В кн.: *Флора Узбекистана. Том V* / под ред. А.И. Введенского. Ташкент: АН УЗССР; 1961. С.403).

Информация об авторах

Худойберди Курбандурдиевич Джумаев, кандидат биологических наук, доцент, Термезский государственный педагогический институт, 191204 Узбекистан, Термез, ул. Ат-Термизий, 1-А, xudoyberdi-djumayev@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1735-4430>

Кирилл Гаврилович Ткаченко, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, 197022 Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2, kigatka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6841-6561>

Information about the authors

Khudoyberdi K. Dzhumaev, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Termez State Pedagogical Institute, 1-A At-Termiziy St., Termez 191204, Uzbekistan, xudoyberdi-djumayev@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1735-4430>

Kirill G. Tkachenko, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2 Professora Popova Street, St. Petersburg 197022, Russia, kigatka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6841-6561>

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 27.02.2025; одобрена после рецензирования 16.04.2025; принята к публикации 20.05.2025. The article was submitted on 27.02.2025; approved after reviewing on 16.04.2025; accepted for publication on 20.05.2025.

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Обзорная статья

УДК 581.9(470)

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-180-192



Распространение золотарника канадского *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) на территории Российской Федерации

Н. Н. Лунева, Е. Н. Мысник

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгения Николаевна Мысник, vajra-sattva@yandex.ru

Для разработки мер по сдерживанию распространения инвазионного вида золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.), ведущего к снижению биоразнообразия, с одной стороны, а также для использования его положительного потенциала (лекарственного и медоносного), с другой стороны, необходимы сведения о масштабе его распространения в нашей стране. Существующая карта его распространения на территории Российской Федерации отражает его инвазионный статус в регионах распространения, но не частоту встречаемости. Целью исследования является составление карты вторичного ареала золотарника канадского в пределах России к началу третьего десятилетия XXI в. с отражением частоты его встречаемости в регионах.

Изучение распространения золотарника канадского на территории Российской Федерации проведено на основе анализа материалов научных публикаций о его произрастании в каждой из областей, республик, краев и округов России, а также информации по распространению вида из международной базы данных GBIF. Карта построена с использованием программы IDRISI Selva 17.0 и векторизована в программе MapInfo 16.0.

Золотарник канадский достаточно широко распространился в России, произрастая на территории европейской части, Северного Кавказа, Урала, Западной Сибири и Дальнего Востока. В отдельных областях вид находится в начале процесса инвазии, характеризуясь редкой частотой встречаемости, но на большей части освоенной им территории образует заросли, вызывая нарушение структуры природных экосистем. Процесс освоения золотарником канадским новых территорий (в северных областях указанных регионов и Восточной Сибири) продолжается.

Угроза, исходящая от этого инвазионного, хотя и не признанного карантинным вида настолько велика, что, несмотря на его достаточно широкое распространение по территории Российской Федерации, а также использование в качестве сырья для получения лекарственных веществ, следует озаботиться проблемой сдерживания его распространения и предотвращения потери аборигенного биоразнообразия.

Ключевые слова: инвазионный вид, распространение, частота встречаемости, картирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания согласно бюджетному проекту ВИЗР по теме № FGEU-2025-0001 «Фитосанитарный мониторинг, прогноз и районирование агроландшафтов и агроэкосистем на основе эколого-географического и филогенетического анализа, визуализации и интегративной систематики вредных и полезных организмов».

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

Для цитирования: Лунева Н.Н., Мысник Е.Н. Распространение золотарника канадского *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) на территории Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):180-192. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-180-192

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

Review article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-180-192

Distribution of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in the Russian Federation

Natalya N. Luneva, Evgenia N. Mysnik

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Evgenia N. Mysnik, vajra-sattva@yandex.ru

Developing measures to restrain the spread of the invasive species *Solidago canadensis* L., leading to a decrease in biodiversity, on the one hand, and exploiting its positive potential, on the other, require information on the scope of its distribution in Russia. The existing map of its dispersal over the Russian Federation reflects its invasive status in the regions of distribution, but not the frequency of its occurrence. The purpose of the study was to construct a map of the secondary range of distribution for *S. canadensis* within Russia by the beginning of the third decade of the 21st century, reflecting the frequency of its occurrence in the regions.

The study of the *S. canadensis* distribution in Russia was based on an analysis of materials from scientific publications about its occurrence in each of the regions, republics, territories, and districts of Russia. Information on the distribution of this species from the international GBIF database was also used. The map was built using IDRISI Selva 17.0 and vectorized in MapInfo 16.0. *S. canadensis* has spread quite widely in Russia, growing in the European part, the North Caucasus, the Urals, Western Siberia, and the Far East. In some regions, the species is at the beginning of the invasion process, characterized by a rare frequency of occurrence, but in most of the territory, it has developed thickets, causing a violation of the structure of natural ecosystems. The process of capturing new lands by *S. canadensis* (in the northern areas of the said regions and Eastern Siberia) continues.

The threat posed by this invasive, although not recognized as quarantine, species is so great that, despite its widespread distribution throughout the Russian Federation, as well as its use as raw material for producing pharmaceuticals, one should be concerned with the problem of restraining its dispersal and preventing the loss of indigenous biodiversity.

Keywords: invasive species, distribution, occurrence frequency, mapping

Acknowledgements: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state task assigned to the All-Russian Institute of Plant Protection (theme No. FGEU-2025-0001). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Luneva N.N., Mysnik E.N. Distribution of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):180-192. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-180-192

В «Списке инвазионных видов Европейской и Средиземноморской организации по защите растений» (EPPO List of Invasive Alien Plants), содержащем виды чужеродных растений, наносящие серьезный вред биологическому разнообразию аборигенных видов (https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists#iap), с 2004 г. присутствует североамериканский вид золотарник канадский – *Solidago canadensis* L. (Asteraceae). Родина золотарника канадского – Северная Америка. Первичный ареал вида охватывает Канаду, США (восточную часть), Мексику. В частности, вид распространен от 26° до 45° северной широты, доходя до 65° северной широты на западе Канады и на Аляске; в Канаде – от полуострова Новая Шотландия до провинции Онтарио, в США – от штата Северная Дакота до штатов Флорида, Техас и Аризона (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>).

Вторичный ареал вида значительно шире. В Европе золотарник канадский распространен на территории от Исландии и юга Скандинавии до Северной Италии и Португалии, помимо этого – в Закавказье, Японии, на Тайване, в Китае, Турции, Австралии и ряде других стран. На территории России золотарник канадский распространен во всех регионах (Dgebuadze et al., 2018), а также в странах, граничащих с РФ (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>). Формирование вторичного ареала вида не завершено, он продолжает расселяться в новые регионы.

Высокий уровень адаптационных возможностей вида обуславливает его произрастание во вторичном ареале на различных почвах (от песчаных до глинистых) и в разнообразных местообитаниях, не только нарушенных, что характерно для всех чужеродных видов, но и естественных (например, в прибрежных фитоценозах), куда золотарник канадский стал внедряться в начале XX в. (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>). Позже появились сведения о его внедрении под полог городских древесных насаждений, на открытые луговины и в светлые березняки, суходольные луга. Такие его качества, как активное разрастание с образованием обширных зарослей и захватом новых территорий с одновременным вытеснением аборигенных видов, позволяют отнести золотарник к группе видов-«трансформеров» (Baranova et al., 2018).

Вид-«трансформер» аналогичен виду-эдификатору по его численности и обилию в экосистеме, но направленность действия эдификатора и «трансформера» на структуру и функционирование экосистемы противоположна. Понятие эдификатора как вида, который «является создателем ассоциации» (Sukachev, 1927), изначально было связано с природными экосистемами, структуры которых формировались в условиях создаваемой эдификатором биосреды, пригодных для существования многих видов, совокупность которых и определяла характерные свойства данной экосистемы. С уничтожением эдификатора происходят функциональные изменения из-за выпадения из системы других, связанных с эдификатором видов, и происходит деструкция экосистемы (Reymers, 1994).

В случае активного внедрения в природную экосистему чужеродного вида, с увеличением показателей его численности и обилия, приводящего к изменению всего облика данной экосистемы, такой вид сам становится эдификатором, образуя одновидовые заросли и вытесняя виды природной флоры, в том числе и эдификаторы первичной экосистемы (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>). Таким образом, предложенный термин – виды-«трансформеры» (Baranova et al., 2018) – относится к чужеродным инвазионным видам, ставшим вторичными

эдификаторами, не создающими, а разрушающими природные экосистемы с формированием антропогенно обусловленных экосистем с потерей биоразнообразия.

Основной способ распространения золотарника канадского – семенной. Один генеративный побег может сформировать более 10 000 семян. Семена переносятся ветром на значительные расстояния. Рассеиванию ветром способствуют наличие у семян хохолка, их небольшие размеры и низкая скорость падения на почву. Также золотарник способен размножаться вегетативно с помощью фрагментов корневищ, что способствует его активному распространению на близкие расстояния с образованием зарослей (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>; Tremasova et al., 2012).

Изучение причин вытеснения одних видов растений другими показало, что чужеродные виды могут воздействовать на аборигенные растения биохимическим способом, а экстракт из золотарника канадского обладает аллелопатическим действием на другие растения (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>). С годами происходит увеличение проективного покрытия золотарника канадского, одновременно снижается видовое и ценотическое разнообразие растительного сообщества и происходит замедление сукцессионной смены растительности. От инвазии золотарника канадского страдает не только аборигенная флора, но и фауна: в его зарослях отмечено значительное снижение численности гнезд мелких пернатых, по сравнению с зарослями аборигенных видов растений (Lyakh et al., 2020), уменьшение численности насекомых-опылителей, снижение вдвое количества муравьиных гнезд, что влияет, в свою очередь, на численность мирмекофильных животных (Shmelev, Pankrushina, 2019).

Ко всем этим отрицательным последствиям привела интродукция золотарника канадского как декоративного растения из Северной Америки в Европу в XVII в. Выращивание этого растения в ботанических садах стран Европы выявило отсутствие трудностей при его возделывании, что привело к широкому использованию вида на приусадебных участках, откуда впоследствии вид «сбежал из культуры», стал неконтролируемо распространяться и вскоре натурализовался в Англии, Германии, Швеции, Дании, Польше, Норвегии, Латвии, Финляндии, Литве и Эстонии. В России регистрируется со второй половины XIX в., в настоящее время как декоративное и дичающее растение встречается по всей Средней России (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>).

Запоздалое формирование отрицательного отношения к распространению золотарника канадского, а также отнесение золотарника к инвазионным видам объясняются, в значительной мере тем, что это растение, обладая многими ценными свойствами, воспринимается как декоративное, лекарственное и медоносное растение. Золотарник канадский содержит дубильные вещества (Gilfanova et al., 2018), аскорбиновую кислоту (Nikitina, Shchepetova, 2020), флавоноиды, сапонины, кумарины, оксикоричные кислоты, эфирные масла, благодаря которым растение используется в народной медицине как антибактериальное и противовоспалительное средство для профилактики и лечения заболеваний мочеполовой системы, при респираторных заболеваниях, туберкулезе легких (Nikitina, 2020). В настоящее время антиоксидантные и антибактериальные свойства травы этого растения научно доказаны (Suleymanova et al., 2020), что в целом послужило причиной возделывания его как культурного растения в РФ (Nayda et al., 2017). Несмотря на то

что исследования, проведенные в начале XX в., показали невысокий уровень возможности его использования в качестве каучуконоса (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>), интерес к этому вопросу в настоящее время возобновился (Kuluev et al., 2019).

За весь период присутствия золотарника канадского на территории страны отношение к нему менялось трижды: сначала его оценили как декоративное растение, потом определили злостным инвазионным видом, а затем обратили внимание на его лекарственные свойства и отнесли к ресурсным видам (Vinogradova, Shelepova, 2022), разрабатывая технологию его возделывания, в то время как золотарник канадский продолжает завоевывать все новые территории. Ситуация аналогична таковой с борщевиком Сосновского – *Heracleum sosnowskyi* Manden, который в первые годы его интродукции за пределы нативного ареала на территории РФ имел статус кормового растения, затем перешел в категорию злостного инвазионного вида, а в настоящее время наблюдается тенденция признания его полезным ресурсным растением. Например, предложено использовать борщевик для получения биоэтанола (Dorzhiev, Pateyeva, 2011), в качестве эфиромасличных растительных ресурсов (Tkachenko, 2014) и регуляторов роста при выращивании моркови (Kokovkina, 2016) и картофеля (Tulinov et al., 2018). Признание этих двух видов агрессивными инвазионными и одновременно полезными ресурсными растениями ставит задачу четкого отделения проблемы их возделывания на сельскохозяйственных землях от проблемы сдерживания их экспансии на других типах земель. В случае возделывания на пахотных землях золотарника канадского и борщевика Сосновского в качестве сырья для получения полезной продукции необходимо обеспечить строгий контроль, предотвращающий их «бегство из культуры». В то же время чрезвычайно важно остановить дальнейшее распространение этих видов по территории РФ.

Странам, в которых произрастает золотарник канадский, настоятельно рекомендовано принимать меры, предотвращающие его дальнейшую интродукцию и распространение (<http://www.bookblack.ru/plant/17.htm>). Несмотря на многочисленные публикации, описывающие произрастание золотарника канадского в разных областях и краях нашей страны, существует только одна карта его распространения на территории РФ, на которой показан инвазионный статус вида в регионах, где распространяется вид (Dgebuadze et al., 2018). Неконтролируемое распространение золотарника канадского, приводящее к сокращению биоразнообразия, делает необходимой разработку мероприятий по сокращению его численности, для планирования и организации которых требуется карта с информацией о частоте его встречаемости в том или ином регионе.

Поскольку это растение было интродуцировано в Европу, а затем и в РФ как декоративное растение, его интродукция в различные регионы происходила и происходит преимущественно под влиянием антропогенного фактора, а уже дальнейшее распространение в очагах инвазии обусловлено как биологическими особенностями этого вида, так и факторами тепла и влаги – основными факторами, лимитирующими распространение растений в северном и южном направлениях (Alekhin et al., 1961). Поскольку процесс распространения золотарника канадского в регионах носит в значительной мере искусственный характер и восстановить сегодня реальную картину его расселения едва ли возможно (Vinogradova, Shelepova,

2022), целесообразно, не исследуя детально временную динамику инвазии и распространения, отметить на карте РФ те области и края, в которых вид, по данным научных публикаций, уже произрастает.

Целью данного исследования является составление карты вторичного ареала золотарника канадского в пределах РФ к началу третьего десятилетия XXI в., отражающей частоту его встречаемости в отдельных регионах по информации, имеющейся в открытом доступе.

Материалы и методы

Материалами для составления карты вторичного ареала вида на территории РФ послужили данные научных источников, представленные в открытом доступе и содержащие сведения о произрастании золотарника канадского в каждой из областей, республик, краев и округов России. Также использовалась информация о распространении этого вида, представленная в международной базе данных GBIF (<https://www.gbif.org>). Для построения карты взято 5949 записей из базы данных GBIF, для которых указаны конкретные географические координаты.

Как показал анализ литературы, для оценки встречаемости отдельного вида на определенной территории не разработана единая методика, которой бы пользовались все ботаники во флористических работах. Так, одни авторы (Kravchenko, 2007) использовали шкалу с шестью градациями: очень редко – вид собирался только один раз или известен только из одного пункта; редко – вид известен из 2–5 пунктов; довольно редко – вид известен из 6–20 пунктов; нередко – вид, который может быть найден в 1/4–1/3 пригодных биотопов; часто – вид может быть найден в 1/3–2/3 пригодных биотопов; обыкновенно – повсеместно встречающиеся и обычно массовые виды. Другие авторы (Leostrian, 2019) использовали пятибалльную шкалу: 1 – очень редко (1–5 местонахождений), 2 – редко (6–15 местонахождений), 3 – нечасто (вид встречается в 30–40% подходящих местообитаний), 4 – довольно часто (вид встречается в половине подходящих (41–60%) местообитаний), 5 – обычно (вид встречается в большинстве подходящих местообитаний). Помимо того, что и в этих шкалах наблюдается несоответствие, многие авторы вообще не указывают градации, которыми они пользовались при оценке встречаемости видов. В связи с этим мы приняли решение объединить градации, указанные авторами как «очень редко», «редко», «довольно редко» в одну категорию – «редко», а градации, указанные авторами как «нередко», «часто», «довольно часто», «очень часто», «обыкновенно», «обычно», – в одну категорию «часто». Иногда авторы указывают не частоту встречаемости вида, а его инвазионный статус в регионе (1 – вид-«трансформер», который активно внедряется в естественные и полустественные сообщества, изменяет облик экосистем, выступает в качестве эдификатора и доминанта, вытесняет и/или препятствует возобновлению видов природной флоры; 2 – чужеродный вид, активно расселяющийся и натурализующийся в нарушенных, полустественных и естественных местообитаниях; 3 – чужеродный вид, расселяющийся и натурализующийся в настоящее время в нарушенных местообитаниях; в ходе дальнейшей натурализации возможно внедрение в полустественные и естественные сообщества; 4 – потенциально инвазионный вид, способный к возобновлению в местах проникновения и проявивший себя в смежных регионах в качестве инвазионного вида) (Baranova

et al., 2018). В таких случаях мы присваивали статусам 1 и 2 категорию встречаемости «часто», статусу 4 – категорию «редко», а для определения категории встречаемости вида статуса 3 учитывали информацию из дополнительных литературных источников.

Для составления карты использовались источники региональной флористической литературы, в большинстве которых указано, но не рассматривается подробно распространение золотарника канадского в пределах области, республики или края, контуры которых заливались по административным границам в соответствии с указанной частотой встречаемости. Темной заливкой отображена территория, для которой указана встречаемость вида – «часто», светлой – «редко». Указанные места интродукции и выращивания золотарника канадского в областях, в которых он пока не распространяется, обозначены треугольниками, а при указании на дичание близ мест культивирования, но без приведения конкретных местообитаний – область заштрихована. Конкретные местонахождения в областях, где он пока не распространяется, обозначены точками. Построение карты осуществлялось с использованием программы IDRISI Selva 17.0 (Clark Labs..., 2013). Построенная карта векторизована в программе MapInfo 16.0 (Pitney Bowes..., 2016). Векторная карта создана в масштабе 1 : 20 000 000 (проекция «Равновеликая равноугольная Альберса для СССР», 9, 1001, 7, 100, 0, 44, 68, 0, 0). Она получена путем наложения друг на друга четырех картографических слоев: слой, визуализирующий территории с частой встречаемостью вида; слой, визуализирующий территории с редкой встречаемостью вида; слой, визуализирующий территории, где вид культивируется и дичает близ мест посадок; слой, визуализирующий конкретные места нахождения и культивирования вида. Для оформления карты дополнительно наложены ГИС-слои, содержащие административные границы Российской Федерации и окружающих ее государств, координатную сетку, легенду.

Обсуждение

В настоящее время вид отмечен как обычное, натурализовавшееся растение: в 2012 г. в Белгородской (Sukhorukov, Kushunina, 2012) и Липецкой, в 2013 г. в Тверской (Koldomova, Naumenko, 2020), Костромской (Tremasova et al., 2013), в 2015 г. во Владимирской (Borisova, 2015), в 2017 в Смоленской (Mayevsky, 2014) и Рязанской (Palkina, 2017), в 2018 г. в Ярославской (Borisova, Silaeva, 2018) и в Калужской (Reshetnikova et al., 2019), в 2020 г. в Московской (Nikiforova, Shcherba, 2020), а также как активно внедряющийся в естественные сообщества в Брянской, Ивановской, Орловской Тульской, Курской, Воронежской и Тамбовской областях (Sheremeteyeva et al., 2008; Tremasova et al., 2013; Bulokhov et al., 2020; Bakei et al., 2023). Таким образом, Центральный федеральный округ полностью завоеван золотарником канадским, произрастающим не только на заброшенных полях, пустырях, свалках, вдоль железнодорожных путей, по обочинам дорог и мелиоративным канавам, но также по лесным опушкам, поймам, долинам и берегам рек (Reshetnikova et al., 2019). Обнаружены гибриды с аборигенным видом золотой розгой обыкновенной *Solidago virgaurea* L. в Московской, Тверской, Калужской и Смоленской областях (Mayevsky, 2014).

В Северо-Западном федеральном округе золотарник канадский в XXI в. указан как нередко встречающийся

в Ленинградской, Новгородской, Псковской (Tzvelev, 2000) областях, а также как широко распространенный в Калининградской области. Золотарник канадский выращивается как декоративное растение в садах и парках, откуда распространяется вдоль дорог, произрастает массово близ населенных пунктов, а также на лесных опушках (Tzvelev, 2000). В Карелии также произошел процесс «бегства из культуры» золотарника канадского, в результате чего вид распространился на антропогенных местообитаниях (пустырях, свалках, вдоль дорог, у заборов, строений, канав) (Antipina, Rochlova, 2015), а в настоящее время вид признан натурализовавшимся и редко встречающимся в южной части Республики Карелии (Invasive plants..., 2021). В Мурманской области золотарник канадский выращивается некоторыми любителями на придомовых территориях в окрестностях Мурманска, но, поскольку в условиях Заполярья семена его не вызревают, «бегства из культуры» не происходит (Menshakova, 2011). В южной части Архангельской области разводится и иногда дичает, но встречается редко по обочинам дорог в нескольких населенных пунктах (Seregin, Goryainova, 2003). В Республике Коми произрастает в условиях интродукции в ботаническом саду (Portnyagina et al., 2021). В Вологодской области зарегистрирован в нарушенных луговых сообществах г. Вологды на Козинском кладбище и по залежам в его окрестностях, а также отмечен как «беглец из культуры» на небольшой территории в бассейне реки Костромы на границе с Костромской и Ярославской областями (Leostrian, 2019).

На территории Южного федерального округа золотарник канадский в XXI в. активно распространяется и натурализуется на нарушенных местообитаниях в Волгоградской (Sagalaev, 2013), Ростовской (Shmarayeva et al., 2019) областях, а в последней внедряется в естественные биотопы (Bakei et al., 2023). В 2019 г. вид охарактеризован как рассеянно встречающийся по территории Краснодарского края (Ivanov, 2019). В 2021 г. золотарник канадский широко расселяется и натурализуется в южной части Черноморского побережья Краснодарского края (Eghoshin, 2021). В Республике Адыгее хорошо растет, расселяясь вдоль дорог, а также внедряясь в пойменные ивово-тополевые леса (Panesh, 2019). Для территории Крыма золотарник канадский приводится как интродуцированный неофит (Yena, 2012) и характеризуется как колонофит (Bagrikova, 2013), то есть длительное время удерживающийся в местах инвазии. Для территории Республики Калмыкии (Baktasheva, 2012) вид не указан, в Астраханской области встречается изредка в отдельных районах на засоренных полях и в населенных пунктах (Laktionov, 2009).

В Северо-Кавказском федеральном округе золотарник канадский произрастает рассеянно в средней части Республики Дагестан и в северных (равнинных) районах на территории республик Российского Кавказа (Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии – Алании, Ингушетии и Чечни) (Ivanov, 2019). В Ставропольский край был интродуцирован в 2009 г. для возделывания с целью получения лекарственного сырья, через несколько лет отмечен произрастающим вне культуры и уже в 2019 г. встречался рассеянно на рудеральных местообитаниях (Ivanov, 2019).

В XXI в. в северной части Приволжского федерального округа золотарник канадский отмечен как редко встречающийся и дичающий в Кировской области (Tarasova, 2007) и в Пермском крае (Ovesnov, 2007). Через 10 лет отмечено начало его внедрения в городской лес г. Перми

(особо охраняемая природная территория (ООПТ) «Верхнекурбинский») как «сбежавшего из культуры» растения (Ovesnov et al., 2017). Золотарник канадский – обычное растение в Республике Удмуртии, где произрастает на рудеральных местообитаниях, а также на суходольных лугах, лесных опушках, луговинах (Baranova et al., 2016) и признан видом-«трансформером», активно распространяющимся на любых почвах в Удмуртии (Miroshkina, Platonova, 2021). Широко распространен в Нижегородской области, в частности по железным дорогам (Tokhtar et al., 2020), а в Заволжье является абсолютным доминантом (Kadetov, Urbanavichute, 2016). Началось активное расселение этого вида в республиках Марий Эл, Чувашии и Мордовии (Silaeva, 2000). В Пензенской области указан как часто встречающееся культурное растение, а затем как дичающее и внедряющееся в луговые сообщества на месте бывших пастбищ (Vasjukov, Saksonov, 2020). В Самарской области активно расселяется и натурализуется, образуя локальные популяции во всех районах области, в том числе и на опушках (Vasjukov et al., 2023). Для Саратовской указан как редко встречающееся в долине реки Сызранки (Dronin, 2020). В Ульяновской области указан как декоративное во флоре малых городов (Rakov et al., 2013), а также изредка встречающееся в долине реки Сызранки (Dronin, 2020). В Республике Татарстан в начале XXI в. было известно только одно местонахождение золотарника канадского, но и гораздо позже для области указано местонахождение на территории ООПТ «Парк Победы» (г. Казань) (Tokinova, Lyubarskiy, 2019). В Республике Башкортостан отмечено активное расселение вида с образованием монодоминантных сообществ в полупустынных фитоценозах, в лесонасаждениях (Abramova et al., 2021). В Оренбургской области разводился как декоративное растение и стал распространяться вдоль железных дорог, постепенно расселяясь и натурализуясь (Abramova et al., 2017).

На территории Уральского федерального округа в XXI в. золотарник канадский стал расселяться в луговых и лесных растительных сообществах в Свердловской области, а в настоящее время особенно широко распространен вдоль железных дорог (Tokhtar et al., 2022). В южной части Тюменской области в настоящее время вид уходит из культуры, а в юго-западной части активно распространяется вдоль дорог (Tokhtar et al., 2022). Вид долгое время выращивался как декоративное растение, а также изредка встречался на рудеральных местообитаниях в Челябинской области, но и в настоящее время произрастает на рудеральных местообитаниях близ мест культивирования (Naumenko, 2019). Аналогичная ситуация и в Курганской области, где вид культивировался и изредка встречался на рудеральных местообитаниях, где регистрируется изредка и в последние годы (Naumenko, 2019). В Ханты-Мансийском автономном округе, по данным GBIF (<https://www.gbif.org>), указано единичное местонахождение: вид культивируется в г. Сургуте (парк «За Саймой», арт-объект «Око Сургута»).

Для азиатской части РФ основным путем интродукции является «бегство из культуры» из ботанических садов, питомников декоративных растений и старых усадеб (Ebel, 2016). Первые упоминания о дичании золотарника канадского на территории Сибирского федерального округа относятся к 1990-м годам в Алтайском крае, Новосибирске и Томске (Ebel, 2016; Vinogradova, Shelepova, 2022). В настоящее время вид широко распространился в регионе. Он расселяется и натурализуется в антропогенно нарушенных местообитаниях, а также в нарушен-

ных лесах и по берегам рек в Омской и Новосибирской областях. Встречается в нарушенных, полупустынных и естественных местообитаниях в Томской области и в Республике Алтай, является видом-«трансформером» в Алтайском крае и Кемеровской области, встречается на юге Красноярского края и как культивируемое в Иркутской области, единично – в Республике Тыва. Вид не указан для Республики Хакасии (Ebel, 2016; Vinogradova, Shelepova, 2022; Shaulo et al., 2023).

На территории Дальневосточного федерального округа золотарник канадский указывался как культивируемый, но не дичающий в Амурской области (Starchenko, 2008), но в 2021 г. вид на указанном месте не обнаружен в связи с застройкой территории (Vinogradova et al., 2021), и через год вид указывается для этой территории как потенциально инвазионный (Vinogradova, Shelepova, 2022). Однако в списке растений флоры Амурской области (Starchenko, 2008), на который ссылаются авторы «Черной книги Дальнего Востока» (Vinogradova et al., 2021), приводится не золотарник канадский, а золотарник гигантский *Solidago gigantea* Aiton. Других указаний в литературных источниках на находки золотарника канадского в Амурской области не найдено. В Камчатской области выращивается как декоративное в Быстринском, Мильковском и Елизовском районах, также отмечены дичающие особи (Vinogradova, Shelepova, 2022). На юге Дальнего Востока, в Приморском крае и в центральных и южных районах Хабаровского края, а также в Еврейской автономной области золотарник канадский имеет статус вида-«трансформера», а на острове Сахалин – статус чужеродного вида, активно расселяющегося и натурализующегося в нарушенных, полупустынных и естественных местообитаниях в пределах Южно-Сахалинской низменности (Vinogradova, Shelepova, 2022).

Таким образом, проведенный анализ информации из рассмотренных выше научных публикаций позволил построить карту, отражающую современное распространение и частоту встречаемости золотарника канадского в разных регионах РФ (рисунок).

Заключение

К началу третьего десятилетия XXI в. золотарник канадский достаточно широко распространился в России, произрастая на территориях европейской части РФ, Северного Кавказа, Урала, Западной Сибири и Дальнего Востока. В отдельных областях вид находится в начале процесса инвазии и характеризуется редкой частотой встречаемости, но на большей части территории произрастания золотарник канадский регистрируется не только на антропогенно трансформированных территориях, но и в природных растительных сообществах разной степени нарушенности, образуя крупные заросли (одновидовые популяции), вызывая нарушение структуры природных экосистем путем вытеснения аборигенных видов, являясь во многих регионах успешно натурализующимся видом. Продолжается процесс освоения видом новых территорий: отмечены единичные точки мест его нахождения в северных областях указанных регионов, а также на территории Восточной Сибири.

Так как в настоящее время золотарник канадский – широко распространенный вид на территории РФ, это не позволяет внести его в список карантинных объектов, поскольку «карантинный объект – вредный организм, отсутствующий или ограниченно распространенный на территории Российской Федерации и внесенный

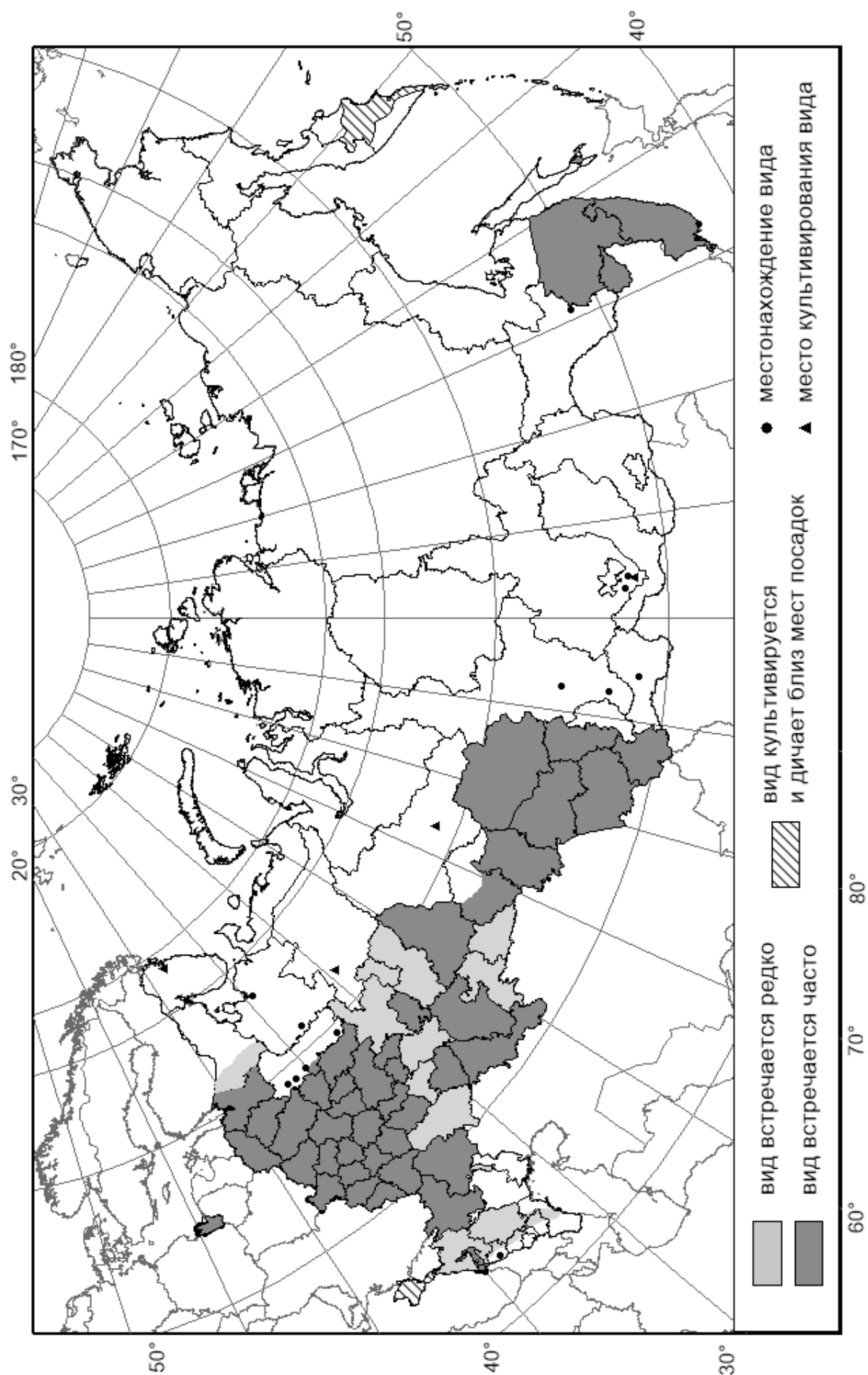


Рисунок. Карта распространения золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на территории Российской Федерации
Figure. Map of the distribution of *Solidago canadensis* L. in the Russian Federation

в единый перечень карантинных объектов» (http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165795). Ситуация аналогична таковой с борщевиком Сосновского, который также не был признан карантинным в период его ограниченного распространения по территории РФ. Вероятно, для этих видов целесообразно включить особую статью в Федеральный закон о карантине растений, что повлечет за собой строгий контроль за выполнением действий по локализации и уничтожению очагов распространения этих видов. В настоящее время, хотя борщевик Сосновского и не признан карантинным видом, во всех регионах его произрастания осуществляется борьба по сдерживанию его инвазии. В отношении же золотарника канадского до сих пор не предпринимается никаких ограничительных мер по сдерживанию его дальнейшего распространения в новые регионы, хотя в качестве превентивных мер было бы полезно ввести запрет на продажу его рассады и выращивание в декоративных целях в тех регионах, где он пока не распространен. Для сдерживания распространения на разных типах местообитаний в очагах инвазии не предпринимается никаких действий. Однако нельзя недооценивать угрозу, исходящую от этого инвазионного, хотя и не признанного карантинным, но очень опасного вида, и несмотря на то, что он уже достаточно широко распространился по территории РФ, а также используется в качестве сырья для получения лекарственных веществ, следует озаботиться проблемой сдерживания его распространения с целью предотвращения потери аборигенного биоразнообразия.

References / Литература

- Abramova L.M., Golovanov Ya.M., Khaziakhmetov R.M. Invasive plants in the Orenburg region. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2017;1(63):184-186. [in Russian] (Абрамова Л.М., Голованов Я.М., Хазиахметов Р.М. Инвазивные растения Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017;1(63):184-186).
- Abramova L.M., Golovanov Ya.M., Muldashev A.A. Black book of the flora of the Republic of Bashkortostan (Chernaya kniga flory Respubliki Bashkortostan). Moscow: KMK; 2021. [in Russian] (Абрамова Л.М., Голованов Я.М., Мулдашев А.А. Черная книга флоры Республики Башкортостан. Москва: КМК; 2021).
- Alekhin V.V., Kudryashov L.V., Govorukhin V.S. Plant geography with basic botany (Geografiya rasteniy s osnovami botaniki). Moscow: Uchpedgiz; 1961. [in Russian] (Алехин В.В., Кудряшов Л.В., Говорухин В.С. География растений с основами ботаники. Москва: Учпедгиз; 1961).
- Antipina G.S., Rochlova E.L. Checklist of herbaceous plants in South Karelia. *Hortus Botanicus*. 2015;10:107-149. [in Russian] (Антипина Г.С., Рохлова Е.Л. Аннотированный список травянистых интродуцентов Южной Карелии. *Hortus Botanicus*. 2015;10:107-149).
- Bagrikova N.A. Structural analysis of the alien fraction of the flora of the Crimean Peninsula (Ukraine) (Strukturny analiz adventivnoy fraktsii flory Krymskogo poluostrova [Ukraina]). *Ukrainian Botanical Journal*. 2013;70(4):489-507. [in Russian] (Багрикова Н.А. Структурный анализ адвентивной фракции флоры Крымского полуострова (Украина). *Украинский ботанический журнал*. 2013;70(4):489-507).
- Bakei S., Motyl M., Sozinov O., Vysotsky Yu. Regional features of the control of goldenrod invasion with plant protection products in Belarus. *Steppe science*. 2023;1(1):53-64. [in Russian] (Бакей С.К., Мотыль М.М., Созинов О.В., Высоцкий Ю.И. Региональные особенности борьбы с инвазией видов золотарника средствами защиты растений в Беларуси. *Вопросы степеведения*. 2023;1(1):53-64). DOI: 10.24412/2712-8628-2023-1-53-64
- Baktasheva N.M. Conspectus of the flora of Kalmykia (Konsept flory Kalmykii). Elista: Kalmyk State University; 2012. [in Russian] (Бакташева Н.М. Конспект флоры Калмыкии. Элиста: Калмыцкий государственный университет; 2012).
- Baranova O.G., Bralgina E.N., Koldilova E.A., Markova E.M., Puzyrev A.N. Black book of the flora of the Udmurt Republic: a monograph (Chernaya kniga flory Udmurtskoy Respubliki: monografiya). Moscow – Izhevsk: Institute of Computer Research; 2016. [in Russian] (Баранова О.Г., Бралгина Е.Н., Колдомова Е.А., Маркова Е.М., Пузырев А.Н. Черная книга флоры Удмуртской республики: Монография. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований; 2016).
- Baranova O.G., Shcherbakov A.V., Senator S.A., Panasenko N.N., Sagalaev V.A., Saksonov S.V. The main terms and concepts used in the study of alien and synanthropic flora. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2018;12(4):4-22. [in Russian] (Баранова О.Г., Щербakov А.В., Сенатор С.А., Панасенко Н.Н., Сагалаев В.А., Саксонов С.В. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2018;12(4):4-22). DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10031
- Black book of the flora of Central Russia. Alien plant species in ecosystems of Central Russia (Chernaya kniga flory Sredney Rossii. Chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii): [website]. [in Russian] (Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России: [сайт]). URL: <http://www.bookblack.ru/plant/17.htm> [дата обращения: 25.09.2023].
- Borisova E.A. Alien plant species of the Meshchera National Park. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Prisurskiy" = Scientific Proceedings of the Prisursky State Nature Reserve*. 2015;30(2):4-8. [in Russian] (Борисова Е.А. Адвентивные виды растений национального парка «Мещёра». *Научные труды Государственного природного заповедника «Присурский»*. 2015;30(2):4-8).
- Borisova E.A., Silaeva T.B. Some notes to the alien flora of the town Uglich. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2018;12(1):110-112. [in Russian] (Борисова Е.А., Силаева Т.Б. Заметки к чужеродной флоре города Углич. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2018;12(1):110-112). DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10006
- Bulokhov A.D., Panasenko N.N., Semenishchenkov Yu.A., Kharin A.V. Phytocoenotic diversity of small-grass-cereal meadows under xerophytization of the Desna river floodplain. *Scientific Notes of the Bryansk State University*. 2020;4(20):46-68. [in Russian] (Булохов А.Д., Панасенко Н.Н., Семенищенков Ю.А., Харин А.В. Фитоценоотическое разнообразие мелкотравно-злаковых лугов в условиях ксерофитизации поймы реки Десны. *Ученые записки Брянского государственного университета*. 2020;4(20):46-68).
- Clark Labs IDRISI Selva Edition 17.02. Clark University. Worcester, MA; 2013. Available from: <https://clarklabs.org/terrset/idrisi-gis> [accessed Sept. 12, 2023].
- Dgebuadze Yu.Yu., Petrosyan V.G., Khlyap L.A. (eds). The most dangerous invasive species of Russia (TOP-100) (Samye

- opasnye invazionnye vidy Rossii [TOP-100]). Moscow: KMK; 2018. [in Russian] (Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / под ред. Ю.Ю. Дребудзе, В.Г. Петросяна, Л.А. Хляп. Москва: КМК; 2018).
- Dorzhiiev S.S., Pateyeva I.B. Energy-saving technology for obtaining bioethanol from green biomass of *Heracleum* plants (Energoresursosberegayuschaya tekhnologiya polucheniya bioetanola iz zelenoy massy rasteniy roda *Heracleum*). *Polzunovskiy vestnik = Polzunov Bulletin*. 2011;(2-2):251-255. [in Russian] (Доржиев С.С., Патева И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum*. *Ползуновский вестник*. 2011;(2-2):251-255).
- Dronin G.V. Influence of invasive species of plants on ecosystems of specially protected natural areas of the Syzranka river basin. *Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology*. 2020;29(4):56-61. [in Russian] (Дронин Г.В. Способы проникновения, пути расселения и влияние инвазионных видов растений на экосистемы особо охраняемых природных территорий бассейна река Сызранки. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*. 2020;29(4):56-61). DOI: 10.24411/2073-1035-2020-10357
- Ebel A.L. *Solidago canadensis* L. (?*S. altissima* L.) – Canadian goldenrod (Zolotaya rozga kanadskaya [Zolotarnik kanadskiy]). In: Yu.K. Vinogradova, A.N. Kupriyanov (eds). *Black Book of Siberian Flora (Chernaya kniga flory Sibiri)*. Novosibirsk: Geo; 2016. p.124-131. [in Russian] (Эбель А.Л. *Solidago canadensis* L. (?*S. altissima* L.) – Золотая розга канадская (Золотарник канадский). В кн.: *Черная книга флоры Сибири* / под ред. Ю.К. Виноградовой, А.Н. Куприянова. Новосибирск: Гео; 2016. С.124-131). URL: http://kuzbs.ru/images/stories/pdf/izdania/chernaya_kniga_flori_sibiri.pdf [дата обращения: 26.01.2024].
- Eghoshin A.V. Structure, composition, and spatial distribution of an alien component of flora south of the Black sea of Krasnodar region of Russia. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021;6(1):21-35. [in Russian] (Егошин А.В. Структура, состав и пространственное распределение чужеродного компонента флоры юга черноморского побережья Краснодарского края. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021;6(1):21-35). DOI: 10.21685/2500-0578-2021-1-2
- EPPO Lists of Invasive Alien Plants: [website]. Available from: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists#iap [accessed Sept. 25, 2023].
- Federal Law "On plant quarantine" of July 21, 2014, No. 206-FZ (latest revision) (Federalny zakon "O karantine rasteniy" ot 21.07.2014 N 206-FZ [poslednyaya redaktsiya]): [website]. (Федеральный закон «О карантине растений» от 21.07.2014 № 206-ФЗ (последняя редакция): [сайт]). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165795 [дата обращения: 25.09.2023].
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility: [website]. Available from: <https://www.gbif.org> [accessed Sept. 25, 2023].
- Gilfanova N.I., Saltykova L.D., Shchepetova E.V. Quantitative content of tannins in Canadian goldenrod plant raw materials (Kolichestvennoye sodержaniye dubilnykh veshchestv v rastitel'nom syrye zolotarnika kanadskogo). In: *Fundamental and Applied Problems in Obtaining New Materials: Research, Innovations, and Technologies. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, April 24–27, 2018 (Fundamentalnye i prikladnye problemy polucheniya novykh materialov: issledovaniya, innovatsii i tekhnologii. Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 24–27 aprelya 2018 goda)*. Astrakhan; 2018. p.21-23. [in Russian] (Гильфанова Н.И., Салтыкова Л.Д., Щепетова Е.В. Количественное содержание дубильных веществ в растительном сырье золотарника канадского. В кн.: *Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии. Материалы XII Международной научно-практической конференции 24–27 апреля 2018 года*. Астрахань; 2018. С.21-23).
- Invasive plants and animals of Karelia (Invazivnye rasteniya i zhivotnye Karelii). Petrozavodsk; 2021. [in Russian] (Инвазивные растения и животные Карелии. Петрозаводск; 2021). URL: http://resources.krc.karelia.ru/krc/doc/publ/invazivnye_rasteniya_i_zhivotnye_karelii.pdf [дата обращения: 18.09.2023].
- Ivanov A.L. Conspectus florae Caucasi Rossicae (plantae vasculares). Stavropol: North-Caucasus Federal University; 2019. [in Russian] (Иванов А.Л. Конспект флоры Российского Кавказа (сосудистые растения). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет; 2019).
- Kadetov N., Urbanavichute S. Invasive species on early stages of reforestation in Kerzhensky natural reserve after the fire. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2016;(2):132-136. [in Russian] (Кадетов Н.Г., Урбанавичуте С.П. Инвазионные виды на ранних стадиях восстановления лесов Керженского заповедника после пожаров. *Антропогенная трансформация природной среды*. 2016;(2):132-136).
- Kokovkina S.V. Effect of pectin polysaccharides on formation of productivity and bioenergetic efficiency of cultivation of table carrot. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;5(54):21-25. [in Russian] (Коковкина С.В. Влияние пектиновых полисахаридов на формирование урожайности и биоэнергетическую эффективность возделывания моркови столовой. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016;5(54):21-25). DOI: 10.30766/2072-9081.2016.54.5.21-25
- Koldomova E.A., Naumenko N.I. Use of invasive species of plants for the formation of scientific research skills in graduates of the university in the biological direction of training "Biology". *Modern Problems of Science and Education*. 2020;(4):55. [in Russian] (Колдомова Е.А., Науменко Н.И. Использование инвазионных видов растений для формирования научно-исследовательских навыков у выпускников вуза по направлению «Биология». *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(4):55). DOI: 10.17513/spno.20028
- Kravchenko A.V. Conspectus of the flora of Karelia (Kon-spect flory Karelii). N.N. Tzvelev (ed.). Petrozavodsk: Karelian Research Center of the RAS; 2007. [in Russian] (Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии / под ред. Н.Н. Цвелева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2007).
- Kuluev B.R., Muldashev A.A., Minchenkov N.D., Chemeris A.V. Searching for potential rubber-bearing plants in the flora of the Republic of Bashkortostan. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2019;55(3):317-333. [in Russian] (Кулуев Б.Р., Мулдашев А.А., Минченков Н.Д., Чемерис А.В. Поиск потенциальных каучуконосов во флоре Республики Башкортостан. *Растительные ресурсы*. 2019;55(3):317-333). DOI: 10.1134/S0033994619030105
- Laktionov A.P. Flora of Astrakhan Province: monograph (Flora Astrakhanskoy oblasti: monografiya). Astrakhan: Astrakhan University; 2009. [in Russian] (Лактионов А.П. Флора Астраханской области: монография. Астрахань: Астраханский университет; 2009).

- Leostrian A.V. Flora of the Kostroma river basin (Flora basseyna reki Kostroma) [dissertation]. St. Petersburg: Komarov Botanical Institute; 2019. [in Russian] (Леострин А.В. Флора бассейна реки Кострома: дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: Ботанический институт им. В.Л. Комарова; 2019).
- Lyakh Yu., Bormotov A., Trifonova A. The influence of invasion of the Canadian golden (Solidago canadensis L.) on the aboriginal fauna of Belarus. In: *Science, Education, Production in Solving Environmental Problems (ECOLOGY-2020): Proceedings of XVI International Scientific and Technical Conference. Vol. 1*. Ufa: Ufa State Aviation Technical University; 2020. p.138-141. [in Russian] (Лях Ю.Г., Бормотов А.С., Трифонова А.Р. Влияние инвазии золотарника канадского (Solidago canadensis L.) на аборигенную фауну Беларуси. В кн.: Наука, образование, производство в решении экологических проблем (ЭКОЛОГИЯ-2020): материалы XVI Международной научно-технической конференции. Т. 1. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет; 2020. С.138-141).
- Mayevsky P.F. Flora of the middle part of European Russia (Flora sredney polosy yevropeyskoy chasti Rossii). 11th ed. Moscow: KMK; 2014. [in Russian] (Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. Москва: КМК; 2014).
- Menshakova M.Yu. Species of the Black Book of flora of average Russia on the territory of Murmansk. *Natural Sciences*. 2011;3(36):50-55. [in Russian] (Меньшакова М.Ю. Виды черной книги флоры Средней России на территории Мурманска. *Естественные науки*. 2011;3(36):50-55).
- Miroshkina S.A., Platonova G.R. To study the biological and ecological characteristics of the Solidago canadensis L. near the city of Izhevsk. In: A.V. Fedorov (ed.). *Proceedings on Plant Introduction and Acclimatization. Issue 1 (Trudy po introduktsii i akklimatizatsii rasteniy. Vyp. 1)*. Izhevsk; 2021. p.153-157. [in Russian] (Мирошкина С.А., Платунова Г.Р. К изучению биологических и экологических особенностей Solidago canadensis L. в окрестностях г. Ижевска. В кн.: Труды по интродукции и акклиматизации растений. Вып. 1 / под ред. А.В. Федорова. Ижевск; 2021. С.153-157).
- Naumenko N.I. Cultivated species of plants in the composition of flora of the Southern Trans-Ural region. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2019;29(2):190-198. [in Russian] (Наumenko Н.И. Культивируемые виды растений в составе флоры Южного Зауралья. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2019;29(2):190-198). DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-190-198
- Nayda N.M., Efremova M.A., Polennikova K.Yu. Yield and quality of Canadian goldenrod raw materials under the conditions of Leningrad Province (Urozhaynost i kachestvo syr'ya zolotarnika kanadskogo v usloviyakh Leningradskoy oblasti). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017;(48):24-30. [in Russian] (Найда Н.М., Ефремова М.А., Поленикова К.Ю. Урожайность и качество сырья золотарника канадского в условиях Ленинградской области. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2017;(48):24-30).
- Nikiforova E.D., Shcherba V.A. Specific features of the distribution of invasive vegetation along the cuttings of power lines. In: V.N. Nesterov, B.A. Snytko (eds). *Geology, Geoecology, Evolutionary Geography: a Collective Monograph. Vol. XIX (Geologiya, geoekologiya, evolyutsionnaya geografiya: kollektivnaya monografiya. T. XIX)*. St. Petersburg: Herzen University; 2020. p.143-146. [in Russian] (Никифорова Е.Д., Щерба В.А. Особенности распространения инвазивной растительности по просекам линий электропередач. В кн.: Геология, геоэкология, эволюционная география: коллективная монография. Т. XIX / под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена; 2020. С.143-146).
- Nikitina V.F. Quantification of oxycinnamic acids in the Canadian goldenrod stem (Opredeleniye kolichestvennogo soderzhaniya oksikorichnykh kislot v steblye zolotarnika kanadskogo). In: *Modern Scientific Research: Topical Issues, Achievements, and Innovations: a collection of papers of the X International Scientific and Practical Conference: Part 1 (Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktualnye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch. 1)*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye; 2020. p.24-26. [in Russian] (Никитина В.Ф. Определение количественного содержания оксикоричных кислот в стебле золотарника канадского. В кн.: Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей X Международной научно-практической конференции. Ч. 1. Пенза: Наука и Просвещение; 2020. С.24-26).
- Nikitina V.F., Shchepetova E.V. Ascorbic acid content in the stems of Canadian goldenrod growing in Astrakhan Province (Soderzhaniye askorbinovoy kisloty v steblyakh zolotarnika kanadskogo, proizrastayushchego v usloviyakh Astrakhanskoy oblasti). In: *Actual Problems of Science, Production, and Chemical Education: a collection of proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation; Astrakhan, November 12-14, 2019 (Aktualnye problemy nauki, proizvodstva i khimicheskogo obrazovaniya: sbornik materialov X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem; g. Astrakhan, 12-14 noyabrya 2019 g.)*. Astrakhan: Astrakhan University; 2020. p.23-24. [in Russian] (Никитина В.Ф., Щепетова Е.В. Содержание аскорбиновой кислоты в стеблях золотарника канадского, произрастающего в условиях Астраханской области. В кн.: Актуальные проблемы науки, производства и химического образования: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием; г. Астрахань, 12-14 ноября 2019 г. Астрахань: Астраханский университет; 2020. С.23-24).
- Ovesnov S.A. (ed.). Illustrated identification key to plants of Perm territory (Illyustrirovanny opredelitel rasteniy Permskogo kraya). Perm: Knizhny Mir; 2007. [in Russian] (Иллюстрированный определитель растений Пермского края / под ред. С.А. Овеснова. Пермь: Книжный мир; 2007).
- Ovesnov S.A., Efimik E.G., Molganova N.A. Anthropogenic transformation of ecosystems of urban forests of Perm. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2017;(3):157-159. [in Russian] (Овеснов С.А., Ефимик Е.Г., Молганова Н.А. Антропогенная трансформация экосистем городских лесов г. Перми. *Антропогенная трансформация природной среды*. 2017;(3):157-159).
- Palkina T.A. Aspects of the monitoring and optimization of phytocomponent Ryazan region anthropogenic ecosystems. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2017;2(34):35-40. [in Russian] (Палкина Т.А. Аспекты мониторинга и оптимизации фитокомпонента антропогенных экосистем Рязанской области. *Вестник Рязанского государственного*

- агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2017;2(34):35-40).
- Panesh O.A. Adventive plants of the Republic of Adygea. *The Bulletin of the Adyghe State University, the series "Natural-Mathematical and Technical Sciences"*. 2019;4(251):68-73. [in Russian] (Панеш О.А. Адвентивные растения Адыгеи. *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки*. 2019;4(251):68-73).
- Pitney Bowes. MapInfo Pro 16.0 Stamford CT, USA; 2016. Available from: <https://www.pitneybowes.com/us> [accessed September 20, 2023].
- Portnyagina N.V., Punegov V.V., Echishvili E.E., Fomina M.G., Chucha K.V., Gruzdev I.V. et al. Growth, development, morphology and biochemical characteristics of *Solidago canadensis* L. plants when introduced in the middle taiga subzone of the Komi Republic. *Samara Journal of Science*. 2021;10(3):87-94. [in Russian] (Портнягина Н.В. Пунегов В.В., Эчишвили Э.Э., Фомина М.Г., Чуча К.В., Груздев И.В. и др. Рост, развитие, морфология и биохимическая характеристика растений золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) при интродукции в среднетаежной подзоне Республики Коми. *Самарский научный вестник*. 2021;10(3):87-94). DOI: 10.17816/snv2021103112
- Rakov N.S., Saxonov S.V., Senator S.A. Flora of small towns of Ulyanovsk region. 3. Sengiley town. *Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology*. 2013;22(1):39-79. [in Russian] (Раков Н.С., Саксонов С.В., Сенатор С.А. Флора малых городов Ульяновской области. 3. Город Сенгилей. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*. 2013;22(1):39-79).
- Reshetnikova N.M., Mayorov S.R., Krylov A.V. Black Book of Kaluga Province. Vascular plants (Chernaya kniga Kaluzhskoy oblasti. Sosudistye rasteniya). Kaluga: Vash Dom; 2019. [in Russian] (Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Крылов А.В. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. Калуга: Ваш дом; 2019).
- Reymers N.F. Ecology: Theory, laws, rules, principles, and hypotheses (Ekologiya: Teoriya, zakony, pravila, printsipy i gipotezy). Moscow: Rossiya Molodaya; 1994. [in Russian] (Реймерс Н.Ф. Экология: Теория, законы, правила, принципы и гипотезы. Москва: Россия Молодая; 1994).
- Sagalaev V.A. To inventory of invasive species of flora of the Volgograd region. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2013;(32):102-105. [in Russian] (Сараляев В.А. К инвентаризации инвазивных видов флоры Волгоградской области. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2013;(32):102-105).
- Seregin A.P., Goryainova I.N. Flora of vascular plants (Flora sosudistyykh rasteniy). In: *Flora and Fauna of the Middle Taiga of Arkhangelsk Province (Interfluve of the Ustyia and Kokshenga) (Flora i fauna sredney taygi Arkhangel'skoy oblasti [mezhduRechye Usty i Kokshengi])*. Moscow; 2003. p.11-41. [in Russian] (Серегин А.П., Горяинова И.Н. Флора сосудистых растений. В кн.: *Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устья и Кокшеньги)*. Москва; 2003. С.11-41).
- Shaulo D.N., Zyкова E.Yu., Shmakov A.I. Adventive species in the flora of Tuva. *Turczaninowia*. 2023;26(1):13-25. [in Russian] (Шауло Д.Н., Зыкова Е.Ю., Шмаков А.И. Адвентивные виды во флоре Тувы. *Turczaninowia*. 2023;26(1):13-25). DOI: 10.14258/turczaninowia.26.1.2
- Sheremet'yeva I.S., Khorun L.V., Sherbakov A.V. Conspectus of the flora of vascular plants in Tula Province (Konspekt flory sosudistyykh rasteniy Tul'skoy oblasti). Tula: Grif & Co.; 2008. [in Russian] (Шереметьева И.С., Хорун Л.В., Шербаков А.В. Конспект флоры сосудистых растений Тульской области. Тула: Гриф и К; 2008).
- Shmarayeva A.N., Fedyayeva V.V., Kozlovskiy B.L. Invasive plants of Rostov Province in the botanical garden of the Southern Federal University (Invazionnye rasteniya Rostovskoy oblasti v botanicheskom sadu Yuzhnogo federal'nogo universiteta). *Novosti nauki v APK = Science News in the Agro-Industrial Complex*. 2019;1-1(12):167-172. [in Russian] (Шмараева А.Н., Федяева В.В., Козловский Б.Л. Инвазионные растения Ростовской области в ботаническом саду Южного федерального университета. *Новости науки в АПК*. 2019;1-1(12):167-172). DOI: 10.25930/kvbm-zv70
- Shmelev V.M., Pankrushina A.N. Features of the spread of invasive *Solidago* (Asteraceae) and their impact on natural species. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2019;3(55):130-135. [in Russian] (Шмелев В.М., Панкрушина А.Н. Особенности распространения инвазионных *Solidago* (Asteraceae) и их воздействие на природные виды. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2019;3(55):130-135). DOI: 10.26456/vtbio105
- Silaeva T.B. The state of the vegetation in the Republic of Mordovia (Sostoyaniye rastitel'nogo mira respublik Mordoviy). *Integration of Education*. 2000;(2):48-52. [in Russian] (Силаева Т.Б. Состояние растительного мира республики Мордовия. *Интеграция образования*. 2000;(2):48-52).
- Starchenko V.M. Flora of Amur region and problems of its conservation. Far East of Russia. Moscow: Nauka; 2008. [in Russian] (Старченко В.М. Флора Амурской области и вопросы ее охраны. Дальний Восток России. Москва: Наука; 2008).
- Sukachev V.N. A brief guide to investigating forest types (Kratkoye rukovodstvo k issledovaniyu tipov lesov). Leningrad: Novaya Derevnnya; 1927. [in Russian] (Сукачев В.Н. Краткое руководство к исследованию типов лесов. Ленинград: Новая деревня; 1927).
- Sukhorukov A.P., Kushunina M.A. New data on the alien flora of the Belgorod region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2012;21(140):40-46. [in Russian] (Сухоруков А.П., Кушунина М.А. Новые данные по адвентивной фракции флоры Белгородской области. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2012;21(140):40-46).
- Suleymanova F.Sh., Nesterova O.V., Avertseva I.N., Reshetnyak V.Y., Zhukov P.A., Matveenko V.N. Antioxidant and antibacterial activity of the Canadian goldenrod herb (*Solidago canadensis* L.). *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2020;61(4):330-332. DOI: 10.3103/S0027131420040070
- Tarasova E.M. Flora of the Vyatka region. Part 1. Vascular plants (Flora Vyatskogo kraya. Chast 1. Sosudistye rasteniya). Kirov; 2007. [in Russian] (Тарасова Е.М. Флора Вятского края. Часть 1. Сосудистые растения. Киров; 2007).
- Tkachenko K.G. *Heracleum* L. genus – economic plants. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2014;(4):27-33. [in Russian] (Ткаченко К.Г. Род Борщевик (*Heracleum* L.) – хозяйственно полезные растения. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2014;(4):27-33).
- Tokhtar V.K., Kurskoy A.Yu., Pergl J., Zelenkova V.N., Tretyakov M.Yu., Galkina M.A. et al. Flora of the Ural-West Siberian section of the Trans-Siberian Railway in dif-

- ferent natural biomes. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2022;2(66):81-99. [in Russian] (Тохтарь В.К., Курской А.Ю., Pergl J., Зеленкова В.Н., Третьяков М.Ю., Галкина М.А. и др. Флора Уральско-Западносибирского участка транссибирской железнодорожной магистрали в различных естественных биомах. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2022;2(66):81-99). DOI: 10.26456/vtbio255
- Tokhtar V.K., Vinogradova Yu.K., Kurskoy A.Yu., Zelenkova V.N., Tretyakov M.Yu. Flora of the Trans-Siberian Railway station within the Nizhny Novgorod region. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2020;3(59):102-114. [in Russian] (Тохтарь В.К., Виноградова Ю.К., Курской А.Ю., Зеленкова В.Н., Третьяков М.Ю. Флора железнодорожных станций транссибирской магистрали в пределах Нижегородской области. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2020;3(59):102-114). DOI: 10.26456/vtbio164
- Tokinova R.P., Lyubarskiy D.S. Biodiversity of specially protected natural territory "Park Pobedy": composition and structure of vegetation cover. *Russian Journal of Applied Ecology*. 2019;4(20):9-15. [in Russian] (Токинова Р.П., Любарский Д.С. Биоразнообразие ООПТ «Парк Победы»: состав и структура растительного покрова. *Российский журнал прикладной экологии*. 2019;4(20):9-15).
- Tremasova N.A., Borisova E.A., Borisova M.A. A comparative analysis of invasive components of floras of five regions of the Upper Volga region. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2013;3(4):171-177. [in Russian] (Тремасова Н.А., Борисова Е.А., Борисова М.А. Сравнительный анализ инвазионного компонента во флоре 5-ти областей верхневолжского региона. *Ярославский педагогический вестник*. 2013;3(4):171-177).
- Tremasova N.A., Borisova M.A., Borisova E.A. Invasive Plants of the Yaroslavl region. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2012;3(1):103-111. [in Russian] (Тремасова Н.А., Борисова М.А., Борисова Е.А. Инвазионные виды растений Ярославской области. *Ярославский педагогический вестник*. 2012;3(1):103-111).
- Tulinov A.G., Mikhailova E.A., Shubakov A.A. Application of pectic polysaccharides as stimulants for growth and development of *Solanum tuberosum* L. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2018;(4):289-298. [in Russian] (Тулинов А.Г., Михайлова Е.А., Шубаков А.А. Применение пектиновых полисахаридов в качестве стимуляторов роста и развития *Solanum tuberosum* L. *Химия растительного сырья*. 2018;(4):289-298). DOI: 10.14258/jcprm.2018044009
- Tzvelev N.N. Identification key to vascular plants of Northwestern Russia (Leningrad, Pskov, and Novgorod Provinces) (Opredelitel sosudistyykh rasteniy severo-zapadnoy Rossii [Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti]). St. Petersburg: St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical Academy; 2000. [in Russian] (Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений северо-западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Санкт-Петербург: СПХФА; 2000).
- Vasjukov V.M., Ivanova A.V., Ilyina V.N., Kozlovskaya O.V., Mitroshenkova A.E., Makarova Yu.V., Fayzulin A.I. Black Book of plants of the Samara region. Samara: IEVRB RAS – branch of SamSC RAS; 2023. [in Russian] (Васюков В.М., Иванова А.В., Ильина В.Н., Козловская О.В., Митрошенкова А.Е., Макарова Ю.В., Файзулин А.И. Чёрная книга растений Самарской области. Самара: ИЭВБ РАН – филиал СамНЦ РАН; 2023).
- Vasjukov V.M., Saksonov S.V. Flora of the Volga river basin. Vol. IV. Check-list of the flora of Penza region. Togliatti: Anna; 2020. [in Russian] (Васюков В.М., Саксонов С.В. Флора Волжского бассейна. Т. IV. Конспект флоры Пензенской области. Тольятти: Анна; 2020).
- Vinogradova Yu.K., Antonova L.A., Darman G.F., Devyatova E.A., Kotenko O.V., Kudryavtseva E.P., Lesik (Aistova) E.V., Marchuk E.A., Nikolin E.G., Prokopenko S.V., Rubtsova T.A., Khoreva M.G., Chernyagina O.A., Chubar E.A., Sheyko V.V., Krestov P.V. Black Book of the flora of the Far East: invasive plant species in ecosystems of the Far Eastern Federal District (Chernaya kniga flory Dalnego Vostoka: invazionnye vidy rasteniy v ekosistemakh Dalnevostochnogo Federalnogo Okruga). Moscow: KMK; 2021. [in Russian] (Виноградова Ю.К., Антонова Л.А., Дарман Г.Ф., Девятова Е.А., Котенко О.В., Кудрявцева Е.П., Лесик (Аистова) Е.В., Марчук Е.А., Николин Е.Г., Прокопенко С.В., Рубцова Т.А., Хорева М.Г., Черныгина О.А., Чубарь Е.А., Шейко В.В., Крестов П.В. Черная книга флоры Дальнего Востока: инвазионные виды растений в экосистемах Дальневосточного Федерального Округа. Москва: КМК; 2021).
- Vinogradova Yu.K., Shelepova O.V. A paradigm shift in the evaluation of the North American species of *Solidago* (ornamental plants – noxious invasive weeds – medicinal plants). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022;12(2):203-219. [in Russian] (Виноградова Ю.К., Шелепова О.В. Смена парадигмы оценки результатов культивирования и расселения видов рода *Solidago* (декоративные растения – злостные инвазионные сорняки – лекарственные растения). *Социально-экологические технологии*. 2022;12(2):203-219). DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219
- Yena A.V. The natural flora of the Crimean Peninsula: a monograph (Prirodnaya flora Krymskogo poluostrova: monografiya). Simferopol: N. Orianda; 2012. [in Russian] (Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова: монография. Симферополь: Н. Орианда; 2012).

Информация об авторах

Наталья Николаевна Лунева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель сектора, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, natalja.luneva2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7972-6362>

Мысник Евгения Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, vajra-sattva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5090-4070>

Information about the authors

Natalya N. Luneva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of a Sector, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, natalja.luneva2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7972-6362>

Evgenia N. Mysnik, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, vajra-sattva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5090-4070>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 07.06.2024; одобрена после рецензирования 11.03.2025; принята к публикации 08.04.2025.
The article was submitted on 07.06.2024; approved after reviewing on 11.03.2025; accepted for publication on 08.04.2025.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 582.542.1+595.752.2

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-193-203

Фенотипирование злаковых трав как пищевых ресурсов чермухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi*

Е. С. Гандрабур, А. Б. Верещагина, Н. С. Клименко

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Сергеевна Гандрабур, helenagandratur@gmail.com

Актуальность. Злаковые травы являются неотъемлемым компонентом не только природных, но и антропогенных ценозов в качестве сорняков или возделываемых культур. Из них 183 вида входят в круг кормовых растений чермухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.), повреждающей зерновые культуры. В связи с этим особую актуальность приобретает их изучение в качестве альтернативных пшенице и другим хлебным злакам хозяев тли.

Материалы и методы. Фенотипирование 14 видов дикорастущих и культивируемых видов злаковых трав, в том числе из коллекции ВИР, выполнено в модельных опытах на основании определения численности и окрыления потомства бескрылых самок *R. padi* из северо-западной и краснодарской популяций. Оценка результатов проведена общепринятыми методами дисперсионного и корреляционного анализа.

Результаты. Выявлены группы трав, в различной степени поддерживающие размножение и расселение *R. padi*. Среди них куриное просо (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.), где численность колоний *R. padi* из обеих популяций была самой низкой, а окрыление потомков – высоким, отнесено нами к наименее благоприятным хозяевам; мятлик обыкновенный (*Poa trivialis* L.) наряду с пшеницей (‘Ленинградская 6’) и кукурузой (гибрид ‘Воронежский 158’) идентифицированы как наиболее благоприятные хозяева. На формирование численности потомства обеих популяций *R. padi* достоверное влияние оказывали видовые характеристики растений, клональный состав и географическое происхождение выборок, на окрыление – вид кормового растения.

Заключение. Выделенные группы трав требуют мониторинга как альтернативные хозяева *R. padi*, способные поддерживать численность и распространение вредителя при ухудшении питания и зимовке.

Ключевые слова: тля, *Rhopalosiphum padi*, потомство, численность, окрыление, злаковые травы, географический регион, фенотипирование

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-76-10009).

Авторы благодарят сотрудников Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) за предоставленную возможность использовать материал из коллекции института; доктора биологических наук Н. Н. Луневу (Всероссийский НИИ защиты растений, ВИЗР) за определение видовой принадлежности трав; Ф. К. Еремеева (ВИЗР) за техническую помощь.

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

Для цитирования: Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С. Фенотипирование злаковых трав как пищевых ресурсов чермухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(2):193-203. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-193-203

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-193-203

Phenotyping of cereal grasses as food resources for the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*

Elena S. Gandrabur, Alla B. Vereschagina, Natalia S. Klimenko

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Elena S. Gandrabur, helenagandrabur@gmail.com

Background. Cereal grasses are an integral component of not only natural but also anthropogenic cenoses as weeds or cultivated crops. Of these, 183 species are included in the range of food plants for the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (L.), which damages cereal crops. In this regard, studying them as alternative hosts for aphids is of particular relevance.

Material and methods. Fourteen wild and cultivated species of grasses, including those from the VIR collection, were phenotyped on the basis of calculating the number and the winging in the offspring of summer apterae *R. padi* from the northwestern and Krasnodar populations under model experimental conditions. The development parameters of aphids were determined after the first 14 days of aphid reproduction. The results were assessed using generally accepted methods of variance and correlation analyses.

Results. Groups of grasses that support the reproduction and dispersal of *R. padi* to varying degrees were identified. Among them, *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. was ranked among the least favorable hosts, where the number of *R. padi*, both from the northwestern and Krasnodar populations, was the lowest (33.3 ± 6.0 ; 41.6 ± 2.2 offspring), and the offspring winging was high (31.8%; 32.6%). *Poa trivialis* L. (236.7 ± 34.9 ; 181.7 ± 23.9 and 15.9%; 20.4%, respectively), along with wheat (cv. 'Leningradskaya 6') and maize (hybrid 'Voronezhsky 158'), were classified as the most favorable hosts. The formation of the number of *R. padi* offspring of both populations was significantly influenced by plant characteristics, clonal differences, and the geographic origin of the aphids; winging in offspring, by the host plant.

Conclusion. The selected groups of grasses require monitoring as alternative hosts for *R. padi*.

Keywords: aphid, *Rhopalosiphum padi*, offspring, number, winging, grass host, geographic region, phenotyping

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 24-76-10009).

The authors are grateful to the staff of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) for the opportunity to use materials from the Institute's collection. The authors also extend their thanks to Dr. N. N. Luneva (All-Russian Institute of Plant Protection) for identifying the species affiliation of grasses, and F. K. Ereemeev (All-Russian Institute of Plant Protection) for technical assistance.

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

For citation: Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B., Klimenko N.S. Phenotyping of cereal grasses as food resources for the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):193-203. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-193-203

Введение

Эволюция тлей (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae), как и других фитофагов, в первую очередь происходила на базе адаптаций к кормовым растениям (Simon, Peccoud, 2018). Сначала тли питались на древесных растениях, затем жизненный цикл многих видов стал включать сезонный переход на дикорастущие травы, а позднее – и на сельскохозяйственные культуры (Shaposhnikov, 1987; <https://aphidsonworldsplants.info>). В результате сложился единый трофический комплекс хозяев тлей, состав которого зависит от разнообразия и распространения видов растений в различных климатических зонах. В качестве ключевого фактора в становлении взаимоотношений тлей с растениями можно рассматривать возникновение партеногенеза и полиморфизма (полифенизма) (<https://aphidsonworldsplants.info>). При партеногенезе для тлей свойственно телескопическое наложение поколений внутри эмбрионов матери и передача информации о внешних условиях среды еще до рождения (Ogawa, Miura, 2014). Эта особенность, наряду с живорождением, способствует быстрому размножению насекомых. Пищевые связи и внутрипопуляционная структура тлей в настоящее время становятся особенно динамичными в связи с глобальным потеплением, сдвигами в содержании CO₂ в воздухе и влагообеспеченностью, сопряженными с изменениями в составе и структуре растительных экосистем, расширением ареалов насекомых, изменением стратегий размножения, вспышками массового размножения и повышением затрат на сельскохозяйственное производство (Vinogradova et al., 2015; Arkhipov et al., 2017; Trepashko et al., 2018; Simon, Peccoud, 2018; Luo et al., 2022). Изменение трофических цепей приводит к экологическим и агрономически значимым последствиям и требует постоянного контроля.

Среди вредителей черемухово-злаковая тля *Rhopalosiphum padi* (L.) занимает одно из ведущих мест в мире (Zakharenko, 2019; Radchenko et al., 2024; Guo et al., 2023). Потери урожая, достигающие 70%, происходят не только в результате питания тлей, но и из-за переноса ими вирусных и других болезней растений (Kakareka et al., 2015; Dedryver et al., 2010). Степень наносимого ими ущерба зависит от численности, способности вредителя к расселению и связана с типом жизненного цикла. В северных широтах жизненный цикл *R. padi* протекает со сменой древесных и травянистых хозяев (гетероциклический тип), а также включает последовательное сезонное развитие всех свойственных ей морфотипов (голоцикл). Иногда гетероциклические клоны тлей могут оставаться все лето на поросли первичного хозяина. В южных широтах *R. padi* развивается неполноциклическим путем (анголоциклический тип), питаясь только на многочисленных травянистых растениях, и зимует в активной фазе (Finlay, Luck, 2011). Выпадение обоеполого размножения при анголоциклии усиливает селективное действие отбора и способствует сохранению адаптивных внутривидовых форм, в том числе резистентных к инсектицидам и источникам питания (Bass, Nauen, 2023; Guo et al., 2023). Таким образом, в различных географических широтах типы жизненных циклов, трофические адаптации к хозяину и вредоносность *R. padi* будут различаться.

В круг первичных хозяев *R. padi* входят лишь немногие виды *Prunus* L. (черемуха), а в качестве вторичных – в основном виды из семейства мятликовые (Poaceae). Среди последних в настоящее время отмечено 183 вида,

большинство из которых – дикорастущие злаковые травы (<https://aphidsonworldsplants.info>). Как в Ленинградской области (30 видов), так и в Краснодарском крае (33 вида) сорные злаки относятся к лидерам по численности видов среди сорняков (Luneva, Zakota, 2016; Mysnik, 2018). Экологически связанные между собой, с зерновыми культурами и первичными хозяевами тлей дикорастущие злаки имеют большое значение в качестве кормовых ресурсов и мест скопления вредителя, а также вирусных и других инфекций (Kakareka et al., 2015).

Пригодность зерновых культур для развития *R. padi* достаточно хорошо изучена (Radchenko, 2013). Роль сорных, окультуренных, а также перспективных для селекции злаков в формировании трофических комплексов обитателей, в возникновении внутривидовой дифференциации *R. padi* и оптимизации стратегий в защите растений выявлена крайне недостаточно. *Задача нашего исследования* – выявить различия в пригодности ряда видов злаковых трав (в том числе из коллекции ВИР) для развития *R. padi* разного географического происхождения.

Материалы и методы

Работы проводили в 2024 г. Места сборов клонов *R. padi* – Краснодарский край (краснодарская популяция) и Ленинградская область (северо-западная популяция) – выбрали исходя из различий в климате, флористическом разнообразии и жизненном цикле тлей. Краснодарский край характеризуется в основном умеренно континентальным климатом. Однако в 2024 г. главное управление МЧС России по Краснодарскому краю сообщало о рекордно высоких летних температурах. Для края типичны большие площади озимых зерновых культур и кукурузы (*Zea mays* L.). Потепление климата и изменения в технологиях земледелия в последние годы вызывают в крае быстрый рост засоренности посевов злостными злаковыми сорняками (Shulyakovskaya, Balesta, 2012). При отсутствии суровых зим и редкости первичного хозяина черемухи обыкновенной *Prunus padus* L. для *R. padi* характерна анголоциклия.

Климат Ленинградской области более холодный и влажный. Вместе с тем в период проведения опытов в июле средняя температура была выше нормы на 5°C, а сентябрь стал аномально теплым (<https://world-weather.ru>). Холодные зимы и широкое распространение *Prunus padus* определяет преобладание в регионе *R. padi* с голоциклическим типом жизненного цикла. Площадь под зерновыми культурами и кукурузой как территории для обитания тлей в Ленинградской области значительно уступает таковой в Краснодарском крае.

В Краснодарском крае клоны *R. padi* собирали на посевах кукурузы во время экспедиции в конце июля – начале августа. В связи с аномальной жарой колоний *R. padi* было крайне мало. Нам удалось собрать всего три клона: в Новокубанском (п. Новосельское), Анапском (п. Юровка) и Кавказском (п. Преградный) районах. Самок *R. padi* из каждого клона по отдельности помещали в сосуды с яровой мягкой пшеницей *Triticum aestivum* L. (Ленинградская б') под изоляторы из спанбонда и перевозили в Санкт-Петербург вместе с потомством, где их продолжали поддерживать до окончания работ, пересаживая на свежие растения.

В Ленинградской области тлей (восемь клонов) собирали из колоний одиночных основательниц, изолиро-

ванных на *Prunus padus*. В начале эмиграции из колонии каждой основательницы отбирали по два эмигранта и пересаживали в сосуды с растениями *Triticum aestivum* (‘Ленинградская 6’) и *Zea mays* (гибрид ‘Воронежский 158’) под изоляторы. Исходные колонии поддерживали на этих же растениях. В период исследований все растения содержали под навесом при естественной температуре и влажности под изоляторами из спанбонда, исключая влияние энтомофагов и болезней.

Злаковые травы (14 видов) (табл. 1) собрали в природе или получили из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени

Н.И. Вавилова (ВИР). Видовая принадлежность собранных трав определена доктором биологических наук Н. Н. Луневой.

Оценку пригодности трав для развития тлей из обоих регионов проводили по показателям численности и способности к расселению (окрылению). Для этого в каждый сосуд с растениями помещали по 3 молодых бескрылых самки того или иного клона и накрывали изолятором. Через 14 дней подсчитывали потомков (П14), крылатых самок и окрыляющихся личинок (нимф). Полученные данные пересчитывали на 1 самку (одна повторность). По сумме крылатых самок и окрыля-

Таблица 1. Характеристика образцов злаков, использованных в опыте

Table 1. Characteristics of cereal accessions used in the experiment

Вид растения / Species	Образец / Accession	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Продолжительность жизни / Lifespan	Встречаемость вида в изучаемых регионах / Distribution of the species in the studied regions
Кострец прямой <i>Bromopsis erecta</i> (Huds.) Fourr.	‘Целиноградский юбилейный’	51666	многолетник	Краснодарский край, Ленин- градская область
Ячмень гривастый <i>Hordeum jubatum</i> L.	дикорастущий	855	многолетник	Краснодарский край
Райграс пастбищный <i>Lolium perenne</i> L.	‘Sherlok’	54242	многолетник	Краснодарский край, Ленин- градская область
Житняк гребневидный <i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn.	дикорастущий	51104	многолетник	Краснодарский край (чаще), Ленинградская область
Мятлик обыкновен- ный <i>Poa trivialis</i> L.	дикорастущий	–	многолетник	Краснодарский край, Ленин- градская область (чаще)
Овсяница луговая <i>Festuca pratensis</i> Huds.	‘Сахаровская’	37137	многолетник	Краснодарский край, Ленин- градская область
Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i> L.	‘Триада’	48628	многолетник	Краснодарский край Ленин- градская область
Овсяг пустой <i>Avena fatua</i> L.	дикорастущий	380	однолетник	Краснодарский край (чаще), Ленинградская область
Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski	дикорастущий	152159	многолетник	Краснодарский край, Ленин- градская область
Щетинник зеленый <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	дикорастущий	–	однолетник	Краснодарский край (чаще), Ленинградская область
Свиной пальчатый <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	дикорастущий	–	многолетник	Краснодарский край
Куриное просо <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	дикорастущий	–	однолетник	Краснодарский край (чаще), Ленинградская область
Кукуруза <i>Zea mays</i> L.	‘Воронежский 158’	–	однолетник	Ленинградская область, Краснодарский край (чаще)
Пшеница яровая мяг- кая <i>Triticum aestivum</i> L.	‘Ленинградская 6’	64900	однолетник	Краснодарский край (чаще), Ленинградская область

ющихся личинок определяли показатель окрыления, выраженный в процентах к общему количеству потомков и усредненный по каждому варианту опыта.

В случае северо-западной популяции *R. padi* в каждом варианте опыта использовали от трех до восьми клонов, выделенных весной. Развитие тлей оценивали на травах пяти видов после пересадки с материнских растений (*Zea mays*, гибрид 'Воронежский 158', и *Triticum aestivum*, сорт 'Ленинградская 6').

При работе с краснодарской популяцией изучали развитие трех клонов *R. padi* на травах 14 видов. Количество повторностей в вариантах опытов составляло по каждому кормовому растению 6–13 для северо-западной популяции и 4–14 для краснодарской. Для дисперсионного анализа приемлемости трав для южных клонов использовали лишь те образцы, на которых испытывали все клоны не менее трех раз каждый: *Triticum aestivum*, *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., *Setaria viridis* (L.) Beauv., *Poa trivialis* L. В то же время все виды трав были разделены на три группы в зависимости от пригодности для развития тлей по многогранговому критерию Дункана.

Проведен корреляционный анализ численности и окрыления потомства тлей на разных кормовых растениях для каждой популяции, а также между популяциями для общих хозяев (*Triticum aestivum*, *Echinochloa crus-galli*, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Setaria viridis*, *Poa trivialis*) по коэффициенту детерминации (r^2), определена степень соответствия модели связи указанных переменных реальным данным.

Работа проведена в г. Пушкине на базе Всероссийского института защиты растений (ВИЗР) в августе и сентябре 2024 г. Среднемесячная температура воздуха в авгу-

сте составила 16,7°C (max. 27°C и min. 8°C), в сентябре – 15,4°C (max. 26°C и min. 3°C) (<https://pogoda1.ru>).

Анализ результатов исследований проводили при помощи программного обеспечения StatSoft® STATISTICA 12 с использованием двухфакторного дисперсионного анализа, применяя F-критерий Фишера, t-критерий Стьюдента, критерий Дункана, а также коэффициент корреляции Пирсона (r) и коэффициент детерминации (r^2).

Результаты

В задачу исследования входило выявление пригодности кормовых растений, характерных и не характерных для ареала популяций *R. padi* с различной полнотой жизненного цикла. Злаковые травы, типичные в основном для Краснодарского края, тестировали на основе оценки показателей развития самок *R. padi* из северо-западной популяции (см. табл. 1). Выявлены различия по численности и окрылению потомства тлей при питании на всех видах растений, а также в зависимости от их материнского кормового растения – *Zea mays* ('Воронежский 158') и *Triticum aestivum* ('Ленинградская 6') (табл. 2).

В результате двухфакторного дисперсионного анализа доказано, что кормовое растение оказывает существенное влияние как на размножение, так и на окрыление потомства, а материнское (на котором тлю поддерживали) – только на окрыление (табл. 3, табл. 4).

На основании сравнительной оценки обоих показателей показано, что пшеница 'Ленинградская 6' и *Poa trivialis* наиболее благоприятны для размножения тлей. Между *Triticum aestivum*, *Poa trivialis* и другими видами трав статистически значимые различия по численности

Таблица 2. Приемлемость злаков для развития клонов *Rhopalosiphum padi* из северо-западной популяции, питавшихся на разных растениях-хозяевах

Table 2. Suitability of grass hosts for the development of *Rhopalosiphum padi* clones from the northwestern population that fed on different host plants

Кормовое растение / Host plant		Количество групп по три самки / Number of groups of three females	Число тлей на 14-й день после изоляции самки / Number of aphids on day 14 after isolation of the female	Окрыление потомков, % / Winging in offspring, %
материнское / maternal	тестируемое / tested			
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Triticum aestivum</i> 'Ленинградская 6'	3	343,0 ± 20,7	12,6
<i>Zea mays</i>		3	358,7 ± 10,4	15,5
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i>	5	26,4 ± 9,5	49,2
<i>Zea mays</i>		4	34,8 ± 7,8	5,7
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	5	58,8 ± 3,6	7,5
<i>Zea mays</i>		8	22,8 ± 4,0	6,1
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Setaria viridis</i>	5	33,2 ± 3,9	33,1
<i>Zea mays</i>		4	69,8 ± 13,9	3,2
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Poa trivialis</i>	4	215,0 ± 48,9	14,1
<i>Zea mays</i>		3	335,3 ± 79,7	13,8
HCP0,05			147,1	14,5

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа количества потомков клонов *Rhopalosiphum padi* из северо-западной популяции, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 3.** Results of the variance analysis on the offspring number of *Rhopalosiphum padi* clones from the northwestern population that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0,01}
Общая дисперсия	813641,4	41	813641,4	481,3524	–
По материнскому кормовому растению	1931,4	1	1931,4	1,1426	7,56
По тестируемому кормовому растению	598080,6	4	149520,1	88,4565	4,02
По взаимодействию	11040,1	4	2760	1,6328	4,02
Остаток (ошибки)	55780,7	33	1690,3	–	–

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа окрыления потомства клонов *Rhopalosiphum padi* из северо-западной популяции, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 4.** Results of the variance analysis on the winging in the offspring of *Rhopalosiphum padi* clones from the northwestern population that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0,05}
Общая дисперсия	11900,39	41	11900,39	46,56287	–
По материнскому кормовому растению	2443,81	1	2443,81	9,56195	4,17
По тестируемому кормовому растению	3127,14	4	781,78	3,0589	2,69
По взаимодействию	4265,13	4	1066,28	4,17206	2,69
Остаток (ошибки)	8434,04	33	255,58		

тлей очевидны, а в остальных вариантах они не выявлены (см. табл. 2). По способности потомства *R. padi* к окрылению значимые различия наблюдались только на *Triticum aestivum* и *Cynodon dactylon* ($t = 2,12 > t_{0,05} = 2,11$), *Poa trivialis* и *Cynodon dactylon* ($t = 2,9 > t_{0,05} = 2,88$), *Echinochloa crus-galli* и *Cynodon dactylon* ($t = 2,45 > t_{0,05} = 2,09$).

Определены параметры воспроизводства и окрыления в потомстве трех клонов *R. padi* из краснодарской популяции при питании на злаковых травах, характерных для Краснодарского края и обоих регионов (см. табл. 1; табл. 5).

Согласно критерию Дункана, *Echinochloa crus-galli* существенно отличался от других видов трав и был наименее пригодным для колонизации *R. padi* по обоим показателям. По численности потомства тлей *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Gould. и *Bromopsis erecta* (Huds.) Fourr. оказались средне благоприятными, а *Triticum aestivum*, *Zea mays* и *Poa trivialis* – наиболее благоприятными. Остальные виды трав по данному показателю занимали проме-

жуточное положение и не проявили между собой достоверных различий. Наименьшее количество крылатых потомков наблюдалось на *Hordeum jubatum* L.

Определены также параметры воспроизводства и окрыления потомства каждого из трех клонов *R. padi* из краснодарской популяции при питании на четырех видах злаков (табл. 6).

Двухфакторный дисперсионный анализ количества потомков и их окрыления в зависимости от клона (три) при питании на *Triticum aestivum*, *Echinochloa crus-galli*, *Setaria viridis*, *Poa trivialis* позволил выявить статистически значимое влияние как клона тли, так и вида растения на количество потомков (табл. 7) и только вида растения – на окрыление потомков (табл. 8).

В процессе работы выделены группы растений различной степени благоприятности для размножения и окрыления клонов *R. padi* (см. табл. 2 и табл. 5). Корреляционная связь между количеством потомков и окрылением у *R. padi*, как из северо-западной популяции, так и краснодарской, не выявлена.

Таблица 5. Приемлемость злаков для развития клонов *Rhopalosiphum padi* из краснодарской популяции
Table 5. Suitability of grass hosts for the development of *Rhopalosiphum padi* clones from the Krasnodar population

Тестируемое растение / Tested plant	Количество групп по три самки / Number of groups of three females	Число тлей на 14-й день после изоляции самки / Number of aphids on day 14 after isolation of the female	Окрылени потомков, % / Winging in offspring, %
<i>Triticum aestivum</i> 'Ленинградская 6'	9	180,1 с*	7,0 abcd
<i>Cynodon dactylon</i>	5	81,6 ab	14 abcde
<i>Avena fatua</i>	4	102,3 ab	0,7 a
<i>Echinochloa crus-galli</i>	14	41,6 a	29,8 e
<i>Setaria viridis</i>	9	105,3 ab	6,6 abd
<i>Hordeum jubatum</i>	7	62,3 ab	5,1 ab
<i>Agropyron cristatum</i>	4	89,8 ab	7,6 abcd
<i>Elytrigia repens</i>	6	112,8 b	7,2 abcd
<i>Festuca pratensis</i> 'Сахаровская'	5	96,2 ab	18,1 bcde
<i>Dactylis glomerata</i> 'Триада'	9	58,3 ab	23,3 cde
<i>Lolium perenne</i> 'Sherlok'	4	52,3 ab	23,2 ce
<i>Bromopsis erecta</i> 'Целиноградский юбилейный'	6	114,8 b	11,6 abcd
<i>Poa trivialis</i>	11	181,7 c	19,2 bcde
<i>Zea mays</i> 'Воронежский 158'	6	204,3 c	5,6 ab

Примечание: * – различия между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами по вертикали, несущественны по много-
 ранговому критерию Дункана ($p < 0,01$)

Note: * – means in the same column followed by different lowercase letters are statistically significant at the critical significance level of
 $p = 0.01$

Таблица 6. Приемлемость злаков для развития отдельных клонов *Rhopalosiphum padi* из краснодарской популяции
Table 6. Suitability of grass hosts for the development of individual *Rhopalosiphum padi* clones from the Krasnodar population

Тестируемое растение / Tested plant	Клон / Clone	Количество групп по три самки / Number of groups of three females	Число тлей на 14-й день после изоляции самки / Number of aphids on day 14 after isolation of the female	Окрыление потомков, % / Winging in offspring, %
<i>Triticum aestivum</i> 'Ленинградская 6'	1	3	250,0 ± 25,3	3,2
	2	3	214,0 ± 27,0	1,3
	3	3	76,3 ± 9,9	16,5
<i>Echinochloa crus-galli</i>	1	8	51,3 ± 10,2	27,6
	2	3	24,7 ± 3,3	30,5
	3	3	32,7 ± 6,64	35
<i>Setaria viridis</i>	1	3	124,3 ± 8,8	6,6
	2	3	92,0 ± 30,3	6,9
	3	3	99,7 ± 10,2	6,4
<i>Poa trivialis</i>	1	4	234,3 ± 56,0	19
	2	4	131,0 ± 15,8	20,7
	3	3	179,3 ± 12,8	17,4

Таблица 7. Результаты дисперсионного анализа количества потомков отдельных клонов *Rhopalosiphum padi* из краснодарской популяции, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 7.** Results of the variance analysis on the offspring number of individual *Rhopalosiphum padi* clones from the Krasnodar population that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0.01}
Общая дисперсия	628576,6	42	628576,6	307,1338	–
По клону	34509,4	2	17254,7	8,431	5,39
По растению	154822,9	3	51607,6	25,2164	4,51
По взаимодействию	43060,7	6	7176,8	3,5067	3,47
Остаток (ошибки)	63444,3	31	2046,6	–	–

Таблица 8. Результаты дисперсионного анализа окрыления потомства отдельных клонов *Rhopalosiphum padi* из краснодарской популяции, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 8.** Results of the variance analysis on the winging in the offspring of individual *Rhopalosiphum padi* clones from the Krasnodar population that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0.01}
Общая дисперсия	10069,7	42	10069,7	45,94606	
По клону	166,3	2	83,15	0,37939	5,39
По растению	4158,5	3	1386,17	6,3248	4,51
По взаимодействию	372,15	6	62,02	0,28301	3,47
Остаток (ошибки)	6794,07	31	219,16		

Обсуждение

Изучение роли некультивируемых и культивируемых злаковых трав в качестве хозяев *R. padi* позволило выявить особенности гостальной специфичности голоциклической и анголоциклической популяций из различных климатических зон: Ленинградской области или Краснодарского края. Установлено, что на размножение тлей значимое влияние оказывали кормовое растение, жизнеспособность клонов и регион обитания (см. табл. 2, табл. 3, табл. 5, табл. 7, табл. 9).

Выделены виды трав, наиболее важные для распространения и размножения вредителя. Помимо *Triticum aestivum* и *Zea mays*, для двух регионов как наиболее благоприятный хозяин для размножения тлей отмечен *Poa trivialis*, как наименее благоприятный – *Echinochloa crus-galli* (см. табл. 2, табл. 5). *Bromopsis erecta*, *Elytrigia repens*, *Setaria viridis*, *Avena fatua* L. могут быть подходящими хозяевами для размножения *R. padi* в Краснодарском крае. В целом можно отметить, что, несмотря на сильную корреляцию и высокий коэффициент детерминации между одинаковыми видами трав в регионах по показателю численности потомства ($r = 0,9030$; $p = 0,0358$; $r^2 = 0,8153$), значение показателя для краснодарских клонов было значимо выше при питании на *Triticum aestivum*, *Setaria viridis* и *Cynodon dactylon* ($t = 4,63$; $t_{0.01} = 4,22$; $t = 4,03$; $t_{0.01} = 4,02$; $t = 3,91$; $t_{0.01} = 2,92$ соответ-

ственно) – видах, более характерных для данного региона.

Жаркое лето 2024 г. в обоих регионах, вероятно, повлияло на пищевые качества собранных в природе трав и выживаемость клонов и, как следствие, распространение тлей. В августе – сентябре в агроценозах Ленинградской области большие колонии *R. padi* обнаружены на *Zea mays* и небольшие колонии присутствовали на *Poa trivialis* в Пушкинском районе Санкт-Петербурга. В Краснодарском крае в период экспедиции (конец июля – начало августа) малочисленные колонии, пережившие аномальную жару и засуху, нами найдены лишь на *Zea mays*. Большинство видов других кормовых растений «выгорело». Несмотря на общую жароустойчивость, успешность размножения клонов на различных видах хозяев статистически различалась (см. табл. 5, табл. 7). Различия в колонизации злаков, связанные с пищевыми предпочтениями *R. padi*, подтверждаются и другими феногенетическими исследованиями (Borer et al., 2009; Descamps, Чора, 2011). В случае анголоциклии подобные различия могут привести к появлению «биотипов» по хозяину и изменениям в статусе вредоносности тлей (Simon, Pescoud, 2018; Khanal et al., 2023). Насколько адаптации к хозяину сдерживаются в гетерейных популяциях, пока неясно, поскольку в их состав могут входить клоны, готовые при подходящих условиях как к спариванию, так и обитанию только на травах, либо весь сезон питаться

Таблица 9. Результаты дисперсионного анализа количества потомков клонов *Rhopalosiphum padi* из двух регионов РФ, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 9.** Results of the variance analysis on the offspring number of *Rhopalosiphum padi* clones from two regions of Russia that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0.05}
Общая дисперсия	1394006	90	1394006	540,269	–
По региону	11246	1	11246	4,3587	3,96
По растению	665068	4	166267	64,4394	2,49
По взаимодействию	132230	4	33058	12,812	2,49
Остаток (ошибки)	208997	81	2580	–	–

на поросли черемухи. Смешивание популяций в результате миграций еще более затрудняет понимание источника изменчивости (Khanal et al., 2023). Некоторые авторы с помощью молекулярных методов продемонстрировали влияние растения-хозяина (зерновые культуры и черемуха) и сезонных условий на генетическую структуру популяций *R. padi* с различными типами жизненных циклов (Radchenko et al., 2024). Аналогичные предположения сделаны для популяций *R. padi* в Великобритании (Morales-Hojas et al., 2020).

ность вектора, быстрее и масштабнее его расселение, тем быстрее будет передача патогенов. Мы продемонстрировали, что кормовое растение значимо влияло не только на размножение, но и на окрыление потомства *R. padi* (см. табл. 4, табл. 5, табл. 8), однако формирование этих показателей в значительной степени происходило независимо друг от друга. Если влияние кормового растения на численность потомков *R. padi* зависело от региона обитания тлей, то для окрыления такая связь не доказана (табл. 9, табл. 10).

Таблица 10. Результаты дисперсионного анализа окрыления потомства клонов *Rhopalosiphum padi* из двух регионов РФ, питавшихся на разных растениях-хозяевах**Table 10.** Results of the variance analysis on the winging in the offspring of *Rhopalosiphum padi* clones from two regions of Russia that fed on different host plants

Вариация / Variation	Суммы квадратов / Sum of squares	Степени свободы / Degrees of freedom	Средние квадраты / Mean squares	F-критерий Фишера / Fisher's test (F-test)	F _{0.05}
Общая дисперсия	22479,8	90	22479,8	79,73345	–
По региону	111,23	1	111,23	0,39451	3,96
По растению	5417,98	4	1354,5	4,80425	2,49
По взаимодействию	1090,89	4	272,72	0,96732	2,49
Остаток (ошибки)	22836,89	81	281,94	–	–

На основании представленных экспериментальных данных нельзя однозначно оценить группы многолетних и однолетних трав в качестве пищевых ресурсов для *R. padi*. Такие однолетники, как *Triticum aestivum*, *Zea mays*, *Setaria viridis* и *Avena fatua*, за исключением *Echinochloa crus-galli*, были достаточно подходящими для поддержания тлей. В то же время многолетники *Elytrigia repens*, *Bromopsis erecta*, *Poa trivialis*, *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. и *Festuca pratensis* Huds. по своей пригодности им не уступали (см. табл. 5). Другие авторы считают, что *R. padi* предпочитает однолетники (Borer et al., 2009).

Инфицирование зерновых культур происходит в результате миграций тлей – векторов вирусной инфекции с многолетних злаковых и других трав (Borer et al., 2009; Finlay, Luck, 2011; Kakareka et al., 2015). Чем выше числен-

Окрыление потомков *R. padi* из северо-западной популяции при смене материнских (*Triticum aestivum*, *Zea mays*) и тестируемых хозяев, в отличие от численности, оказалось статистически зависимым от материнского растения (см. табл. 3). У клонов тли из Краснодарского края на окрыление потомков существенно влиял источник питания (см. табл. 5, табл. 8). На некоторых неблагоприятных хозяевах при низкой численности тлей, особенно на *Echinochloa crus-galli*, окрыление в обеих популяциях *R. padi* было существенно выше, чем на благоприятных *Triticum aestivum* и *Zea mays* (см. табл. 2, табл. 5). Между численностью и окрылением потомков у тлей из обеих популяций корреляция не обнаружена.

Высокая плотность поселения тлей, вызывающая крылообразование и миграции вследствие «эффекта скученности», не возникала ни на тестируемом, ни на

материнских растениях. Другие, не связанные с качеством питания причины изменений в окрылении потомства тлей были либо исключены, либо сведены к минимуму (Vereschagina, Gandrabur, 2014). Энтомофаги отсутствовали, все исходные самки были одного морфотипа (летние бескрылые), рожденными от крылатых расселительниц. Следовательно, неоптимальные хозяева могут быть источником мигрирующих тлей и способствовать переносу вирусных инфекций вследствие повышения количества крылатых особей при низкой численности колоний, а благоприятные – вследствие повышения количества крылатых особей при высокой плотности колоний.

После уборки колосовых культур *R. padi* перемещается на кукурузу, сорго, культивируемые и дикорастущие злаковые травы, которые остаются зелеными и продолжают расти, особенно при достаточной влажности. Здесь тли питаются и размножаются вплоть до осенней миграции на первичных хозяев в северных регионах или до зимовки – в южных. Отсюда тли могут мигрировать на посевы озимой пшеницы, создавая опасность переноса вирусов. Фенотипирование альтернативных хозяев позволяет не только выявлять особенности их влияния на развитие тлей, но и прогнозировать возможные места скопления вредителя и вирусов.

Заключение

На основе численности и окрыления потомства бескрылых летних самок *R. padi* из северо-западной и краснодарской популяций проведено фенотипирование 14 видов дикорастущих и культивируемых злаковых трав. Статистический анализ результатов показал, что на численность потомков тли существенно влияют кормовое растение и географическое происхождение клонов *R. padi*; на окрыление – кормовое растение.

Среди изученных злаковых трав наименее благоприятным хозяином как для северо-западной, так и для краснодарской популяции *R. padi* оказался вид *Echinochloa crus-galli*, наиболее благоприятным, наряду с *Triticum aestivum* и *Zea mays*, – *Poa trivialis*. Клоны тли, выделенные из краснодарской популяции, размножались существенно быстрее на *Triticum aestivum*, *Setaria viridis* и *Cynodon dactylon*, более характерных для южных широт.

Выявленные группы растений с различной степенью пригодности для размножения и окрыления *R. padi* могут быть рекомендованы для мониторинга вредителя при ухудшении питания и зимовке. Мы видим необходимость в продолжении исследований с использованием коллекции злаков ВИР.

References / Литература

Arkhipov M.V., Danilova T.A., Pavlyushin V.A., Sinitsyna S.M., Pasynkova E.N., Tyukalov Y.A. Ways and possibilities of phytosanitary optimization of agroecosystems in North-west region of Russia. *Plant Protection News*. 2017;2(92):5-14. [in Russian] (Архипов М.В., Данилова Т.А., Павлюшин В.А., Сеницына С.М., Пасынкова Е.Н., Тюкалов Ю.А. Пути и возможности фитосанитарной оптимизации агроэкосистем северо-западного региона России. *Вестник защиты растений*. 2017;2(92):5-14).

Bass C., Nauen R. The molecular mechanisms of insecticide resistance in aphid crop pests. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 2023;156:103937. DOI: 10.1016/j.ibmb.2023.103937

Borer E.T., Adams V.T., Engler G.A., Adams A.L., Schumann C.B., Seabloom E.W. Aphid fecundity and grassland invasion: invader life history is the key. *Ecological Applications*. 2009;19(5):1187-1196. DOI: 10.1890/08-1205.1

Dedryver C.A., Le Ralec A., Fabre F. The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*. 2010;333(6-7):539-553. DOI: 10.1016/j.crv.2010.03.009

Descamps L.R., Chopa C.S. Population growth of *Rhopalosiphum padi* L. (Homoptera: Aphididae) on different cereal crops from the semiarid pampas of Argentina under laboratory conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2011;71(3):390-394. DOI: 10.4067/S0718-58392011000300007

Favret C., Aphid Taxon Community (eds). Blackman & Eastop's aphids on the world's plants, version 1.0: [website]. Available from: <https://aphidsonworldsplants.info> [accessed Dec. 10, 2024]

Finlay K.J., Luck J.E. Response of the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*) to climate change in relation to its pest status, vectoring potential and function in crop–vector–virus pathosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011;144(1):405-421. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.011

Guo J., Li J., Massart S., He K., Francis F., Wang Z. Analysis of the genetic diversity of two *Rhopalosiphum* species from China and Europe based on nuclear and mitochondrial genes. *Insects*. 2023;14(1):57. DOI: 10.3390/insects14010057

Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Gapeka A.V. Yellow dwarf of barley and its vectors in Primorsky Krai. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2015;(8):49-50. [in Russian] (Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Гапека А.В. Желтая карликовость ячменя и ее переносчики в Приморском крае. *Защита и карантин растений*. 2015;(8):49-50).

Khanal N., Vitek C., Kariyat R. The known and unknowns of aphid biotypes, and their role in mediating host plant defenses. *Diversity*. 2023;15(2):186. DOI: 10.3390/d15020186

Luneva N.N., Zakota T.Yu. Species composition of weed plants in crops of field cultures in the steppe zone of Krasnodar Territory. *Plant Protection News*. 2016;1(87):54-56. [in Russian] (Лунева Н.Н., Закота Т.Ю. Видовой состав сорных растений в посевах полевых культур степной зоны Краснодарского края. *Вестник защиты растений*. 2016;1(87):54-56).

Luo K., Zhao H., Wang X., Kang Z. Prevalent pest management strategies for grain aphids: opportunities and challenges. *Frontiers in Plant Science*. 2022;12:790919. DOI: 10.3389/fpls.2021.790919

Moralea-Hojas R., Gonzalez-Uriarte A., Iraizoz F.A., Jenkins T., Alderson L., Kruger T. et al. Population genetic structure and predominance of cyclical parthenogenesis in the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* in England. *Evolutionary Applications*. 2020;13(5):1009-1025. DOI: 10.1111/eva.12917

Mysnik E.N. Retrospective analysis of weediness of annual fodder herb crops on the territory of Leningrad Region. *Plant Protection News*. 2018;3(97):84-87. [in Russian] (Мысник Е.Н. Ретроспективный анализ засоренности посевов однолетних кормовых трав на территории Ленинградской области. *Вестник защиты растений*. 2018;3(97):84-87).

Ogawa K., Miura T. Aphid polyphenisms: trans-generational developmental regulation through viviparity. *Frontiers in Physiology*. 2014;5:1. DOI: 10.3389/fphys.2014.00001

Radchenko E.E. Cereal crops genepool and breeding for aphid resistance. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and*

- Breeding*. 2013;174:11-22. [in Russian] [Радченко Е.Е. Генофонд и селекция зерновых культур на устойчивость к тлям. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;174:11-22].
- Radchenko E.E., Anisimova I.N., Alpatieva N.V. Polymorphism of Russian populations of *Rhopalosiphum padi* L. based on DNA markers. *Russian Journal of Genetics*. 2024;60(8):66-73. [in Russian] (Радченко Е.Е., Анисимова И.Н., Алпатьева Н.В. Полиморфизм российских популяций *Rhopalosiphum padi* по ДНК-маркерам. *Генетика*. 2024;60(8):66-73). DOI: 10.31857/S0016675824080068
- Shaposhnikov G.K. Evolution of aphids in relation to evolution of plants. In: A.K. Minks, P. Harrewijn (eds). *Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol. A. Amsterdam: Elsevier; 1987. p.409-414.
- Shulyakovskaya L.N., Balesta P.S. Weed infestation of cereal ear crops in Krasnodar Territory, and ways to reduce it (Zlakovoye zasoreniye zernovykh kolosovykh kultur v Krasnodarskom kraye i puti yego snizheniya). *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2012;(5):24-25. [in Russian] (Шуляковская Л.Н., Балеста П.С. Злаковое засорение зерновых колосовых культур в Краснодарском крае и пути его снижения. *Защита и карантин растений*. 2012;(5):24-25).
- Simon J.C., Peccoud J. Rapid evolution of aphid pests in agricultural environments. *Current Opinion in Insect Science*. 2018;26:17-24. DOI: 10.1016/j.cois.2017.12.009
- Trepashko L.I., Kozich I.A., Vasilevskaya L.P. Economic substantiation of different directed action products use for the spring barley protection against pests. *Plant Protection*. 2018;(42):274-286. [in Russian] (Трепашко Л.И., Козич И.А., Василевская Л.П. Экономическое обоснование применения препаратов разного направленного действия для защиты ячменя ярового от вредителей. *Защита растений*. 2018;(42):274-286).
- Vereshchagina A., Gandrabur E. Polymorphism and damage of aphids (Homoptera: Aphidoidea). *International Journal of Biology*. 2014;6(4):124-138. DOI: 10.5539/IJB.V6N4P124
- Vinogradova V.V., Titkova T.B., Cherenkova E.A. Dynamics of moisture and heat fluxes in transitional landscape zones from satellite and meteorological data in the beginning of the XXI century. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2015;12(2):162-172. [in Russian] (Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI века. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015;12(2):162-172).
- Weather 1. All about weather in Russia (Pogoda 1. Vse o pogode v Rossii): [website]. [in Russian] (Погода 1. Все о погоде в России: [сайт]). URL: <https://pogoda1.ru> [дата обращения: 10.12.2024].
- World Weather: [website]. [in Russian] (World Weather: [сайт]). URL: <https://world-weather.ru> [дата обращения: 10.12.2024].
- Zakharenko V.A. Immunity of crops in the management of phytosanitary risks in grain agroecosystems. *Agrarian Science*. 2019;2:19-24. [in Russian] (Захаренко В.А. Иммуитет зерновых культур в управлении фитосанитарными рисками зерновых агроэкосистем. *Аграрная наука*. 2019;2:19-24). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-19-23

Информация об авторах

Елена Сергеевна Гандрабур, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, helenagandrabur@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9851-9799>

Алла Борисовна Верещагина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, aphidabver@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1342-5350>

Наталья Станиславовна Клименко, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, ns-klimenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5432-6466>

Information about the authors

Elena S. Gandrabur, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, helenagandrabur@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9851-9799>

Alla B. Vereschagina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, aphidabver@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1342-5350>

Natalia S. Klimenko, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, ns-klimenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5432-6466>

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 17.06.2024; одобрена после рецензирования 14.04.2025; принята к публикации 12.05.2025. The article was submitted on 17.06.2024; approved after reviewing on 14.04.2025; accepted for publication on 12.05.2025.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 577.21:633.11:632.937

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217



Мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане

Е. И. Гульятеева¹, Е. Л. Шайдаюк¹, К. М. Абдуллаев², З. С. Айдемирова²¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, Дербентский район, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Ивановна Гульятеева, eigulyaeva@gmail.com

Актуальность. Желтая ржавчина – вредоносное заболевание мягкой пшеницы. В 2020-х годах она доминирует в фитопатогенном комплексе на Дагестанской опытной станции (ОС) ВИР, где изучается обширная коллекция образцов *Triticum* L. Анализ вирулентности и расового состава *Puccinia striiformis* West., формирующегося на новых и районированных генотипах пшеницы, позволяет оценить ситуацию с желтой ржавчиной в регионах их производственного возделывания. Цель работы – мониторинг вирулентности дагестанской популяции *P. striiformis* в 2023 г. и оценка динамики ее изменчивости.

Материалы и методы. Листья с урединиопустулами *P. striiformis* собраны на Дагестанской ОС ВИР в 2023 г. на 30 образцах озимой мягкой пшеницы современной российской селекции. Набор тестеров вирулентности включал 14 почти изогенных линий сорта 'Avocet' (AvNILs) и 15 сортов-дифференциаторов из европейского и международного наборов. Анализ вирулентности проводили на 10–14-дневных проростках (фаза второго листа) по оригинальной методике. На коллекционном посеве Дагестанской ОС ВИР оценили устойчивость дифференциаторов в условиях высокого естественного фона заболевания в 2023 г.

Результаты и заключение. Высокой эффективностью в фазе проростков и взрослых растений характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*, которые рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. 23 фенотипа (расы) определены в 2023 г., из них только шесть отмечены на нескольких сортах, остальные были оригинальными. Сравнительный анализ фенотипического состава в 2023 г. и в предыдущий период (2020–2022) показал высокое разнообразие и динамичность дагестанской популяции патогена. Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов и выделено 54 фенотипа (расы). Общая раса для четырех лет исследования не выявлена. Показано, что дагестанская популяция *P. striiformis* характеризуется значимой временной вариабельностью. Популяция в 2023 г. существенно отличалась от популяций 2020–2022 гг., что обуславливает необходимость проведения ежегодного мониторинга.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Puccinia striiformis*, гены *Yr*, популяция, устойчивость

Благодарности: все фитопатологические исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005. Урединиообразцы *P. striiformis* собраны с образцов пшеницы, изучаемых в Дербенте, в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану 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». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Гульятеева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Абдуллаев К.М., Айдемирова З.С. Мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):204-217. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

Monitoring the virulence of the wheat yellow rust pathogen in Dagestan

Elena I. Gulyaeva¹, Ekaterina L. Shaydayuk¹, Kadyr M. Abdullaev², Zamira S. Aydemirova²¹ All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Derbentsky District, Russia**Corresponding author:** Elena I. Gulyaeva, eigulyaeva@gmail.com

Background. Yellow rust is a harmful disease of wheat. In the 2020s, it has dominated in the phytopathogenic complex at Dagestan Experiment Station of VIR, where an extensive collection of *Triticum* L. accessions is studied. An analysis of the virulence and racial composition of *Puccinia striiformis* West. forming on new and commercial wheat genotypes makes it possible to assess the situation with yellow rust in the regions of their cultivation. The objective was to monitor the virulence of the Dagestan population of *P. striiformis* in 2023 and assess the dynamics of its variability.

Materials and methods. Leaves with urediniopustules of *P. striiformis* were collected at Dagestan Experiment Station of VIR in 2023 on 30 accessions of modern domestic winter bread wheat cultivars. The differential set included 14 nearly isogenic lines of cv. 'Avocet' (AvNILs) and 15 cultivars from the European and international sets. Virulence was analyzed on 10–14-day-old seedlings (second leaf phase) according to the previously described techniques. The resistance of differentiators in the phase of adult plants under high natural disease pressure was assessed.

Results and conclusion. The genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, and *Yr26* exhibited high efficiency in the seedling and adult plant phases and are recommended for yellow rust resistance breeding. Twenty-three phenotypes (races) were identified in 2023, and only six of them were observed on two or more cultivars. Comparing the phenotypic composition in 2023 with the previous period revealed high diversity and dynamism of the Dagestan population. A total of 139 isolates were studied in 2020–2023, and 54 phenotypes (races) were isolated. No race common for all four years of the study was identified. The Dagestan population of *P. striiformis* demonstrated significant temporal variability. The population in 2023 significantly differed from those in 2020–2022. This necessitates annual monitoring of the pathogen.

Keywords: *Triticum aestivum*, *Puccinia striiformis*, *Yr* genes, population, resistance

Acknowledgements: all phytopathology and molecular genetics studies of the pathogen were supported by the Russian Science Foundation, Project No. 19-76-30005. Samples of *P. striiformis* urediniospores were collected from wheat accessions studied in Derbent within the framework of the state task assigned to 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: Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Abdullaev K.M., Aydemirova Z.S. Monitoring the virulence of the wheat yellow rust pathogen in Dagestan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):204-217. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

Введение

Желтая ржавчина (возбудитель – *Puccinia striiformis* West.) – вредоносное заболевание пшеницы. В последние годы оно прогрессирует во всем мире (Bouvet et al., 2022). Возделывание устойчивых сортов – экологически безопасный и эффективный метод борьбы с болезнью. Для успешной генетической защиты необходима информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена. Популяционно-генетические исследования проводятся во многих странах мира, в том числе и в России (Sharma-Poudyal et al., 2013; Chen et al., 2021; Volkova et al., 2021; Gulyaeva et al., 2023; Riella et al., 2024).

Особую региональную значимость желтая ржавчина представляет для Северо-Кавказского региона (Volkova et al., 2021), где она ежегодно проявляется на посевах пшеницы. В отличие от возбудителя бурой ржавчины, *P. striiformis* характеризуется более высоким генетическим разнообразием (Gulyaeva et al., 2023). В популяционных исследованиях возбудителя желтой ржавчины в США в 2005–2009 гг. изучили 86 изолятов и выделили 64 расы (Liu et al., 2017). Среди 59 изолятов в Канаде в 2011 и 2013 г. определено 33 расы (Brar, Kutcher, 2016). D. Sharma-Poudyal с соавторами (Sharma-Poudyal et al., 2013) при анализе 235 изолятов из 13 стран мира на 20 AvocetNILs определили 129 рас, а на 20 североамериканских сортах-дифференциаторах – 169 рас. Г. В. Волкова с соавторами (Volkova et al., 2021) при анализе 189 северокавказских изолятов *P. striiformis* с использованием 23 сортов-дифференциаторов из международного, европейского и североамериканского наборов в 2013–2018 гг. идентифицировали 182 расы. В исследованиях дагестанской популяции в 2020–2022 гг. среди 79 изолятов мы выделили 30 фенотипов (Gulyaeva et al., 2023).

Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* и способность распространяться на обширные территории предопределяет необходимость проведения ежегодного мониторинга популяций патогена (Hovmøller et al., 2016b). Дагестан является одним из центров природного

биоразнообразия и происхождения многих ценных форм культурных растений, на территории которого наблюдаются интенсивные микроэволюционные процессы (Zhukovsky, 1971). В частности, Южный Дагестан относится к Переднеазиатскому генцентру происхождения пшениц и их совместной эволюции с паразитами, в том числе и видами *Puccinia* Pers. В последние годы в Дагестане на образцах *Triticum* L. наблюдается ежегодное эпифитотийное развитие желтой ржавчины. Источником инфекции могут являться злаковые травы, эгилопсы и другие виды *Triticum*, произрастающие в естественных ценозах. Кроме того, возможен занос инфекции из соседнего Азербайджана, где желтая ржавчина также имеет ежегодное высокое развитие (Hasanova, Rustamov, 2019; Karimova, 2023). Подтверждением этому является обнаружение в Дагестане с 2021 г. изолятов *P. striiformis*, относящихся к инвазивной группе рас *PstS2* (Gulyaeva et al., 2023). В Азербайджане они отмечаются с 2015 г. (Hovmøller et al., 2016a).

На Дагестанской опытной станции (ОС) – филиале ВИР ежегодно изучается обширная коллекция зерновых культур и эгилопсов. Высокое генетическое разнообразие растения-хозяина обуславливает и высокую изменчивость патогенов по вирулентности. Особую актуальность представляет изучение расового состава патогена, формирующегося на современных отечественных генотипах *Triticum aestivum* L., которые в дальнейшем получат широкое внедрение в производство.

Цель данного исследования – мониторинг вирулентности дагестанской популяции *Puccinia striiformis* West. в 2023 г. и оценка динамики ее изменчивости.

Материалы и методы

Листья с урединиопустулами *P. striiformis* собраны на Дагестанской ОС ВИР в 2023 г. на 30 образцах озимой мягкой пшеницы современной российской селекции, пораженность которых желтой ржавчиной показана в таблице 1.

Таблица 1. Пораженность сортов и линий озимой пшеницы *Puccinia striiformis* West. в Дагестане в 2023 г.

Table 1. Disease severity on winter wheat cultivars and lines affected by *Puccinia striiformis* West. in Dagestan in 2023

Образец пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> / Wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Год включения в Государственный реестр РФ / Year of inclusion in the State Register of the Russian Federation	Регионы допуска / Regions of admission	Характеристика устойчивости в Реестре / Characterization of resistance in the Register	Пораженность (%) / Disease severity	Yr-гены* / Yr genes
‘Алёнушка’	2023	СВ, У	–	10	–
‘Аюта’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	–
‘Басият’	2024	ЦЧР	СВ	10	Yr9
‘Башкирская 10’	2010	ВВ, У, ЗС	–	50	–
‘Башкирская 12’	2023	СВ	–	30	–
‘Боярка’	2023	Ц	–	10	–
‘Дарина’	2017	ВВ, СВ	–	30	–

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Образец пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> / Wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Год включения в Государственный реестр РФ / Year of inclusion in the State Register of the Russian Federation	Регионы допуска / Regions of admission	Характеристика устойчивости в Реестре / Characterization of resistance in the Register	Пораженность (%) / Disease severity	Yr-гены* / Yr genes
‘ДаУР’	–	–	–	30	–
‘Заречная’	2022	ЦЧР	–	10	1AL.1RS
‘Касар 17’	–	–	–	10	–
‘Льговская 8’	2013	Ц, ЦЧР, СВ	–	10	<i>Yr18</i>
‘Люда’	2023	СК	–	100	–
‘Матрица’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	–
‘Мирабель 20’	2023	СВ, НВ, У	–	30	–
‘Морец’	2022	СК, НВ	У	10	<i>Yr18</i>
‘Московская 82’	2021	ВВ, ЦЧР	–	10	–
‘Нива Дона’	–	–	–	10	–
‘Орловская 32’	–	–	–	50	–
‘Памяти Кривобочка’	2024	СВ	–	100	–
‘Памяти Чекурова’	2023	ЗС	–	10	<i>Yr9</i>
‘Памяти Шатилова’	2021	СК	У	10	–
‘Поволжская 86’	1999	НВ, У	–	10	–
‘Приазовье’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	–
‘Рубин Дона’	2023	ЦЧР, НВ	–	10	<i>Yr9</i>
‘Студенческая Нива’	2022	СВ	–	50	<i>Yr18</i>
‘Табор’	2013	СК	У	10	–
‘Штиль’	–	–	–	10	–
‘Ювента’	–	–	–	50	–
Линия Лютесценс 21/92	–	–	–	50	–
Линия Лютесценс 316	–	–	–	30	–

Примечание: (регионы) СЗ – Северо-Западный, Ц – Центральный, ЦЧР – Центрально-Черноземный, ВВ – Волго-Вятский, СВ – Средневожский, СК – Северокавказский, У – Уральский, ЗС – Западно-Сибирский, ВС – Восточно-Сибирский; прочерк (–) – информация по устойчивости к желтой ржавчине в Государственном реестре не представлена; * – по результатам изучения во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений (Gulyaeva, Shaydayuk, 2023)

Note: (regions) СЗ – North-western, Ц – Central, ЦЧР – Central Black Earth, ВВ – Volga-Vyatka, СВ – Middle Volga, СК – North Caucasian, У – Ural, ЗС – West Siberian, ВС – East Siberian; dash (–) means that the State Register contains no information on yellow rust resistance; * – according to the results of the studies conducted at the All-Russian Research Institute of Plant Protection (Gulyaeva, Shaydayuk, 2023)

Методика проведения анализа вирулентности представлена в предыдущей публикации (Gulyaeva et al., 2023). Реанимацию споронии на сухих листьях вызывали путем раскладки их в чашки Петри. Для создания влажной камеры концы листьев прикрывали ватным валиком, смоченным в 0,004-процентном растворе бензидазола (Mikhailova et al., 1998). Чашки инкубировали в холодильнике (3–5°C). Свежее споронии наблюдали через 2–5 дней. Далее отрезки листьев с отдельными урединиопустулами привязывали с помощью пищевой пленки к 10–14-дневным растениям восприимчивого сорта 'Мичиган Амбер'. Зараженные растения инкубировали в климатической камере Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H. В течение первых суток растения находились при температуре 10°C и 100-процентной влажности без освещения. Далее пленку с инфекционным материалом снимали и использовали следующие параметры: 16 часов – день (освещение: 15 000–20 000 лк), температура – 16°C; 8 часов – ночь, температура – 10°C. Споры материала каждого монопустульного изолята собирали через 15–18 дней и далее через 3–5 дней до усыхания листьев с помощью вакуумного насоса со специальной насадкой (https://www.tallgrassproducts.com/mini_cyclone_spore_collector).

С каждого образца пшеницы анализировали по два монопустульных изолята *P. striiformis*. Ранее показано, что в мелкоделяночных опытах на Госсортучастках (ГСУ) или коллекционных посевах НИИ на одном генотипе преимущественно паразитирует одна раса. При увеличении числа монопустульных изолятов с одного сорта не наблюдали ожидаемого разнообразия (Gulyaeva et al., 2023).

При анализе вирулентности использовали 14 почти изогенных линий сорта 'Avocet' (AvNILs) и 15 сортов-дифференциаторов из европейского и международного наборов (Gulyaeva et al., 2023). Суспензией спор в малотоксичной для растений жидкости NOVEC 7100 (концентрация – 10⁶ спор/мл) опрыскивали 10–12-дневные растения дифференциаторов. Последующая инкубация выполнена по вышеописанным параметрам.

Реакцию на инокуляцию патогеном определяли по шкале G. Gassner, W. Straib (1928), где балл 0 – отсутствие симптомов; 0; – гиперчувствительные пятна; 1 – мелкие пустулы с некрозом; 2, 2; – мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – среднего размера пустулы без хлороза; 4 – крупные пустулы без хлороза; «–» и «+» – промежуточные типы реакции (McIntosh et al., 1995).

Частоты вирулентности и фенотипический (расовый) состав вычисляли для общей выборки изолятов (популяции). Всего изучено 60 монопустульных изолятов: по два изолята с каждого образца пшеницы. Как и в предыдущие годы, различия в расовом составе у изолятов на одном сорте-хозяине не выявлены. Для статистической обработки проведена клоновая коррекция (clone correction), как это рекомендовано для популяционных исследований ржавчинных грибов (Kolmer et al., 2015).

Фенотипы *P. striiformis* определяли на полном наборе тестеров вирулентности (14 AvNILs и 15 сортов-дифференциаторов) и отдельно на сортах-дифференциаторах. При обозначении рас на сортах-дифференциаторах применяли десятичную систему обозначения каждого сорта (устойчивая реакция – 0, восприимчивая – 1; соответственно первый дифференциатор 2⁰, второй 2¹, третий 2² и т. д.). Сначала указывали номер на 7 сортах из меж-

дународного набора ('Chinese 166', 'Lee', 'Heines Kolben', 'Vilmorin 23', 'Moro', 'Strubes Dickkopf', 'Suwon 92/Omar'), затем номер на 8 сортах из европейского набора с приставкой E ('Hybrid 46', 'Reichersberg 42', 'Heines Peko', 'Nord Desprez', 'Compare', 'Carstens V', 'Spaldings Prolific', 'Heines VII').

Статистическая обработка данных текущего года и сравнительный анализ с предыдущим периодом исследований выполнены в пакете программ GenAlEx.

В условиях Дагестанской ОС ВИР на естественном инфекционном фоне оценили устойчивость линий и сортов-дифференциаторов к возбудителю желтой ржавчины. Для оценки использовали модифицированную шкалу Кобба (McIntosh et al., 1995). В 2023 г. наблюдали высокое развитие *P. striiformis* на коллекционном посеве образцов *Triticum* и *Aegilops* L.: пораженность восприимчивых контролей ('Avocet S', 'Jupateco S') достигала 100%.

Результаты и обсуждение

Частоты вирулентности патогена на 29 тестерах показаны в таблице 2. Высокий уровень устойчивости показали линии AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr26* и сорт 'Moro' (*Yr10*, *YrMor*). Варьирование частот от 7 до 13% отмечено на линиях с генами *Yr1*, *Yr7*, *Yr17*, *YrSp* и сортах 'Chinese 166', 'Nord Desprez' и 'Spaldings Prolific'; от 43 до 50% – на сортах 'Carstens V', 'Hybrid 46' и 'Strubes Dickkopf' и от 77 до 100% – на других тестерах вирулентности.

Динамика вирулентности дагестанской популяции в 2020–2023 гг. показана на диаграмме (рис. 1). Высокой эффективностью характеризовались гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*, которые рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Умеренная вирулентность (9–16%) отмечена на линии с геном *Yr17*. Существенное варьирование по вирулентности выявлено на сорте 'Nord Desprez' (2020 г. – 66%, 2021–2022 гг. – 0%, 2023 г. – 9%) и линии AvNIL*Yr7* (2020 г. – 66%, 2021 г. – 16%, 2022 г. – 31%, 2023 г. – 6%). В текущем году значимое снижение вирулентности отмечено на генотипах AvNIL*Yr1*, 'Chinese 166' с *Yr1* (2023 г. – 12%, 2020–2022 гг. – 46–66%) и AvNIL*YrSp*, 'Spaldings Prolific' с *YrSp* (12% в сравнении с 53–100%). На других тестерах частоты вирулентности были стабильно высокими (50–100%), что указывает на неэффективность имеющихся у них *Yr*-генов.

Характеристики вирулентности изолятов *P. striiformis* на изученных сортах озимой мягкой пшеницы показана в таблице 3. Значительное варьирование баллов реакции наблюдали при инокуляции большинства тестеров вирулентности. Например, устойчивая реакция линии AvNIL*YrSp* варьировала от «0» (отсутствие симптомов) до «2;» (мелкие и средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом), а восприимчивая – от «2;–3» (средние пустулы с некрозом или хлорозом и без них) до 4 баллов (крупные пустулы без хлороза).

23 фенотипа (расы) определено на 29 тестерах вирулентности (табл. 4), из них шесть были представлены на двух и более сортах. Фенотип № 1 отмечен на трех сортах ('Аленушка', 'Мирабель 20', 'Морец'), фенотипы № 2–6 – на двух сортах. На остальных сортах наблюдали оригинальные фенотипы (1 сорт – 1 фенотип). Число аллелей вирулентности патогена на разных сортах варьировало от 12 ('Табор') до 19 ('Боярка', 'Памяти Чекурова').

При использовании международного набора, включающего 15 сортов-дифференциаторов, определено 20 рас, из них шесть (78E150, 78E151, 78E182, 110E150, 110E183, 111E247) отмечены на двух и более сортах.

Таблица 2. Частоты вирулентности *Puccinia striiformis* West. в Дагестане в 2023 г.**Table 2.** Virulence frequency of *Puccinia striiformis* West. in Dagestan in 2023

Линия, сорт пшеницы с Yr-генами / Wheat line or cultivar with Yr genes	Частота, % / Frequency, %
AvNILsYr5, AvNILsYr10, AvNILsYr15, AvNILsYr24, AvNILsYr26, 'Moro'	0
AvNILYr7	7
AvNILYr17, 'Nord Desprez' (Yr3, YrND, Yr+)	10
AvNILYr1, 'Chinese 166' (Yr1), AvNILYrSp, 'Spaldings Prolific' (YrSP, Yr+)	13
'Carstens V' (Yr32, Yr25, Yr+)	43
'Hybrid 46' (Yr4, Yr+)	47
'Strubes Dickkopf' (YrSD, Yr25, Yr+)	50
'Vilmorin 23' (Yr3, Yr+)	77
AvNILYr27	80
'Heines VII' (Yr2, Yr25, Yr+)	88
AvNILYr8, 'Reichersberg 42' (Yr7, Yr+)	90
'Heines Peko' (Yr2, Yr6, Yr25, Yr+), 'Compair' (Yr8, Yr19)	97
AvNILsYr6, AvNILsYr9, AvNILsYr18, 'Lee' (Yr7, Yr+), 'Suwon 92/Omar' (YrSu, Yr+), 'Heines Kolben' (Yr6, Yr2)	100
Изучено изолятов	60

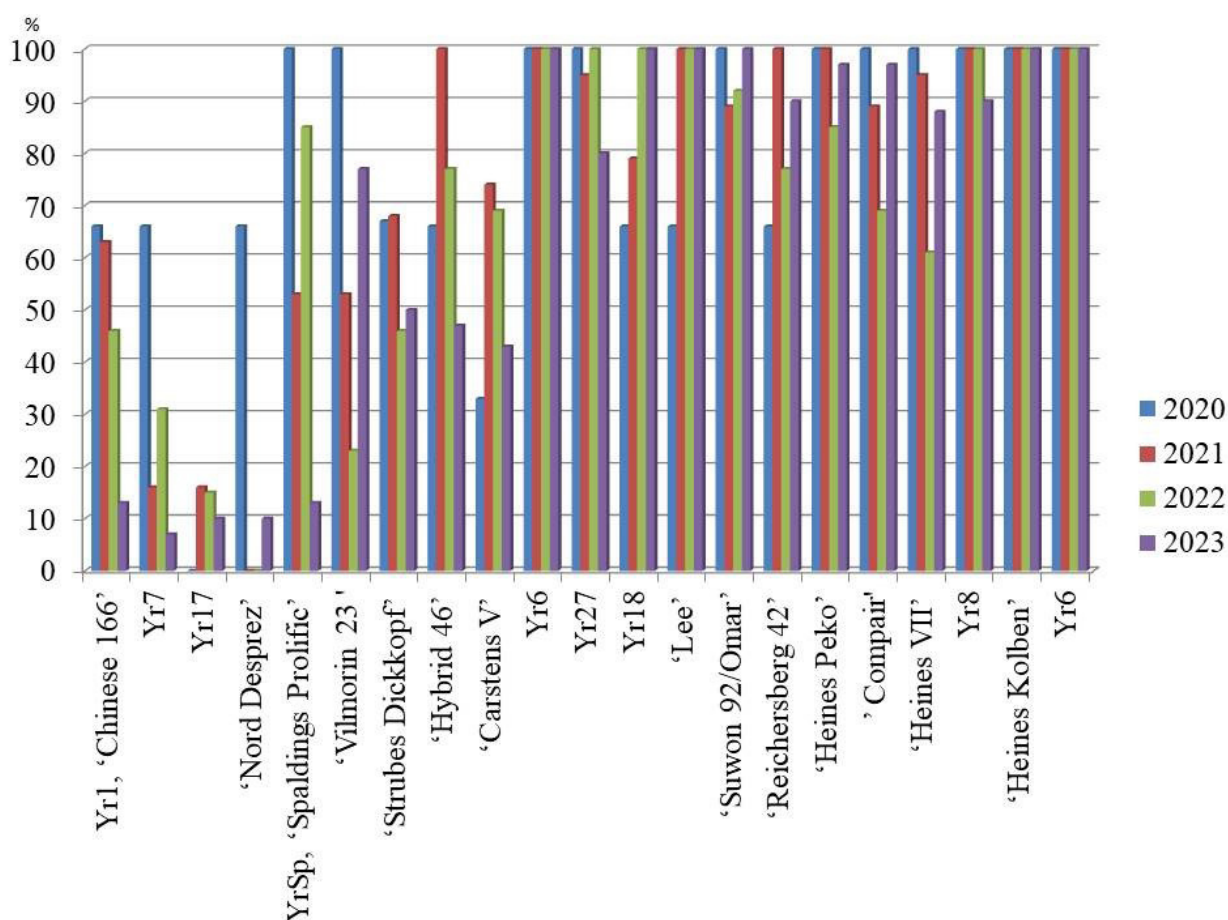
**Рис. 1.** Динамика частот вирулентности в дагестанской популяции *Puccinia striiformis* West. в 2020–2023 гг.**Fig. 1.** Dynamics of virulence frequencies in the Dagestan population of *Puccinia striiformis* West. in 2020–2023

Таблица 3. Вирулентность изолятов *Puccinia striiformis* West., собранных с сортов и линий озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2023 г.**Table 3. Virulence of *Puccinia striiformis* West. isolates collected from winter bread wheat cultivars and lines in Dagestan in 2023**

Образец мягкой пшеницы – источник инфекционного ма- териала <i>P. striiformis</i> Bread wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection ma- terial	Сорта и линии дифференциаторы / Differential cultivars and lines																
	Avocet Yr1	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr17	Avocet YrSP	Avocet Yr27	‘Chinese 166’	‘Vilmorin’	‘Strubres Dickkopf’	‘Hybrid 46’	‘Reishesberg 42’	‘Heines Peko’	‘Nord Desprez’	‘Compair’	‘Carstens V’	‘Spaldings Prolific’	‘Heines VII’
‘Алёнушка’	0	1–2;	3	0–1;	2;	3–4	0	2–3	2;	2	3–4	3–4	2;	3–4	2;–3	2;	2–3
‘Аюта’	0	1–2;	4	0–2;	0–2;	3–4	0	0–2;	3–4	3–4	4	4	2	3–4	3–4	0–2;	3–4
‘Басият’	0	2;	3	2;	0	2–3	0	2–3	2;	2	3–4	3–4	0	3–4	2–3	0	2;
‘Башкирская 10’	0	2; 3–	2;–3	0	1–2	3–4	0	2;	3–4	3–4	3–4	3–4	0–2;	2;–3	3	0–1;	2;–3
‘Башкирская 12’	3–4	0;	3	0;	0–2;	3–4	3–4	2;–3	3–4	3–4	3–4	3–4	0	3–4	0	0–2;	3–4
‘Боярка’	3–4	0–1;	2;	0;	3	3–4	3–4	3	2;–3	3	3–4	3–4	0	2–3	3–4	3	3–4
‘Дарина’	0	2;	3–4	0–1;	2;	3–4	0	2;–3	3–4	2;	3–4	0	0	3–4	0;	2;	2;–3
‘ДаУР’	0	0;	3–4	0–1;	0	0	0	3–4	3–4	2–3	3–4	3–4	2	3–4	0	0	3–4
‘Заречная’	0	0	3–4	0–1;	0	3–4	0	0;	3–4	3	0	3–4	0	3–4	0	0	3–4
‘Касар 17’	3–4	0;	3–4	0	0	3–4	3–4	3	0	0	0;	3–4	0	3–4	0;	0	0;
‘Льговская 8’	0	2; 3–	4	0	1–2	2–3	0	2;–3	0–2;	3–4	3–4	3–4	2	3–4	0	2;	2;–3
‘Люда’	0	2; 3–	3–4	0;	2;	3–4	0	3–4	0	0	3–4	3–4	0;	3–4	0	0–1;	3–4
Линия Лютесценс 21/92	0	3	3–4	0–1;	3	3–4	0	3–4	3–4	2;	3–4	3–4	2	3–4	2;	3	3–4
Линия Лютесценс 316	0	2;	3–4	0;	0	3–4	0	2–3	3–4	3–4	3–4	3–4	0–2;	3–4	3	0;	3–4
‘Матрица’	0	2;	3–4	0;	0–1;	0–2;	0	3	0	3	3–4	3–4	0–1;	3–4	0	0–1;	3–4
‘Мирабель 20’	0	2; 3–	3–4	0	2;	3–4	0	2;–3	0	0	3–4	3–4	0	3–4	2;–3	2;	3–4
‘Морец’	0	2;	3–4	0–1;	0–1	3–4	0	2–3	0–1;	2;	3–4	3–4	2;	3–4	2–3	2;	3–4
‘Московская 82’	0	2;	3–4	2;	0–1	3–4	0	2;–3	4	3	2;–3	2;	0	0–2;	2;–3	0–1;	2–3
‘Нива Дона’	0	2;	3–4	3	0–1;	3–4	0	0;	3–4	2–3	3–4	3–4	2	3–4	0;	0–1;	2;
‘Орловская 32’	0	2;	3–4	0;	2	3–4	0	3	3–4	0;	3–4	3–4	2	3–4	2;	2;	3–4

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Образец мягкой пшеницы – источник инфекционного ма- териала <i>P. striiformis</i> Bread wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection ma- terial	Сорта и линии дифференциаторы / Differential cultivars and lines																
	Avocet Yr1	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr17	Avocet YrSP	Avocet Yr27	‘Chinese 166’	‘Vilmorin’	‘Strubes Dickkopf’	‘Hybrid 46’	‘Reishesberg 42’	‘Heines Peko’	‘Nord Desprez’	‘Compair’	‘Carstens V’	‘Spaldings Prolific’	‘Heines VII’
‘Памяти Кривобочка’	0	0;	3–4	0	3	0	0	2;–3	0	0	3–4	3–4	0	3–4	2;–3	3	3–4
‘Памяти Чекурова’	3–4	0–1;	2;	0;	2–3	3–4	3–4	3–4	3–4	3–4	3–4	3–4	0	2;–3	3–4	2–3	3–4
‘Памяти Шатилова’	0	2	3–4	0	0	2	0	2;	2;	2;	3–4	3–4	2	3–4	0;	0;	3–4
‘Поволжская 86’	0	2; 3–	3–4	0–1;	2	3–4	0	2;–3	0	0	3–4	3–4	0	3–4	0	2	3–4
‘Приазовье’	0	2; 3–	3–4	0;	2;	3–4	0	2;–3	3–4	3–4	3–4	2;–3	3–4	3–4	3–4	2;	2–3
‘Рубин Дона’	0	2; 3–	3–4	3	4	3–4	0	2;	0–1;	3–4	3–4	3–4	3–4	3–4	0	4	3–4
‘Студенческая Нива’	0	0–2;	3–4	0–1;	0;	0	0	3–4	2;	0–1;	3	2–3	2	3–4	0;	0;	3–4
‘Табор’	0	2;	3–4	0–1;	2;	3–4	0	2–3	0	0	2;	3–4	0	3–4	0	2;	3–4
‘Штиль’	0	2; 3–	3–4	2–3	0	3–4	0	2;	3	0	3–4	3–4	2	3–4	3–4	0	2;
‘Ювента’	0	2; 3–	2	3	2	0–1	0	3–4	0	3–4	3–4	3–4	2–3	3–4	0	2	3

Примечание: все изоляты *P. striiformis* обуславливали балл реакции «0, 0;» на линиях AvNILsYr5, AvNILsYr10, AvNILsYr15 и сорте 'Moro'; баллы «1–2» на линиях AvNILsYr24, AvNILsYr26; баллы «3–4» на линиях AvNILsYr6, AvNILsYr9, AvNILsYr18, сортах 'Lee', 'Suwon 92/Omar', 'Heines Kolben'

Note: all isolates showed a reaction score of "0, 0;" on AvNILsYr5, AvNILsYr10, and AvNILsYr15, and on cv. 'Moro'; score "1–2" on AvNILsYr24, and AvNILsYr26; score "3–4" on AvNILsYr6, AvNILsYr9, and AvNILsYr18, and on cvs. 'Lee', 'Suwon 92/Omar', and 'Heines Kolben'

Многолетний анализ дагестанской популяции *P. striiformis* указывает на высокую динамичность ее фенотипического состава, что обусловлено высоким числом использованных сортов-хозяев и их генетическим разнообразием (2020 г. – 3 сорта, 2021 г. – 19, 2022 г. – 13, 2023 г. – 30). Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов и определено 54 фенотипа (расы). Общие расы для четырех лет исследования не выявлены. Идентичная раса обнаружена на сорте 'Граф', изучавшемся в 2021 и 2022 г., и на сорте 'Сварог' в 2021 г. Оба эти сорта генетически однородны по устойчивости к желтой ржавчине и защищены геном Yr17. Полученные сведения о высоком расовом разнообразии *P. striiformis* согласуются с аналогичными исследованиями в других странах (Sharma-Poudyal et al., 2013; Liu et al., 2017; Brar, Kutcher, 2016).

Показано, что расовый состав ржавчинных патогенов, формирующихся в условиях мелкоделяночных опытов на ГСУ и селекционных посевах, близок к тому, который будет формироваться на генотипах пшеницы при внедрении в производство (Fontyn et al., 2022). Соответственно, результаты о расовом составе патогена на районированных и перспективных сортах озимой мягкой пшеницы, полученные в данных исследованиях, позволяют оценить ситуацию с желтой ржавчиной в регионах их районирования.

Генетическое родство по признаку вирулентности между фенотипами *P. striiformis* оценивали в 2023 г. (рис. 2) и в 2020–2023 гг. (рис. 3). Несмотря на высокое фенотипическое разнообразие дагестанской популяции в 2023 г. (23 фенотипа), на многомерной диаграмме боль-

Таблица 4. Фенотипический состав *Puccinia striiformis* на сортах и линиях озимой пшеницы в Дагестане в 2023 г.**Table 4. Phenotypic composition of *Puccinia striiformis* West. on winter wheat cultivars and lines in Dagestan in 2023**

Образец пшеницы / Wheat accession	Фенотип* / Phenotype	Раса** / Race	Число аллелей вирулентности*** / Number of virulence alleles
‘Алёнушка’	№ 1	78E182	14
‘Мирабель 20’	№ 1	78E182	14
‘Морец’	№ 1	78E182	14
‘Матрица’	№ 2	78E151	13
‘Студенческая Нива’	№ 2	78E151	13
‘Льговская 8’	№ 7	78E151	15
‘Аюта’	№ 3	110E183	15
‘Башкирская 10’	№ 3	110E183	15
Лют. 316	№ 8	110E183	16
‘Люда’	№ 4	78E150	13
‘Поволжская 86’	№ 4	78E150	13
‘Дарина’	№ 5	110E150	14
‘Орловская 32’	№ 5	110E150	14
‘ДаУР’	№ 9	110E150	13
‘Боярка’	№ 6	111E247	19
‘Памяти Чекурова’	№ 6	111E247	19
‘Басият’	№ 10	78E54	13
‘Башкирская 12’	№ 11	110E10	17
‘Заречная’	№ 12	103E149	13
‘Касар 17’	№ 13	79E148	13
Лют. 21/92	№ 14	110E214	17
‘Московская 82’	№ 15	110E179	14
‘Нива Дона’	№ 16	102E22	13
‘Памяти Кривобочка’	№ 17	78E183	13
‘Памяти Шатилова’	№ 18	70E150	11
‘Приазовье’	№ 19	110E191	17
‘Рубин Дона’	№ 20	70E223	16
‘Табор’	№ 21	78E148	12
‘Штиль’	№ 22	102E54	14
‘Ювента’	№ 23	78E159	14

Примечание: * – фенотип патогена на 29 тестерах вирулентности (14 Yr-линий и 15 сортов-дифференциаторов); ** – раса, определенная по международной номенклатуре на 15 сортах-дифференциаторах; *** – при тестировании на 29 тестерах вирулентности
 Note: * – phenotype of the pathogen on 29 virulence testers (14 Yr lines and 15 differential cultivars); ** – race according to the international abbreviation on 15 differential cultivars; *** – under testing on 29 virulence testers

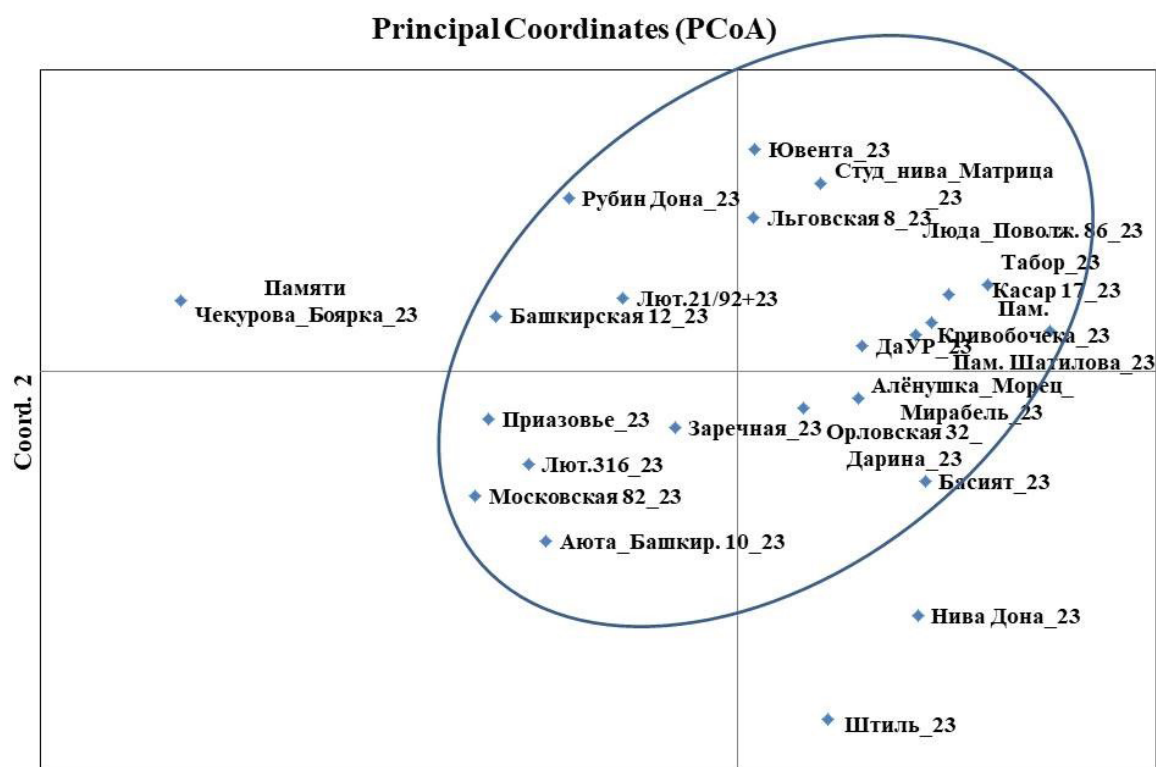


Рис. 2. Генетическое родство между фенотипами *Puccinia striiformis* West. на сортах озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2023 г.

Fig. 2. Genetic similarity among *Puccinia striiformis* West. phenotypes on winter bread wheat cultivars in Dagestan in 2023

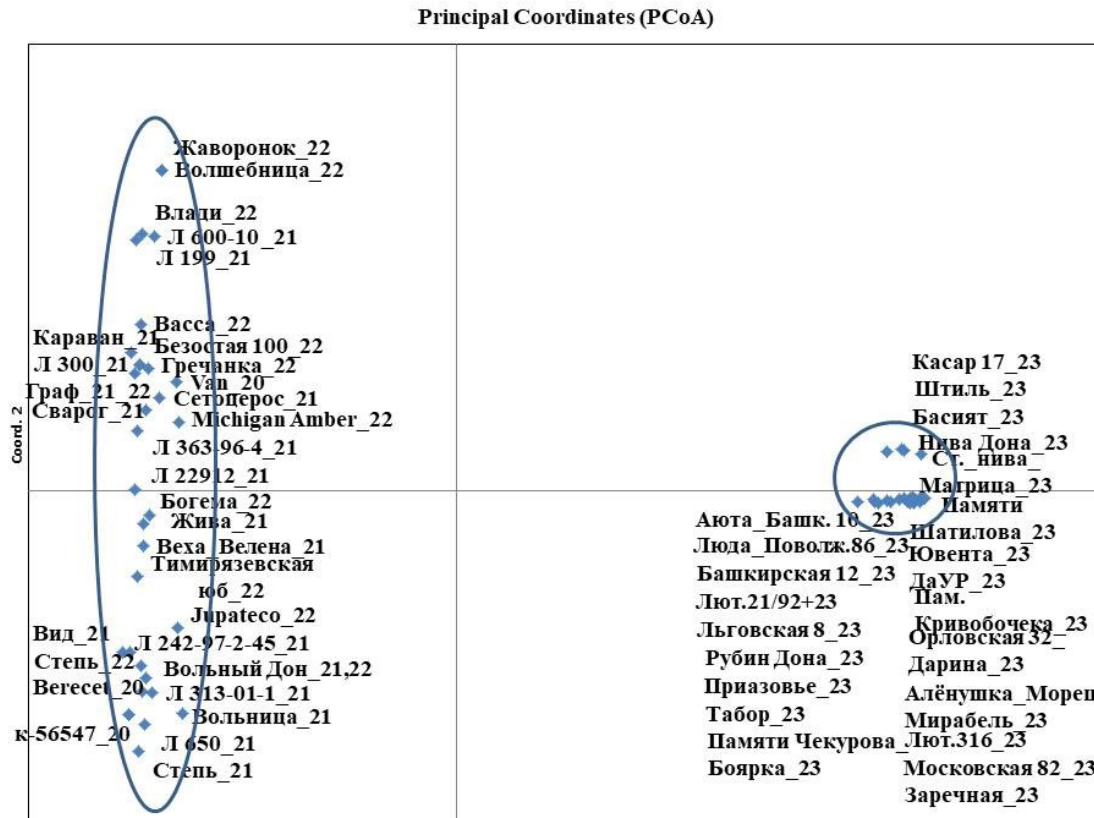


Рис. 3. Генетическое родство между фенотипами *Puccinia striiformis* West. на сортах озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2020–2023 гг.

Fig. 3. Genetic similarity among *Puccinia striiformis* West. phenotypes on winter bread wheat cultivars in Dagestan in 2020–2023

шинство из них сгруппировались в общий кластер. Три фенотипа, выявленных на сортах 'Нива Дона' (№ 16), 'Штиль' (№ 22), 'Боярка' (№ 6) и 'Памяти Чекурова' (№ 6), несколько отличались от этой группы. Фенотип № 6, идентифицированный на сортах 'Боярка' и 'Памяти Чекурова', характеризовался максимальным числом аллелей вирулентности (19). Основным его отличием от других являлась авирулентность к *Yr8* и вирулентность к *Yr1* и *YrSp*. Фенотипы гриба с сортов 'Нива Дона' и 'Штиль' имели 13 и 14 аллелей вирулентности соответственно. Между собой они различались вирулентностью к дифференциатору 'Carstens V'.

Генетическое родство между 54 фенотипами, обнаруженными в 2020–2023 гг., показано на рисунке 3. На диаграмме они разделились на две группы. Первая включала все фенотипы 2020–2022 гг., которые в разной степени отличались друг от друга. Вторая группа объединила все фенотипы 2023 г. Полученные результаты указыва-

ют на высокую динамичность дагестанской популяции *P. striiformis*, что обуславливает необходимость проведения ежегодного мониторинга расового состава.

В 2023 г. на естественном инфекционном фоне оценили устойчивость к желтой ржавчине линий и сортов-дифференциаторов. Как и в предыдущие годы (Gulyazeva et al., 2023), симптомы поражения отсутствовали на линиях *AvNILsYr5*, *AvNILsYr10*, *AvNILsYr15* и сортах 'Moro', 'Compare', 'Carstens' и 'Spaldings Prolific'. На сортах 'Vilmorin 23', 'Heines Peko' и 'Nord Desprez' отмечено поражение только нижнего яруса листьев (5–10%); флаговый и предфлаговый листья были свободны от инфекции. Единичные пустулы (1%) наблюдали на линии *AvNILsYr7*. Развитие болезни от 10 до 20% наблюдали на *AvNILsYr1*, *AvNILsYr7*, *AvNILsYr18*, *AvNILsYrSp*, 'Heines VII' и 'Chinese 166' и 30% на 'Suwon 92/Omar'. Высокое поражение (70–100%) отмечено для всех других дифференциаторов (табл. 5).

Таблица 5. Пораженность линий и сортов дифференциаторов пшеницы возбудителем желтой ржавчины в Дагестане в 2023 гг.

Table 5. Yellow rust severity on *Yr* lines and differential cultivars of wheat in Dagestan in 2023

<i>Yr</i> -ген(ы) / <i>Yr</i> gene (genes)	Линия (сорт) с геном <i>Yr</i> / Line (cultivar) with the <i>Yr</i> gene	Пораженность, % / Disease severity, %
<i>Yr1</i>	<i>Yr1/6</i> *Avocet S	15
<i>Yr5</i>	<i>Yr5/6</i> *Avocet S,	0
<i>Yr6</i>	<i>Yr6/6</i> *Avocet S	100
<i>Yr7</i>	<i>Yr7/6</i> *Avocet S,	20
<i>Yr8</i>	<i>Yr8/6</i> *Avocet S	1
<i>Yr9</i>	<i>Yr9/6</i> *Avocet S	100
<i>Yr10</i>	<i>Yr10/6</i> *Avocet S	0
<i>Yr15</i>	<i>Yr15/6</i> *Avocet S	0
<i>Yr17</i>	<i>Yr17/6</i> *Avocet S	10
<i>Yr18</i>	<i>Yr18/6</i> *Avocet S	5
<i>Yr24</i>	<i>Yr24/6</i> *Avocet S	0
<i>YrSp</i>	<i>YrSP/6</i> *Avocet S	15
<i>Yr27</i>	<i>Yr27/6</i> *Avocet S,	0
<i>Yr1</i>	'Chinese 166'	15
<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>	'Lee'	70
<i>Yr6</i> , <i>Yr2</i>	'Heines Kolben'	70
<i>Yr3</i> , <i>Yr+</i>	'Vilmorin 23'	10/0*
<i>Yr10</i> , <i>YrMor</i>	'Moro'	0
<i>YrSD</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>	'Strubes Dickkopf'	5/0*

Таблица 5. Окончание

Table 5. The end

Yr-ген(ы) / Yr gene (genes)	Линия (сорт) с геном Yr / Line (cultivar) with the Yr gene	Пораженность, % / Disease severity, %
YrSu, Yr+	'Suwon 92/Omar'	30
Yr4, Yr+	'Hybrid 46'	5
Yr7, Yr+	'Reichersberg 42'	1
Yr2, Yr6, Yr25, Yr+	'Heines Peko'	5/0*
Yr3, YrND, Yr+	'Nord Desprez'	5/0*
Yr8, Yr19	'Compare'	0
Yr32, Yr25, Yr+	'Carstens V'	0
YrSP, Yr+	'Spaldings Prolific'	0
Yr2, Yr25, Yr+	'Heines VII'	5
Восприимчивый контроль	'Jupateco S'	100

Примечание: числитель – пораженность нижнего яруса; знаменатель – пораженность флагового и предфлагового листьев

Note: numerator is the disease severity on the lower tier; denominator is the disease severity on flag and preflag leaves

Заключение

В последние годы возбудитель желтой ржавчины доминирует на коллекционных посевах пшеницы и ее диких родичей на Дагестанской опытной станции ВИР. Это предопределило проведение ежегодного анализа вирулентности *P. striiformis*, который начали в 2020 г. В 2023 г. изучено 60 монопустульных изолятов гриба и среди них определено 23 фенотипа вирулентности. Только шесть фенотипов встречались на двух и более сортах, остальные были оригинальными, то есть отмечены только на одном сорте. Несмотря на высокое фенотипическое разнообразие, анализ главных координат (PCoA) не выявил существенных различий между ними, что указывает на существование единой клональной популяции на этой территории.

Сравнительный анализ фенотипического состава в 2020–2022 гг. и 2023 г. выявил высокое разнообразие и динамичность дагестанской популяции патогена. Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов гриба и определены 54 фенотипа (расы). Общие расы за четыре года исследований не обнаружены. Образцы *P. striiformis* в 2023 г. существенно отличались от изученных в 2020–2022 гг., что указывает на необходимость проведения ежегодного мониторинга.

За четырехлетний период проанализирован инфекционный материал *P. striiformis*, собранный с 67 образцов *Triticum*, среди которых доминировали российские районированные и перспективные сорта озимой мягкой пшеницы. Показано, что расовый состав, формирующийся на генотипах пшеницы в коллекционных посевах НИИ и на ГСУ, сходен с тем, что будет встречаться в производственных посевах. Результаты анализа вирулентности, полученные в данных исследованиях, могут служить основой для прогноза ситуации с желтой ржавчиной в регионах возделывания данных сортов.

Высокой эффективностью в фазе проростков и взрослых растений характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*. Доноры этих Yr-генов могут быть рекомендованы для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Отмечается нарастание частоты вирулентности к ранее эффективному гену *Yr17*, встречаемость которого у новых российских сортов озимой и яровой мягкой пшеницы заметно возросла. Многолетний анализ вирулентности популяции *P. striiformis* указывает на ограниченный потенциал дифференциаторов с известными Yr-генами для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине в России, что определяет необходимость расширения исследований по поиску новых доноров устойчивости к желтой ржавчине.

References / Литература

- Bouvet L., Holdgate S., James L., Thomas J., Mackay I.J., Cockram J. The evolving battle between yellow rust and wheat: implications for global food security. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(3):741-753. DOI: 10.1007/s00122-021-03983-z
- Brar G.S., Kutcher H.R. Race characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the cause of wheat stripe rust, in Saskatchewan and Southern Alberta, Canada and virulence comparison with races from the United States. *Plant Disease*. 2016;100(8):1744-1753. DOI: 10.1094/PDIS-12-15-1410-RE
- Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P.F. et al. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021;43 Suppl 2:308-322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
- Fontyn C., Zippert A.C., Delestre G., Marcel T.C., Suffert F., Goyeau H. Is virulence phenotype evolution driven exclusively by *Lr* gene deployment in French *Puccinia tritici*?

- cina populations? *Plant Pathology*. 2022;71(7):1511-1524. DOI: 10.1111/ppa.13599
- Gassner G., Straib W. Untersuchungen über die Infektionsbedingungen von *Puccinia glumarum* und *Puccinia graminis*. *Arbeitsergebnissen der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 1928;16(4):609-629. [in German]
- Gultyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust. *Plants (Basel)*. 2023;12(19):3471. DOI: 10.3390/plants12193471
- Gultyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Smirnova R.E., Abdullaev K.M., Kurkiev K.U. Virulence diversity of the yellow rust pathogen population in Dagestan. *Proceedings of Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):190-204. [in Russian] [Гульятеева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Смирнова Р.Е., Абдуллаев К.М., Куркиев К.У. Разнообразие дагестанской популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы по вирулентности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):190-204]. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-190-204
- Hasanova G.M., Rustamov Kh.N. Influence of yellow rust on quality indicators of bread wheat grain (*T. aestivum* L.). *Agrarian science*. 2019;(1):158-161. [in Russian] [Гасанова Г.М., Рустамов Х.Н. Влияние желтой ржавчины на показатели качества зерна пшеницы мягкой (*T. aestivum* L.). *Аграрная наука*. 2019;(1):158-161]. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-158-161
- Hovmøller M.S., Rodriguez-Algaba J., Hansen J.G. Report for *Puccinia striiformis* race analyses 2015, Global Rust Reference Center (GRRRC). Aarhus University, Flakkebjerg, Dk-4200 Slagelse, Denmark. Aarhus: Aarhus University; 2016a. Available from: https://agro.au.dk/fileadmin/Summary_of_Puccinia_striiformis_race_analysis_2015.pdf [accessed Feb. 06, 2025].
- Hovmøller M.S., Walter S., Bayles R.A., Hubbard A., Flath K., Sommerfeldt N. et al. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology*. 2016b;65(3):402-411. DOI: 10.1111/ppa.12433
- Karimova A.M. Phytopathological assessment of Azerbaijan origin bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against yellow rust. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(5):16-23. [in Russian] [Каримова А.М. Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) азербайджанского происхождения. *Аграрный научный журнал*. 2023;(5):16-23]. DOI: 10.28983/asj.y2023i5pp16-23
- Kolmer J.A., Kabdulova M.G., Mustafina M.A., Zhemchuzhina N.S., Dubovoy V. Russian populations of *Puccinia triticina* in distant regions are not differentiated for virulence and molecular genotype. *Plant Pathology*. 2015;64(2):328-336. DOI: 10.1111/ppa.12248
- Liu T., Wan A., Liu D., Chen X. Changes of races and virulence genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the wheat stripe rust pathogen, in the United States from 1968 to 2009. *Plant Disease*. 2017;101(8):1522-1532. DOI: 10.1094/PDIS-12-16-1786-RE
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. Dordrecht: Kluwer; 1995.
- Mikhailova L.A., Gultyaeva E.I., Mironenko N.V. Methods for studying the structure of populations of the leaf rust causative agent (Metody issledovaniy struktury populyatsii vzbuditelya buroy rzhavchiny pshenitsy). In: *Collection of Plant Protection Guidelines (Sbornik metodicheskikh rekomendatsiy po zashchite rasteniy)*. St. Petersburg: VIZR; 1998. p.105-126. [in Russian] [Михайлова Л.А., Гульятеева Е.И., Мироненко Н.В. Методы исследований структуры популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы. В кн.: *Сборник методических рекомендаций по защите растений*. Санкт-Петербург: ВИЗР; 1998. С.105-126].
- Mini Cyclone Spore Collector. Tallgrass Solutions Inc.: [website]. Available from: https://www.tallgrassproducts.com/mini_cyclone_spore_collector [accessed Feb. 06, 2025].
- Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M.S. et al. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America. *Plant Disease*. 2024;108(8):2454-2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
- Sharma-Poudyal D., Chen X.M., Wan A.M., Zhan G.M., Kang Z.S., Cao S.Q. et al. Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease*. 2013;97(3):379-386. DOI: 10.1094/pdis-01-12-0078-re
- Volkova G.V., Kudina O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. *Phytopathologia Mediterranea*. 2021;60(1):119-127. DOI: 10.36253/phyto-12396
- Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives: systematics, geography, cytogenetics, immunity, ecology, origin, utilization (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi: sistematika, geografiya, tsitogenetika, immunitet, ekologiya, proiskhozhdeniye, ispolzovaniye). 3rd ed. Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] [Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи: систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование. 3-е изд. Ленинград: Колос; 1971].

Информация об авторах

Елена Ивановна Гульятеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eigultyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Екатерина Львовна Шайдаюк, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Кадыр Магомедгаджиевич Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, abdullaev.km1950@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5095-1291>

Замира Сейдуллаевна Айдемирова, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, zamira.aidemirova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3573-057X>

Information about the authors

Elena I. Gulyaeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eigulyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Ekaterina L. Shaydayuk, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Kadyr M. Abdullaev, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District 368612, Republic of Dagestan, Russia, abdullaev.km1950@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5095-1291>

Zamira S. Aydemirova, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District 368612, Republic of Dagestan, Russia, zamira.aidemirova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3573-057X>

Вклад авторов: Гульяева Е. И. – концептуализация; методология; фитопатологические исследования; статистическая обработка данных; подготовка статьи. Шайдаюк Е. Л. – фитопатологические исследования; статистическая обработка данных; сбор инфекционного материала *P. striiformis*; подготовка статьи. Абдуллаев К. М., Айдемирова З. С. – изучение мировой коллекции мягкой пшеницы ВИР по устойчивости к болезням; сбор инфекционного материала *P. striiformis*; оценка устойчивости сортов и линий с *Yr*-генами в полевых условиях.

Contribution of the authors: Gulyaeva E. I. – conceptualization; methodology; phytopathological research; statistical data processing; writing of the article. Shaydayuk E. L. – phytopathological research; statistical data processing; collecting of *P. striiformis* infectious material; preparation of the article. Abdullaev K. M., Aydemirova Z. S. – screening of the global bread wheat collection from VIR for disease resistance; collecting of *P. striiformis* infectious material; assessment of the resistance in lines with *Yr* genes in the field.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 23.04.2025. The article was submitted on 05.02.2025; approved after reviewing on 18.04.2025; accepted for publication on 23.04.2025.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.11:631.527:632.4

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227



Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья

Б. Б. Наджодов^{1,2}, В. С. Рубец^{2,3}

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия

³ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Бобурджон Баходурович Наджодов, boburnajodov@gmail.com

Актуальность. Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур в мире. В условиях центрального района Нечерноземной зоны России значительную угрозу для урожая представляет мучнистая роса (возбудитель – *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer.), что обуславливает актуальность селекции устойчивых сортов для обеспечения стабильной урожайности и качества зерна. Цель исследования – выявление сортов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения с высокой устойчивостью к мучнистой росе для последующего использования в селекции.

Материалы и методы. Исследования проводили на естественном инфекционном фоне на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева с 2022 по 2024 г. Материалом для исследования послужили 43 образца яровой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции. В качестве стандарта использовался районированный сорт 'Злата'. Площадь делянки – 1 м², повторность трехкратная. В течение вегетации осуществляли фенологические наблюдения и оценку устойчивости растений к мучнистой росе. Использовали балловую шкалу, где 1 балл соответствует восприимчивости (S), 3 балла – умеренной восприимчивости (MS), 5 баллов – умеренной устойчивости (MR), 7–9 баллов – высокой устойчивости (R) растений. Делянки убирали вручную, обмолот осуществляли на сноповой молотилке МПТУ-500, учет урожайности – путем взвешивания. Результаты обрабатывали однофакторным дисперсионным и корреляционным анализами.

Результаты и заключение. Корреляционный анализ выявил умеренную положительную связь ($r = 0,49^{**}$) между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе. Выделены образцы с высокой устойчивостью к болезни: 'Саратовская 74', 'Симбирцит', 'Ласка', 'Мандарина', 'Агата', 'Фаворит' и линии № 23, № 70 и № 215. Урожайность резистентных сортов 'Симбирцит' и 'Мандарина' за годы изучения превышала продуктивность районированного сорта 'Злата'. Эти образцы рекомендуется использовать в селекции устойчивых сортов яровой пшеницы.

Ключевые слова: мягкая пшеница, сорт, образец, *Blumeria graminis*, корреляционный анализ, генетические источники устойчивости

Благодарности: работа выполнена при поддержке стипендиальной программы Правительства РФ для иностранных аспирантов.

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

Для цитирования: Наджодов Б.Б., Рубец В.С. Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):218-227. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew under the conditions of the Central Non-Black-Earth RegionBoburjon B. Najodov^{1,2}, Valentina S. Rubets^{2,3}¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia² All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia³ Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**Corresponding author:** Boburjon B. Najodov, boburnajodov@gmail.com

Background. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the world's most important food crops. In the central area of Russia's Non-Black-Earth Region, powdery mildew (caused by *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer) poses a significant threat to yield. This underscores the importance of breeding resistant cultivars to ensure stable grain production and quality. The objective of this study was to identify spring bread wheat cultivars of diverse ecogeographic origin with high resistance to powdery mildew for their subsequent use in breeding programs.

Materials and methods. The study was conducted from 2022 to 2024 under natural infection conditions at the Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The study included 43 spring bread wheat accessions from both Russian and international breeding programs. The zoned cv. 'Zlata' served as a reference. Experiments were performed on 1 m² plots, with three replications. Throughout the growing season, phenological observations were made and powdery mildew resistance was assessed using a 9-point scale, where 1 point indicated susceptibility (S); 3 points, moderate susceptibility (MS); 5 points, moderate resistance (MR); and 7–9 points, high resistance (R). Harvesting was done manually, threshing was performed using an MPTU-500 bundle thresher, and yield was recorded by weight.

Results and conclusion. The correlation analysis revealed a moderate positive relationship ($r = 0.49^{**}$) between yield and powdery mildew resistance. Accessions with high resistance to the disease were selected: 'Saratovskaya 74', 'Simbirtsit', 'Laska', 'Mandarina', 'Agata', 'Favorit', and lines Nos. 23, 70 and 215. The yield of the resistant cvs. 'Simbirtsit' and 'Mandarina' over the years of study exceeded the productivity of the zoned cv. 'Zlata'. These accessions are recommended for use in breeding programs aimed at developing resistant spring wheat cultivars.

Keywords: bread wheat, cultivar, accession, *Blumeria graminis*, correlation analysis, genetic resistance sources

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Government Scholarship Program for International PhD students. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Najodov B.B., Rubets V.S. Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew under the conditions of the Central Non-Black-Earth Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):218-227. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

Введение

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из самых распространенных культур в мире, используемых для получения продовольствия и кормов для животных. Благодаря своей универсальности и высокой питательной ценности, яровая пшеница выращивается на больших площадях во многих странах, включая Россию, где ее посевы составляют значительную часть сельскохозяйственного производства (Sheshegova et al., 2023).

По урожайности яровая пшеница уступает озимой, однако превосходит ее по качеству (Najodov, 2024). Существенный урон сбору зерна наносят болезни. Одной из наиболее распространенных из них является мучнистая роса. Возбудителем болезни является биотрофный гриб (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer.), распространяющийся воздушно-капельным путем и широко встречающийся в регионах выращивания пшеницы (Li et al., 2024; Wang et al., 2024).

По литературным данным, к настоящему времени известно более 100 аллелей устойчивости к мучнистой росе в 69 локусах (*Pm1–Pm69*). Большинство генов доминантны и экспрессируются на протяжении всего онтогенеза растений (Maruranga et al., 2022). С момента идентификации первого гена устойчивости *Pm1* в 1952 г. было последовательно выявлено и официально каталогизировано 69 генов *Pm* (McIntosh et al., 2020; He et al., 2021; Li et al., 2023). Однако до сих пор лишь 16 из этих генов клонированы (Li et al., 2024). В открытом доступе отсутствует единая база данных, систематизирующая информацию по этой болезни аналогично ресурсам, посвященным различным видам ржавчины (McIntosh

et al., 2020). Это может затруднять поиск данных о генах устойчивости у конкретных сортов, особенно при отборе исходного материала для создания гибридных популяций.

Общеизвестно, что наиболее выгодным и экологически безопасным способом борьбы с болезнью является создание новых устойчивых сортов. Однако устойчивость с течением времени утрачивается из-за появления новых агрессивных рас *B. graminis*, что обусловлено высокой генетической изменчивостью возбудителя, который за год может образовывать несколько генераций в форме вегетативных конидий, а также аскоспор. Это требует от селекционеров активного поиска новых эффективных генов устойчивости к мучнистой росе для их введения в новые сорта (Lebedeva, Zuev, 2015).

Целью данного исследования было выявление сортов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения с высокой устойчивостью к мучнистой росе для последующего использования в селекционной работе.

Материалы и методы

В исследование включили 43 образца яровой мягкой пшеницы, созданных в различных научно-исследовательских учреждениях России и мира (табл. 1). В качестве умеренно восприимчивого (MS) стандарта использовали сорт 'Злата' селекции ФИЦ «Немчиновка». Изученные сорта находятся в двух базах данных: паспортной базе данных генетических ресурсов растений ВПР (<http://91.151.189.38:8080/virdb/maindb>) и Информационной системе генетических ресурсов пшеницы и тритикале GRIS (<http://www.wheatpedigree.net>).

Таблица 1. Происхождение сортов и линий пшеницы, используемых в исследовании

Table 1. Origin of wheat cultivars and lines used in the study

№ по каталогу ВПР и СИММУТ	Страна	Родословная / гибридная комбинация
'Злата' (st) (к-66013)	Россия	F4 ('Иволга' × 'Прохоровка')
'Саратовская 74' (к-65139)	Россия	('Саратовская 68' × 'Альбидум 2093') × ('Альбидум 2093' × 'Саратовская 70')
'Агата' (к-66004)	Россия	'Артемовка' × 'Мильтурум 63'
'Тулайковская 108' (к-65452)	Россия	'Тулайковская Белозерная' × 'Лютесценс 1222'
'Симбирцит' (к-64548)	Россия	('Крестьянка' × 'Ишеевская') × Л 503
'Тюменская 29' (к-65247)	Россия	БТ-34 × 'Лютесценс 70'
'Обская 2' (к-65846)	Россия	'Новосибирская 20' × 'Тулайковская 10'
'Тобольская' (к-66414)	Россия	Лютесценс 123/с × 'Омская 20'
'Алтайская Жница' (к-64851)	Россия	'Комсомольская 90' × 'Лютесценс 281'
'Маргарита' (к-64851)	Россия	Линия (550/93 × 368/91)
'Учитель' (к- 64645)	Россия	('Оренбургская 1' × 'Целиноградка') × ('Московская 35' × 'Леукоспермум 51') × 'Оренбургская 7'
'Фаворит' (к-64998)	Россия	'Лютесценс 2033' × 'Белянка'
'Гранни' (к-64700)	Чехия	line U236g × winter wheat – line 513
'Тризо' (к-64981)	Германия	'Kadett' × 'Weihenstephan Stamm'
'Ирень' (к-62633)	Россия	'Иргина' × 'Красноуфимская 90'
'Бомбона' (к-65254)	Польша	–

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР и CIMMYT	Страна	Родословная / гибридная комбинация
Л-57 (линия)	Россия	Л503 × 'Жозефина'
'Ласка' (к-66421)	Беларусь	F-2498-W-1-2 × Obrill
'Арабелла' (к-67334)	Польша	CSw38337 × КОС 1284
'Гранова' (к-67159)	Россия	Индивидуальный отбор из сорта 'Гранни'
'Мандарина'	Польша	–
Золушка (линия)	Россия	–
'Канюк' (к-64851)	Франция	'Belvoir' × ['Mexikaner' × 'Sappo'] × 'Sokrates'
Линия № 23	CIMMYT	Gle*2//PBW343*2/Tukuru
Линия № 35	CIMMYT	Long Chun 15*2/4/Croc1/Ae. squarrosa (224) //Yaco/3/Munia
Линия № 59	CIMMYT	Gle//Prl/2*Pastor/3/Omskaya 33
Линия № 65	CIMMYT	Croc1/Ae. squarrosa (205)/ Kauz/3/Sasia/4/Chuan Mai 28
Линия № 66	CIMMYT	Lutescens 258.92.3/Gle
Линия № 67	CIMMYT	Pavlodarskaya 93/Sunstate
Линия № 70	CIMMYT	Sonata/Vorb.
Линия № 79	CIMMYT	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
Линия № 147	CIMMYT	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
Линия № 150	CIMMYT	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 151	CIMMYT	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 152	CIMMYT	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 153	CIMMYT	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee
Линия № 178	CIMMYT	Omskaya 37/5/Seri*3//RI 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
Линия № 187	CIMMYT	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/Ae. squarrosa
Линия № 215	CIMMYT	53.94.98.2/3/T. dicoccum PI 94625/Ae. squarrosa
Линия № 217	CIMMYT	Fiton42/3/T. dicoccum PI94625/Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.9
Линия № 220	CIMMYT	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия № 221	CIMMYT	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Образцы пшеницы высевали на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в 2022–2024 гг. (55°50'14" с. ш., 37°33'11" в. д., высота над уровнем моря 160 м). Агротехника – общепринятая для зоны. Посев – кассетной селекционной сеялкой СКС-6-10, площадь деланки – 1 м², повторность трехкратная, размещение систематическое (Dospekhov, 1985). Полевые наблюдения включали оценку устойчивости образцов пшеницы к мучнистой росе на естественном инфекционном фоне в центральном районе Нечерноземной зоны (ЦРНЗ). Устойчивость оценивали в фазу колошения, а затем – во время цветения согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции пшеницы (Dorofeev et al., 1977; Merezko, 1999; Krivchenko et al., 2008). Использовали балловую шкалу, где 1 балл (очень низкая устойчивость) означал сильное поражение (более 50–100% пораженной поверхности листа), 3 балла (низкая устойчивость) – силь-

ное поражение (50%), 5 баллов (средняя устойчивость) – среднее поражение (20–30%), 7 баллов (высокая устойчивость) – слабое поражение (10–20%), а 9 баллов (очень высокая устойчивость) означал отсутствие поражения (0%). Образцы, поражение которых составляло 7–9 баллов, считали высокоустойчивыми (R), 5 баллов – умеренно устойчивыми (MR), 3 балла – умеренно восприимчивыми (MS), 1 балл – восприимчивыми (S) (Lebedeva et al., 2023). Уборку проводили вручную, обмолот – на сноповой молотилке. Учет урожая осуществляли путем взвешивания зерна, полученного с каждой деланки (площадью 1 м²) отдельно. Среднюю урожайность рассчитывали на основе трех повторностей для каждой деланки. Статистическая обработка данных выполнена с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для обработки данных и визуализации графиков использовали язык программирования R версии 4.4.2.

Результаты и обсуждение

Метеорологические условия, сложившиеся в период вегетации яровой пшеницы, существенно влияют на степень поражения растений мучнистой росой. Известно, что возбудитель сильнее поражает растения, ослабленные стрессовыми факторами. Высокая влажность воздуха (в виде осадков или росы) способствует инокуляции растений. Таким образом, анализ погодных условий в годы исследований позволяет выявить провокационные факторы, связанные с влажностью и температурным режимом, которые либо способствовали, либо препятствовали развитию мучнистой росы в исследуемых посевах яровой пшеницы.

В 2022 г. посев провели 5 мая. Метеорологические условия способствовали хорошему начальному росту растений пшеницы – среднесуточная температура была умеренной при хорошем увлажнении (рис. 1). В результате растения сформировали достаточно большую вегетативную массу, смогли сформировать боковые побеги. В начале фазы «выход в трубку» температура повысилась при достаточном увлажнении. Первое проявление мучнистой росы зафиксировали на восприимчивых сортах в фазе выхода в трубку. Фазы «колошение» и «цветение» проходили при практически полном отсутствии осадков на фоне повышенных среднесуточных температур, что ускорило развитие растений, сократило период цветения. Заболевание продолжало развиваться на фазах колошения и цветения, что связано с отсутствием осадков и благоприятными среднесуточными температурами, которые способствовали формированию провокационного фона. Быстрота прогрессирования патогена зависела от устойчивости сортов: на восприимчивых сортах развитие болезни шло быстрее, чем на устойчивых.

Поражение восприимчивых образцов в 2022 г. составляло 1–3 балла. Сорт 'Злата' характеризовался умеренной устойчивостью (5 баллов). На уровне устойчивости стандарта находились следующие образцы: 'Тулайковская 108', 'Тобольская', 'Алтайская Жница', 'Маргарита', 'Гранни', 'Тризо', 'Ирень', Л-57 (линия), 'Гранова', линии № 59, № 67, № 147, № 151, № 153 и № 223. Образцы 'Учитель', Золушка (линия), линии № 35, № 66, № 79, № 152 и № 217 продемонстрировали более высокую степень поражения (1–3 балла), что указывает на их восприимчивость к мучнистой росе. В то же время высокую устойчивость (7 баллов) показали образцы 'Саратовская 74', 'Агата', 'Обская 2', 'Фаворит', 'Канюк', линии № 23, № 150, № 178, № 187, № 215 и № 221. Максимальную устойчивость (иммунитет, 9 баллов) проявили образцы 'Симбирцит', 'Тюменская 29', 'Бомбона', 'Ласка', 'Арабелла', 'Мандарина', линии № 65, № 70 и № 220 (табл. 2).

В 2023 г. посев произвели 22 апреля, что позволило эффективно использовать тепловые ресурсы ранней весны. Умеренное увлажнение и достаточная теплообеспеченность способствовали дружным всходам. Однако в мае вегетация проходила в условиях значительного дефицита осадков, что привело к ускоренному развитию растений, сокращению листовой поверхности, уменьшению количества элементов продуктивности колоса и снижению высоты растений (см. рис. 1). Выпавшие осадки в фазу колошения не смогли улучшить ситуацию. Цветение растений проходило в условиях засухи при умеренной температуре. Во второй и третьей декадах июля количество осадков превысило среднегодовое значение более чем в два раза, сопровождаясь уме-

ренной температурой. Эти условия привели к образованию большого числа боковых побегов, которые развивались несвоевременно и ослабляли основные стебли растений. В результате пластические вещества, предназначенные для формирования зерна, были перераспределены на развитие боковых побегов. К моменту уборки боковые побеги находились в фазе цветения и не внесли вклада в формирование урожая, который оказался очень низким. Такие метеорологические условия можно охарактеризовать как провокационные, так как они могли способствовать развитию мучнистой росы. В 2023 г. первые признаки поражения мучнистой росой зафиксировали в фазу колошения на сортах с низкой устойчивостью (1–3 балла). В фазе цветения наблюдалось увеличение степени поражения, особенно в условиях повышенной влажности и умеренных температур. На сортах со средней устойчивостью (5 баллов) симптомы проявлялись позже и были менее выраженными. Максимальную устойчивость (9 баллов) продемонстрировали 'Саратовская 74', 'Агата', 'Тулайковская 108', Л-57 (линия), 'Арабелла', 'Гранова', 'Мандарина' и линия № 70, поражение которых не отмечалось в течение всего периода вегетации (см. табл. 2).

В 2024 г. посев состоялся 29 апреля, после чего наблюдалось резкое понижение температуры с осадками в виде снега (см. рис. 1). Это задержало появление всходов на две недели. Дальнейшая вегетация растений проходила в условиях засухи, что ускорило развитие растений яровой пшеницы, аналогично 2023 г. Выпавшие впоследствии в фазы колошения и цветения чрезмерно обильные осадки при повышенных среднесуточных температурах создали хорошие условия для болезней, что, в частности, спровоцировало активное развитие комплекса грибных патогенов: септориоза, фузариоза и различных видов ржавчины (желтой, листовой и стеблевой). Распространение мучнистой росы в 2024 г. было менее значительным в сравнении с предыдущими годами изучения. Это может быть связано с высокой среднесуточной температурой в первой и второй декадах июля, а также с конкурентным взаимодействием с другими видами фитопатогенных грибов.

На основе данных 2024 г., наиболее пораженными (3 балла) оказались Золушка (линия), линии № 150 и № 223, что указывает на их высокую восприимчивость к местным расам мучнистой росы и ограничивает их использование в регионах с повышенным инфекционным фоном (см. табл. 2). Иммуитет к мучнистой росе (9 баллов) продемонстрировали 18 образцов яровой мягкой пшеницы. Высокую устойчивость (7 баллов) наблюдали у образцов 'Агата', 'Гранова', 'Мандарина', 'Канюк', линий № 59, № 178, № 215 и № 221. Умеренную устойчивость (5 баллов) проявили 'Тулайковская 108', 'Тюменская 29', 'Обская 2', 'Алтайская Жница', 'Ирень', 'Арабелла', линии № 67, № 147, № 151, № 152, № 153 и № 220.

По литературным данным, немецкий сорт 'Тризо' содержит 3 гена устойчивости: *Pma1*, *Pm4b*, *Pm5a* (<http://www.wheatpedigree.net>), а у чешского сорта 'Гранни' был идентифицирован аллель *Pm3d* (Lin et al., 2024). Наши исследования показали, что данные гены обеспечивают умеренную устойчивость сортов к мучнистой росе (см. табл. 2).

Все исследуемые генотипы пшеницы достигли максимальной урожайности зерна в 2022 г. (284–717 г/м²), когда метеорологические условия вегетационного периода были близки к среднегодовым значениям. В другие годы урожайность варьировала в пределах от 130 до

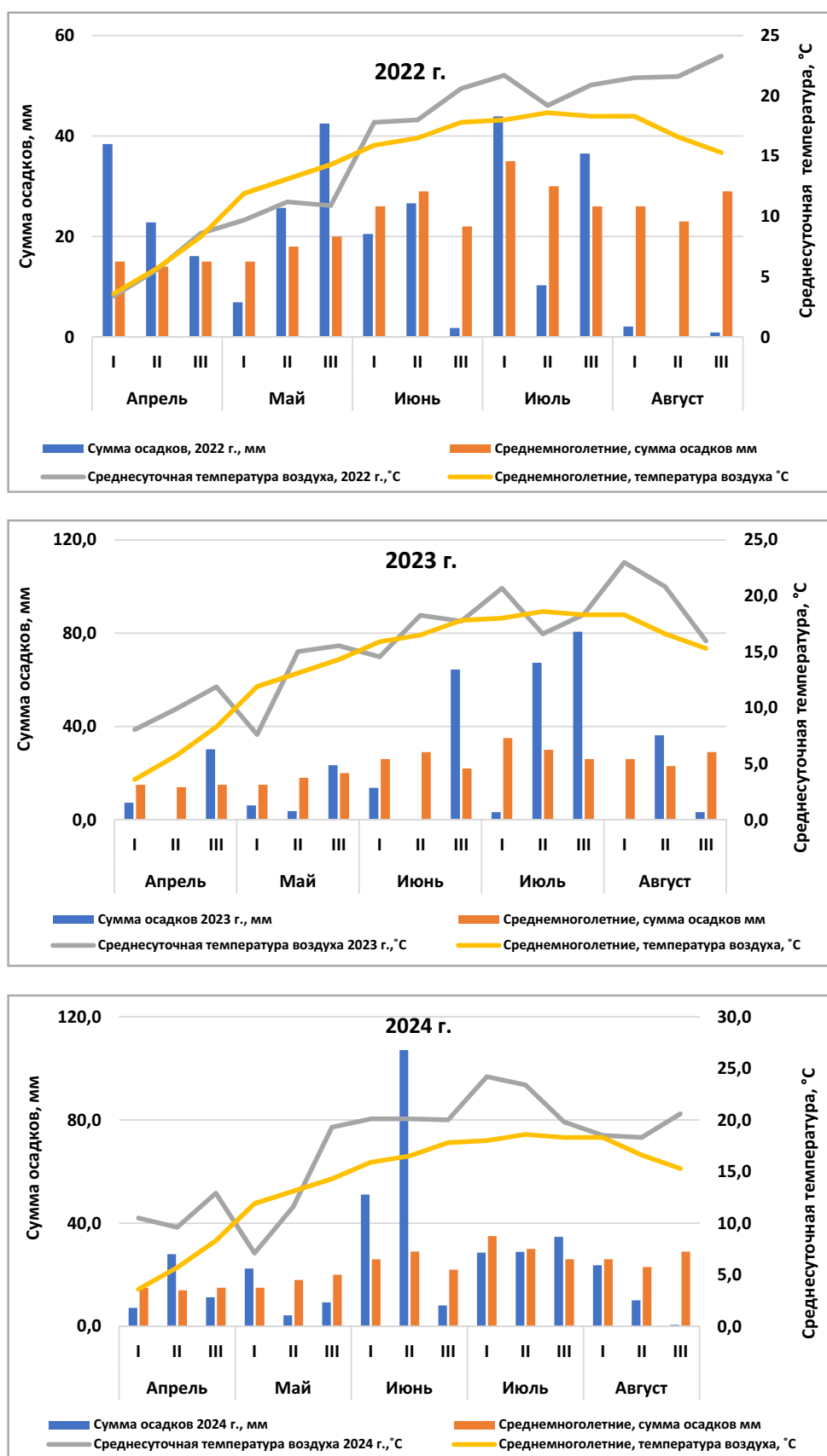


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период вегетации яровой пшеницы (по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)

Fig. 1. Mean daily air temperatures and total precipitation during the growing season of spring wheat (based on the data from the V.A. Mikhelson Meteorological Observatory, Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)

Таблица 2. Результаты оценки устойчивости к мучнистой росе и урожайности образцов яровой пшеницы за 2022–2024 гг. (Полевая опытная станция РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)**Table 2. Powdery mildew resistance and yield assessment results for spring wheat accessions in 2022–2024** (Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)

Образец	Устойчивость, балл			Урожайность, г/м ²			
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	средняя
‘Злата’ (контроль)	5,0	5,0	9,0	423,0	272,1	308,7	356,3
‘Саратовская 74’	7,0	9,0	9,0	426,2	288,7	231,9	345,8
‘Агата’	7,0	9,0	7,0	415,6	270,7	189,5	333,2
‘Тулайковская 108’	5,0	9,0	5,0	294,4	252,1	356,5	332,5
‘Симбирцит’	9,0	7,0	9,0	483,5	269,0	313,6	386,2
‘Тюменская 29’	9,0	7,0	5,0	434,3	232,1	277,9	345,2
‘Обская 2’	7,0	5,0	5,0	469,3	258,9	397,5	406,3
‘Тобольская’	5,0	5,0	9,0	497,4	315,8	273,6	403,5
‘Алтайская Жница’	5,0	5,0	5,0	417,4	267,7	336,5	370,6
‘Маргарита’	5,0	7,0	9,0	717,0	353,7	252,8	453,2
‘Учитель’	3,0	3,0	9,0	466,4	219,4	164,6	290,6
‘Фаворит’	7,0	7,0	9,0	498,8	201,4	205,3	354,2
‘Гранни’	5,0	5,0	9,0	500,7	282,0	198,7	362,3
‘Тризо’	5,0	5,0	9,0	431,4	276,8	227,5	333,3
‘Ирень’	5,0	5,0	5,0	440,4	256,1	252,9	328,4
‘Бомбона’	9,0	3,0	9,0	392,2	228,4	217,3	279,3
Л-57 (линия)	5,0	9,0	9,0	324,5	236,6	208,4	256,5
‘Ласка’	9,0	7,0	9,0	527,0	255,1	274,7	352,3
‘Арабелла’	9,0	9,0	5,0	455,1	282,7	349,9	362,6
‘Гранова’	5,0	9,0	7,0	442,1	193,3	231,4	288,9
‘Мандарина’	9,0	9,0	7,0	584,8	247,4	287,8	373,3
Золушка (линия)	1,0	1,0	3,0	284,2	130,5	161,8	192,2
‘Канюк’	7,0	5,0	7,0	467,7	253,6	243,8	321,7
Линия № 23	7,0	7,0	9,0	435,9	236,3	237,4	303,2
Линия № 35	3,0	3,0	9,0	394,6	182,4	229,0	268,7
Линия № 59	5,0	7,0	7,0	395,6	173,3	280,1	283,0
Линия № 65	9,0	5,0	9,0	388,4	181,2	146,0	238,5
Линия № 66	3,0	1,0	9,0	443,8	207,3	182,2	277,8
Линия № 67	5,0	3,0	5,0	427,7	169,5	155,2	250,8
Линия № 70	9,0	9,0	7,0	423,0	272,1	308,7	356,3
Линия № 79	3,0	3,0	9,0	426,4	171,8	261,3	286,5
Линия № 147	5,0	3,0	5,0	438,9	214,3	257,2	303,5
Линия № 150	7,0	3,0	3,0	357,7	172,3	251,3	260,4
Линия № 151	5,0	5,0	5,0	389,8	148,3	261,6	266,6
Линия № 152	3,0	1,0	5,0	400,8	171,5	185,4	252,6
Линия № 153	5,0	3,0	5,0	370,6	197,2	272,0	279,9
Линия № 178	7,0	3,0	7,0	442,3	206,0	310,2	319,5
Линия № 187	7,0	3,0	9,0	402,7	212,4	183,5	266,2

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Образец	Устойчивость, балл			Урожайность, г/м ²			
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	средняя
Линия № 215	7,0	7,0	7,0	409,0	236,2	210,7	285,3
Линия № 217	3,0	3,0	7,0	430,5	214,0	223,6	289,4
Линия № 220	9,0	5,0	5,0	352,3	262,8	156,1	257,1
Линия № 221	7,0	3,0	7,0	361,6	227,8	176,8	255,4
Линия № 223	5,0	5,0	3,0	445,6	310,7	261,3	339,2
НС _{Р0} 5	–	–	–	107,9	41,9	63,4	79,6

349 г/м² и была относительно стабильной, но ниже уровня 2022 г. Корреляционный анализ данных 2022–2024 гг. выявил умеренную положительную связь ($r = 0,49^{**}$) между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе (рис. 2). Значимость корреляции значительно изменялась по годам, что зависело от состояния растений и погодных условий. На урожайность влияло поражение

не только мучнистой росой, но и другими грибными болезнями, такими как септориоз, бурая ржавчина и стеблевая ржавчина (причем стеблевая ржавчина была отмечена только в 2024 г. и не наблюдалась в предыдущие годы). Кроме того, на продуктивность оказывали влияние температурный режим, уровень увлажненности почвы и другие стрессовые условия в течение вегетационно-

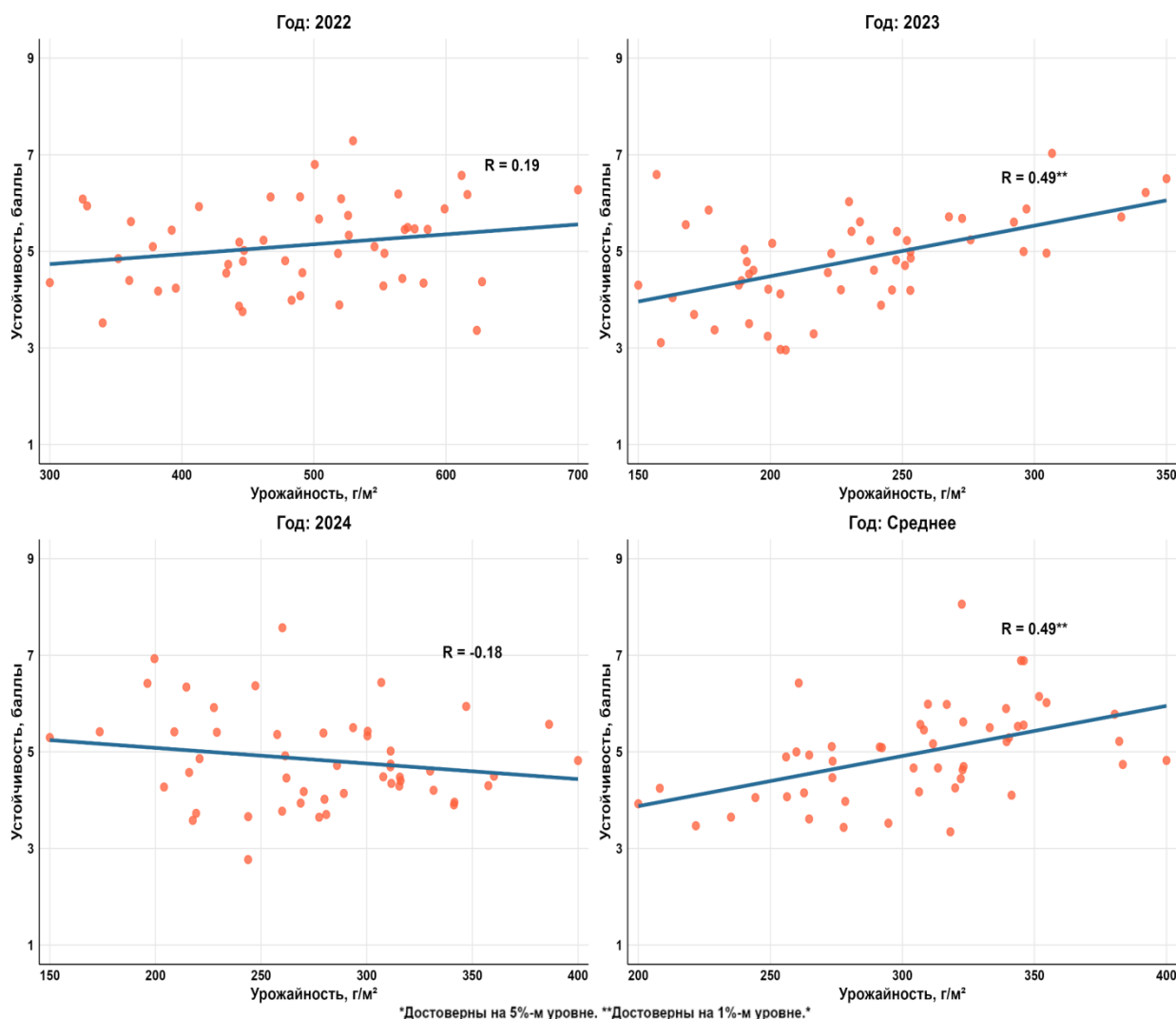


Рис. 2. Корреляция между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе (2022–2024 гг.) и их средними значениями (Полевая опытная станция РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)

Fig. 2. Correlations between yield and powdery mildew resistance (2022–2024) and their average values (Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)

го периода. Таким образом, устойчивость к мучнистой росе является важным, но не единственным фактором, влияющим на урожайность. Напротив, в экстремально жарком и засушливом 2024 г. наблюдалась слабая отрицательная корреляция ($r = -0,18$), что указывает на то, что устойчивость к болезни не смогла компенсировать негативное воздействие неблагоприятных факторов среды на продуктивность.

Результаты демонстрируют, что развитие мучнистой росы носит динамичный характер и зависит от климатических условий. Наиболее значимое влияние болезни на урожайность пшеницы проявляется в годы с умеренными температурами и достаточным увлажнением (см. рис. 2).

Заключение

Метеорологические условия вегетационного периода в центральном районе Нечерноземной зоны России оказывают существенное влияние на степень развития мучнистой росы яровой мягкой пшеницы. Образцы 'Саратовская 74', 'Симбирцит', 'Ласка', 'Мандарина', 'Агата', 'Фаворит', а также линии № 23, № 70 и № 215 во все годы исследований отличались высокой устойчивостью к мучнистой росе, независимо от метеорологических условий. Урожайность резистентных сортов 'Симбирцит' и 'Мандарина' за годы изучения превышала продуктивность районированного сорта 'Злата'. Выделенные образцы можно рекомендовать для использования в селекционных программах по созданию устойчивых к мучнистой росе сортов яровой мягкой пшеницы.

References / Литература

- Dorofeev V.F., Rudenko M.I., Shitova I.P., Korneichuk V.A. Guidelines for the study of the world wheat collection (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektsii pshenitsy). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Руденко М.И., Шитова И.П., Корнейчук В.А. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. Ленинград: ВИР, 1977).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- GRIS. Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale: [website]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net> [accessed Nov. 01, 2024].
- He H., Liu R., Ma P., Du H., Zhang H., Wu Q. et al. Characterization of *Pm68*, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2BS of Greek durum wheat TRI 1796. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(1):53-62. DOI: 10.1007/s00122-020-03681-2
- Krivchenko V.I., Lebedeva T.V., Peusha Kh.O. Powdery mildew of cereals (Muchnistaya rosa zlakov). In: *Studying Genetic Resources of Cereal Crops for Resistance to Harmful Organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.86-105. [in Russian] (Кривченко В.И., Лебедева Т.В., Пеуша Х.О. Мучнистая роса злаков. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.86-105).
- Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Effective sources of powdery mildew resistance among spring bread wheat for the northwest of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):205-214. [in Russian] (Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):205-214). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214
- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Studies of powdery mildew resistance (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) in varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):17-20. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Изучение устойчивости к мучнистой росе (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):17-20).
- Li H., Men W., Ma C., Liu Q., Dong Z., Tian X. et al. Wheat powdery mildew resistance gene *Pm13* encodes a mixed lineage kinase domain-like protein. *Nature Communications*. 2024;15(1):2449. DOI: 10.1038/s41467-024-46814-7
- Lin M., Islamov B., Aleliūnas A., Armonienė R., Gorash A., Meigas E. et al. Genome-wide association analysis identifies a consistent QTL for powdery mildew resistance on chromosome 3A in Nordic and Baltic spring wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2024;137(1):25. DOI: 10.1007/s00122-023-04529-1
- Mapuranga J., Chang J., Yang W. Combating powdery mildew: Advances in molecular interactions between *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* and wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1102908. DOI: 10.3389/fpls.2022.1102908
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat, 2020 supplement. *Annual Wheat Newsletter*. 2020;66:109-128.
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Najodov B.B. New wheat is not afraid of extreme conditions (Novaya pshenitsa ekstrima ne boitsya) [interview]. *Zemlya i zhizn = Earth and Life*. 2024;(3):14-16. [in Russian] (Наджодов Б.Б. Новая пшеница экстрима не боится [интервью]. *Земля и жизнь*. 2024;(3):14-16). URL: <https://zizh.ru/article/novaya-pshenitsa-ekstrima-ne-boitsya> [дата обращения: 25.12.2024].
- Plant genetic resources passport database of VIR (Pasportnaya baza dannykh geneticheskikh resursov rasteniy VIR): [website]. [in Russian] (Паспортная база данных генетических ресурсов растений ВИР: [сайт]). URL: <http://91.151.189.38:8080/virdb/maindb> [дата обращения: 01.12.2024].
- Sheshegova T.K., Volkova L.V., Shchekleina L.M. Sources of complex resistance of spring soft wheat from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry (VIR). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):49-58. [in Russian] (Шешегова Т.К., Волкова Л.В., Щеклейна Л.М. Источники комплексной

устойчивости яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023;16(2):49-58). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_49

Wang J., Xu H., Qie Y., Han R., Sun X., Zhao Y. Et al. Evaluation and identification of powdery mildew-resistant genes in 137 wheat relatives. *Frontiers in Genetics*. 2024;15:1342239. DOI: 10.3389/fgene.2024.1342239

Информация об авторах

Бобурджон Баходурович Наджодов, аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 42, boburnajodov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1932-9522>

Валентина Сергеевна Рубец, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 42, ведущий научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, 127276 Россия, Москва, ул. Ботаническая, 4, Valentina.rubets50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1870-7242>

Information about the authors

Boburjon B. Najodov, Postgraduate (PhD) Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, Laboratory Research Assistant, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, boburnajodov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1932-9522>

Valentina S. Rubets, Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, Leading Researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4 Botanicheskaya St., Moscow 127276, Russia, Valentina.rubets50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1870-7242>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 06.12.2024; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 12.05.2025. The article was submitted on 06.12.2024; approved after reviewing on 28.02.2025; accepted for publication on 12.05.2025.

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Краткое сообщение

УДК 634.723.1(092)(01)06.091

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-228-239



Володина Екатерина Васильевна (1925–2015): к 100-летию со дня рождения

О. А. Тихонова

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

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

В 2025 г. исполняется 100 лет со дня рождения Екатерины Васильевны Володиной – известного ученого, талантливого селекционера, кандидата биологических наук, старейшего сотрудника отдела генетических ресурсов плодовых культур ВИР.

Ключевые слова: ВИР, плодовые культуры, черная смородина, крыжовник, Володина Екатерина Васильевна

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда плодовых, ягодных культур, винограда и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

Для цитирования: Тихонова О.А. Володина Екатерина Васильевна (1925–2015): к 100-летию со дня рождения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):228-239. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-228-239

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Brief report

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-228-239

Ekaterina V. Volodina (1925–2015): a dedication to her 100th birthday

Olga A. Tikhonova

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

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

The year 2025 marks the 100th anniversary since the birth of Dr. Ekaterina V. Volodina, a prominent scientist and talented plant breeder, who was one of the eldest staff members of the Fruit Crop Genetic Resources Department at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR).

Keywords: VIR, fruit crops, black currant, gooseberry, Ekaterina V. Volodina

Acknowledgments: the work was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of fruit and berry crops, grapes, and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding".

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

For citation: Tikhonova O.A. Ekaterina V. Volodina (1925–2015): a dedication to her 100th birthday. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):228-239. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-228-239

Екатерина Васильевна Володина родилась 8 июля 1925 г. в д. Матренкино Солигаличского района Ярославской (ныне Костромской) области (рис. 1). После окончания средней школы в 1943 г. поступила в Ленинградский сельскохозяйственный институт, который во время Великой Отечественной войны находился в г. Перми. В 1948 г., с отличием окончив его, была направлена по распределению Областного управления сельского хозяйства на Ленинградскую плодово-ягодную опытную станцию, где проработала в течение двух лет – вначале техником по семечковым и косточковым культурам, затем – младшим научным сотрудником по культурам земляники и малины.



Рис. 1. Володина Екатерина Васильевна (1925–2015)

Fig. 1. Ekaterina V. Volodina (1925–2015)

Первое знакомство со Всесоюзным институтом растениеводства (ВИР) состоялось у Екатерины Васильевны в 1950 г., когда она устроилась на работу в отдел плодовых культур, где вначале была зачислена на должность лаборанта, а через полгода стала младшим научным сотрудником. Уже тогда Екатерина Васильевна поняла, что хочет работать именно здесь. Но в 1953 г. ей пришлось оставить работу и последовать за супругом, Володиным Алексеем Кузьмичом, по месту его службы в Китайскую Народную Республику. Вернувшись в Ленинград в 1956 г., Екатерина Васильевна устроилась на работу в лабораторию плодово-ягодных культур Павловской опытной станции ВИР в качестве лаборанта по культуре яблони, а в 1961 г. была переведена на должность младшего научного сотрудника по культуре черной смородины, и с тех пор вся ее деятельность оказалась связана с ягодными культурами, с черной смородиной.

Через десять лет, в 1971 г., Е. В. Володину переводом зачислили в штат отдела плодово-ягодных, субтропических культур и винограда ВИР (рис. 2), где она проработала в должности младшего (1971–1974 гг.) и старшего научного сотрудника (1974–1988 гг.) вплоть до окончания трудовой деятельности.

Работая на Павловской опытной станции ВИР, Е. В. Володина поступила в 1958 г. в заочную аспирантуру ВИР, а в 1967 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Биологические особенности черной смо-

родины в условиях Ленинградской области», и ей была присуждена ученая степень кандидата биологических наук.

Руководителем диссертационной темы Е. В. Володиной была Нина Михайловна Павлова – уникальный специалист с блестящим университетским образованием, выдающийся знаток ягодных культур, первой в России защитившая докторскую диссертацию по черной смородине.

Екатерина Васильевна Володина, приняв эстафету от своего научного руководителя, явилась достойной ее преемницей. Она впитала все лучшее от своего Учителя, целеустремленно и целенаправленно продолжив работу,

начатую Ниной Михайловной. Как и Н. М. Павлова, Екатерина Васильевна придавала большое значение сбору и изучению дикорастущих форм смородины. Она приняла участие в 22 экспедициях по европейской части России, Западной и Восточной Сибири (рис. 3–5). В составе экспедиций она обследовала территории Якутии, Бурятии, Хакасии, Иркутской, Читинской областей, Красноярского и Алтайского краев, Тывы и других регионов России, откуда привлекла в коллекцию ценные дикорастущие формы смородины и крыжовника.

Помимо привлечения дикорастущих форм смородины во время экспедиционных сборов и новых сортов путем выписки из-за рубежа или при личном контакте, во время посещения опытных станций и НИУ страны (рис. 6–8), Екатерина Васильевна проводила всестороннее изучение образцов коллекции.

Результатом изучения служили многочисленные публикации, выступления на всесоюзных конференциях с докладами. Можно привести лишь некоторые статьи Екатерины Васильевны, чтобы понять насколько многоплановой была ее работа (Volodina, 1972, 1977, 1980, 1987; Volodina, Naumova, 1980; Volodina, Elsakova, 1985; Volodina et al., 1988).

Одним из свидетельств плодотворной деятельности Екатерины Васильевны Володиной может служить тот факт, что в результате изучения ею совместно с сотрудником Павловской опытной станции ВИР А. И. Поташе-



Рис. 2. Сотрудники отдела плодовых культур ВИР, Ленинград, 1985 г.

Слева направо: (нижний ряд) Т. Деньгина, О. Тезикова, Л. Кранина, Е. В. Мажоров, Я. С. Нестеров, О. Е. Радченко, Г. М. Синькова; (второй ряд снизу) Е. К. Ульянова, Т. Г. Тамберг, Т. М. Хохрякова, С. П. Хотимская, З. М. Гаврилина, М. Ю. Васильева, Н. И. Рябова, Е. Ф. Петрова; (между вторым и третьим рядом, после З. М. Гаврилиной) М. Н. Плеханова, М. С. Тихомирова, Н. А. Пупкова, В. Н. Алексеева, **Е. В. Володина**, З. А. Шестопал; (верхний ряд) А. А. Юшев, Е. А. Гурина, Ж. В. Лакшина, М. Н. Ткачук, О. А. Тихонова, А. Ш. Сабитов, Разы-Кулы, ..., ..., В. Шкуро, Ю. П. Соколов, Л. Приймачук, П. П. Кошелев

Fig. 2. Staff members of the Fruit Crop Department, VIR, Leningrad, 1985.

From left to right: (bottom row) T. Dengina, O. Tezikova, L. Kranina, E. V. Mazhorov, Ya. S. Nesterov, O. E. Radchenko, and G. M. Sinkova; (next row, above the bottom one) E. K. Ulyanova, T. G. Tamberg, T. M. Khokhryakova, S. P. Khotimskaya, Z. M. Gavrilina, M. Yu. Vasilyeva, N. I. Ryabova, and E. F. Petrova; (second top row, from Z. M. Gavrilina to the right) M. N. Plekhanova, M. S. Tikhomirova, N. A. Pupkova, V. N. Alexeeva, **E. V. Volodina**, and Z. A. Shestopal; (topmost row) A. A. Yushev, E. A. Gurina, Zh. V. Lakshina, M. N. Tkachuk, O. A. Tikhonova, A. Sh. Sabitov, Razy- Kuly, ..., ..., V. Shkuro, Yu. P. Sokolov, L. Priimachuk, and P. P. Koshelev



Рис. 3. Экспедиция на север европейской части России, 1971 г.

Е. В. Володина за обработкой собранного материала

Fig. 3. Expedition to the north of European Russia, 1971.

E. V. Volodina over the processing of the collected material



а

б

Рис. 4. Экспедиция по Иркутской области, 1972 г.:

а – обосновались, можно приниматься за работу; б – Ольхонский р-н, бухта Ая

Fig. 4. Expedition to Irkutsk Province, 1972:

а – After settling down, you can start working; б – Olkhonsky District, the Bay of Aya



Рис. 5. Экспедиция по Иркутской области и югу Красноярского края, 1972 г. В перерыве между работой.
Сотрудники ВИР: Е. В. Мажоров (первый слева) и Е. В. Володина (третья слева)

Fig. 5. Expedition over Irkutsk Province and the south of Krasnoyarsk Territory, 1972. A break in the work.
VIR staff members: E. V. Mazhorov (the first one on the left), and E. V. Volodina (third from the left)



Рис. 6. Сотрудники ВИР Е. В. Володина (вторая слева, верхний ряд) и Е. В. Мажоров (второй справа в нижнем ряду) на Иркутской опытной станции, 1972 г.

Fig. 6. VIR staff members: E. V. Volodina (top row, second from the left) and E. V. Mazhorov (bottom row, second from the right) at Irkutsk Experiment Station, 1972



Рис. 7. Е. В. Володина с сотрудником Тувинской сельскохозяйственной опытной станции И. В. Екимовым, занимавшимся дикорастущей черной смородиной

Fig. 7. E. V. Volodina with I. V. Ekimov, an employee of the Tuva Agricultural Experiment Station, who worked with wild black currant



Рис. 8. Е. В. Володина на Новосибирской зональной плодово-ягодной опытной станции им. И.В. Мичурина (г. Бердск)

Fig. 8. E. V. Volodina at the I.V. Michurin Novosibirsk Zonal Fruit and Berry Experiment Station (Berdsk)

вой из коллекции черной смородины выделен и передан на государственное сортоиспытание шведский сорт 'Öjebun', который в 1988 г. был районирован в семи регионах Российской Федерации и до сих пор находится в перечне сортов, допущенных к использованию (State Register..., 2023). Этот сорт впоследствии неоднократно привлекался в скрещивания, проводимые как на Павловской опытной станции ВИР, так и в селекционных учреждениях страны, в которые был разослан.

Имя Екатерины Васильевны Володиной хорошо известно специалистам по ягодным культурам как у нас в России, так и за ее пределами. Она является автором более 60 научных и научно-популярных работ. До сих пор ссылки на работы Е. В. Володиной можно встретить в публикациях отечественных и зарубежных ученых. Вышедший в 1980 г. обзор «Промышленный сортимент и новые направления селекции черной смородины» (Volodina, Naumova, 1980) долгие годы служил настольной книгой для коллег – селекционеров по культуре. В составе авторского коллектива с сотрудниками ВНИИ селекции плодовых культур (г. Орел) она принимала уча-

стие в создании справочного пособия «Определитель сортов смородины» (Ogoltsova et al., 2000) – издания, значимость которого для работающих по культуре трудно переоценить. Она разработала классификаторы родов *Ribes* L. (Volodina, 1978) и *Grossularia* (Tourn.) Mill. (Volodina, 1980), на основе которых в 1994 г. изданы «Широкий унифицированный классификатор рода *Ribes* L. подродов *Ribesia* (Berl.) Jancz. и *Eucoreosma* (Jancz.) Berg.» (Volodina, Tikhonova, 1994) и «Широкий унифицированный классификатор рода *Grossularia* (Tourn.) Mill.» (Volodina, Pupkova, 1994).

Е. В. Володина является соавтором каталогов по культурам смородины и крыжовника (Pavlova et al., 1965; Pavlova et al., 1966; Katinskaya et al., 1973; Volodina, Krylova, 1975; Khokhryakova et al., 1975; Volodina et al., 1990), научно-популярных брошюр по смородине и крыжовнику (Mosolova, Volodina, 1970; Volodina, 1983, 1986; Fursa et al., 2004), в которых до сих пор можно найти ответы на многие вопросы, касающиеся особенностей биологии смородины и крыжовника и правильного агротехнического ухода за этими культурами.

Е. В. Володина – талантливый селекционер. Она является автором 9 сортов черной смородины – ‘Александрина’, ‘Бинар’, ‘Велой’, ‘Володинка’, ‘Деликатес’, ‘Нежданчик’, ‘Петербурженка’, ‘Поэзия’ и ‘Трилена’ (рис. 9), которые включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (State Register..., 2023).

Созданию этих сортов предшествовала кропотливая работа по выявлению ценных исходных форм для проведения скрещиваний. В ходе планомерного и всестороннего изучения образцов коллекции были выделены сорта ‘Brödtorp’, ‘Melalahty’ и ‘Lepaan Musta’, которые являются носителями генов M_1 и M_2 , обеспечивающих среднюю степень устойчивости к американской мучнистой росе



‘Александрина’ / ‘Alexandrina’



‘Бинар’ / ‘Binar’



‘Велой’ / ‘Veloy’



‘Володинка’ / ‘Volodinka’



‘Деликатес’ / ‘Delikates’



‘Поэзия’ / ‘Poeziya’



‘Трилена’ / ‘Trilena’



‘Нежданчик’ / ‘Nezhdanchik’

Рис. 9. Сорта черной смородины, созданные Е. В. Володиной

Fig. 9. Black currant cultivars developed by E. V. Volodina

(*Sphaerotheca mors-uvae* (Schw.) Berk. et Curt.); шведский сорт 'Öjebyn' с более высокой устойчивостью к патогену за счет гена *Sph₂* и сорт скандинавского экотипа смородины черной – 'Sunderbyn II', который благодаря наличию гена *R* проявляет устойчивость ко всем 14 известным расам мучнистой росы.

По комплексу важнейших биолого-хозяйственных признаков (продуктивность, крупноплодность, хорошие вкусовые качества плодов, устойчивость к болезням) в качестве исходных форм были отобраны сорта 'Пилот Александр Мамкин', 'Белорусская Сладкая', 'Минай Шмырев', 'Ленинградский Великан', 'Северянка', 'Risager' и др. (Tikhonova et al., 2021).

С использованием выделенных образцов в 1970–1981 гг. под руководством Е. В. Володиной на Павловской опытной станции ВИР провели 92 комбинации скрещивания с целью создания высокопродуктивных, крупноплодных сортов, устойчивых к грибным болезням, при выращивании которых не требовалось бы проведения

нец с десертным вкусом плодов, название которого решили составить по первым буквам наименований родительских форм – 'Велой'.

Сорт 'Бинар' получен из семьи 'Нарядная' × 'Öjebyn'. Он унаследовал от материнской формы высокую устойчивость к почковому клещу и сухой отрыв ягод, а от сорта 'Öjebyn' – устойчивость к мучнистой росе.

В 1998 г. на Всемирной ярмарке «Российский Фермер» сорта черной смородины 'Бинар', 'Велой' и 'Поэзия', созданные Екатериной Васильевной Володиной, заслуженно получили Золотую медаль выставки (рис. 10). Они заняли достойное место в любительских садах и садоводческих хозяйствах Ленинградской области. Вполне справедливым будет утверждение о том, что в течение длительного времени садоводы-любители стремились приобрести эти сорта, и нет, пожалуй, ни одного приусадебного участка на Северо-Западе России, где не росли бы кустики сортов, созданных Екатериной Васильевной Володиной.

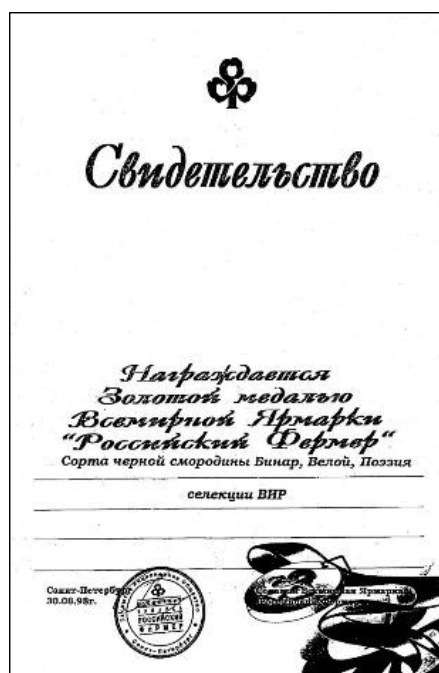


Рис. 10. Свидетельство о награждении Золотой медалью Всемирной ярмарки «Российский Фермер» сортов черной смородины, созданных Е. В. Володиной

Fig. 10. Certificate of the Gold Medal of the World Fair *Russian Farmer* awarded to the black currant cultivars developed by E. V. Volodina

химических обработок. Проанализировано более 1000 полученных сеянцев (Tikhonova, Volodina, 2005).

В результате проведенных скрещиваний отобрали 28 элит. Самой результативной по количеству выделившихся высокопродуктивных, крупноплодных, устойчивых к грибным болезням сеянцев оказалась комбинация 'Минай Шмырев' × 'Öjebyn'. Из этой семьи выделено 4 элитных сеянца, которым впоследствии присвоили статус сортов – 'Поэзия', 'Петербурженка', 'Трилена' и 'Деликатес' (Tikhonova, Volodina, 2007; Tikhonova et al., 2021).

Из семьи 'Ленинградский Великан' × 'Öjebyn' выделен крупноплодный, скороплодный (за счет способности к формированию до 91% смешанных почек на прикорневом побеге, ветвления прикорневого побега в первый год жизни и наличия двойных и тройных почек в узле), высокосамоплодный, устойчивый к мучнистой росе сея-

Екатерина Васильевна Володина оставила о себе добрую память не только созданием этих замечательных сортов, но и своим доброжелательным отношением к людям. Как отмечает известный селекционер, доктор сельскохозяйственных наук Татьяна Петровна Огольцова (Ogoltsova, 1992), многие из отечественных селекционеров, работавших в 60-80-х годах XX столетия, благодарны Е. В. Володиной за своевременное пополнение их коллекций исходным материалом, новинками зарубежной селекции, пылью для гибридизации.

Екатерина Васильевна щедро делилась с коллегами своими знаниями, помогала молодым ученым, никогда не теряла связи с садоводами-любителями. Уже находясь на заслуженном отдыхе, проводила практические занятия и читала лекции, на которых очень живо, доступным и понятным языком рассказывала садоводам о том, как нужно ухаживать за растениями смородины и крыжов-

ника, чтобы они были долговечными и продуктивными. По окончании лекции обстоятельно и терпеливо отвечала на их многочисленные вопросы, и, пожалуй, ни один из них не оставался без ответа. Как никто другой, у сортов, казавшихся непосвященному человеку совершенно одинаковыми, она умела уловить те тонкие различия, которые отличают их друг от друга.

Большую помощь в летний период она оказывала садоводческим хозяйствам области, выезжая для проведения апробаций в совхозы «Щеглово», «Тайцы», «Скреблово» и на госсортоучастки Ленинградской области (рис. 11).

Екатерина Васильевна никогда не теряла связи и с сотрудниками своего отдела уже после выхода на пенсию, всегда живо интересовалась событиями, происходящими в отделе и институте. Долгое время она приходила на коллекцию черной смородины, делала описания сортов, знакомилась с новинками селекции, помогала с разбивкой участка для перезакладки коллекции. Сотрудники, работавшие с Екатериной Васильевной, всегда знали, что ей можно позвонить и посоветоваться буквально по любому вопросу. Каждый год, 8 июля, до самого последнего

времени, она собирала всех коллег, работавших с ней, на свой день рождения... (рис. 12).

Екатерина Васильевна обладала редким даром чувствовать растения. Любовь к ним она пронесла через всю свою жизнь. Для нее кустики смородины были живыми, и, казалось, она знает о них все. Недаром сотрудники до сих пор с доброй улыбкой вспоминают как рифмовали в отделе ее фамилию со словами «черная смородина».

Екатерину Васильевну Володину всегда отличали высокая культура, внутреннее благородство, интеллигентность, ясный ум, порядочность, широкая образованность, доброжелательность, превосходное чувство юмора. С ней одинаково легко находили общий язык и чувствовали себя свободно и люди в возрасте, и совсем маленькие дети. С Екатериной Васильевной можно было общаться на любые темы; казалось, что она знает ответы на все вопросы...

Екатерина Васильевна Володина ушла из жизни 14 января 2015 г.

В нашей памяти она навсегда останется глубоко порядочным, светлым человеком, беззаветно и преданно влюбленным в свою культуру (рис. 13).



Рис. 11. Посещение госсортоучастков. Е. В. Володина (третья слева)

Fig. 11. Visiting state variety testing sites. E. V. Volodina (third from the left)



Рис. 12. Е. В. Володина в день своего юбилея с сотрудниками на Павловской опытной станции ВИР, 1990 г.

Слева направо: В. В. Ксенофонтова, О. Е. Радченко, О. Михайлова, Н. А. Пупкова, С. Ю. Орлова, О. А. Тихонова, **Е. В. Володина**, В. П. Денисов, С. П. Хотимская

Fig. 12. E. V. Volodina on her 65th birthday with colleagues at Pavlovsk Experiment Station of VIR, 1990.

From left to right: V. V. Xenofontova, O. E. Radchenko, O. Mikhailova, N. A. Pupkova, S. Yu. Orlova, O. A. Tikhonova, **E. V. Volodina**, V. P. Denisov, and S. P. Khotimskaya

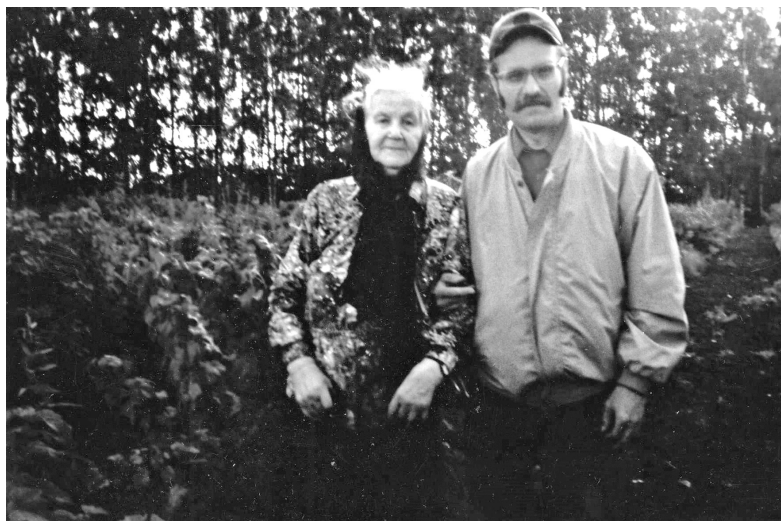


Рис. 13. Екатерина Васильевна Володина на коллекции черной смородины Павловской опытной станции ВИР

Fig. 13. Ekaterina V. Volodina at the black currant collection of Pavlovsk Experiment Station of VIR

References / Литература

- Fursa T.B., Volodina E.V., Mayorova V.I. Practical encyclopedia of an Orthodox horticulturist and gardener (Prakticheskaya entsiklopediya pravoslavnogo sadovoda i ogorodnika). St. Petersburg; 2004. [in Russian] (Фурса Т.Б., Володина Е.В., Майорова В.И. Практическая энциклопедия православного садовода и огородника. Санкт-Петербург; 2004).
- Katinskaya Yu.K., Naumova G.A., Keramid K.K., Matveeva E.S., Pavlova N.M., Volodina E.V., Krylova G.S., Chestnaya V.A., Koroleva Z.A. (comp.). Catalogue of berry crop cultivars at Pavlovsk Experiment Station. Issue 119 (Katalog sortov yagodnykh kultur Pavlovskoy opytnoy stantsii. Vypusk 119). V.L. Vitkovsky, S.D. Ogluzdin, F.I. Pekhotov (eds). Leningrad: VIR; 1973. [in Russian] (Каталог сортов ягодных культур Павловской опытной станции. Выпуск 119 / сост. Ю.К. Катинская, Г.А. Наумова, К.К. Керамидас, Е.С. Матвеева, Н.М. Павлова, Е.В. Володина, Г.С. Крылова, В.А. Честная, З.А. Королева; под ред. В.Л. Витковского, С.Д. Оглуздина, Ф.И. Пехото. Ленинград: ВИР; 1973).
- Khokhryakova T.M., Volodina E.V., Bochkarnikova N.M., Elsakova S.D., Kardaeva N.S., Stepanova T.I., Neronova N.L., Krylova G.S. (comp.). Catalogue of the VIR global collection Issue 160. Field resistance of currants and gooseberries to diseases (Katalog mirovoy kolektsii VIR. Vypusk 160. Polevaya ustoichivost smorodiny i kryzhovnika k zabolevaniyam). V.I. Krivchenko (ed.). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 160. Полевая устойчивость смородины и крыжовника к заболеваниям / сост. Т.М. Хохрякова, Е.В. Володина, Н.М. Бочкарникова, С.Д. Елсакова, Н.С. Кардаева, Т.И. Степанова, Н.Л. Неронова, Г.С. Крылова; под ред. В.И. Кривченко. Ленинград: ВИР; 1975).
- Mosolova A.V., Volodina E.V. Currant (Smorodina). Leningrad: Kolos; 1970. [in Russian] (Мосолова А.В., Володина Е.В. Смородина. Ленинград: Колос; 1970).
- Ogoltsova T.P. Black currant breeding: past, present, and future (Selektsiya chernoy smorodiny – proshloye, nastoyashcheye, budushcheye). Tula; 1992. [in Russian] (Огольцова Т.П. Селекция черной смородины – прошлое, настоящее, будущее. Тула; 1992).
- Ogoltsova T.P., Bayanova L.V., Volodina E.V., Knyazev S.D. Key to currant cultivars (Opredelitel sortov smorodiny). Orel: VNIISPK; 2000. [in Russian] (Огольцова Т.П., Баянова Л.В., Володина Е.В., Князев С.Д. Определитель сортов смородины. Орел: ВНИИСПК; 2000).
- Pavlova N.M., Mosolova A.V., Volodina E.V. (comp.). Catalogue-guide of the VIR global collection. Issue 28. Currant and gooseberry (Katalog-spravochnik mirovoy kolektsii VIR. Vypusk 28. Smorodina i kryzhovnik). N.M. Pavlova (ed.). Leningrad: VIR; 1966. [in Russian] (Каталог-справочник мировой коллекции ВИР. Выпуск 28. Смородина и крыжовник / сост. Н.М. Павлова, А.В. Мосолова, Е.В. Володина; под ред. Н.М. Павловой. Ленинград: ВИР; 1966).
- Pavlova N.M., Mosolova A.V., Volodina E.V., Katinskaya Yu.K., Chervyakovskaya V.Ya. (comp.). Catalogue of berry crop cultivars of the USSR (Katalog sortov yagodnykh kultur SSSR). Leningrad: VIR; 1965. [in Russian] (Каталог сортов ягодных культур СССР / сост. Н.М. Павлова, А.В. Мосолова, Е.В. Володина, Ю.К. Катинская, В.Я. Червяковская. Ленинград: ВИР; 1965).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotech; 2023. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2023).
- Tikhonova O.A., Shabliuk N.O., Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Talovina G.V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred at VIR. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25. [in Russian] (Тихонова О.А., Шаблюк Н.О., Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Таловина Г.В. Номенклатурные стандарты сортов черной смородины селекции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-2-3-25
- Tikhonova O.A., Volodina E.V. Black currant breeding at the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry (Selektsiya smorodiny chernoy vo VNII rasteniyevodstva imeni N.I. Vavilova). In: *Current Status of Currant and Gooseberry Crops: Collection of Scientific Papers (Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 2007. p.191-200. [in Russian] (Тихонова О.А., Володина Е.В. Селекция смородины черной во ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. В кн.: *Современное состояние культур смородины*

и крыжовника: сборник научных трудов. Мичуринск; 2007. С.191-200).

- Tikhonova O.A., Volodina E.V. New black currant cultivars bred at VIR (Novye sorta chernoy smorodiny selektsii VIR). In: *Main Results and Priorities of Scientific Support for the Agro-Industrial Complex of the Euro-North-East: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Osnovnye itogi i priority nauchnogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa Yevro-Severo-Vostoka: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii)*. Kirov; 2005. p.90-93. [in Russian] [Тихонова О.А., Володина Е.В. Новые сорта черной смородины селекции ВИР. В кн.: Основные итоги и приоритеты научного обеспечения АПК Евро-Северо-Востока: материалы международной научно-практической конференции. Киров; 2005. С.90-93].
- Volodina E.V. Biology of black currant flowering. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1972;46(2):157-167. [in Russian] (Володина Е.В. Биология цветения черной смородины. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1972;46(2):157-167).
- Volodina E.V. Currant (Smorodina). Leningrad: Kolos; 1983. [in Russian] (Володина Е.В. Смородина. Ленинград: Колос; 1983).
- Volodina E.V. Descriptors of the genus *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Gooseberry (Klassifikator roda *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Kryzhovnik). Leningrad: VIR; 1980. [in Russian] (Володина Е.В. Классификатор рода *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Крыжовник). Ленинград: ВИР; 1980).
- Volodina E.V. Descriptors of the genus *Ribes* L. of subgenera *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg. (Klassifikator roda *Ribes* L. podrodov *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg.). Leningrad: VIR; 1978. [in Russian] (Володина Е.В. Классификатор рода *Ribes* L. подродов *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg. Ленинград: ВИР; 1978).
- Volodina E.V. Economic and biological features of blackcurrant varieties in connection with their origin. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1980;67(1):87-94. [in Russian] (Володина Е.В. Хозяйственно-биологические особенности сортов черной смородины в связи с их происхождением. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1980;67(1):87-94).
- Volodina E.V. Gooseberry (Kryzhovnik). Leningrad: Kolos; 1986. [in Russian] (Володина Е.В. Крыжовник. Ленинград: Колос; 1986).
- Volodina E.V. Some results of the use of black currant wild forms in breeding (Nekotorye rezultaty ispolzovaniya dikorastushchikh form chernoy smorodiny v selektsii). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1977;75:34-37. [in Russian] (Володина Е.В. Некоторые результаты использования дикорастущих форм черной смородины в селекции. Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. 1977;75:34-37).
- Volodina E.V. The assortment of black currants and the source material for breeding (Sortiment chernoy smorodiny i iskhodny material dlya selektsii). In: *Breeding and Variety Studies: Collection of Scientific Papers (Seleksiya i sortoizucheniye: sbornik nauchnykh trudov)*. Michurinsk; 1987. p.30-34. [in Russian] (Володина Е.В. Сортимент черной смородины и исходный материал для селекции. В кн.: Селекция и сортоизучение: сборник научных трудов. Мичуринск; 1987. С.30-34).
- Volodina E.V., Elsakova S.D. Wild forms of black currant promising for use in breeding (Dikorastushchiye formy smorodiny chernoy, perspektivnye dlya ispolzovaniya v selektsii). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1985;147:75-78. [in Russian] (Володина Е.В., Елсакова С.Д. Дикорастущие формы смородины черной, перспективные для использования в селекции. Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. 1985;147:75-78).
- Volodina E.V., Krylova G.S. (comp.). Catalogue of the VIR global collection Issue 159. Currant and gooseberry (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 159. Smorodina i kryzhovnik). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 159. Смородина и крыжовник / сост. Е.В. Володина, Г.С. Крылова. Ленинград: ВИР; 1975).
- Volodina E.V., Naumova G.A. Commercial assortment of cultivars and new trends in black currant breeding (Promyshlennyi sortiment i novye napravleniya selektsii chernoy smorodiny). Moscow; 1980. [in Russian] (Володина Е.В., Наумова Г.А. Промышленный сортимент и новые направления селекции черной смородины. Москва; 1980).
- Volodina E.V., Pupkova N.A. A broad unified list of descriptors of the genus *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Gooseberry (Shirokiy unifitsirovanny klassifikator roda *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Kryzhovnik). St. Petersburg: VIR; 1994. [in Russian] (Володина Е.В., Пупкова Н.А. Широкий унифицированный Классификатор рода *Grossularia* (Tourn.) Mill. – Крыжовник). Санкт-Петербург: ВИР; 1994).
- Volodina E.V., Pupkova N.A., Tikhonova O.A., Arsenyeva T.V. (comp.). Catalogue of the VIR global collection. Issue 553. Currant and gooseberry (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 553. Smorodina i kryzhovnik). V.L. Vitkovsky (ed.). Leningrad: VIR; 1990. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 553. Смородина и крыжовник / сост. Е.В. Володина, Н.А. Пупкова, О.А. Тихонова, Т.В. Арсеньева; под ред. В.Л. Витковского. Ленинград: ВИР; 1990).
- Volodina E.V., Radzevenchuk I.F., Tikhonova O.A. Concerning resistance in black currant to big bud (*Cecidophyes ribes* Westw.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1988;119:138-143. [in Russian] (Володина Е.В., Радзевенчук И.Ф., Тихонова О.А. К вопросу об устойчивости черной смородины к почковому клещу. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1988;119:138-143).
- Volodina E.V., Tikhonova O.A. A broad unified list of descriptors of the genus *Ribes* of subgenera *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg. (Shirokiy unifitsirovanny klassifikator roda *Ribes* L. podrodov *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg.). St. Petersburg: VIR; 1994. [in Russian] (Володина Е.В., Тихонова О.А. Широкий унифицированный Классификатор рода *Ribes* L. подродов *Ribesia* (Berl.) Jancz. and *Eucoreosma* (Jancz.) Berg. Санкт-Петербург: ВИР; 1994).

Информация об авторе

Ольга Анатольевна Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Information about the author

Olga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Статья поступила в редакцию 17.12.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 23.04.2025.
The article was submitted on 17.12.2024; approved after reviewing on 22.03.2024; accepted for publication on 23.04.2025.

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Краткое сообщение

УДК 94(47).084.8:581.6:631.52:634.10(092)

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-240-245



Кордон Рудольф Янович: памяти главного хранителя коллекции семян ВИР во время Великой Отечественной войны

А. В. Шлявас

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Анна Владимировна Шлявас, ann2668@yandex.ru

С именем Рудольфа Яновича Кордона (1884–1961) обычно связывают блокадный период Всесоюзного института растениеводства (в настоящее время Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, ВИР). Рудольф Янович был одним из тех, кто сохранил коллекцию семян института в осажденном Ленинграде. Однако жизненный путь этого ученого все еще остается малоизвестным широкому кругу людей. Более тридцати лет Кордон работал в отделе плодовых культур ВИР, был автором и соавтором 12 сортов яблони, им были разработаны рекомендации по выращиванию данной культуры в условиях Крыма и Северо-Запада России, которые не потеряли своей актуальности и в настоящее время.

Ключевые слова: история ВИР, генетические ресурсы растений, плодовые культуры, яблоня

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

Для цитирования: Шлявас А.В. Кордон Рудольф Янович: памяти главного хранителя коллекции семян ВИР во время Великой Отечественной войны. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):240-245. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-240-245

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Brief report

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-240-245

Rudolf J. Kordon: in memory of the chief custodian of VIR's seed collection during the Great Patriotic War

Anna V. Shlyavas

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

Corresponding author: Anna V. Shlyavas, ann2668@yandex.ru

The name of Rudolf J. Kordon (1884–1961) is usually associated with the siege period of the All-Union Institute of Plant Industry (currently the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, VIR). Rudolf Kordon was among those who saved the Institute's seed collection in the besieged city. However, the life of this scientist remains little known to the public. For more than thirty years, R. Kordon worked with the Fruit Crop Department of VIR, was the author and coauthor of 12 apple cultivars, and developed recommendations for apple-tree cultivation under the conditions of the Crimea and the Northwest of Russia, which have not lost their value to this day.

Keywords: VIR's history, plant genetic resources, fruit crops, apple

Acknowledgements: this publication was prepared within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0004 "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 author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shlyavas A.V. Rudolf J. Kordon: in memory of the chief custodian of VIR's seed collection during the Great Patriotic War. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):240-245. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-240-245

В этом году отмечается 81-я годовщина полного освобождения Ленинграда от фашистской блокады и 80-я годовщина окончания Великой Отечественной войны. В эти памятные дни мы хотим вспомнить об одном из защитников города, главном хранителе коллекции семян ВИР в тяжелые военные годы – Р. Я. Кордоне.

Рудольф Янович Кордон (рис. 1) родился 22 января 1884 г. в д. Сколас Валкского уезда Лифляндской губернии (Латвия) в семье батраков Якова и Юлии Кордон. Отец скончался, когда Рудольфу было полтора года, а старшему брату – шесть. Вся тяжесть воспитания сыновей легла на плечи матери (Archives of VIR..., p. 28, 50, 51).

В девятилетнем возрасте Рудольфа отдали в пастухи. Летом он пас скот, а зимой посещал школу. Обучение было трехлетнее, но благодаря тому, что мальчик оказался способным учеником, учитель согласился еще две зимы обучать его бесплатно.

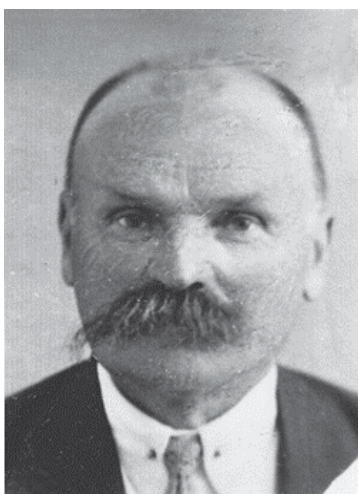


Рис. 1. Рудольф Янович Кордон (1884–1961)

Fig. 1. Rudolf J. Kordon (1884–1961)

В 1900 г. Кордон уехал в Ригу, где работал маляром, но все равно продолжал непрерывно заниматься самообразованием. В 1902–1904 гг. полученный уровень знаний позволил ему работать помощником волостного писаря (переписчиком) в канцелярии Алсвикского волостного правления. С 1905 г., сдав экзамен на звание народного учителя, Рудольф Янович преподавал в Беллавском волостном училище г. Валки, где основал библиотечное общество, устраивал спектакли и концерты. В 1912 г. он перевелся в Ригу учителем в училище «Заубе» и одновременно посещал гимназию для взрослых, организованную рабочим обществом «Латвия».

В 1915 г., во время Первой мировой войны, из-за приближения немецких войск к Риге он был вынужден переехать в Петроград, где устроился работать конторщиком на железной дороге.

Во время гражданской войны в 1919–1920 гг. Рудольф Янович служил красноармейцем в 48-м железнодорожном дивизионе. Воевал под Ямбургом (г. Кингисепп), а также принимал участие в ликвидации банд в районе Кременчуга на Украине (Archives of VIR..., p. 21, 21 rev., 22, 49, 50).

С осени 1920 г. после демобилизации учился в Ленинградском государственном университете на физико-математическом факультете, который окончил по специальности «Ботаника» в декабре 1925 г. В том же

году по заданию управления «Волховстроя» участвовал в обследовании лугов Ильменского бассейна на территории Новгородской области. (Archives of VIR..., p. 28 rev.).

В начале декабря 1926 г. Рудольф Янович пришел работать во Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур (в настоящее время – Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, ВИР), где прошел путь от временного техника, лаборанта до старшего научного сотрудника (Archives of VIR..., p. 5, 22 rev., 23).

В 1930-е годы он работал в экспедиционных отрядах института, обследовавших ареалы произрастания диких плодовых культур Кавказа и Средней Азии, а в 1953 г. участвовал в экспедиции по Латвии, Литве и Калининградской области (Archives of VIR..., p. 18 rev., 24, 26).

В начале Великой Отечественной войны Кордон не эвакуировался с институтом на Урал, остался в осажденном Ленинграде. Он был одним из основных хранителей коллекции семян ВИР, заместителем заведующего ленинградской частью института с февраля 1942 г., а также был назначен ответственным по выдаче продовольственных карточек и продовольствия с ноября 1942 г. (Archives of VIR..., p. 17, 17 rev.).

После прорыва блокады города, в апреле 1944 г., Кордон был командирован на экспериментальную базу института «Красный пахарь» в г. Павловск под Ленинградом для начала работ по восстановлению хозяйства базы, разрушенной немецкими оккупантами (Archives of VIR..., p. 36; Loskutov, 2021).

Основной культурой, с которой Рудольф Янович работал долгие годы, была яблоня (Archives of VIR..., p. 9). Из сеянцев Бельфлер-китайки, полученных в конце 1920-х гг. на экспериментальной базе «Красный пахарь», им созданы сорта: 'Пашкевича Красное' и 'Любимица Тарасенко' в соавторстве с Г. Г. Тарасенко, 'Кордоновка', 'Крюковское', 'Сиговское', 'Новогоднее', 'Ленинградская Зеленка', 'Краснощекое', 'Новое Полосатое', 'Ленинградское Желтое', 'Ленинградский Синап', а так же сорт 'Кормай' в соавторстве с В. И. Майоровой, полученный при опылении сорта 'Wealthy' смесью пыльцы сортов 'Ренет Симиренко', 'Сары Синап', 'Розмарин Белый', 'Пармен Зимний

Золотой' (Kordon, 1958; Bagmet, Shlyavas, 2021). Эти сорта и в настоящее время сохраняются в генетической коллекции яблони ВИР (рис. 2). Сорта 'Ленинградская Зеленка' и 'Любимица Тарасенко' входили в стандартный сортимент по Ленинградской области (The best crop cultivars..., 1954).

Помимо научной работы в 1950-е гг. Рудольф Янович занимался и научно-агрономической деятельностью. Он принимал участие в создании плодово-ягодного кольца вокруг Ленинграда на участке Пулковско-Гатчина: проводил обследование территории на садопригодность, составлял планы размещения сортов на



I.

II.

Рис. 2. Плоды яблони сортов: I. 'Кордоновка', II. 'Любимица Тарасенко' (фото А. В. Шлявас, 2023 г.)

Fig. 2. Fruits of the apple cultivars: I. 'Kordonovka', II. 'Lyubimitsa Tarasenko' (photo by A. V. Shlyavas, 2023)

Из коллекции яблони ВИР, сохраняемой на экспериментальной базе «Красный пахарь», в конце 1940-х гг. Кордон выделил и включил в стандартный сортимент для Северо-Западной зоны РСФСР сорт 'Винное' (Kordon, 1950). С 1959 г. и по настоящее время этот сорт входит в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию в Ленинградской и Ярославской областях (State Register..., 2024).

Многочисленно Рудольфа Яновича командировали на Крымскую помологическую станцию ВИР для изучения культуры яблони в условиях Крыма (Archives of VIR..., p. 17 rev., 18 rev., 19 rev.). Совместно с коллегами он разработал рекомендации по возделыванию яблони в Крыму (Kordon, Tolkachev, 1960; Pruss et al., 1963).

С 1935 по 1940 г. Рудольф Янович провел большую работу по изучению айвы (Archives of VIR..., p. 9): представил анализ систематического положения культуры, оценил состояние ее посадок в СССР и за рубежом, дал рекомендации по выращиванию айвы в промышленном садоводстве (Kordon, 1934, 1939, 1953a). В 1953 г. защитил диссертацию по теме: «Айва СССР» с присуждением звания кандидата сельскохозяйственных наук (Kordon, 1953b).

Кордон Р. Я. был одним из авторов уникального многотомного монографического издания, основанного Николаем Ивановичем Вавиловым, – «Культурная флора СССР», издававшегося с 1935 по 1999 г. Для 17-го тома «Орехоплодные» он написал главы о пекане и фисташке (Kordon, 1936a, 1936b). Подготовил рукописи статей об айве, хеномелесе, лохе, мушмеле и лавровишне, которые планировалось поместить в следующие тома о плодовых культурах, но они, к сожалению, не были опубликованы (Archives of VIR..., p. 29, 62).

участках, давал указания по правильной посадке плодовых растений, проверял уже проведенную посадку. Тогда были высажены сады на площади около 200 га, которые должны были обеспечивать жителей города витаминной плодово-ягодной продукцией (Archives of VIR..., p. 14, 63).

В течение ряда лет Кордон консультировал по вопросам плодоводства колхозы Мгинского района Ленинградской области. Так, под его руководством в колхозе «Прогресс» этого района были посажены сады на площади 22 га сортами плодовых и ягодных культур, выведенными и выделенными в ВИР (Archives of VIR..., p. 14, 18 rev.).

Рудольф Янович принимал участие в просветительской работе ВИР: читал лекции для жителей Ленинграда, в соавторстве с коллегами публиковал книги для садоводов Северо-Западного региона (Archives of VIR..., p. 38; Kordon, Karamysheva, 1958, 1968; Kordon, Pekhotov, 1962; Pruss, 1968).

За самоотверженный труд в военное и мирное время Рудольф Янович Кордон награжден медалями «За оборону Ленинграда» в 1943 г. и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.» в 1945 г., а также в 1949 г. орденом Трудового Красного Знамени (Archives of VIR..., p. 22, 25).

В 1959 г. Рудольф Янович вышел на пенсию в возрасте 75 лет, в 1961 г. скончался (Archives of VIR..., p. 1; Sedov, 2016).

Память о Рудольфе Яновиче всегда будет жить в сердцах вировцев, коллекционных образцах, сохраненных им с коллегами в голодные блокадные дни, сортах яблони и его научных трудах. О Кордоне будет напоминать названный в его честь сорт груши 'Кордоновка', выведенный Г. А. Рубцовым и А. Г. Пруссом (рис. 3).



Рис. 3. Плод груши сорта 'Кордоновка'
(архив отдела генетических ресурсов плодовых культур ВИР)

Fig. 3. A fruit of the pear cultivar 'Kordonovka'
(archives of the Fruit Crops Genetic Resources Department of VIR)

References / Литература

- Archives of VIR. Inventory 2-1. File 571 (R. J. Kordon). 64 p. [in Russian] (Архив ВИР. Оп. 2-1. Д. 571 (Р. Я. Кордон). 64 л.).
- Bagmet L.V., Shlyavas A.V. Nomenclatural standards of apple cultivars bred at the Pavlovsk experiment station of VIR. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24. [in Russian] (Багмет Л.В., Шлявас А.В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Павловской опытной станции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-3-24
- Kordon R.J. Apple-tree cultivars for the Northwestern Zone of the RSFSR (Sorta yablони dlya Severo-Zapadnoy zony RSFSR). *Sad i ogorod = Orchard and Vegetable Garden*. 1950;7:22-24. [in Russian] (Кордон Р.Я. Сорта яблони для Северо-Западной зоны РСФСР. *Сад и огород*. 1950;7:22-24).
- Kordon R.J. New apple cultivars obtained from open-pollination Belflyer-kitayka seeds (Novye sorta yablони, poluchennyye iz semyan Belfler-kitayki ot svobodnogo opyleniya). *Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1958;4:45-47. [in Russian] (Кордон Р.Я. Новые сорта яблони, полученные из семян Бельфлер-китайки от свободного опыления. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства*. 1958;4:45-47).
- Kordon R.J. Pecan (Pekan). In: E.W. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants. Vol. 17. Nut Crops*. Moscow; Leningrad; Selkhozgiz; 1936a. p.101-123. [in Russian] (Кордон Р.Я. Пекан. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 17. Орехоплодные* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1936a. С.101-123).
- Kordon R.J. Pistachio (Fistashka). In: E.W. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants. Vol. 17. Nut Crops*. Moscow; Leningrad; Selkhozgiz; 1936b. p.313-344. [in Russian] (Кордон Р.Я. Фисташка. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 17. Орехоплодные* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1936b. С.313-344).
- Kordon R.J. Quince (Ayva). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1934;8(3):113-157. [in Russian] (Кордон Р.Я. Айва. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1934;8(3):113-157).
- Kordon R.J. Quince in the USSR (Ayva SSSR). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1953a;30(1):65-101. [in Russian] (Кордон Р.Я. Айва СССР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1953a;30(1):65-101).
- Kordon R.J. Quince in the USSR (Ayva SSSR) [dissertation]. Leningrad; 1953b. [in Russian] (Кордон Р.Я. Айва СССР: дис. ... канд. с.-х. наук. Ленинград; 1953b).
- Kordon R.J. The best cultivars of quince for production (Luchshiyе sorta ayvy dlya proizvodstva). *Sadovodstvo = Horticulture*. 1939;12:10. [in Russian] (Кордон Р.Я. Лучшие сорта айвы для производства. *Садоводство*. 1939;12:10).
- Kordon R.J., Karamysheva V.I. Apple tree (Yablonya). Leningrad: Lenizdat; 1958. [in Russian] (Кордон Р.Я., Карамышева В.И. Яблоня. Ленинград: Лениздат; 1958).
- Kordon R.J., Karamysheva V.I. Apple tree (Yablonya). Leningrad: Lenizdat; 1968. [in Russian] (Кордон Р.Я., Карамышева В.И. Яблоня. Ленинград: Лениздат; 1968).
- Kordon R.J., Pekhotov F.I. Apple tree (Yablonya). Leningrad; Moscow: Selkhozizdat; 1962. [in Russian] (Кордон Р.Я., Пехотов Ф.И. Яблоня. Ленинград; Москва: Сельхозиздат; 1962).
- Kordon R.J., Tolkachev V.P. Apple tree (Yablonya). Simferopol: Krymizdat; 1960. [in Russian] (Кордон Р.Я., Толкачев В.П. Яблоня. Симферополь: Крымиздат; 1960).
- Loskutov I.G. Wartime activities of the Vavilov Institute. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):151-162. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Деятельность ВИР им. Н.И. Вавилова в годы войны. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):151-162). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-151-162
- Pruss A.G. (ed.). Fruit and berry crop cultivars (Sorta plodovo-yagodnykh kultur). 2nd ed. Leningrad: Lenizdat; 1968. [in Russian] (Сорта плодово-ягодных культур / под ред. А.Г. Прусса. 2-е изд. Ленинград: Лениздат; 1968).
- Pruss A.G., Shurakov F.V., Kordon R.J. Fruit crop cultivars (Sorta plodovykh kultur). Simferopol: Krymizdat; 1963. [in Russian] (Прусс А.Г., Шурakov Ф.В., Кордон Р.Я. Плодовые культуры. Симферополь: Крымиздат; 1963).

- sian] (Прусс А.Г., Шураков Ф.В., Кордон Р.Я. Сорта плодовых культур. Симферополь: Крымиздат; 1963).
- Sedov E.N. (ed.). Horticultural scientists of Russia. Brief biographical reference. (Sadovody-uchenye Rossii. Kratkiy biograficheskiy spravochnik). 2nd ed. Orel: VNIISPК; 2016. [in Russian] (Садоводы-ученые России. Краткий биографический справочник / под ред. Е.Н. Седова. 2-е изд. Орел: ВНИИСПК; 2016).
- State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage (National List): official publication. Moscow; Rosinformagrotekh; 2024. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2024).
- The best crop cultivars (for Leningrad Province) (Luchshiye sorta selskokhozyaystvennykh kultur [dlya Leningradskoy oblasti]). Leningrad: Lenizdat; 1954. [in Russian] (Лучшие сорта сельскохозяйственных культур (для Ленинградской области). Ленинград: Лениздат; 1954).

Информация об авторах

Анна Владимировна Шлявас, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, ann2668@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

Information about the authors

Anna V. Shlyavas, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, Russia, ann2668@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 04.04.2025; принята к публикации 23.04.2025. The article was submitted on 12.02.2025; approved after reviewing on 04.04.2025; accepted for publication on 23.04.2025.

**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

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Scopus, RSCI, DOAJ, AGRIS, входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук / Indexed/abstracted by the Russian Science Citation Index on eLIBRARY.RU platform, Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science platform, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts

<https://elpub.vir.nw.ru>

<http://www.vir.nw.ru/trudy>

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=27909>

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru> / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <https://elpub.vir.nw.ru>

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru>.

Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website <https://elpub.vir.nw.ru>. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

Научный редактор: *Е.А. Соколова*

Корректурa: *А.Г. Крылов*

Компьютерная верстка: *А.В. Иванов*

Адрес редакции:

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

Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: trudyVIR@vir.nw.ru; i.kotielkina@vir.nw.ru

Почтовый адрес редакции:

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

Подписано в печать 24.06.2025.

Дата выхода в свет 30.06.2025.

Формат 70×100^{1/8}.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 30,75. Тираж 100 экз. Заказ № 385/2.

Издатель:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР)

Адрес издателя:

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

Отпечатано:

000 «Р-КОПИ»

190000, Санкт-Петербург, пер. Гривцова, д. 6, литер Б

