

Изменение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян льна, извлеченных из низкотемпературного хранилища

О. Н. Забегаева¹, Ан. В. Павлов¹, Е. А. Пороховинова¹, Н. Б. Брач¹, Ал. В. Павлов¹, Т. В. Герасимова²

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

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанский генетический банк семян – филиал ВИР, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Валерьевич Павлов, a.pavlov@vir.nw.ru

Актуальность. Большинство работ, посвященных низкотемпературному хранению, заканчивается определением всхожести семян непосредственно после их выемки. Вопрос, как изменяются энергия прорастания и лабораторная всхожесть у таких семян при их дальнейшем хранении в условиях комнатной температуры и влажности, в научной литературе освещен недостаточно.

Материал и методы. Изучили всхожесть 26 образцов льна-долгунца 1982–1986 гг. репродукции, заложенных на длительное низкотемпературное хранение (+4,5°C) в Кубанский генный банк семян (КБС), после извлечения их из хранения в соответствии с ГОСТ 12038-84.

Результат. Анализ данных показал, что длительное (180 суток) нахождение семян, извлеченных из низкотемпературного хранения, в условиях комнатной температуры привело к снижению всхожести у образцов от 1% до 74% в сравнении со всхожестью семян, заложенных на проращивание через трое суток после выемки.

Заключение. Семена, находящиеся в условиях длительного низкотемпературного хранения в генбанках, необходимо вынимать незадолго до посева. Не рекомендуется их содержание в условиях комнатной температуры после длительного низкотемпературного хранения.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum*, генбанк, хранение в контролируемых условиях, жизнеспособность семян

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

Для цитирования: Забегаева О.Н., Павлов Ан.В., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов Ал.В., Герасимова Т.В. Изменение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян льна, извлеченных из низкотемпературного хранилища. *Бюллетень ВИР*. 2025;(247):5-17.

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.

© Забегаева О.Н., Павлов Ан.В., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов Ал.В., Герасимова Т.В., 2025

Original article

Changes in germination energy and laboratory germination rates of flax seeds removed from a low-temperature storage facility

Olga N. Zabegayeva¹, Andrey V. Pavlov¹, Elizaveta A. Porokhovinova¹, Nina B. Brutch¹, Alexander V. Pavlov¹, Tatiana V. Gerasimova²

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

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Genetic Seed Bank – branch of VIR, Krasnodar Territory, Russia

Corresponding author: Andrey V. Pavlov, a.pavlov@vir.nw.ru

Background. Most of the low-temperature storage studies do not go beyond defining germination rates of seeds immediately after their removal from such storage. The question of later changes in seed germination energy and laboratory germination rates during further storage of such seeds under normal room temperature and humidity has not been clarified well enough in scientific publications.

Materials and methods. The germination rate of 26 flax accessions reproduced in 1982–1986 and deposited for long-term low-temperature storage (+4.5°C) in the Kuban Genetic Seed Bank of VIR was tested after their removal from storage in accordance with the State Standards (GOST 12038-84).

Results. The data analysis showed that extended (180 days) exposure of the seeds removed from low-temperature storage to room temperature led to a decrease in the germination rate of accessions from 1% to 74% versus the germination rate recorded for the seeds transplanted three days after low-temperature storage.

Conclusion. Seeds that underwent long-term low temperature storage in a genebank should be removed from storage shortly before their sowing time. Keeping them under room temperature after long-term low-temperature conservation is not advisable.

Keywords: *Linum usitatissimum*, genebank, storage under controlled conditions, seed viability

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

For citation: Zabegayeva O.N., Pavlov An.V., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov Al.V., Gerasimova T.V. Changes in germination energy and laboratory germination rates of flax seeds removed from a low-temperature storage facility. *VIR Bulletin*. 2025;(247):5-17. (In Russ.).

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 employer.

© Zabegayeva O.N., Pavlov An.V., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov Al.V., Gerasimova T.V., 2025

Введение

Лен – ценная техническая и масличная культура. По распространенности лен-долгунец находится на четвертом месте в мире среди всех возделываемых волокнистых культур (Pavlov et al., 2024), а лен-межеумок – на десятом среди масличных. В 2023 г. посевные площади под льном-долгунцом и льном масличным в мире составили соответственно 249 и 3088 тыс. га (FAOSTAT, 2025). В Российской Федерации (РФ) в 2025 г. под ними было занято 36,5 и 1950 тыс. га сельскохозяйственных угодий (Federal State..., 2025). Современные сорта льна обладают высокой урожайностью, устойчивостью к болезням. По состоянию на 2025 г. в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию (Госреестр), внесено 73 сорта льна-долгунца и 56 сортов льна масличного (State Register..., 2025). Молекулярно-генетический анализ с применением SSR-маркеров, а также последующий кластерный анализ выявили наличие родственных связей у сортов, созданных различными селекционными центрами в разные временные периоды (Bazanov et al., 2023). Использование в сельскохозяйственном производстве близкородственных сортов нежелательно, так как может способствовать быстрому распространению эпифитотий, вызываемых расами возбудителей болезней, к которым сорта не имеют генов устойчивости. Аналогичные нежелательные последствия может иметь и генетически схожая неустойчивость к неблагоприятным факторам условий выращивания. В связи с этим создание сортов на основе разнородного исходного материала всегда актуально.

Кроме того, при создании новых сортов селекционеры должны учитывать запросы льнопроизводителей и льнопереработчиков. Первым необходимы сорта с высокой урожайностью и качеством волокна, адаптивные, устойчивые к полеганию и болезням, вторым – сорта, отвечающие требованиям текстильной, автомобильной, строительной и другим отраслям промышленности. Таким образом, изменился подход к созданию сорта – он стал адресным, под конкретную задачу (Porsev et al., 2020).

Источником селекционного материала являются мировые генетические банки семян. В них находится порядка 48 тыс. образцов льна, из них около 300 – культивируемые сорта (Grant-Grant et al., 2025). Самая большая коллекция льна – 6243 образцов из 83 стран – хранится во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Все поступающие в ВИР образцы льна проходят комплексное изучение по морфологическим и хозяйственно ценным признакам. Коллекция льна ВИР, включающая в себя местные образцы, кражевые льны, линии, гибриды, сорта, в том числе и снятые с производства, представляет собой уникальный источник разнородного исходного материала для селекционного процесса (Porokhvinova et al., 2021).

Надежное и долгосрочное хранение семенных коллекций генетических ресурсов растений ВИР обеспечивается благодаря низкотемпературным хранилищам, система которых в ВИР начала формироваться в 50-

годах XX века. В 1976 г. на базе Кубанской опытной станции было создано Национальное хранилище – Кубанский генный банк семян (КБС), предназначенный для хранения базовой коллекции образцов семян культурных растений и их диких родичей (Filipenko, 2007). В настоящее время температурный режим в хранилищах поддерживается в нескольких вариантах: +4,5°C, –5,0°C, –10,0°C, –18°C, из которых международными стандартами рекомендованы: для долгосрочного хранения температура –18°C; для среднесрочного хранения 0...+10°C. При отрицательных температурах целесообразно хранить образцы культур с непродолжительным сроком всхожести (микробиотики), для остальных культур (мезо-, макробиотики) положительные низкие температуры являются приемлемыми для сохранения жизнеспособности на уровне 50–79% в течение 25–30 лет. Наши наблюдения показывают, что семена льна, выращенные в годы с благоприятными погодными условиями, способны сохранять высокие показатели всхожести ($\geq 90\%$) 10 лет и более при их хранении в комнатных условиях, то есть лен можно отнести к макробиотикам.

На основании экспериментальных данных, полученных в Национальном генбанке Болгарии, было установлено, что образцы, хранившиеся в течение 25 лет при –18°C, показали существенные различия в потере жизнеспособности семян как между видами, так и внутри вида. Для семян льна среднее прогнозируемое время снижения всхожести на 10% происходит через 33 года, а на 50% – через 88 лет (Deshev et al., 2018). На продолжительность сохранения всхожести у семян оказывают влияние многие факторы: влажность семян, температура хранения, относительная влажность воздуха, упаковка для хранения, которая в свою очередь влияет на относительную влажность и влажность семян (Singh et al., 2017). На срок хранения влияет также биохимический состав семян: так, семена с высоким содержанием масла более склонны к порче (Drumond et al., 2020).

В ходе 33-летнего хранения семян кормовых культур в регулируемой газовой среде (РГС) было установлено, что старение семян бобовых происходит медленнее, чем злаковых. После помещения этих семян в обычные условия большинство образцов сохранили всхожесть в течение года, за исключением ряда кормовых злаков (Kozlov et al., 2021). В опыте, в котором семена льна находились в течение 6 месяцев в условиях комнатной температуры после пятидневного хранения их в жидком азоте (–196°C), не удалось установить четкой зависимости срока хранения с лабораторной всхожестью (Pavlov et al., 2023). Большинство исследователей, занимающихся изучением низкотемпературного хранения, завершают свои работы после определения лабораторной всхожести семян. При этом работ, в которых проводились бы дальнейшие наблюдения за ее динамикой, немного.

Цель работы – определить, как меняются энергия прорастания и лабораторная всхожесть у семян льна, находящихся в комнатных условиях, после их выемки из длительного низкотемпературного хранения. Эти данные позволят повысить эффективность работы сотрудников

генбанков, кураторов коллекций, специалистов и селекционеров.

Материал и методы

В 2025 г. из длительного низкотемпературного хранения (+4,5°C) в Кубанском генном банке семян (КБС) были извлечены 26 образцов льна-долгунца 1982–1986 гг. репродукции, показавшие снижение всхожести в контрольных вариантах хранения, с целью получения свежей репродукции семян и перезакладки их на длительное хранение (табл. 1). Контрольный вариант хранения – семена, находящиеся в отдельной от основного варианта упаковке, предназначенные для мониторинга всхожести образца. Основной вариант – семена, предназначенные для получения свежей репродукции в случае снижения всхожести в контрольном варианте хранения. Все образцы выращивали в 1982–1986 гг. на полях Пушкинских лабораторий ВИР (в настоящее время – научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лабораторий ВИР» (г. Пушкин, Санкт-Петербург) и передали в КБС. Там, после определения всхожести в 1983–1987 гг., каждый образец помещали в стеклянную банку, герметично закрывали и размещали в хранилище при температуре +4,5°C.

Весной 2025 г. данные образцы извлекли из хранилища. На третьи сутки после выемки их заложили на проращивание в КБС для определения энергии прорастания и лабораторной всхожести (GOST 12038-84..., 2011). После определения всхожести семена отправили в Санкт-Петербург. На 60-е и 180-е сутки (с момента выемки) семена образцов повторно заложили на проращивание в лаборатории длительного хранения генетических ресурсов растений (ЛДХР) (GOST 12038-84..., 2011). После выемки из КБС семена хранили при комнатной температуре в бумажных пакетах.

Статистическую обработку данных проводили в программах Excel 2016 и Statistica 7.0 (<http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>).

Для установления влияния генотипа по исходным и по средним данным изучения всхожести провели двухфакторный дисперсионный анализ (генотип, время определения всхожести после выемки из хранилища). По результатам апостериорного сравнения методом HSD Тьюки, дисперсионного анализа (по средним значениям) все образцы были разделены на три группы по средним значениям всхожести (Nasledov, 2012). Обычный дисперсионный анализ не позволяет оценить динамику ухудшения всхожести, для этого используют дисперсионный анализ с повторениями (Repeated Measures Analysis of Variance). Изучали суммарную выборку и три выделенные по всхожести группы. Применить данный метод непосредственно для нашего эксперимента невозможно, так как всхожесть у конкретных семян можно измерить только однократно. Поэтому мы ввели несколько допущений: (1) повторности изначально записывали случайным образом, поэтому для получения ряда данных (для каждого образца) показатели всхожести были отсортированы от максимального к минимальному, чтобы каждому максимальному в первый срок изучения соответствовал максимальный во второй и третий, и т. д. сроки; (2) если число повторностей отличалось, то пропущенное значение заменяли на ближайшее из имеющихся, исходя из двух соседних сроков определения всхожести. Подобное допущение возможно, так как невозможно определить всхожесть у одних и тех же семян дважды.

В соответствии с полученными данными, используя метод экстраполяции, в программе Excel (по алгоритму: вставка функции – статистические – предсказание линейное) рассчитали значения энергии прорастания и лабораторной всхожести за период в 360 суток хранения при комнатной температуре.

Таблица 1. Список образцов льна, извлеченных из длительного низкотемпературного хранения

Table 1. The list of flax accessions removed from low-temperature storage

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Год репродукции / Year of seed reproduction
93		Россия, Петроградская губерния	1985
135		Великобритания	1986
160		Россия, Вологодская губерния	1983
686		Россия, Омская губерния	1986
764		Россия, Рыбинская губерния	1983
782		Беларусь, Минская губерния	1983
942		Россия, Тюменская губерния	1986
1040		Россия, Рыбинская губерния	1986
1481		Россия, Псковская губерния,	1986

Таблица 1. Продолжение

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Год репродукции / Year of seed reproduction
2608		Россия, Карельская Республика	1985
3551		Россия, Тверская губерния	1983
4106	сорт 51	Великобритания	1984
4217	2949	Россия, Вятская губерния	1985
4237	1191	Россия, Волоколамская губерния	1984
5374	ГДС 2	Россия, Ленинградская область, ВИР	1982
5410	Черский кряж	Россия, Псковская область	1983
5489	Йыгевский	Эстония, Йыгева	1984
6072	Т-5	Россия, Томск, Томская сельскохозяйственная опытная станция (ныне Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа, филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН)	1982
6728	С-205	Великобритания	1985
6764	Шокинский	Россия, Смоленская обл., Смоленская сельскохозяйственная опытная станция (ныне Смоленская ГОСХОС, обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур)	1982
6895	346	Аргентина	1982
7008	Т-9 желтосемянный	Россия, Киров, Кировский сельскохозяйственный институт (ныне Вятский государственный агротехнологический университет)	1984
7230	Полесский 5	Украина, Киев, Украинский НИИ земледелия (ныне Национальный научный центр «Институт земледелия НААН Украины)	1984
7243	Лазурный (Конкурент)	Россия, Торжок, ВНИИ льна (ныне Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур)	1982
7565	А 27 Б1	Белоруссия, Жодино, Белорусский НИИ земледелия (ныне Институт льна – дочернее подразделение Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию)	1983
7599	3966/13	Украина, Житомирская обл., НИИСХ НЗ УССР (ныне, предположительно, Институт сельского хозяйства Полесья)	1984

Результат и обсуждение

Изначальная всхожесть у образцов при закладке их на длительное низкотемпературное хранение в КБС была от 90 до 100% (табл. 2).

Первое проращивание семян после длительного низкотемпературного хранения показало полное отсутствие проростков у образцов к-5489 и к-6728. У образцов к-135, к-160 и к-2608 лабораторная всхожесть составила соответственно 1, 4 и 3%. Такие результаты могут быть связаны с особенностями генотипа, неблагоприятными погод-

ными условиями в период вегетации. У 12 образцов всхожесть была в диапазоне от 90 до 100%. У 4 образцов (к-764, к-3551, к-4217 и к-7599) наблюдалось некоторое увеличение всхожести, но изменения были незначительными: возможно, стоит говорить об ошибке опыта (см. табл. 2). В целом, характеризуя результаты первого проращивания семян после выемки их из низкотемпературного хранения, можно сказать, что всхожесть в диапазоне от 50 до 100% была у 19 образцов и только у 7 образцов – 0–49% (табл. 3).

Таблица 2. Показатели энергии прорастания и лабораторной всхожести у образцов льна-долгунца, заложенных на проращивание на третьи, 60-е, 180-е и 360-е (расчетное значение) сутки после выемки из низкотемпературного хранения

Table 2. Germination energy and laboratory germination rates of flax accessions placed for germination on the third, 60th, 180th, and 360th (calculated date) day after their removal from low-temperature storage

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Энергии прорастания и лабораторная всхожесть образцов, перед закладкой на длительное хранение / Germination energy and laboratory germination rate of flax accessions prior to low-temperature storage		Энергия прорастания и всхожесть семян через разные интервалы после выемки их из низкотемпературного хранилища / Germination energy and laboratory germination rate of flax accessions after removal from low-temperature storage							
			на третьи сутки / on the third day ³		на 60-е сутки / on the 60th day ³		на 180-е сутки / on the 180th day ³		на 360-е сутки (расчетное) / on the 360th day (calculated)	
	эн, % / en, % ¹	всх, % / ger, % ²	эн, % / en, %	всх, % / ger, %	эн, % / en, %	всх, % / ger, %	эн, % / en, %	всх, % / ger, %	эн, % / en, %	всх, % / ger, %
93	100	100	90 ± 1	94 ± 1	88 ± 4	93 ± 4	59 ± 4	75 ± 2	27	51
135	92	94	0 ± 0	1 ± 1	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	0
160	99	99	0 ± 0	4 ± 1	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	0
686	89	90	17 ± 1	50 ± 1	0 ± 0	3 ± 2	0 ± 0	2 ± 1	0	0
764	98	98	94 ± 3	100 ± 1	97 ± 1	100 ± 0	93 ± 3	99 ± 1	92	98
782	99	99	4 ± 1	42 ± 1	2 ± 1	3 ± 2	0 ± 0	3 ± 1	0	0
942	94	95	58 ± 1	87 ± 1	55 ± 8	63 ± 9	7 ± 1	29 ± 5	0	0
1040	98	98	38 ± 4	79 ± 4	38 ± 5	66 ± 7	1 ± 1	21 ± 2	0	0
1481	98	98	41 ± 2	79 ± 0	20 ± 6	44 ± 4	1 ± 1	20 ± 1	0	0
2608	94	96	0 ± 0	3 ± 1	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	0
3551	99	99	86 ± 1	100 ± 0	83 ± 4	84 ± 4	41 ± 11	72 ± 5	0	44
4106	100	100	38 ± 0	88 ± 1	34 ± 7	45 ± 9	6 ± 2	14 ± 3	0	0
4217	98	98	99 ± 1	100 ± 1	99 ± 1	99 ± 1	74 ± 2	98 ± 1	48	96
4237	96	98	2 ± 1	23 ± 4	1 ± 0	4 ± 1	1 ± 0	4 ± 1	0	0
5374	100	100	19 ± 2	84 ± 3	26 ± 1	56 ± 7	6 ± 2	28 ± 4	0	0
5410	96	96	72 ± 1	95 ± 2	74 ± 1	86 ± 3	17 ± 4	35 ± 5	0	0
5489	96	97	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	0
6072	99	99	61 ± 2	83 ± 3	52 ± 5	64 ± 3	8 ± 3	24 ± 5	0	0
6728	97	97	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	0
6764	95	96	17 ± 17	90 ± 6	34 ± 1	70 ± 5	10 ± 3	35 ± 4	0	0
6895	99	99	99 ± 0	99 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	90 ± 5	98 ± 1	81	97
7008	100	100	97 ± 4	100 ± 1	99 ± 1	99 ± 1	72 ± 9	95 ± 1	46	90
7230	98	98	95 ± 2	98 ± 0	99 ± 1	99 ± 1	47 ± 5	88 ± 1	0	78
7243	98	98	71 ± 2	92 ± 3	53 ± 9	64 ± 9	6 ± 2	56 ± 8	0	20
7565	92	99	78 ± 2	97 ± 1	80 ± 3	83 ± 2	19 ± 3	52 ± 2	0	6
7599	98	98	98 ± 2	100 ± 1	100 ± 0	100 ± 0	72 ± 6	93 ± 2	45	86

Примечание: ¹ – эн, % – энергия прорастания; ² – всх, % – лабораторная всхожесть; ³ – среднее ± стандартная ошибка
 Note: ¹ – en, % – germination energy; ² – ger, % – laboratory germination rate; ³ – mean ± standard error

Таблица 3. Распределение образцов льна по группам всхожести
Table 3. Distribution of flax accessions according to their laboratory germination rates

Закладка семян на проращивание, сутки / Placement for laboratory germination, days	Всхожесть, % / Laboratory germination rate, %				
	0	1–29	30–49	50–89	90–100
3	2	4	1	7	12
60	5	3	2	9	7
180	5	9	2	5	5
360 (расчетная) / (calculated)	16	2	1	3	4

Проращивание семян после 60 суток с момента выемки их из низкотемпературного хранения выявило значимое падение всхожести: лишь у 7 образцов она осталась на уровне 90–100%; у 5 образцов наблюдалось полное отсутствие всходов. Во второй срок проращивания семян всхожесть от 50 до 100% оказалась у 16 образцов, а в диапазоне от 0 до 49% – у 10 образцов (см. табл. 2 и 3).

Проращивание семян после 180 суток с момента выемки их из низкотемпературного хранения выявило дальнейшее падение всхожести: только у 5 образцов

она осталась на уровне 90–100%. Существенно увеличилось количество образцов со всхожестью от 1 до 29%. В третий срок проращивания семян всхожесть от 50 до 100% оказалась у 10 образцов, от 0 до 49% – у 16 образцов (см. табл. 2 и 3).

Прогноз, сделанный методом экстраполяции, показал, что через 360 суток с момента выемки семян из низкотемпературного хранения 16 образцов утратят всхожесть полностью. Всхожесть от 90 до 100% сохранится у 4 образцов (см. табл. 2 и 3; рис. 1).

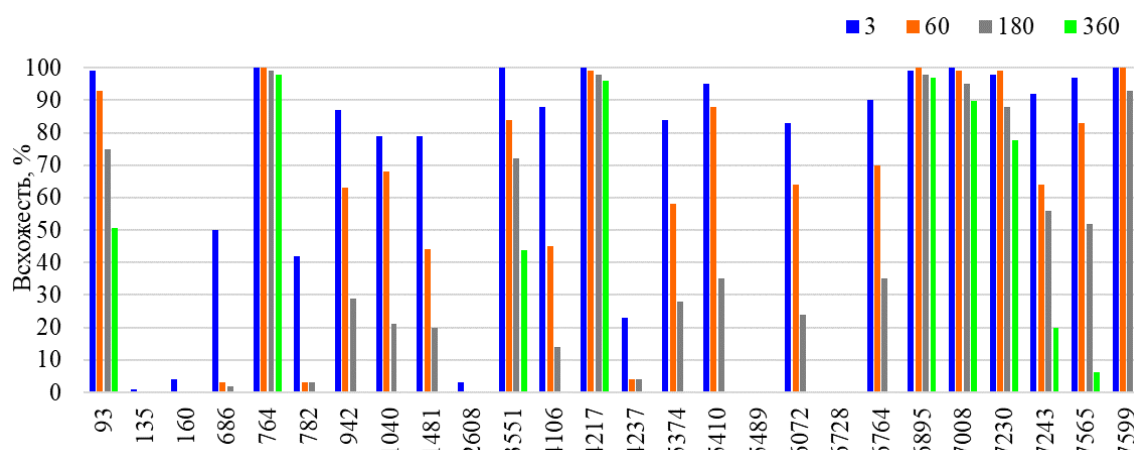


Рис. 1. Всхожесть образцов льна-долгунца на третьи, 60-е, 180-е и 360-е (расчетное значение) сутки хранения их при комнатной температуре после низкотемпературного хранилища

Fig. 1. Laboratory germination rates of flax accessions on the third, 60th, 180th, and 360th (calculated) day of storage under room temperature

Наш опыт показывает, что посев семян в поле (после длительного низкотемпературного хранения) с лабораторной всхожестью < 50% может дать разреженные или единичные всходы, либо они могут отсутствовать полностью, особенно при наступлении неблагоприятных погодных условий после сева: затяжной дождливой холодной погоды, засухи. Таким образом, после года хранения семян в комнатных условиях, на основании расчетных

данных, гарантированно можно получить свежие репродукции в полевых условиях только для 4–7 образцов из 26.

По исходным и по средним данным изучения всхожести проведен двухфакторный дисперсионный анализ (генотип, время определения всхожести после выемки из хранения). Показано, что влияние всех факторов достоверно (рис. 2).



Рис. 2. Доля влияния генотипа, времени определения всхожести (третьи, 60-е, 180-е сутки) и случайных факторов (ошибка) на всхожесть семян льна после длительного хранения по результатам двухфакторного дисперсионного анализа, %. А – по исходным данным, В – по средним данным. Влияние всех факторов достоверно

Fig. 2. Effect sizes for the influence of the genotype, germination measurement time (on the third, 60th, and 180th day), and random factors (error) on the germination of flax seeds after long-term storage according to the results of a two-way ANOVA, %. A – according to the initial data, B – according to the mean data. The effect of all factors is significant

Дисперсионный анализ, проведенный по исходным данным показал (см. рис. 2А), что генотип обуславливает 80% от выявленной изменчивости, время, через которое определяли всхожесть после выемки из хранения, – 10%, а взаимодействие генотипа и времени хранения при комнатной температуре после выемки – 8%; невыявленные факторы составляли 2% от общей изменчивости. То есть, помимо решающей роли генотипа, соизмеримое влияние с временем выемки оказывает взаимодействие генотипа и времени хранения после выемки. Другими словами, потеря всхожести после выемки так же, как и само длительное хранение, сильно зависит от генотипа.

Дисперсионный анализ по средним данным всхожести (см. рис. 2В), определенным для каждого срока хранения после выемки, подтвердил результаты, получен-

ные по исходным данным. Вклад генотипа в выявленную изменчивость составил 80%, а времени хранения после выемки – 11%; неучтенные факторы составили 8%, они как раз и составляют взаимодействие генотипа и времени закладки на проращивание после выемки из хранения.

По результатам последнего дисперсионного анализа провели апостериорное сравнение образцов льна по средним значениям (по всем определениям всхожести) методом HSD Тьюки (табл. 4). Оно выявило 7 перекрывающихся групп. Эти группы можно объединить в три: (1) низкая всхожесть – 0–18%, (2) средняя – 48–87% и (3) высокая – 95–99%. Суммарную выборку и эти три группы изучали с помощью дисперсионного анализа с повторениями.

Таблица 4. Группировка образцов льна после длительного хранения по средним результатам всхожести трех проращиваний (на третьи, 60-е, 180-е сутки) на основании двухфакторного дисперсионного анализа и апостериорного сравнения методом HSD Тьюки

Table 4. Grouping of flax accessions after long-term storage according to the average data of three germination rates (on the third, 60th, and 180th day) based on the two-way ANOVA and Tukey's HSD post-hoc test

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Средняя всхожесть / Average germination rate	Группы образцов по способности к проращиванию / Group of accessions according to their germination							
		1	2	3	4	5	6	7	сводные
к-135	0	****							Низкая
к-2608	1	****							всхожесть
к-160	1	****							
к-4237	10	****	****						

Таблица 4. Продолжение

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Средняя всхожесть / Average germination rate	Группы образцов по способности к прорастанию / Group of accessions according to their germination							
		1	2	3	4	5	6	7	сводные
к-782	16	****	****	****					
к-686	18	****	****	****					
к-1481	48		****	****	****				Средняя
к-4106	49		****	****	****				всхожесть
к-1040	55			****	****	****			
к-5374	56			****	****	****	****		
к-6072	57			****	****	****	****	****	
к-942	59			****	****	****	****	****	
к-6764	65				****	****	****	****	
к-7243	71				****	****	****	****	
к-5410	72				****	****	****	****	
к7565	77				****	****	****	****	
к3551	85				****	****	****	****	
к93	87				****	****	****	****	
к7230	95					****	****	****	Высокая
к7599	98					****	****	****	всхожесть
к7008	98					****	****	****	
к4217	99						****	****	
к6895	99						****	****	
к764	99							****	

Обычный дисперсионный анализ не позволяет определить последовательное ухудшение всхожести, то есть для него измерение всхожести через 3, 60 и 180 дней являются независимыми признаками. Чтобы оценить динамику ухудшения всхожести, можно использовать другой вариант дисперсионного анализа – дисперсионный анализ с повторными измерениями. Этот вариант дисперсионного анализа часто применяют в медицине, когда нужно, например, изучить влияние неоднократно приема лекарств на группе пациентов. Напрямую применить данный метод для нашего эксперимента невозможно, так как всхожесть у конкретных семян можно измерить лишь однократно. Поэтому мы отсортировали измерения всхожести за каждый срок от максимального к минимальному, чтобы каждому максимальному в первый срок соответствовал максимальный во второй и третий и т. д.

Дисперсионный анализ с повторными измерениями состоит из двух частей (рис. 3). Первая позволяет выя-

вить действие межгруппового фактора – генотипа, влияние которого было достоверно у всех групп и составляет у всей выборки 99%, у выборки с низкой всхожестью 97%, со средней всхожестью 84%, с хорошей всхожестью 73%. То есть у образцов с хорошей всхожестью около четверти изменчивости определяется случайными факторами. Вторая выявляет действие внутригрупповых факторов – срока измерения всхожести и его взаимодействия с генотипом. Влияние этих факторов было достоверно для всех групп. Для суммарной выборки и выборки с низкой всхожестью время определения всхожести влияет примерно так же, как и взаимодействие генотипа и времени хранения после выемки. У образцов со средней всхожестью значительное влияние (85%) оказывает срок определения всхожести, тогда как генотип – меньшее (11%). У образцов с высокой всхожестью время определения всхожести оказывало немного большее влияние (52%), чем взаимодействие «генотип – время определения всхожести» (38%), и 10% составляли неучтенные факторы.

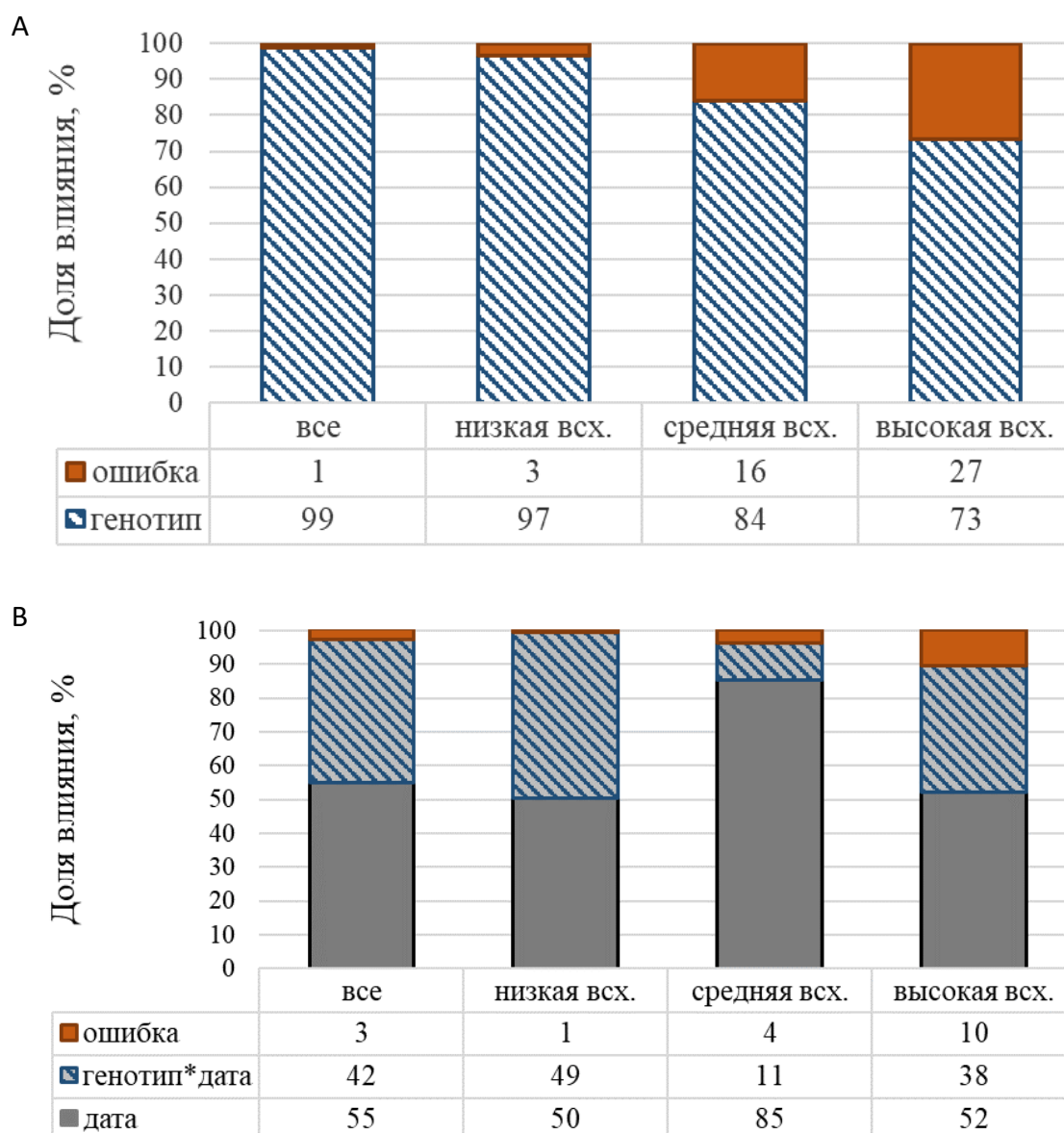


Рис. 3. Доля влияния генотипа, времени определения всхожести (дата, на третьи, 60-е, 180-е сутки) и случайных факторов (ошибка) на всхожесть семян льна после длительного хранения по исходным данным на основании двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями, %. А – генотипа, В – времени определения всхожести (дата) и взаимодействия генотипа и времени определения всхожести («генотип × дата»). Влияние всех факторов достоверно

Fig. 3. Effect sizes for the influence of the genotype, germination measurement time (on the third, 60th, and 180th day), and random factors (error) on the germination of flax seeds after long-term storage according to the initial data, based on the two-way repeated measures ANOVA, %. А – the genotype, В – the germination measurement time (date), and the interaction of the genotype and the germination measurement time (genotype × date). The effect of all factors is significant.

С физиологической точки зрения данные этого дисперсионного анализа математически подтверждают, что для образцов с низкой всхожестью хранение при комнатных условиях становится катастрофичным уже на 60-й день и зависит от генотипа, у образцов с суммарной средней всхожестью идет резкое ее снижение в течение

всех 180 дней, причем в эту группу могут попасть образцы с изначально хорошей всхожестью и даже с хорошей всхожестью на 60-й день после выемки (рис. 4). Есть группа образцов, на которые время определения всхожести после выемки не оказывает определяющего влияния.

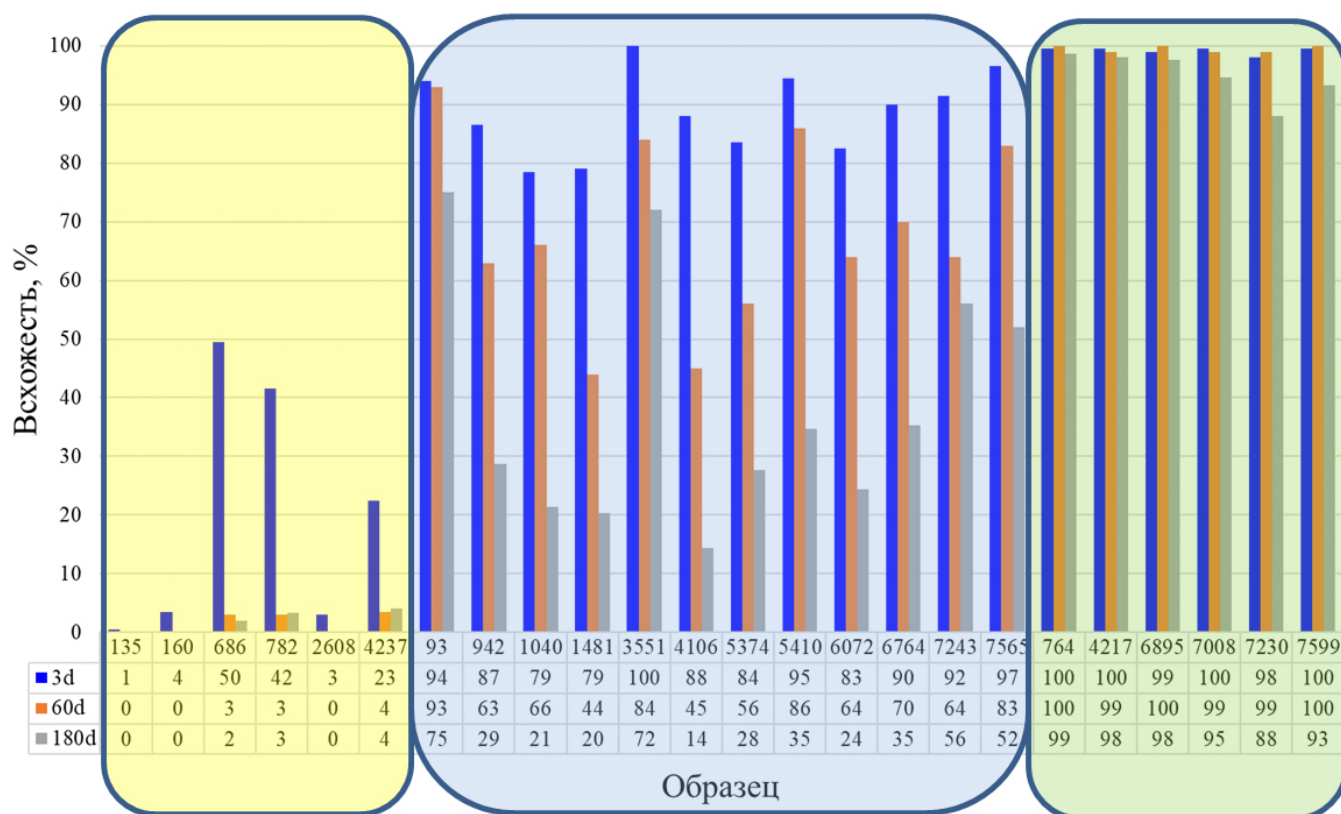


Рис. 4. Динамика всхожести образцов льна на третьи, 60-е и 180-е сутки хранения их при комнатной температуре. Группировка образцов по всхожести

Fig 4. Germination dynamics of flax accessions on the third, 60th, and 180th day of storage under room temperature. Grouping of accessions according to their germination rates

Таким образом, все образцы можно распределить по трем группам (см. рис. 4):

1. С изначально низкой всхожестью, которая катастрофически падает уже через два месяца после выемки.
2. С изначально несколько сниженной или хорошей всхожестью. Снижение всхожести для большинства этих образцов стало заметным уже через два месяца и более резко через шесть.
3. Образцы, которые могут достаточно долго переносить хранение при комнатных условиях после выемки из длительного низкотемпературного хранения.

Закключение

Можно предположить, что если бы семена изучаемых образцов остались на низкотемпературном хранении, то у них не произошло бы заметного снижения всхожести на протяжении более длительного периода. Однако при хранении семян, извлеченных после длительного низкотемпературного хранения (38–42 года), в комнатных условиях наблюдался процесс ускоренного старения, что, вероятно, связано с попаданием семян в менее благоприятные для хранения условия. В результате этого они в короткий срок достигли своего «биологического возраста». При этом снижение всхожести (через 180 суток хра-

нения) составило от 1 до 74%. Из полученных результатов можно сделать следующие выводы: семена из длительного низкотемпературного хранения необходимо извлекать незадолго до посева; нежелательно длительное хранение таких семян в комнатных условиях.

References / Литература

- Bazanov T.A., Uschapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):163-176. [in Russian] (Базанов Т.А., Ущачовский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):163-176). DOI: [10.30901/2227-8834-2023-1-163-176](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176)
- Deshev M., Desheva G, Stamatov S. Monitoring of oil seed viability after 25 years long term storage. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. 2018;21(3):312-327.
- Drumond A.A.L., de Fatima Sales J., Zuchi J., Camelo G.N., Souza M.M.V. Physiological quality of castor bean seed genotypes stored at two temperatures *Acta Scientiarum Agronomy*. 2020;42:e43583. DOI: [10.4025/actasciagron.v42i1.43583](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.43583)
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics: [website]. Available from: <https://www.fao.org/statistics/en> [accessed Nov. 18, 2025].
- Federal State Statistics Service (Rosstat): [website]. [in Russian]

- (Федеральная служба государственной статистики (Росстат): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru> [дата обращения: 18.11.2025].
- Filipenko G.I. Development of the system of low-temperature storage and cryopreservation of plant genetic resources at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:263-272. [in Russian] (Филипенко Г.И. Развитие системы низкотемпературного хранения и криоконсервации генофонда растений в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:263-272).
- GOST 12038-84. Interstate standard. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ 12038-84. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Стандартинформ; 2011). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84> [дата обращения: 18.11.2025].
- Grant-Grant S., Sanhueza D., Sepúlveda-Orellana P., Zúñiga-Pozo S., Contreras-Riquelme J.S., Alvarez J.M. et al. Kalfu and Wenutram: two Chilean flaxseed varieties with contrasting mucilage production, composition, and structure. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1626044. DOI: [10.3389/fpls.2025.1626044](https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1626044)
- Kozlov N.N., Komkova T.N., Makarenkov M.A., Korovina V.L., Kozlova T.V. Dependence of germination of seeds of fodder crops on the duration of storage in a gas environment. In: *Multifunctional Adaptive Fodder Production: Collection of Scientific Papers*. Moscow: Williams Research Institute of Fodder Production; 2021. Iss. 26 (74). p.90-97. [in Russian] (Козлов Н.Н., Комкова Т.Н., Макаренков М.А., Коровина В.Л., Козлова Т.В. Зависимость всхожести семян кормовых культур от продолжительности хранения в газовой среде. В кн.: *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов*. Москва: ВИК им. В.Р. Вильямса; 2021. Вып. 26 (74). С.90-97). URL: <https://www.vniikormov.ru/pdf/mnogofunktsionalnoe-adaptivnoe-kormoproizvodstvo-26-74.pdf> [дата обращения: 18.11.2025].
- Nasledov A.D. Mathematical methods of psychological research. Data analysis and interpretation (Matematicheskiye metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh). St. Petersburg: Rech; 2012. [in Russian] (Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. Санкт-Петербург: Речь; 2012).
- Pavlov A.V., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V., Verzhuk V.G. The effect of cryopreservation in liquid nitrogen on the viability of flax seeds. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):9-20. [in Russian] (Павлов А.В., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В., Вержук В.Г. Влияние криоконсервации в жидком азоте на жизнеспособность семян льна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):9-20). DOI: [10.30901/2227-8834-2023-1-9-20](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-9-20)
- Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhovinova E.A. Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials. *VIR Bulletin*. 2024;(243):30-49. [in Russian] (Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А. Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):30-49).
- Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Yakusheva T.V., Brutch N.B. Collection of flax genetic resources of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(2):75-90. [in Russian] (Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Брач Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(2):75-90). DOI: [10.18699/LettersVJ2021-7-09](https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-09)
- Porsev I.N., Karpov G.G., Salomatina K.S. New varieties and protection of flax in resource-saving technologies of the southern Trans-Ural region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2020;(1):15-19. [in Russian] (Порсев И.Н., Карпов Г.Г., Саломатина К.С. Новые сорта и защита льна в ресурсосберегающих технологиях Южного Зауралья. *Вестник Курганской ГСХА*. 2020;(1):15-19).
- Singh J., Paroha S., Mishra R.P. Factors Affecting oilseed quality during storage with special reference to soybean (*Glycine max*) and niger (*Guizotia abyssinica*) seeds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(10):2215-2226. DOI: [10.20546/ijcmas.2017.610.262](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.262)
- State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage: [website]. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: [сайт]). URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selekttsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy> [дата обращения: 18.11.2025].
- StatSoft. Electronic manual on statistics (Elektronnyy uchebnik po statistike). 1984-2021: [website]. [in Russian] (StatSoft. Электронный учебник по статистике. 1984-2021: [сайт]). URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.html> [дата обращения: 06.05.2023].

Информация об авторах

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

Андрей Валерьевич Павлов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

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

Нина Борисовна Брач, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Александр Васильевич Павлов, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, pavlov-al@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4319-0353>

Татьяна Викторовна Герасимова, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанский генетический банк семян – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Парковая, 2, kgb.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9534>

Information about the authors

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

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

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

Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Alexander V. Pavlov, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, pavlov-al@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4319-0353>

Tatiana V. Gerasimova, Cand. Sci. (Agriculture), Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Genetic Seed Bank – branch of VIR, 2 Parkovaya St., Botanika Settlement, Gulkevichi District, Krasnodar Territory 352183, Russia, kgb.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9534>

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 03.12.2025; одобрена после рецензирования 14.12.2025; принята к публикации 22.12.2025.

The article was submitted on 03.12.2025; approved after reviewing on 14.12.2025; accepted for publication on 22.12.2025.