

Научная статья

УДК 635.655:58.056:631.53.026:631.547.1

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-3-06



## Всхожесть семян сои после низкотемпературного хранения и её зависимость от погодно-климатических условий в местах репродукции образцов

И. В. Сеферова, Г. И. Филипенко, О. Н. Забегаева, А.П. Бойко, А. Ю. Некрасов, Л. Ю. Новикова

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

**Автор, ответственный за переписку:** Галина Ивановна Филипенко, g.filipenko@vir.nw.ru

**Актуальность.** Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является микробиотиком и при хранении семян в неконтролируемых условиях при комнатных температурах быстро утрачивает всхожесть, что определяет необходимость сохранения коллекционных образцов с использованием специальных приемов. Хранение при низких температурах (НХ) позволяет сохранить высокую всхожесть семян, но не в случае всех образцов. Это делает актуальным оценку результатов многолетнего сохранения образцов сои в Генбанке ВИР и предпринимаемую нами попытку определения лучших географических условий для их репродукции и получения семян, используемых для НХ. **Материалы и методы.** Работа выполнена на 312 образцах сои коллекции ВИР, происхождение которых охватывает практически весь ареал культивирования сои. Репродукция образцов осуществлялась на трех опытных станциях ВИР: Адлерской опытной станции, Кубанской опытной станции (Краснодарский край) и на Дальневосточной опытной станции (Приморский край). Использованы семена, полученные в период с 1999 по 2017 год, заложенные на НХ с 2002 по 2021 год. Семена хранили в запаянных ламинированных пакетах из алюминиевой фольги при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ . Выемка образцов из НХ и оценка всхожести выполнена в 2022 году. **Результаты.** Всхожесть семян на момент закладки ( $G_i$ ) составляла от 12 до 100% (среднее значение 79,1%), итоговая всхожесть ( $G_f$ ) – от 1 до 97% (среднее 57,8%). Сохранение всхожести оценивали по индексу всхожести ( $GI=G_f/G_i$ ), варьирующему от 0,02 до 1,73, при среднем значении 0,72. Все показатели всхожести в наблюдаемом нами диапазоне до 20 лет хранения не имели связи с продолжительностью хранения и с числом лет до закладки (в нашем опыте 0,5–4 года). Климатические условия в месте репродукции образцов оказали достоверное влияние на всхожесть до и после хранения, но не на  $GI$ . Средняя всхожесть перед закладкой семян, урожая АдлОС и КОС, не различалась достоверно (77,4% и 75,7%), а для семян, полученных на ДВОС была достоверно выше (84,0%). Всхожесть после хранения образцов ДВОС (64,3%) также была больше, чем таковых КОС (52,2%) и АдлОС (57,2%). Проявляющаяся в отдельные годы на всех станциях избыточно высокая сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  снижает  $G_i$ ,  $G_f$ , но мало влияет на  $GI$ . Наиболее высокие значения начальной, итоговой всхожести и  $GI$  имели образцы, созревающие за 101–120 дней. Досушивание наиболее позднеспелых образцов (созревающих позднее 140 дней) в снопах под навесом позволяет получать семена с высокой всхожестью, хорошо переносящие НХ. **Заключение.** Семена разных мест репродукции различались по всхожести до и после НХ, и, в среднем, наивысшие значения характеризовали семена, полученные на Дальневосточной опытной станции, где температурный режим ближе к оптимальному для сои. Индекс всхожести семян показал относительную независимость от условий репродукции образцов, в том числе от климатических и погодных условий, а также от начальной всхожести и срока хранения семян.

**Ключевые слова:** *Glycine max*, всхожесть, низкотемпературное хранение, климатические условия

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания № FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства».

**Для цитирования:** Сеферова И.В., Филипенко Г.И., Забегаева О.Н., Бойко А.П., Некрасов А.Ю., Новикова Л.Ю. Всхожесть семян сои после низкотемпературного хранения и её зависимость от погодно-климатических условий в местах репродукции образцов. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(3):42–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-3-06

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Сеферова И.В., Филипенко Г.И., Забегаева О.Н., Бойко А.П., Некрасов А.Ю., Новикова Л.Ю., 2024

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-3-o6

# Germination of soybean seeds after low-temperature storage and its dependence on weather and climate conditions in the places of reproduction of accessions

Irina V. Seferova, Galina I. Filipenko, Olga N. Zabegaeva, Alexander P. Boyko, Alexander Yu. Nekrasov, Lyubov Yu. Novikova

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

**Corresponding author:** Galina I. Filipenko, g.filipenko@vir.nw.ru

**Background.** Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is a microbiotic whose seeds quickly lose germination in uncontrolled conditions at room temperatures. This determines the need to preserve accessions in special conditions. Low temperature storage (LTS) allows to maintain high seed germination ability, but not for all accessions. Therefore, it is relevant to assess the results of LTS at the VIR Genebank and to make an attempt to determine the best geographical conditions for growing plants and harvesting seeds that will be subjected to LTS. **Materials and methods.** The work was carried out on 312 soybean accessions from the VIR collection, originating from almost the entire area of soybean cultivation. The accessions used in the research were reproduced at three VIR experiment stations (ES), namely Adler ES, Kuban ES (Krasnodar Territory) and the Far East ES (Primorsky Territory). The seeds were harvested in 1999 to 2017 and stored in sealed foil laminated bags at  $-10^{\circ}\text{C}$  from 2002 to 2021. The accessions were removed from LTS and germination assessed in 2022. **Results.** At the beginning of LTS, seed germination ( $G_i$ ) ranged from 12 to 100% (averaging 79.1%), while that after LTS ( $G_r$ ) ranged from 1 to 97% (57.8% on average). The retention of germination ability was expressed as the germination index ( $GI = G_r / G_i$ ), which ranged from 0.02 to 1.73 (an average of 0.72). All the indicators of germination in the range of up to 20 years of LTS were not associated with the duration of LTS and with the number of years before LTS (0.5-4 years in our research). The climatic conditions characteristic of the place of reproduction had a significant impact on  $G_i$  and  $G_r$ , but not on  $GI$ . The average  $G_i$  of seeds obtained at the Adler ES and Kuban ES did not differ significantly (77.4% and 75.7%), while that of seeds harvested at the Far East ES was significantly higher (84.0%).  $G_r$  of the accessions from the Far East ES (64.3%) was also greater than that of accessions from the Kuban ES (52.2%) and Adler ES (57.2%). The excessively high sum of temperatures above  $10^{\circ}\text{C}$  (recorded in some years at all stations) reduced  $G_r$ ,  $G_i$  but had little effect on  $GI$ . The highest values of  $G_i$ ,  $G_r$ , and  $GI$  were demonstrated by the accessions maturing in 101-120 days. Additionally drying of the most late-ripening accessions (later than 140 days) in sheaves under an awning yielded seeds with high germination ability and good LTS tolerance. **Conclusion.** The seeds from different places of reproduction of accessions differed in germination before and after LTS, and, on an average, the highest values were demonstrated by the seeds harvested at the Far East ES, where the temperature regime is closer to the optimal one for soybeans. The seed germination index showed relative independence from the conditions of reproduction of accessions, including the climate and weather conditions, as well as the initial germination ability and LTS duration.

**Keywords:** *Glycine max*, germination, low-temperature storage, climatic conditions

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of State Assignment No. FGEM-2022-0002 "Identification of the possibilities of legume crop genetic diversity to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy".

**For citation:** Seferova I.V., Filipenko G.I., Zabegaeva O.N., Boyko A.P., Nekrasov A.Yu., Novikova L.Yu. Germination of soybean seeds after low-temperature storage and its dependence on weather and climate conditions in the places of reproduction of accessions. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(3):42-52. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-3-o6

**Financial transparency:** The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Seferova I.V., Filipenko G.I., Zabegaeva O.N., Boyko A.P., Nekrasov A.Yu., Novikova L.Yu., 2024

## Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является микробиотиком, и при хранении семян в неконтролируемых условиях при комнатных температурах быстро утрачивает всхожесть, что определяет необходимость сохранения коллекционных образцов с использованием специальных приемов. Семена сои относят к ортодоксальному типу, что позволяет сохранять их длительное время при пониженной влажности и низких температурах (Pritchard, Dickie, 2003; Solberg et al., 2020). Но, несмотря на накопленный к настоящему времени опыт хранения семян, не удаётся сохранить высокую всхожесть семян разного происхождения, заложенных на длительное низкотемпературное хранение (Solberg et al., 2020), так как и в этих условиях неизбежно происходит старение семян и снижение их всхожести.

У разных видов культурных растений прослеживаются различия по способности к длительному сохранению всхожести семян в зависимости от региона происхождения, степени окультуренности, различий в молекулярно-генетических характеристиках семян (Yamasaki et al., 2020; Kalembe et al., 2023). В ряде работ выявлена внутривидовая изменчивость по способности к сохранению всхожести семян, обусловленная генотипическими различиями (Safina, Filipenko, 2013; Solberg et al., 2020).

На сохранение всхожести сильно влияют условия получения семян, поскольку практически всегда семена лучшего качества обладают и лучшей способностью к хранению (De Vitis, 2020). Для большинства видов, в том числе и сои, качество семян явно зависит от условий среды в промежутке от полного налива семян до уборочной зрелости (Ellis, 2019). Для сои оптимальными температурами в этот период являются среднесуточные температуры 18–22°C и дневные температуры не выше 28°C, однако этот параметр варьирует и зависит от генотипа. Более жаркие условия создают температурный стресс, снижают урожай семян и их всхожесть (Степанов, 1957; Chebrolu et al., 2016; Nakagawa et al., 2020). Ухудшать качество семян сои и их способность к сохранению всхожести может и перестой растений в поле после полного созревания (Tekrony et al., 1980; Solberg et al., 2020; Rao et al., 2023). С использованием методов генетического маркирования и обратной генетики начаты исследования по идентификации генетических факторов, вовлеченных в контроль этого признака (Renard et al., 2020; Arif et al., 2023). У сои различия образцов по способности к сохранению всхожести могут быть связаны с генетическими факторами, определяющими различия в хрупкости семян при низких температурах (Ballesteros, Walters, 2019).

Поскольку все исследования замедляются необходимостью оценки семян после десятилетий хранения в выбранных условиях, данные накапливаются не очень быстро. Это делает актуальными оценку результатов многолетнего сохранения образцов сои в Генбанке ВИР

и предпринимаемую нами попытку выяснения некоторых из причин, определяющих снижение всхожести семян при низкотемпературном хранении (НХ). Целью нашего исследования была проверка сохранения всхожести семян у образцов сои при НХ в Генбанке ВИР в Санкт-Петербурге и оценка влияния на результаты хранения условий репродукции образцов. Результаты могут быть полезными для дальнейшей оптимизации условий сохранения коллекционного материала.

## Материалы и методы

Работа выполнена на 312 образцах сои коллекции ВИР. Образцы представляют собой селекционные и местные сорта и селекционный материал, происхождение которых охватывает практически весь ареал культивирования сои, в том числе Австралию (3 образца), Алжир (6), Аргентину (1), Бельгию (2), Болгарию (3), Бразилию (1), Венгрию (6), Германию (3), Италию (1), Канаду (37), Китай (52), КНДР (4), Колумбию (1), Кыргызстан (1), Литву (1), Молдову (17), Нидерланды (1), Польшу (1), Португалию (1), Румынию (1), Сирию (1), США (49), Узбекистан (2), Украину (9), Филиппины (2), Францию (13), Чехию (3), Словакию (8), Швецию (1), Югославию (2), Южную Корею (15), и Японию (33). Изученные образцы российской селекции происходят из Азиатской (27) и Европейской (4) частей России.

Семена образцов, заложенные на НХ, были получены на трех опытных станциях ВИР: 83 образца на Адлерской опытной станции (АдЛОС), 108 на Дальневосточной опытной станции (ДВОС), 120 на Кубанской опытной станции (КОС). Повторов одного и того же образца, репродуцированных на разных станциях, не было включено в изучение. Места получения семян находятся в контрастных климатических условиях:

I. АдЛОС (Краснодарский край, Черноморское побережье Кавказа, г. Сочи, 43°26' с. ш. 39°54' в. д.) – влажный субтропический климат;

II. КОС (Краснодарский край, Гулькевичский район, 45°13' с. ш. 40°47' в. д.) – умеренный, континентальный;

III. ДВОС (Приморский край, г. Владивосток, 43°14' с. ш. 132°03' в. д.) – умеренный муссонный.

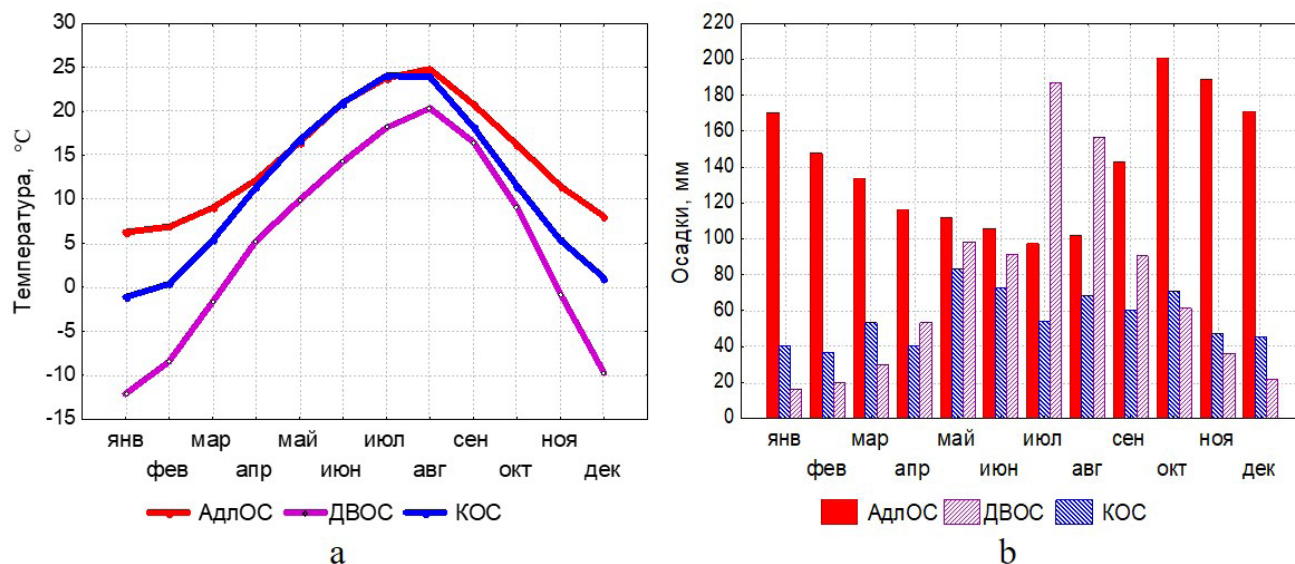
Соя является однолетней самоопыляющейся культурой, репродукцию которой осуществляют без применения изоляторов. Посев выполняют весной, при прогреве почвы до 10–12°C.

Для оценки влияния погодно-климатических показателей на качество семян использованы значения среднемесячных температур, месячных сумм осадков, характеристик периода с температурами выше 10°C – средних температур, сумм осадков ( $\sum P_{10}$ ), сумм температур ( $\sum T_{10}$ ).

В 1999–2017 годах самые высокие летние температуры наблюдались на АдЛОС, самые низкие – на ДВОС, наибольшим количеством осадков характеризовалась АдЛОС, наименьшим – КОС (рис. 1). Суммы температур выше 10°C ( $\sum T_{10}$ ) составили, в среднем, 4568°C на

АдлОС, 3732°C на КОС, 2444°C на ДВОС; суммы осадков за период с температурами выше 10°C ( $\Sigma P_{10}$ ) – 1026 мм, 405 мм и 603 мм, соответственно. Средние тем-

пературы за этот период составили 18,5°C; 19,1°C и 16,4°C, соответственно<sup>1</sup>.



**Рис. 1. Среднемесячные температура воздуха (а) и суммы осадков (б) на опытных станциях ВИР за период 1999-2017 годов**

**Fig. 1. Average monthly temperatures (a) and the sum of the precipitation (b) at the Experiment Stations of VIR in 1999-2017**

Experiment Stations (ES): АдлОС – Adler ES, ДВОС – Far East ES, КОС – Kuban ES

Распределение образцов для пересева на станциях осуществлялось исходя из местных погодноклиматических условий. Учитывали, что самые позднеспелые образцы могут вызревать только на АдлОС, а самые скороспелые дают семена лучшего качества на ДВОС, но их пересев возможен и на других станциях. Среднеспелые образцы могут успешно пересеваться на любой из этих станций. Уборку коллекционных образцов выполняли по мере созревания семян. Самые позднеспелые образцы на стадии начала созревания собирали в снопы, которые затем размещали под навесом, так как полное созревание на поле не могло быть достигнуто. Обмолачивали только подсушенные снопы.

Образцы характеризовались различной продолжительностью периода всходы-созревание ( $L_{g-m}$ ) и, соответственно, различные погодные условия требовались для завершения их вегетации. Оценку использованных для анализа значений  $L_{g-m}$  непосредственно при выращивании использованных в опыте семян не производили, данные были взяты из опубликованных каталогов ВИР, основыва-

ющихся на средних за три года результатах изучения на разных опытных станциях<sup>2</sup>. Продолжительность созревания известна для 256 образцов из исследуемых 312.

Кроме собственно климатических показателей, на качество семян могли оказывать влияние специфические приемы агротехники и уборки, отличающиеся на разных станциях. Учитывая, что посевы были предназначены для обновления семян в коллекции, а не для детального изучения, четкой фиксации этих приемов по годам не велось, что не позволяет использовать их в анализе.

Всхожесть семян на момент закладки составляла от 12% до 100%. Низкая начальная всхожесть части образцов обусловила закладку их на среднесрочное, а не на длительное хранение. Использованы семена репродукции 1999-2017 годов. От получения семян до их закладки на НХ проходило от 0,5 до 4 лет, в том числе от 0,5 до 1 года (68 образцов), до 2-х лет (167), до 3-х (70), до 4-х (7). Продолжительность хранения составляла от 1 до 20 лет (в среднем 12 лет). Число лет, в течение которых осуществляли репродукцию образцов для получения семян,

<sup>1</sup> Использованы данные метеопункта КОС, метеостанций Сочи (WMO: 37099) и Владивостока (WMO: 31960) с официального сайта Росгидромета ВНИГМИ-Мирового центра данных (<http://meteo.ru/>)

<sup>2</sup> Каталоги мировой коллекции ВИР: вып.96 (1972), вып.115 (1973), вып. 116 (1973), вып. 292 (1980), вып. 555 (1990), вып. 717 (2000), вып. 782 (2008), вып. 817 (2014), вып. 855 (2018), вып. 905 (2019), вып. 911 (2020), вып. 939 (2022)

использованных в данном исследовании, составило на АдлОС – 14 лет, КОС – 17, ДВОС – 13.

Подготовку образцов семян к закладке на НХ проводили в соответствии с действовавшими на момент закладки Стандартами для генбанков (Genebank standards..., 1994; Genebank standards..., 2014): семена были подсушены до влажности 5,1–6,6%, что попадало в рекомендованный стандартами интервал влажности 3–7%. Исходная всхожесть образцов ( $G_i$ ) была оценена на момент закладки на НХ, до их подсушивания. Семена хранились в ламинированных герметичных пакетах при отрицательных температурах ( $-10^{\circ}\text{C}$ ). Выемка образцов была выполнена весной 2022 года, после чего была определена итоговая всхожесть после НХ ( $G_r$ ). Всхожесть и влажность семян сои определяли по ГОСТам (GOST 12038-84, 2011; GOST 12041-82, 2011).

Статистический анализ проведен в программе Excel 2016 и с использованием пакета Statistica 13.3. Нормальность распределения проверена с помощью критерия Шапиро-Уилка. Показано, что распределение  $G_i$ ,  $G_r$ ,  $GI$  отличается от нормального ( $p < 0,001$ ). Поэтому были использованы непараметрические критерии. Для сравнения всхожести до и после хранения использовали критерий Вилкоксона, корреляции рассчитаны по Спирмену. Оценка зависимости всхожести семян от места репродукции произведена с помощью критерия Краскела-Уоллиса. В исследовании принят уровень значимости 5%.

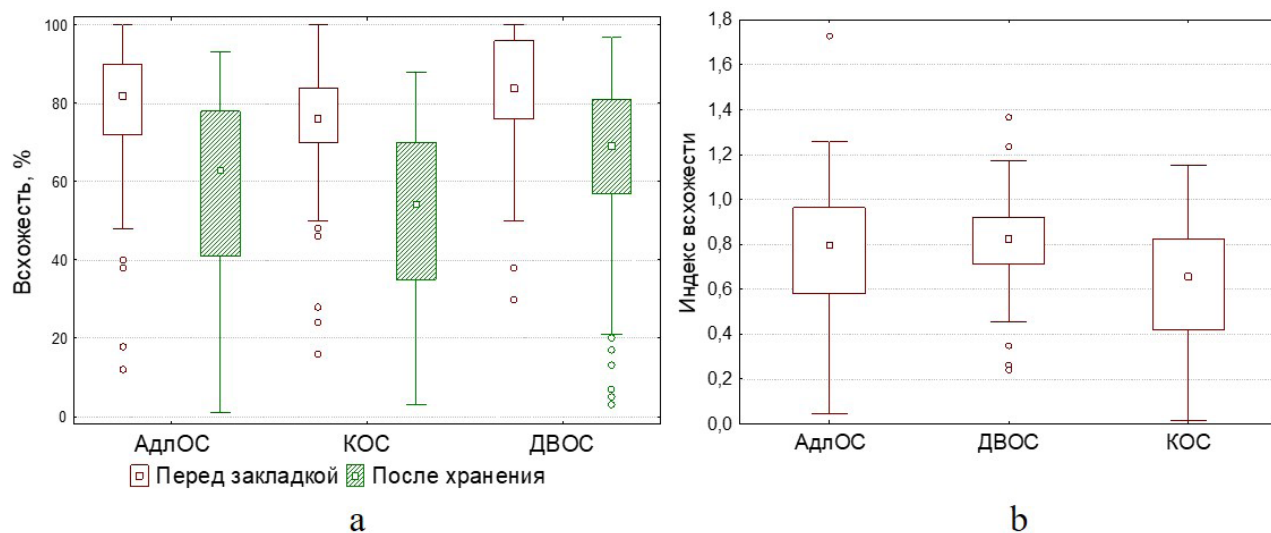
Мониторинг изменения всхожести семян по международным стандартам рекомендуется проводить по отношению итоговой всхожести к исходной (Genebank standards..., 1994; Genebank standards ..., 2014). Для обозначения этой пропорции используют процент от начальной всхожести (Storozheva, 2006) или индекс всхожести ( $GI$  – germination index) (Karim et al., 1992; Kandil et al., 2013), который мы и применили в данном исследовании:

$$GI = \frac{G_r}{G_i}, \text{ где}$$

$G_i$  – исходная всхожесть до НХ (initial germination), %;  
 $G_r$  – итоговая всхожесть после НХ (resulting germination), %.

## Результаты

**Связь показателей всхожести при хранении на  $-10^{\circ}\text{C}$ .** Исходная всхожесть ( $G_i$ ) варьировала от 12 до 100% (рис. 2), среднее значение 79,1%, стандартное отклонение 15,5%, коэффициент вариации 19,6%. Итоговая всхожесть ( $G_r$ ) варьировала в пределах 1 и 97%, среднее 57,8%, стандартное отклонение составило 23,4%, коэффициент вариации – 40,6%. Таким образом,  $G_r$  варьирует больше, чем  $G_i$ . С помощью критерия Вилкоксона мы показали достоверность снижения всхожести после хранения.  $GI$  варьировал от 0,02 до 1,73, при среднем значении 0,72.



**Рис. 2. Диаграммы размаха показателей всхожести семян сои при длительном хранении на  $-10^{\circ}\text{C}$  в зависимости от мест репродукции образцов**

а – всхожесть; б – индекс всхожести. На диаграммах представлены: медиана, квартили, размах без выбросов, выбросы

**Fig. 2. Box plots of soybean seed germination during long-term storage at  $-10^{\circ}\text{C}$ , depending on the places of reproduction of accessions**

а – germination; б – Germination Index. The box plots show: median, quartiles, range without outliers, outliers

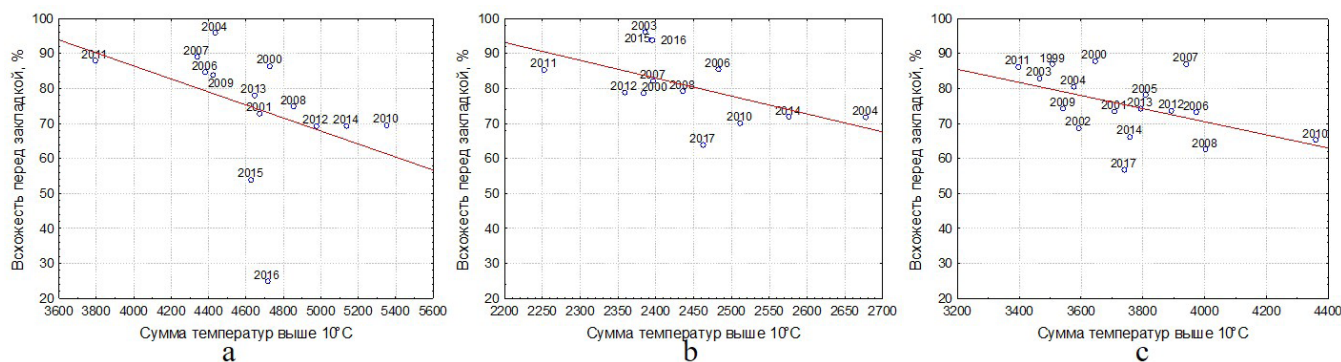
Корреляционный анализ показал, что всхожесть после хранения была достоверно связана с всхожестью до хранения, но сила связи была невысокой ( $r=0,58$ ).  $GI$  слабо коррелировал с  $G_i$  ( $r=0,15$ ) и был связан прежде всего с  $G_r$  ( $r=0,84$ ), что показывает отсутствие явного преимущества образцов с более высокой  $G_i$  по способности сохранять всхожесть. Данное наблюдение было проверено определением  $GI$  отдельно для образцов с высокой начальной всхожестью. По «Genebank standards...» (Genebank standards..., 2014) на долгосрочное хранение допускается закладывать только образцы с  $G_i > 85\%$ . Таких образцов в изучаемом наборе было 101. Границей сохранения генетической целостности образца считается сохранение 85% всхожести от  $G_i$ , то есть  $GI$  должен быть не меньше 0,85. В изучаемом наборе такую всхожесть сохранили 37 образцов из 101, то есть только 36,6% образцов. Показатель  $G_r$  у образцов с высокой начальной всхожестью варьировал от 16% до 97%. Среднее значение  $GI$  для образцов с  $G_i$  больше 85% достоверно не отличалось ( $p=0,091$ ) от среднего для образцов с  $G_i$  меньше 85%. Таким образом, сохранение всхожести семенами, способными прорасти на момент закладки на НХ, не зависит от их доли в общем массиве семян в образце.

Все показатели всхожести в наблюдаемом нами диапазоне до 20 лет хранения имели слабую корреляцию ( $r < 0,3$ ) с продолжительностью хранения и с числом лет до закладки.

**Показатели всхожести семян из разных мест репродукции.** Место репродукции образцов оказало достоверное влияние на всхожесть семян до и после хранения,

но не на индекс всхожести (по критерию Краскела-Уоллиса  $p=0,051$ ). Средняя всхожесть до закладки у семян, полученных на АдлОС и КОС, не различалась достоверно (77,4% и 75,7%,  $p=0,290$ ), а для семян урожая ДВОС была достоверно выше (84,0%,  $p < 0,028$  при сравнении с двумя другими станциями). По всхожести после хранения достоверно различались образцы КОС с наименьшим значением (52,2%) и ДВОС с наибольшим (64,3%). Семена образцов, репродуцированных на АдлОС, имели промежуточную всхожесть (57,2%), которая не отличалась достоверно от таковой семян, полученных на двух других станциях ( $p > 0,136$ ). Таким образом, лучшими для хранения были семена, собранные на ДВОС, несмотря на то, что семена, полученные на ДВОС и КОС хранились в среднем дольше (13 лет), чем собранные на АдлОС (10 лет).

**Погодно-климатические зависимости показателей всхожести.** Широкий диапазон погодно-климатических условий, в которых на трёх станциях созрели семена перед закладкой, позволил оценить связи средних за год показателей всхожести семян ( $G_i$ ,  $G_r$  и  $GI$ ) и условий сезона выращивания образцов. Корреляционный анализ показал, что из всех исследованных метеорологических показателей самые сильные связи в каждом пункте исследования были у  $G_i$  с суммой температур выше  $10^\circ\text{C}$ , варьируя от  $-0,50$  до  $-0,63$  (табл. 2, рис. 3). Это может быть интерпретировано как негативное воздействие избыточно высоких температур. С  $\sum P_{10}$  показатели всхожести ( $G_i$ ,  $G_r$  и  $GI$ ) не проявляли достоверных корреляций.



**Рис. 3. Зависимость всхожести семян сои от сумм температур выше  $10^\circ\text{C}$**   
а – Адлерская ОС ВИР; б – Дальневосточная ОС ВИР; в – Кубанская ОС ВИР

**Fig. 3. Dependence of soybean seed germination on the sum of active temperatures above  $10^\circ\text{C}$**   
а – Adler Experiment Station; б – Far East Experiment Station; в – Kuban Experiment Station

**Таблица 2. Коэффициенты корреляции климатических показателей и характеристик всхожести семян сои различных мест репродукции**

**Table 2. Correlation coefficients between climatic indicators and characteristics of germination of soybean seeds harvested in different places of reproduction**

| Показатель/<br>Indicator                                | Место репродукции/<br>Place of reproduction | Всхожесть перед<br>закладкой<br>на хранение/<br>Germination before<br>storage | Всхожесть<br>после хранения/<br>Germination after<br>storage | Индекс всхожести/<br>Germination index |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Сумма температур выше<br>10°C                           | АдлОС                                       | –0,63*                                                                        | –0,49                                                        | –0,13                                  |
|                                                         | ДВОС                                        | –0,51                                                                         | –0,37                                                        | –0,10                                  |
|                                                         | КОС                                         | –0,50*                                                                        | –0,55*                                                       | –0,48                                  |
| Сумма осадков за<br>период с температурами<br>выше 10°C | АдлОС                                       | –0,28                                                                         | –0,14                                                        | –0,22                                  |
|                                                         | ДВОС                                        | 0,02                                                                          | –0,01                                                        | 0,22                                   |
|                                                         | КОС                                         | –0,16                                                                         | –0,14                                                        | –0,12                                  |

\*обозначены значимые корреляции

**Показатели всхожести семян образцов разных сроков созревания.** Учитывая, что условия созревания семян зависят не только от географического расположения места репродукции, но и от времени созревания, данные были проанализированы в привязке к продолжительности вегетации ( $L_{g-m}$ ). У самых скороспелых образцов  $L_{g-m}$  составляла 81–90 дней, а у самых позднеспелых могла превышать 150 дней. Средняя продолжительность  $L_{g-m}$  изучаемых образцов была наибольшей на АдлОС (133 суток), достоверно превышая продолжительность на ДВОС и КОС (122–123 суток), а ДВОС и КОС достоверно не различались по этому показателю ( $p=0,996$ ). Созревание самых скороспелых образцов за годы изучения началось на ДВОС с последних чисел августа, на АдлОС и КОС с середины августа и завершалось на ДВОС и КОС к концу октября, а на АдлОС для наиболее позднеспелых образцов могло затягиваться до конца ноября. Корреляционный анализ показал, что значимая корреляция показателей всхожести и продолжительности вегетации имеется только в случае  $G_i$  для образцов АдлОС,  $r=0,42$ . У остальных показателей всхожести семян, воспроизводимых на станциях, линейная связь с продолжительностью вегетации отсутствовала, коэффициенты корреляции варьировали от –0,20 до 0,25. Однако анализ графиков зависимости показателей всхожести от продолжительности вегетационного периода выявил наличие нелинейной тенденции. Нелинейная зависимость была проанализирована сравнением групп образцов с разной продолжительностью вегетации с помощью критерия Краскела-Уоллиса. Образцы были разбиты на группы по продолжительности вегетации с интервалом 20 суток. Средние значения показателей качества семян образцов, разделенных на четыре группы по срокам созревания, отображены на графиках (рис. 4). Всхожесть перед закладкой по совокупности данных с трех станций была наибольшей у самых поздних образцов с  $L_{g-m} > 140$  суток (86,7%), достоверно превышая всхожесть в остальных

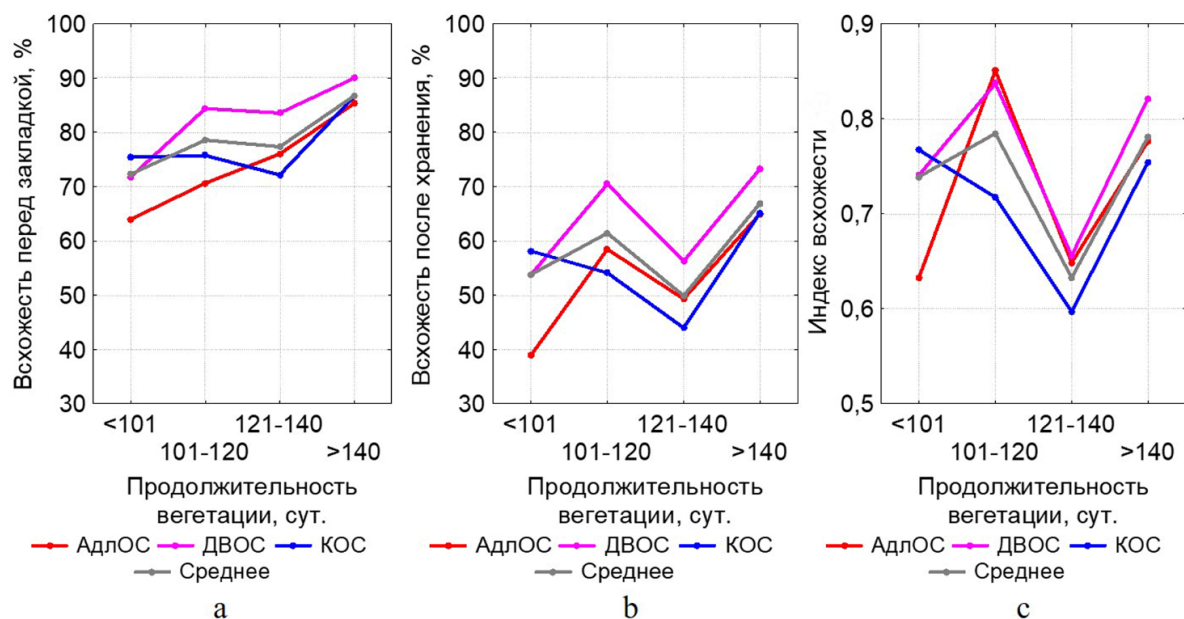
группах: <101 суток (72,3%), 101–120 суток (78,6%), 121–140 (77,4%).

Всхожесть после хранения также была наибольшей у наиболее поздних образцов  $L_{g-m} > 140$  суток (66,9%), достоверно превышая значения в группе с наименьшей всхожестью, созревающих за 121–140 суток (49,9%). Кроме того, высокая всхожесть была в группе созревающих за 101–120 суток (61,5%), что было достоверно выше, чем в группе созревающих за 121–140 суток. Группа образцов с вегетационным периодом короче 101 суток имела среднее значение всхожести (53,9%) и достоверно от других групп не отличалась ( $p>0,183$ ).

По индексу всхожести образцы семян с  $L_{g-m}$ , созревающих за 121–140 суток, имели  $GI$  достоверно ниже (0,6), то есть эти семена хуже хранились, чем созревающие за меньшее и большее число дней: индекс  $GI$  в группах созревания 101–120 суток (0,8) и >140 суток (0,8) был достоверно выше. Группа <101 суток характеризовалась средним значением  $GI$  (0,7) и от других по этому показателю достоверно не отличалась ( $p=1$ ).

## Обсуждение

В разных генбанках могут применяться несколько различающиеся режимы подготовки семян и их хранения. Обычно используют принудительную сушку и герметичную упаковку. Для образцов сои, имеющих высокую начальную всхожесть, сохранение всхожести на уровне генетической целостности, то есть сохранение начальной всхожести более 85%, наблюдалось при хранении в среднем в течение 25,5 лет при –18°C (Desheva et al., 2017) и в течение 30 лет при –20°C (Kiran Babu et al., 2018). При хранении при +4°C, заметное снижение всхожести зарегистрировано начиная с 20 лет хранения (Silaeva, 2012). Наши результаты показали, что в Генбанке ВИР за меньшее число лет (от 4 до 20) из образцов сои с высокой начальной всхожестью (>85%), сохранили всхожесть на



**Рис. 4. Всхожесть семян сои в зависимости от мест репродукции образцов и их скороспелости**  
 а – всхожесть перед закладкой на хранение; б – всхожесть после хранения при  $-10^{\circ}\text{C}$ ; в) индекс всхожести

**Fig. 4. Soybean seed germination depending on the places of reproduction of the accessions and the time of their maturation**

а) germination before storage; б) germination after storage at  $-10^{\circ}\text{C}$ ; в) Germination Index

АдлОС – Adler Experiment Station; ДВОС – Far East Experiment Station;

КОС – Kuban Experiment Station

уровне генетической целостности только 36% образцов. Это определяет высокую актуальность совершенствования как методов хранения, так и способов подготовки семенного материала.

Центр происхождения культурной сои находится на северо-востоке Китая в южной части зоны умеренного климата с муссонным режимом выпадения осадков (Vavilov, 1960). Установлено, что для успешного роста соя нуждается в теплых, но не жарких, условиях и в достаточном количестве увлажнения.

При сравнении показателей всхожести семян образцов, репродуцированных на АдлОС, ДВОС и КОС показано, что  $G_i$  и  $G_r$  имеют лучшие показатели у семян, полученных на ДВОС. Эта территория подходит для поддержания всхожести всех коллекционных образцов сои, кроме самых позднеспелых (Novikova et al., 2020). Результаты нашего исследования подтверждают ранее полученные в ВИР результаты (Silaeva, 2012) о более успешном НХ семян сои, выращенных в Приморском крае на ДВОС, чем в Краснодарском крае на КОС.  $GI$  не проявил достоверной зависимости от места репродукции образцов сои.

Всхожесть после хранения была достоверно связана с всхожестью до хранения, но сила связи была невысокой ( $r=0,58$ ).  $GI$  слабо коррелировал с  $G_i$  ( $r=0,15$ ) и был связан прежде всего с  $G_r$  ( $r=0,84$ ), что показывает отсутствие явного преимущества образцов с более высокой

$G_i$  по способности сохранять всхожесть. Таким образом, сохранение всхожести семенами, всхожими на момент закладки на НХ, не зависит от их доли в общем массиве семян в образце. Отсутствие прямой связи между начальной всхожестью и способностью к сохранению всхожести наблюдалась и у других растительных видов (Teplykh, Prokhorova, 2018).

Погодно-климатическим фактором, снижающим  $G_i$  и  $G_r$ , является проявляющаяся в отдельные годы на всех станциях избыточно высокая  $\sum T_{10}$ . Соя имеет достаточно узкий температурный оптимум, он составляет  $18-22^{\circ}\text{C}$  (Stepanov, 1957; Chebrolov et al., 2016; Nakagawa et al., 2020). Лучшие условия ДВОС определяются более низкими значениями  $\sum T_{10}$  по сравнению с условиями Краснодарского края, где выпадает достаточное для сои количество осадков, но значения  $\sum T_{10}$  слишком высокие.

Выявлена зависимость показателей всхожести от сроков созревания. Высокие значения начальной, итоговой всхожести и  $GI$  имели образцы, созревающие за 101-120 дней. Это показывает, что погодные условия конца лета-начала осени благоприятны для созревания семян сои. Образцы, созревающие позже, за 121-140 дней, имели меньшие значения  $GI$ , при относительно высокой  $G_i$ . В этот период в поле растения на стадии созревания подвержены влиянию понижающихся температур и избыточных осадков. Более высокое качество семян образцов созревавших позднее 140 дней, объясняется тем, что их

собирали в снопы на стадии начала созревания. Дозирование образцов под навесом позволяет семенам дозреть и предохраняет от неблагоприятного влияния осадков при возможной задержке с уборкой (Solberg et al., 2020; Rao et al., 2023).

Отрицательное влияние высоких температур на показатели всхожести семян на опытных станциях Краснодарского края, КОС и АдлОС, в последующие годы в связи с изменением климата может возрасти (Novikova et al., 2020). Это определяет желательность приоритетного размещения посевов и репродукции большей части образцов сои на ДВОС. Позднеспелые образцы, не вызревающие на ДВОС, могут пересеваться на КОС и АдлОС.

Обсуждая перспективные направления в изучении влияния различных факторов на всхожесть семян при низкотемпературном хранении, отметим, что в последние годы в этих исследованиях стали использоваться современные биохимические и молекулярно-генетические методы, а также геномные подходы. У сои различия образцов по способности сохранять всхожесть семян во время хранения могут быть связаны с генотипическими факторами, определяющими различия в хрупкости семян при низких температурах (Ballesteros, Walters, 2019), в структуре и целостности семенной кожуры, в скорости окисления липидов, эффективности систем репарации ДНК, в механизмах удаления свободных радикалов (Rao et al., 2023). Генотипические факторы, вовлеченные в контроль признака способности к сохранению всхожести семян у разных видов растений, стало возможным исследовать с использованием методов генетического маркирования, анализа полногеномных ассоциаций и обратной генетики (Nagel et al., 2015; Renard et al., 2020; Arif et al., 2023). В дальнейшем мы планируем изучить влияние как генотипических особенностей образцов сои, так и условий их репродукции, оказывающих комплексное влияние на способность семян к сохранению всхожести.

### Заключение

Лучшие показатели всхожести перед закладкой и после хранения при  $-10^{\circ}\text{C}$ , показывают, в среднем, семена, полученные в Приморском крае на ДВОС. Именно эта станция может считаться предпочтительной для воспроизведения большей части образцов сои.

Среднее отношение всхожести семян после хранения при  $-10^{\circ}\text{C}$  к всхожести перед закладкой оказалось близким к постоянному значению 0,72 для сортов сои и не зависело от места их репродукции, продолжительности хранения, продолжительности времени до закладки и исходной всхожести. Всхожесть после НХ положительно, но не сильно связана с исходной всхожестью, то есть сохранение всхожести семенами, всхожими на момент закладки на НХ, не зависит от их доли в общем массиве семян в образце.

Всхожесть перед и после хранения была отрицательно связана с избыточными суммами активных температур.

Способность сохранять всхожесть зависит и от сроков созревания. Из полностью созревающих в поле лучшие показатели имели образцы с продолжительностью вегетации 101–120 дней, а худшие – более скороспелые и более позднеспелые образцы. Прием уборки позднеспелых образцов на стадии начала созревания с последующим досушиванием в снопах под навесом позволяет получать семена с высокой всхожестью, способные успешно сохранять всхожесть при низкотемпературном хранении.

Выявленные зависимости сохранения всхожести семян сои от условий репродукции образцов позволяют более эффективно планировать посевы коллекционных образцов и могут быть полезными при генетическом маркировании признака.

### References/Литература

- Arif M.A.R., Tripodi P., Waheed M.Q., Afzal I., Pistrick S., Schütze G., Börner A. Genetic analyses of seed longevity in *Capsicum annum* L. in cold storage conditions. *Plants*. 2023;12:1321. DOI: 10.3390/plants12061321
- Ballesteros D., Walters C. Solid-state biology and seed longevity: a mechanical analysis of glasses in pea and soybean embryonic axes. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:920. DOI: 10.3389/fpls.2019.00920
- Chebrolu K.K., Fritschi F.B., Ye S., Krishnan H.B., Smith J.R., Gillman J. D. Impact of heat stress during seed development on soybean seed metabolome. *Metabolomics*. 2016;12:28. DOI: 10.1007/s11306-015-0941-1
- De Vitis M., Hay F.R., Dickie J.B., Trivedi C., Choi J., Fiegenger R. Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*. 2020;28(S3):249–255. DOI: 10.1111/rec.13174
- Desheva G., Petrova S., Deshev M. Germinability of soybean seeds stored more than 30 years in the Bulgarian national seed genebank. *World Scientific News*. 2017;69:29–46.
- Ellis R.H. Temporal patterns of seed quality development, decline, and timing of maximum quality during seed development and maturation. *Seed Science Research*. 2019;29:135–142. DOI: 10.1017/S0960258519000102
- Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO; 2014. Available from: <https://www.fao.org/4/i3704e/i3704e.pdf> [accessed Jun. 21, 2024]
- Genebank Standards. 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: International Plant Genetic Resources Institute; 1994. Available from: [https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning\\_space/genebank\\_standards.pdf](https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/genebank_standards.pdf) [accessed June 21, 2024].
- GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Стандартинформ; 2011).
- GOST 12041-82. Seed of farm crops. Method for determination of moisture content. Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности. Москва; 2011).
- Kalemba E.M., Corbineau F., Kumar S.P.J. Editorial: Molecular basis of seed longevity. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1138139. DOI: 10.3389/fpls.2023.1138139
- Kandil A.A., Sharief A.E., Sheteiwy M.S. Effect of seed storage periods, conditions and materials on germination of some soybean seed cultivars. *American Journal of Experimental Agriculture*. 2013;3(4):1020–1043. DOI: 10.9734/AJEA/2013/3590
- Karim M.A., Utsunomiya N., Shigenaga S. Effect of sodium chloride on germination and growth of hexaploid triticale at early seedling stage. *Japanese Journal of Crop Science*. 1992;61:279–284. DOI: 10.1626/jcs.61.279
- Kiran Babu P., Radhamani J., Aravind J., Varghese E., Tyagi R.K. Field performance of 30-year-old soybean germplasm conserved in Indian National Genebank. *Plant Genetic Resources*.

- 2018;31(2):152-163. DOI: 10.5958/0976-1926.2018.00018.9
- Nagel M., Kranner I., Neumann K., Rolletschek H., Seal C.E., Colville L., Fernández-Marín B., Börner A. Genome-wide association mapping and biochemical markers reveal that seed ageing and longevity are intricately affected by genetic background and developmental and environmental conditions in barley. *Plant, Cell & Environment*. 2015;38(6):1011-1022. DOI: 10.1111/pce.12474
- Nakagawa A.C.S., Ario N., Tomita Y., Tanaka S., Murayama N., Mizuta C., Iwaya-Inoue M., Ishibashi Y. High temperature during soybean seed development differentially alters lipid and protein metabolism. *Plant Production Science*, 2020;23(4):504-512. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1742581
- Novikova L.Y., Bulakh P.P., Nekrasov A.Y., Seferova I.V. Soybean response to weather and climate conditions in the Krasnodar and Primorye territories of Russia over the past decades. *Agronomy*. 2020;10(9):1278. DOI: 10.3390/agronomy10091278
- Pritchard H.W., Dickie J.B. Predicting seed longevity: the use and abuse of seed viability equations. In book: *Seed Conservation: Turning Science into Practice*. UK: Royal Botanic Gardens Kew; 2003.
- Rao P.J.M., Pallavi M., Bharathi Y., Priya P.B., Sujatha P., Prabhavathi K. Insights into mechanisms of seed longevity in soybean: a review. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1206318. DOI: 10.3389/fpls.2023.1206318
- Renard J., Niñoles R., Martínez-Almonacid I., Gayubas B., Mateos-Fernández R., Bissoli G., Bueso E., Serrano R., Gadea J. Identification of novel seed longevity genes related to oxidative stress and seed coat by genome-wide association studies and reverse genetics. *Plant, Cell & Environment*. 2020;43:2523-2539. DOI: 10.1111/pce.13822
- Safina G.F., Filipenko G.I. Longevity of seeds at storage and its predicting by the accelerated ageing method. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;174:124-131. [in Russian] (Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Долговечность семян при хранении и ее прогнозирование методом ускоренного старения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;174:124-131).
- Silaeva O.I. Storage of seeds collections of the world's plant resources in conditions low positive temperatures – assessment, status, prospects. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:230-239. [in Russian] (Силаева О.И. Хранение коллекции семян мировых растительных ресурсов в условиях низких положительных температур – оценка, состояние, перспективы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:230-239).
- Solberg S.O., Yndgaard F., Andreasen Ch., von Bothmer R., Loskutov I.G., Asdal A. Long-term storage and longevity of orthodox seeds: a systematic review. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1007. DOI: 10.3389/fpls.2020.01007
- Stepanov V.N. Biological classification of agricultural plants of field culture. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1957;(2):5-29. [in Russian] (Степанов В.Н. Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1957;(2):5-29).
- Storozheva N.N. Impact of long-term storage of crop seeds in permafrost soil strata on viability and phenotypic variability (Vliyaniye dlitel'nogo khraneniya semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh tolshchi mnogoletnemerzlykh gruntov na zhiznesposobnost' i fenotipicheskuyu izmenchivost') [dissertation]. Yakutsk; 2006. [in Russian] (Сторожева Н.Н. Влияние длительного хранения семян сельскохозяйственных культур в условиях толщи многолетнемерзлых грунтов на жизнеспособность и фенотипическую изменчивость: дис. ... канд. с.-х. наук. Якутск; 2006).
- Tekrony D.M., Egli D.B., Phillips A.D. Effect of field weathering on the viability and vigor of soybean seed. *Agronomy Journal*. 1980;72(5):749-753. DOI: 10.2134/agronj1980.00021962007200050014x
- Teplykh A.A., Prokhorova E.V. The influence of spruce seeds longevity on their practical germinating ability. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series «Forest. Ecology. Nature management»*. 2018;2(38):19-28. [in Russian] (Теплых А.А., Прохорова Е.В. Влияние сроков хранения семян ели на их техническую всхожесть. *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: лес. экология. Природопользование*. 2018;2(38):19-28). DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.19
- Vavilov N.I. Botanical and geographical principles of breeding (The doctrine of source material in breeding) (Botaniko-geograficheskiye osnovy selektsii (Ucheniye ob iskhodnom materiale v selektsii)). In: *Academician N.I. Vavilov. Selected Works (Akademik N.I. Vavilov. Izbrannye trudy)*. Moscow; Leningrad: Nauka; 1960. Vol. 2. p.21-70. [in Russian] (Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции (Учение об исходном материале в селекции). В кн.: *Академик Н.И. Вавилов. Избранные труды*. Москва; Ленинград: Наука; 1960. Т. 2. С.21-70).
- Yamasaki F., Domon E., Tomooka N., Baba-Kasai A., Nemoto H., Ebana K. Thirty-year monitoring and statistical analysis of 50 species' germinability in genebank medium-term storage suggest specific characteristics in seed longevity. *Seed Science and Technology*. 2020;48(2):269-287. DOI: 10.15258/sst.2020.48.2.14

## Информация об авторах

**Ирина Владимировна Сеферова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов зерновых бобовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.seferova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3308-9198>

**Галина Ивановна Филипенко**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, исполняющая обязанности заведующего, лаборатория долгосрочного хранения генетических ресурсов, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, g.filipenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8419-1518>

**Ольга Николаевна Забегасва**, старший научный сотрудник, лаборатория долгосрочного хранения генетических ресурсов, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, o.zabegaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6316-3232>

**Александр Петрович Бойко**, доктор сельскохозяйственных наук, директор филиала, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Адлерская опытная станция – филиал ВИР, 354340 Россия, Сочи, ул. Ленина, 95, aos.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1510-8546>

**Александр Юрьевич Некрасов**, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, пос. Ботаника, ул. Центральная, 2, kos.vir.nekrasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7332-1209>

**Любовь Юрьевна Новикова**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая, отдел автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

---

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

**Irina V. Seferova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Grain Legume Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.seferova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3308-9198>

**Galina I. Filipenko**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head, Laboratory of Long-Term Storage of Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, g.filipenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8419-1518>

**Olga N. Zabegayeva**, Senior Researcher, Laboratory of Long-Term Storage of Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, o.zabegaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6316-3232>

**Alexander P. Boyko**, Dr. Sci. (Agriculture), Director of the branch, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Adler Experiment Station, a branch of VIR, Sochi, Krasnodar Territory, 354340, Russia, aos.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1510-8546>

**Alexander Yu. Nekrasov**, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Kuban Experiment Station, a branch of VIR, Botanika Settlement, Gulkevichsky District, Krasnodar Territory, 352183 Russia, kos.vir.nekrasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7332-1209>

**Lyubov Yu. Novikova**, Dr. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Head, Department of Automated Information Systems of Plant Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.08.2024; одобрена после рецензирования 29.08.2024; принята к публикации 19.09.2024.

The article was submitted on 02.08.2024; approved after reviewing on 29.08.2024; accepted for publication on 19.09.2024.