

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

Научная статья  
УДК 634.75.632.527  
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-121-130



### Сравнение компонентов зимостойкости образцов рода *Fragaria* L. с разным феноритмотипом в камере искусственного климата

А. А. Харченко, Л. Ю. Новикова

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

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Анатольевна Харченко, akkhara47@yandex.ru

**Актуальность.** В условиях России перезимовка является критическим фактором для культивирования сортов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier). В качестве источника зимостойкости могут выступать виды рода *Fragaria* L., произрастающие в азиатских регионах России с резко континентальным климатом, которые пока мало изучены и слабо вовлечены в селекцию. Цель исследования – выделение источников высокой зимостойкости у представителей рода *Fragaria* в камере искусственного климата.

**Материалы и методы.** Опыты по определению зимостойкости 17 образцов рода *Fragaria* проводили в камере искусственного климата в зимний период 2022/2023 и 2023/2024 г. на основе методики Всероссийского НИИ селекции плодовых культур. Исследованы три компонента зимостойкости: морозостойкость в начале зимы, способность сохранять устойчивость к морозам после оттепелей в середине и в конце зимы.

**Результаты.** По среднему баллу наиболее устойчивыми оказались 5 образцов из азиатской части России: 3 образца *F. mandshurica* Staudt, *F. viridis* (Duchesne) Weston и сорт 'Александра' селекции Якутского НИИ сельского хозяйства. Первые четыре имеют летнезеленый феноритмотип, то есть уходят в зиму с побуревшими листьями. Эти образцы выдерживают низкие температуры начала зимы и сохраняют устойчивость к морозам после оттепелей середины зимы, однако к концу зимы некоторые из них теряют устойчивость к морозам после оттепелей. Для этих образцов из регионов с четким сезонным ходом температуры даже кратковременное повышение температуры означает наступление весны и вызывает быстрое раззакаливание.

**Заключение.** Виды *F. mandshurica*, *F. viridis* могут внести ценный вклад в селекцию на повышение зимостойкости сортов земляники.

**Ключевые слова:** *Fragaria* L., виды, компоненты зимостойкости, камера искусственного климата, ледяная корка, летнезеленый феноритмотип

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

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

**Для цитирования:** Харченко А.А., Новикова Л.Ю. Сравнение компонентов зимостойкости образцов рода *Fragaria* L. с разным феноритмотипом в камере искусственного климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):121-130. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-121-130

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-121-130

### Comparison of winter hardiness components in *Fragaria* L. accessions with different phenorhythmotypes in an artificial climate chamber

Anastasiia A. Kharchenko, Liubov Yu. Novikova

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

**Corresponding author:** Anastasiia A. Kharchenko, akkhara47@yandex.ru

**Background.** Overwintering is a critical factor for strawberry cultivation in Russia. Those *Fragaria* L. spp. that grow in the Asian regions of Russia with an extreme continental climate, which have so far been little studied and are poorly involved in breeding practice, can serve as sources of winter hardiness. The objective of the study was to identify sources of high winter hardiness among the genus *Fragaria* L. under artificial climate conditions.

**Materials and methods.** Experiments to assess winter hardiness in 17 *Fragaria* accessions were conducted in an artificial climate chamber in the winters of 2022/2023 and 2023/2024 according to the guidelines of the All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Three components of winter hardiness were studied: early-winter frost resistance, the ability to maintain frost resistance after midwinter thaws, and the same ability at the end of the winter season.

**Results.** Five accessions from the Asian part of Russia showed the highest average scores of resistance: 3 accessions of *F. mandshurica* Staudt, one of *F. viridis* (Duchesne) Weston, and cv. 'Aleksandra' developed at the Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. The first four had a summergreen phenorhythmotype, i.e., they entered the winter with browned leaves. Those accessions withstood the low temperatures in the early winter and remained resistant to frosts after the midwinter thaw; however, some of them lost their post-thaw frost resistance by the end of the winter. For such accessions from regions with a clear seasonal temperature course, even a brief temperature increase means the onset of spring and causes rapid unhardening.

**Conclusion.** The species *F. mandshurica* and *F. viridis* can make a valuable contribution to the enhancement of winter hardiness in strawberry cultivars.

**Keywords:** *Fragaria* L., species, winter hardiness, artificial climate chamber, ice crust, summergreen phenorhythmotype

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding"

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

**For citation:** Kharchenko A.A., Novikova L.Yu. Comparison of winter hardiness components in *Fragaria* L. accessions with different phenorhythmotypes in an artificial climate chamber. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):121-130. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-121-130

## Введение

Земляника – растение умеренных широт с мягкой зимой. Повреждение растений земляники от низких температур является одним из основных факторов снижения урожайности и качества урожая в регионах с холодной зимой (Koehler et al., 2012). В условиях России для культивируемых видов перезимовка является критическим фактором (Shokayeva, 2018). Земляника хорошо переносит зимы при наличии мощного снежного покрова (Rao et al., 2020). Основными повреждающими факторами являются низкие температуры в начале зимы, когда земляника не успела закалиться, и в конце, когда она вышла из состояния покоя и устойчивость ее резко снизилась (Zubkova, Ozherelieva, 2019; Ozherelieva et al., 2020). Увеличившиеся в последние десятилетия рост температур и нестабильность температурных условий зимы повышают риски возделывания культуры (Sønsteby, Karhu, 2005; Bakaeva, 2015; Yang et al., 2020; Menzel, 2021). В условиях Северо-Запада РФ основными факторами риска являются понижение температуры почвы на глубине 10 см ниже  $-8^{\circ}\text{C}$ , небольшая (до 20 см) высота снежного покрова, высокая (выше  $-4^{\circ}\text{C}$ ) средняя температура зимы (Kharchenko et al., 2023). Таким образом, наиболее значимыми факторами риска для земляники в условиях Северо-Запада России в зимний период являются оттепели в середине и конце зимы, а также сильные морозы при отсутствии снежного покрова. Повышение зимостойкости является одной из основных задач селекционной программы этой культуры (Koehler et al., 2012; Kulikov et al., 2021).

Выделяются четыре основные компонента зимостойкости плодовых и ягодных культур (Rezvyakova, 2015): первый – устойчивость сорта к раннезимним морозам; второй – величина максимальной морозостойкости сорта, которую он может развить в закаленном состоянии к середине зимы; третий – способность сорта сохранять устойчивость к морозам во время оттепелей; четвертый – способность сорта иметь высокую устойчивость к возвратным морозам, которые наступают через какое-то время после оттепелей. Кроме того, как и для других зимующих культур, зимние повреждения культуры могут быть вызваны выпреванием, зимним иссушением, вымоканием, выпиранием, ледяной коркой (Rakitina, 1977; Tumanov, 1979; Tyurina, 1993).

Мировое разнообразие рода *Fragaria* L. представлено, по мнению разных авторов, 20 или 24 видами (Hummer et al., 2011; Yang et al., 2020), однако в селекции используется лишь небольшая часть генофонда, преимущественно *F. × ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier. На территории России произрастает 8 дикорастущих видов земляники, наибольшее таксономическое разнообразие которых сосредоточено в азиатской части. В регионах Сибири с резко континентальным климатом произрастают наиболее морозостойкие виды земляники, такие как *F. orientalis* Losinsk., *F. mandshurica* Staudt, *F. viridis* (Duchesne) Weston. Некоторые экотипы видов рода *Fragaria* из регионов с экстремально низкими зимними температурами имеют редкий для рода летнезеленый феноритмотип, то есть уходят в зиму с побуревшими листьями.

В данной работе авторы сочли целесообразным использовать систему, предложенную G. Staudt, в которой он разделил вид *F. orientalis* на два вида, предложив все гермафродитные диплоидные растения с признаками *F. orientalis*, произрастающие в Якутии, Юго-Восточной

части оз. Байкал, от Монголии до Хабаровского края, а также в Хэйлунцзяне, Цзилине и Северной Корее, считать *F. mandshurica* Staudt. Тетраплоидные растения, произрастающие от Хабаровского края до Амурской обл., в Приморском крае и Хэйлунцзяне, следует относить к виду *F. orientalis* (Staudt, 2003).

Землянику относят к растениям с зимнезеленым феноритмотипом (Liston et al., 2014). Однако в роде *Fragaria* встречаются популяции отдельных видов (*F. viridis*, *F. mandshurica*), произрастающие в условиях с ярко выраженным континентальным климатом, которые проявляют признаки растений летнезеленого феноритмотипа.

Феноритмотипы – группы растений с одинаковой длительностью и сходными сроками начала и конца вегетации, а также с одинаковым направлением смен основных фенологических состояний: вегетации и покоя (Vasfilova, 2020). Феноритмотип связан с происхождением растений, с эколого-генетическими особенностями их становления и развития (Golubev, 1965).

Изучение видового разнообразия, адаптивности рода *Fragaria* активно проводится с использованием как полевых, так и лабораторных методов (Lindén et al., 2002; Zubkova et al., 2022). Камеры искусственного климата позволяют определять и разделять отдельные компоненты устойчивости образцов плодовых и ягодных культур к повреждающим зимним факторам (Zubkova et al., 2022). Кроме того, они дают возможность исследования повреждений от такого повреждающего фактора зимнего периода, как ледяная корка, которое для земляники в нашей стране еще не проводилось.

Цель исследования – выделение источников высокой зимостойкости у представителей рода *Fragaria* на основе моделирования условий зимовки в камере искусственного климата.

## Материалы и методы

Исследованы 17 образцов рода *Fragaria* из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) различного эколого-географического происхождения (9 образцов из Европы, 7 из Азии, один из Южной Америки), представляющих сорта, межвидовые гибриды, дикие виды (табл. 1). Образцы характеризовались разным феноритмотипом: 4 летнезеленых (Л), 13 зимнезеленых (З).

Опыты по определению зимостойкости проводили в зимний период 2022/2023 и 2023/2024 г. За основу определения морозостойкости взята методика Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК) (Ozherelieva et al., 2019). Для искусственного промораживания растения земляники отбирали в 5-кратной повторности по каждому компоненту зимостойкости, в сентябре растения пересаживали в отдельные горшки, с ноября образцы помещали в холодильник при температуре  $-2^{\circ}\text{C}$ . Закаливание и моделирование повреждающих факторов зимнего периода проводили в климатической камере отечественного производства ПРО КТВХ-70/150-1000. В оба года исследована морозостойкость по трем компонентам:

I компонент – закаливание, промораживание при  $-20^{\circ}\text{C}$ , декабрь – январь, далее этот режим будет называться «зимостойкость-I»;

II компонент – оттепель,  $-15^{\circ}\text{C}$ , январь (далее – «зимостойкость-II»);

III компонент – оттепель,  $-15^{\circ}\text{C}$ , февраль – март (далее – «зимостойкость-III»).

**Таблица 1. Характеристика объектов исследования**  
**Table 1. Characteristics of the research material**

| № по каталогу ВИР | Вид / сорт  | Феноритмотип* | Происхождение                                 |
|-------------------|---|---------------|---|
| 49728             | <i>Fragaria mandshurica</i> Staudt                                | Л             | Россия, Забайкальский край, Алханай           |
| 49754             | <i>F. viridis</i> (Duchesne) Weston                               | Л             | Россия, Иркутская обл., Ольхонский р-н        |
| 49719             | <i>F. mandshurica</i>   | Л             | Россия, Якутия, окр. Якутска                  |
| 49726             | <i>F. mandshurica</i>   | Л             | Россия, Амурская обл., Зейский р-н            |
| 49701             | <i>F. vesca</i> L. × <i>F. mandshurica</i> / 'Александра'***      | З             | Россия, Якутия, Якутский НИИСХ                |
| 49702             | <i>F. × ananassa</i> (Weston) Duchesne ex Rozier / 'Берсенеvская' | З             | Россия, Якутия, Якутский НИИСХ                |
| 38139             | <i>F. viridis</i>   | З             | Россия, Карачаево-Черкессия, Эльбрус          |
| 17725             | <i>F. viridis</i>   | З             | Россия, Ленинградская обл., Лужский р-н       |
| 49744             | <i>F. × ananassa</i> 'Азия'                                       | З             | Италия  |
| 49730             | <i>F. moschata</i> Duchesne ex Weston                             | З             | Россия, Ленинградская обл., Кингисеппский р-н |
| 38156             | <i>F. orientalis</i> Losinsk. × 'Di Milano'                       | З             | Россия, Приморский край                       |
| 15119             | <i>F. chiloensis</i> (L.) Mill.                                   | З             | Южная Америка                                 |
| 49735             | <i>F. viridis</i>   | З             | Россия, Воронежская обл.                      |
| 13569             | <i>F. × ananassa</i> 'Фестивальная'                               | З             | Россия, Санкт-Петербург, ВИР                  |
| 49740             | <i>F. × ananassa</i> / 'Дукат'                                    | З             | Польша  |
| 49752             | <i>F. × ananassa</i> / 'Де Роял'                                  | З             | Франция                                       |
| 49919             | <i>F. × ananassa</i> / 'Пелагея'                                  | З             | Россия, Краснодарский край, Крымск, ВИР       |

Примечание: \* – Л – летнезеленый феноритмотип; З – зимнезеленый феноритмотип; \*\* – в патенте на сорт 'Александра' в качестве отцовской формы указана *F. orientalis* якутского происхождения, которая по системе G. Staudt относится к *F. mandshurica*

Note: \* – Л – summergreen phenorhythmotype, З – wintergreen phenorhythmotype; \*\* – the patent for cv. 'Aleksandra' names *F. orientalis* of Yakut origin as the paternal form, while according to G. Staudt's taxonomic system it belongs to *F. mandshurica*

Закаливание проводилось 5 дней при  $-3^{\circ}\text{C}$ , затем 5 дней при  $-5^{\circ}\text{C}$ . Оттепель – три дня при  $+5^{\circ}\text{C}$ . Промораживание проводилось экспозицией в течение 6 часов при заданной температуре. После промораживания растения отращивались 2 недели при температуре  $+18...+20^{\circ}\text{C}$ , после чего степень подмерзания определялась по степени побурения на срезах рожков и корневищ по 5-балльной системе (0 – нет признаков подмерзания, 5 – растение полностью погибло).

Кроме того, для исследования процесса формирования зимостойкости проводились дополнительные опыты: в марте 2023 г. для трех образцов исследовали устойчивость к промораживанию при  $-15^{\circ}\text{C}$  и  $-25^{\circ}\text{C}$ ; в опыте 2023/2024 г. анализировали устойчивость к оттепели и промораживанию при  $-15^{\circ}\text{C}$  в декабре и феврале. В феврале 2024 г. изучалось влияние ледяной корки. Ледяную корку моделировали с минимальной экспозицией – 5 дней.

Статистическую обработку производили методами непараметрической статистики в пакете Statistica 13.3. Использован коэффициент корреляции Спирмена. Достоверность различий характеристик групп образцов ис-

следована критерием Манна – Уитни или Краскела – Уоллиса. Сравнение лет и режимов проведено критерием Вилкоксона. В работе принят уровень значимости 5%.

## Результаты

### Оценка зимостойкости образцов по основным компонентам

Зимостойкость-I (декабрь – январь, закаливание,  $-15^{\circ}\text{C}$ ) в среднем по 17 образцам составила в опыте 2022/2023 г. 3,1 балла (варьируя у образцов от 0 до 5 баллов), в 2023/2024 г. – 2,8 балла (0–4,8 балла) (табл. 2). Критерий Вилкоксона показал, что по выборке 17 образцов средняя зимостойкость-I за два года эксперимента достоверно не различалась ( $p = 0,281$ ). Зимостойкость-II (январь, оттепель,  $-15^{\circ}\text{C}$ ) составила в среднем 3,7 балла в 2022/2023 г. (0,6–4,4 балла), в 2023/2024 г. – 3,2 балла (0,4–4,9 балла), различия между годами недостоверны ( $p = 0,276$ ). Зимостойкость-III (февраль – март, оттепель,  $-15^{\circ}\text{C}$ ) в 2022/2023 г. составила в среднем по образцам 4,4 балла (2,5–5,0 баллов), балл повреждения достоверно снизился в 2023/2024 г. до 3,8 балла (2,8–4,4 балла;

**Таблица 2. Компоненты зимостойкости 17 образцов *Fragaria L.* при искусственном промораживании**  
**Table 2. Winter hardiness components in 17 *Fragaria L.* accessions under artificial freezing conditions**

| № по каталогу<br>ВИР | 2022/2023 г.                       |                              |                                     |              | 2023/2024 г.                       |                              |                                     |              | Итоговый балл |
|----------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------|
|                      | I (декабрь-январь, закалка, -20°C) | II (январь, оттепель, -15°C) | III (февраль-март, оттепель, -15°C) | Средний балл | I (декабрь-январь, закалка, -20°C) | II (январь, оттепель, -15°C) | III (февраль-март, оттепель, -15°C) | Средний балл |               |
| 49728                | 0,0                                | 2,7 ± 0,8                    | 4,6 ± 0,2                           | 2,4          | 0,0                                | 2,6 ± 0,2                    | 2,8 ± 0,4                           | 1,8          | 2,1           |
| 49754                | 1,8 ± 0,5                          | 0,6 ± 0,4                    | 3,8 ± 0,7                           | 2,1          | 1,5 ± 0,2                          | 2,6 ± 0,3                    | 3,5 ± 0,2                           | 2,5          | 2,3           |
| 49719                | 0,4 ± 0,2                          | 4,0                          | 5,0 ± 0,0                           | 3,1          | 0,0                                | 0,6 ± 0,2                    | 3,8 ± 0,1                           | 1,5          | 2,3           |
| 49726                | 0,3 ± 0,2                          | 3,0 ± 0,2                    | 2,5 ± 0,8                           | 1,9          | 1,3 ± 0,4                          | 3,9 ± 0,2                    | 3,6 ± 0,3                           | 2,9          | 2,4           |
| 49701                | 1,4 ± 0,2                          | 3,8 ± 0,2                    | 4,3 ± 0,3                           | 3,2          | 0,2 ± 0,2                          | 0,4 ± 0,2                    | 4,0 ± 0,2                           | 1,5          | 2,4           |
| 49702                | 3,6 ± 0,2                          | 3,6 ± 0,2                    | 4,1 ± 0,1                           | 3,8          | 2,1 ± 0,4                          | 3,4 ± 0,4                    | 4,0 ± 0,1                           | 3,2          | 3,5           |
| 15119                | 3,4 ± 0,2                          | 4,3 ± 0,1                    | 4,6 ± 0,4                           | 4,1          | 2,2 ± 0,2                          | 3,2 ± 0,2                    | 3,5 ± 0,3                           | 3,0          | 3,5           |
| 49744                | 3,3 ± 0,4                          | 4,1 ± 0,2                    | 4,3 ± 0,2                           | 3,9          | 3,2 ± 0,4                          | 3,7 ± 0,3                    | 2,9 ± 0,3                           | 3,3          | 3,6           |
| 17725                | 4,1 ± 0,2                          | 4 ± 0,2                      | 4,5 ± 0,2                           | 4,2          | 2,8 ± 0,5                          | 3,4 ± 0,3                    | 4,0 ± 0,5                           | 3,4          | 3,8           |
| 38139                | 3,7 ± 0,3                          | 4,2 ± 0,1                    | 4,4 ± 0,2                           | 4,1          | 2,7 ± 0,4                          | 3,7 ± 0,1                    | 4,1 ± 0,3                           | 3,5          | 3,8           |
| 38156                | 3,6 ± 0,2                          | 3,6 ± 0,2                    | 4,5 ± 0,2                           | 3,9          | 3,8 ± 0,1                          | 3,8 ± 0,1                    | 3,8 ± 0,2                           | 3,8          | 3,9           |
| 49730                | 4,1 ± 0,2                          | 4,0 ± 0,0                    | 4,8 ± 0,1                           | 4,3          | 3,5 ± 0,2                          | 3,1 ± 0,1                    | 4,1 ± 0,2                           | 3,6          | 3,9           |
| 49735                | 4,2 ± 0,1                          | 4,3 ± 0,2                    | 4,7 ± 0,2                           | 4,4          | 3,2 ± 0,3                          | 2,9 ± 0,2                    | 4,4 ± 0,2                           | 3,5          | 4,0           |
| 49740                | 3,9 ± 0,1                          | 3,6 ± 0,1                    | 4,8 ± 0,0                           | 4,1          | 3,6 ± 0,2                          | 4,8 ± 0,1                    | 4,3 ± 0,1                           | 4,2          | 4,2           |
| 13569                | 5,0 ± 0,0                          | 4,4 ± 0,2                    | 4,5 ± 0,2                           | 4,6          | 3,7 ± 0,2                          | 3,5 ± 0,2                    | 4,2 ± 0,2                           | 3,8          | 4,2           |
| 49752                | 4,8 ± 0,1                          | 3,9 ± 0,1                    | 5,0 ± 0,0                           | 4,6          | 3,8 ± 0,3                          | 4,4 ± 0,4                    | 4,0 ± 0,1                           | 4,1          | 4,3           |
| 49919                | 4,8 ± 0,1                          | 4,3 ± 0,2                    | 4,9 ± 0,1                           | 4,7          | 4,0 ± 0,2                          | 4,9 ± 0,1                    | 4,0 ± 0,2                           | 4,3          | 4,5           |
| Всего                | 3,1                                | 3,7                          | 4,4                                 | 3,7          | 2,4                                | 3,2                          | 3,8                                 | 3,2          | 3,4           |

$p = 0,003$ ). Таким образом, во второй год исследований устойчивость к низким температурам в середине зимы и к оттепелям в январе в среднем по выборке была такой же, а устойчивость к оттепели весной – выше. Поскольку с ноября растения в оба года находились в одинаковых контролируемых условиях, причиной различий являются лучшие условия вегетации 2023 г.

Корреляция трех компонентов зимостойкости (I, II и III) между собой в опыте 2022/2023 г. составила: I и II –  $r = 0,61$ , I и III –  $r = 0,45$  (незначим,  $p = 0,070$ ), II и III –  $r = 0,35$  (незначим,  $p = 0,168$ ); в опыте 2023/2024 г. соответственно –  $r = 0,65$ ,  $r = 0,26$  (незначим,  $p = 0,317$ ) и  $r = 0,16$  (незначим,  $p = 0,537$ ). Корреляции между средними за два года компонентами выше, чем в отдельные года: соответственно  $r = 0,83$ ,  $r = 0,54$  и  $r = 0,47$  (незначим,  $p = 0,058$ ). Таким образом, наблюдается положительная сильная связь между компонентами I и II, средняя между I и III и незначимая между II и III.

Комплексную зимостойкость каждого образца в каждый год охарактеризовали средним значением балла поражения по трем компонентам (табл. 3, рис. 1). Средние значения зимостойкости образцов в первый и второй год исследования сильно коррелировали ( $r = 0,76$ ). Средний по двум годам балл повреждения варьировал у образцов

от 2,1 до 4,5 балла, по 17 образцам составил в среднем 3,4 балла. Образцы достоверно отличались средним баллом ( $p = 0,021$ ).

Устойчивость первых пяти образцов в ранжированном ряду (2,1–2,4 балла) существенно ниже ( $p = 0,001$  по критерию Манна – Уитни), чем у остальных (3,5–4,5 балла). Группа образцов с высокой устойчивостью – образцы из Азиатской части России разных видов: *F. viridis* (к-49754), 3 образца *F. mandshurica* (к-49728, к-49719, к-49726) и сорт 'Александра' (*F. vesca* × *F. mandshurica*; к-49701).

#### Сравнение зимостойкости групп разного феноритмотипа

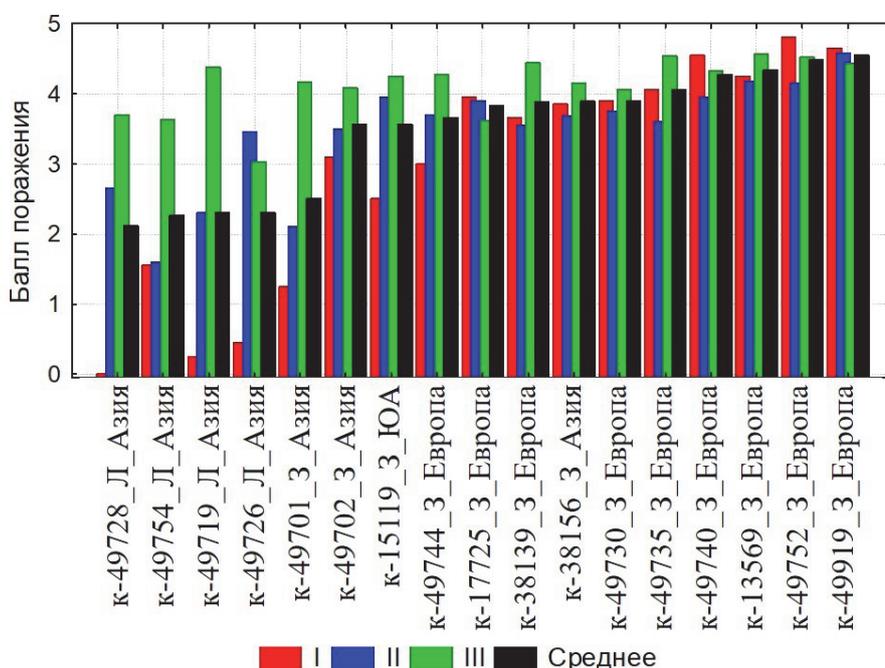
Четыре из пяти высокоустойчивых образцов (кроме сорта 'Александра') имеют летнезеленый феноритмотип. Критерий Манна – Уитни подтвердил, что группа образцов с летнезеленым феноритмотипом достоверно превышает группу образцов с зимнезеленым феноритмотипом по средней зимостойкости (2,2 vs 3,9 балла,  $p = 0,001$ ), по зимостойкости-I (0,6 vs 3,7 балла,  $p = 0,002$ ) и зимостойкости-II (2,5 vs 3,7 балла,  $p = 0,006$ ). Зимостойкость-III различается у групп разного феноритмотипа недостоверно (3,7 vs 4,3 балла,  $p = 0,079$ ).

**Таблица 3.** Компоненты зимостойкости и степень подмерзания образцов *Fragaria L.* летнезеленого и зимнезеленого феноритмотипов (среднее за два года исследования)**Table 3.** Winter hardiness components and freezing degrees for *Fragaria L.* accessions of the summergreen and wintergreen phenorhythmotypes (mean for two years of studying)

| Феноритмотип | I<br>(декабрь-январь, -20°C) |     |     | II<br>(январь, оттепель, -15°C) |     |     | III<br>(февраль-март, оттепель, -15°C) |     |     | Средний балл |     |     |
|--------------|------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-----|-----|--|-----|-----|--------------|-----|-----|
|              | $\bar{x}^*$                  | min | max | $\bar{x}$                       | min | max | $\bar{x}^*$                            | min | max | $\bar{x}$    | min | max |
| летнезеленый | 0,6 ± 0,3                    | 0,0 | 1,6 | 2,5 ± 0,4                       | 1,6 | 3,5 | 3,7 ± 0,3                              | 3,0 | 4,4 | 2,2 ± 0,0    | 2,1 | 2,3 |
| зимнезеленый | 3,7 ± 0,3                    | 1,3 | 4,8 | 3,7 ± 0,2                       | 2,1 | 4,6 | 4,3 ± 0,1                              | 3,6 | 4,6 | 3,9 ± 0,1    | 2,5 | 4,6 |

Примечание: \*  $\bar{x}$  – среднее ± стандартная ошибка среднего; min – минимальное значение; max – максимальное значение

Note: \*  $\bar{x}$  – mean ± standard error of the mean; min – minimum value; max – maximum value



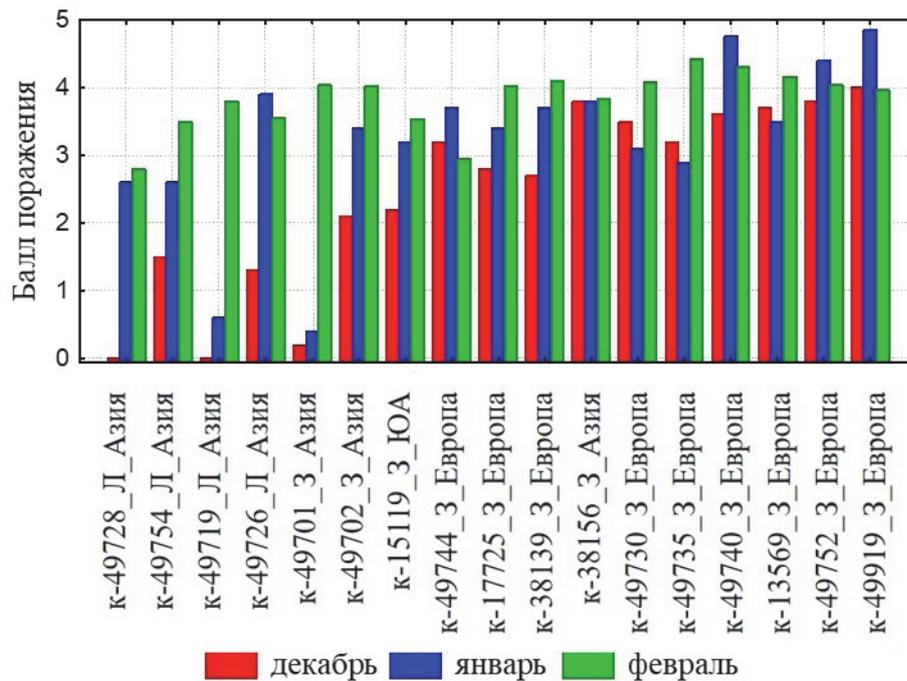
**Рис. 1.** Средние за два года характеристики основных компонентов зимостойкости. Образцы расположены в порядке возрастания балла поражения. Обозначения образца: номер по каталогу, феноритмотип (Л – летнезеленый, З – зимнезеленый), регион происхождения (ЮА – Южная Америка). Цветом обозначены: красный – зимостойкость-I, синий – зимостойкость-II, зеленый – зимостойкость-III, черный – средний по трем компонентам балл

**Fig. 1.** Mean characteristics of the main winter hardiness components for two years. The accessions are arranged in the order of increasing damage scores. Accession designations: catalogue No., phenorhythmotype (Л – summergreen, З – wintergreen), region of origin (ЮА – South America). Color designations: red – winter hardiness I, blue – winter hardiness II, green – winter hardiness III, black – average score for three components

Таким образом, образцы летнезеленого феноритмотипа в условиях камеры искусственного климата развивают значительную устойчивость в процессе закаливания и выдерживают с минимальными повреждениями низкие температуры середины зимы, они сохраняют устойчивость после оттепелей середины зимы. Однако к концу зимы некоторые из них быстро теряют устойчивость.

#### Сравнение устойчивости к морозу после оттепели в декабре, январе и феврале

Устойчивость к заморозкам снижается на протяжении зимы. В опыте 2023/2024 г. с декабря по январь балл повреждения морозом -15°C после оттепели +5°C достоверно ( $p = 0,003$ ) повысился с 2,5 до 3,2 балла, то есть на 0,7 балла (рис. 2), а к февралю – до 3,8 балла (но различия с январем недостоверны,  $p = 0,080$ ). При этом корреля-



**Рис. 2.** Степень повреждения растений *Fragaria L.* при понижении температуры до  $-15^{\circ}\text{C}$  после оттепели в декабре, январе и феврале, опыт 2023/2024 г.

**Fig. 2.** The degree of damage to *Fragaria L.* plants at temperatures down to  $-15^{\circ}\text{C}$  after a thaw in December, January, and February, the 2023/2024 experiment

ция декабрьской и январской устойчивости у образцов составила  $r = 0,72$ , а связь с февральской недостоверна как у декабрьской ( $r = 0,43$ ,  $p = 0,084$ ), так и у январской устойчивости ( $r = 0,16$ ,  $p = 0,537$ ).

Декабрьская устойчивость к морозам после оттепели сильно коррелировала со способностью переносить низкие температуры декабря ( $r = 0,84$ ), в январе связь устойчивости к оттепели с декабрьской морозостойкостью стала средней ( $r = 0,65$ ), а в феврале стала незначимой ( $r = 0,26$ ). Таким образом, к февралю образцы снизили устойчивость к оттепели независимо от способности переносить сильные морозы. Наиболее сильно (на 2,6 балла) потеряли устойчивость к оттепели между декабрем и январем образцы *F. mandshurica* летнезеленого феноритмотипа к-49728 и к-49726, а к февралю на 3,8 балла – сорт ‘Александра’ (к-49701) и образец *F. mandshurica* (к-49719). Сорт ‘Александра’ сохранил высокий уровень устойчивости к оттепели в декабре (0,2 балла) и январе (0,4 балла), но потерял устойчи-

вость к февралю (4,0 балла). Можно предположить, что для этих образцов из региона с четким сезонным ходом температуры, для которого не характерны оттепели в середине зимы, рост температур означает наступление весны и инициирует быстрый выход из состояния вынужденного покоя.

#### Морозостойкость в конце зимы

У трех образцов с разной комплексной зимостойкостью в опыте 2022/2023 г. проверяли способность выдерживать низкие температуры ( $-15^{\circ}\text{C}$  и  $-25^{\circ}\text{C}$ ) в конце зимы, в марте (табл. 4). При  $-15^{\circ}\text{C}$  между сортами ‘Александра’ (1,9 балла) и ‘Азия’ (4,6 балла) различия достоверны ( $p = 0,005$ ); при  $-25^{\circ}\text{C}$  между образцами нет достоверных различий ( $p = 0,347$ ), среднее повреждение составило 4,0 балла.

Таким образом, отдельные зимостойкие образцы рода *Fragaria* из Сибири способны выдерживать в марте понижение температуры до  $-15^{\circ}\text{C}$ .

**Таблица 4.** Сравнение устойчивости к морозу в марте трех образцов *Fragaria L.*, опыт 2022/2023 г.

**Table 4.** Comparison of frost resistance in March in three *Fragaria L.* accessions, the 2022/2023 experiment

| № по каталогу ВИР | Вид / сорт  | Балл повреждения после промораживания |     |     |                       |     |     |
|-------------------|---|---------------------------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|
|                   |   | $-15^{\circ}\text{C}$                 |     |     | $-25^{\circ}\text{C}$ |     |     |
|                   |   | $\bar{x}^*$                           | min | max | $\bar{x}$             | min | max |
| 49728             | <i>F. mandshurica</i> (Забайкальский край)                      | 4,3 ± 0,3                             | 3,5 | 5,0 | 3,9 ± 0,3             | 3,0 | 5,0 |
| 49701             | <i>F. vesca</i> × <i>F. mandshurica</i> / ‘Александра’ (Якутия) | 1,9 ± 0,3                             | 1,0 | 3,0 | 3,7 ± 0,5             | 2,0 | 5,0 |
| 49744             | <i>F.</i> × <i>ananassa</i> / ‘Азия’ (Италия)                   | 4,6 ± 0,3                             | 3,5 | 5,0 | 4,5 ± 0,4             | 3,0 | 5,0 |

Примечание: \*  $\bar{x}$  – среднее ± стандартная ошибка среднего; min – минимальное значение; max – максимальное значение

Note: \*  $\bar{x}$  – mean ± standard error of the mean; min – minimum value; max – maximum value

### Ледяная корка

Устойчивость к ледяной корке, исследованная у всех образцов в феврале 2024 г., варьировала от 0 до 4 баллов, в среднем составила 1,4 балла (рис. 3). Из четырех образцов летнезеленого феноритмотипа три имели балл повреждения ниже среднего (0–0,6 балла), четвертый показал 1,8 балла. Сорт 'Александра' также показал высокую устойчивость (0,6 балла повреждения) к ледяной корке. Наименее устойчивыми к ледяной корке оказались два сорта – 'Де Роял' из Франции (к-49752) и 'Пелагея' из Краснодарского края (к-49919), наименее зимостойкие по основным компонентам (4,5 и 4,6 балла повреждения).

Образцы летнезеленого феноритмотипа развивают значительную устойчивость в процессе закаливания и выдерживают с минимальными повреждениями низкие температуры середины зимы – начала весны; они сохраняют устойчивость после оттепелей в середине зимы, однако к концу зимы некоторые из них быстро теряют устойчивость к морозам после оттепели.

Устойчивость к ледяной корке коррелирует с комплексной оценкой зимостойкости: наиболее зимостойкие образцы устойчивы к ледяной корке, наименее устойчивые – неустойчивы, образцы со средними значениями комплексной устойчивости показали широкий диапазон поражения ледяной коркой (от 0 до 2,8 балла).



Рис. 3. Средняя зимостойкость по основным компонентам и устойчивость к ледяной корке 17 образцов рода *Fragaria* L.

Fig. 3. Mean winter hardiness according to its main components and resistance to ice crust in 17 *Fragaria* L. accessions

Устойчивость к ледяной корке значимо коррелировала (0,68) со средней зимостойкостью по основным компонентам.

Таким образом, в целом устойчивость к ледяной корке коррелирует с комплексной оценкой зимостойкости. Наиболее зимостойкие образцы были устойчивы к ледяной корке, наименее устойчивые – неустойчивы, образцы со средними значениями комплексной устойчивости показали широкий диапазон повреждения ледяной коркой – от 0 до 2,8 балла.

### Выводы

По среднему баллу трех компонентов зимостойкости, определенных в камере искусственного климата для 17 образцов, наиболее устойчивыми оказались 5 образцов из азиатской части России разных видов: 3 образца *F. mandshurica* (к-49728, к-49719, к-49726), один образец *F. viridis* (к-49754) и сорт 'Александра' (к-49701; *F. vesca* × *F. mandshurica*) селекции Якутского НИИСХ. Первые четыре имеют редкий для рода *Fragaria* летнезеленый феноритмотип, то есть уходят в зиму с побуревшими листьями.

Виды рода *Fragaria* из регионов Азии с резко континентальным климатом, такие как *F. mandshurica* и *F. viridis*, на данный момент практически не вовлеченные в селекцию, могут внести ценный вклад в повышение зимостойкости сортов земляники в различных регионах России.

### References / Литература

- Bakaeva N. Evaluation of winter hardiness of strawberry varieties under conditions of the CCHR. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2015;31(1):74-80. [in Russian] (Бакаева Н.Н. Оценка зимостойкости сортов земляники в условиях ЦЧР. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2015;31(1):74-80).
- Golubev V.N. Ecological and biological characteristics of herbaceous plants and forest-steppe plant communities (Эколого-биологические особенности травянистых растений и растительных сообществ лесостепи), Moscow: Nauka; 1965. [in Russian] (Голубев В.Н. Эколого-биологические особенности травянистых растений и растительных сообществ лесостепи, Москва: Наука; 1965).

- Hummer K.E., Bassil N., Njuguna W. *Fragaria*. In: Ch. Kole (ed.). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Temperate Fruits*. Berlin; Heidelberg: Springer; 2011. p.17-44. DOI: 10.1007/978-3-642-16057-8\_2
- Kharchenko A.A., Novikova L.Yu., Khudonogova E.G. Dependence of strawberries winter hardiness on soil temperature in the North-Western region of Russia. *Vestnik IrGSHA*. 2023;(114):49-58. [in Russian] (Харченко А.А., Новикова Л.Ю., Худоногова Е.Г. Зависимость зимостойкости земляники садовой от температуры почвы в Северо-Западном регионе России. *Вестник ИрГСХА*. 2023;(114):49-58). DOI: 10.51215/1999-3765-2023-114-49-58
- Koehler G., Wilson R.C., Goodpaster J.V., Sønsteby A., Lai X., Witzmann F.A. et al. Proteomic study of low-temperature responses in strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa*) that differ in cold tolerance. *Plant Physiology*. 2012;159(4):1787-1805. DOI: 10.1104/pp.112.198267
- Kulikov I.M., Evdokimenko S.N., Tumaeva T.A., Kelina A.V., Sazonov F.F., Andronova N.V. et al. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(4):414-419. [in Russian] (Куликов И.М., Евдокименко С.Н., Тумаева Т.А., Келина А.В., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В. и др. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(4):414-419). DOI 10.18699/VJ21.046
- Lindén L., Palonen P., Hytönen T. Evaluation of three methods to assess winter hardiness of strawberry genotypes. *Acta Horticulturae*. 2002;567:325-328. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.567.69
- Liston A., Cronn R., Ashman T.L. *Fragaria*: a genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany*. 2014;101(10):1686-1699. DOI: 10.3732/ajb.1400140
- Menzel C. Higher temperatures decrease fruit size in strawberry growing in the subtropics. *Horticulturae*. 2021;7(2):34. DOI: 10.3390/horticulturae7020034
- Ozherelieva Z., Prudnikov P., Zubkova M. Estimation of the frost resistance of the strawberry. *Biological Communications*. 2020;65(4):288-296. DOI: 10.21638/spbu03.2020.402
- Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Zubkova M.I., Krivushina D.A., Knyazev S.D. Determination of frost resistance in strawberry under controlled conditions (guidelines) (Opredeleniye morozostoykosti zemlyaniki sadovoy v kontroliruyemykh usloviyakh [metodicheskiye rekomendatsii]). Orel: VNIISPK; 2019. [in Russian] (Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Зубкова М.И., Кривушина Д.А., Князев С.Д. Определение морозостойкости земляники садовой в контролируемых условиях (методические рекомендации). Орел: ВНИИСПК; 2019).
- Rakitina Z.G. On the reason for the destructive effect of ground ice crust. (O prichine gubitelnogo deystviya pritertoy ledyanoy korki). In: *Agrometeorological Aspects of Plant Overwintering (Agrometeorologicheskiye aspekty perezimovki rasteniy)*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1977. p.92-99. [in Russian] (Ракитина З.Г. О причине губительного действия притертой ледяной корки. В кн.: *Агрометеорологические аспекты перезимовки растений*. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1977. С.92-99).
- Rao S.A., Mintenko A.S., Abbey L., Sing P. Wintering index and yield traits for early, mid, and late season strawberry for colder climates. *International Journal of Fruit Science*. 2020;20(2):1039-1053. DOI: 10.1080/15538362.2020.1774471
- Rezvayakova S.V. Theoretical and practical foundations for increasing the bioresource potential of resistance of garden crops to temperature factors (Teoreticheskiye i prakticheskiye osnovy povysheniya bioresursnogo potentsiala ustoychivosti sadovykh kultur k temperaturnym faktoram) [dissertation]. Voronezh: Voronezh State Agricultural University; 2016. [in Russian] (Резвякова С.В. Теоретические и практические основы повышения биоресурсного потенциала устойчивости садовых культур к температурным факторам: дис. ... докт. с.-х. наук. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет; 2016).
- Shokayeva D.B. The dependence of strawberry yield upon injuries by low winter temperatures. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;2(160):21-27. [in Russian] (Шокаева Д.Б. Зависимость урожайности земляники от повреждений низкими зимними температурами. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;2(160):21-27).
- Sønsteby A., Karhu S. Strawberry production, growth and development in northern climates. *International Journal of Fruit Science*. 2005;5(1):105-112. DOI: 10.1300/J492v05n01\_10
- Staudt G. Notes on Asiatic *Fragaria* species: III. *Fragaria orientalis* Losinsk. and *Fragaria mandshurica* spec. nov. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*. 2003;124(4):397-419. DOI: 10.1127/0006-8152/2003/0124-0397
- Tumanov I.I. Physiology of plant hardening and frost resistance (Fiziologiya zakalivaniya i morozostoykosti rasteniy), Moscow: Nauka; 1979. [in Russian] (Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. Москва: Наука; 1979).
- Tyurina M.M. Scientific fundamentals of breeding for winter hardiness (Nauchnye osnovy selektsii na zimostoykost). In: *Breeding of Fruit and Berry Crops for Winter Hardiness (Selektsiya na zimostoykost plodovykh i yagodnykh kultur)*. Moscow; 1993. p.17-29. [in Russian] (Тюрина М.М. Научные основы селекции на зимостойкость. В кн.: *Селекция на зимостойкость плодовых и ягодных культур*. Москва; 1993. С.17-29).
- Vasfilova E.S. The relationship of the features of the seasonal plants development with the results of their introduction in the conditions of the Middle Urals. *Flora and Vegetation of Asian Russia*. 2020;2(38):48-55. [in Russian] (Васфилова Е.С. Взаимосвязь особенностей сезонного развития растений с результатами их интродукции в условиях Среднего Урала. *Растительный мир Азиатской России*. 2020;2(38):48-55). DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2020-2(48-55)
- Yang J., Su D., Wei S., Chen S., Luo Z., Shen X. et al. Current and future potential distribution of wild strawberry species in the biodiversity hotspot of Yunnan Province, China. *Agronomy*. 2020;10(7):959. DOI: 10.3390/agronomy10070959
- Zubkova M.I., Knyazev S.D., Ozherelieva Z.E. Evaluation of strawberry cultivars as sources of high winter hardiness and productivity. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):51-57. [in Russian] (Зубкова М.И., Князев С.Д., Ожерельева З.Е. Оценка сортов земляники садовой как источников высокой зимостойкости и продуктивности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(2):51-57). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-51-57
- Zubkova M.I., Ozhereleva Z.E. Some aspects of strawberry winter hardiness. *Contemporary Horticulture*. 2019;(1):60-74. [in Russian] (Зубкова М.И., Ожерельева З.Е. Некоторые аспекты зимостойкости земляники садовой. *Современное садоводство*. 2019;(1):60-74). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10107

**Информация об авторах**

**Анастасия Анатольевна Харченко**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

**Любовь Юрьевна Новикова**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

**Information about the authors**

**Anastasiia A. Kharchenko**, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, akkhara47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

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

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.11.2024; одобрена после рецензирования 18.12.2024; принята к публикации 03.02.2025.  
The article was submitted on 02.11.2024; approved after reviewing on 18.12.2024; accepted for publication on 03.02.2025.