

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 631.526:631.531.026

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-23-34>

Поступила в редакцию 4.06.2024

Received 4.06.2024

Ф. Б. Мусаев¹, С. Л. Белецкий², В. В. Лоозе³, М. М. Тареева¹

¹Федеральный научный центр овощеводства, пос. ВНИИССОК, Одинцовский район,
Московская область, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального
научного центра пищевых систем имени В. М. Горбатова РАН, Москва, Российская Федерация

³Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва, Москва, Российская Федерация

ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ СЕМЯН ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Аннотация. Коллекции генетических ресурсов растений являются гарантом сохранения как природного биологического разнообразия, так и достижений селекции. В основном генетические коллекции состоят из семян, и надлежащее их хранение в оптимальных условиях является необходимостью (освобождает от их частого воспроизводства, связанного с материальными и трудовыми затратами). Необходим поиск оптимальных природных условий для длительного хранения семян, потому как в случае нештатных ситуаций техногенного характера они окажутся наиболее неуязвимыми. Проводится многолетний эксперимент по длительному хранению в условиях многолетней мерзлоты семян сельскохозяйственных растений. Цель работы – поиск оптимальных и безопасных условий для длительного хранения семян и зерна как на посевные цели, так и на продовольственные, изучение условий естественных хранилищ для создания стратегических запасов семян и продовольствия. В 2010 г. на хранение были заложены партии семян основных хлебных зерновых культур (пшеница яровая, ячмень яровой, рожь озимая, овес); в 2016 г. произведена закладка коллекции семян 26 сортообразцов 8 видов овощных культур. Проведены метеорологические наблюдения, применены термографы, гигрографы в хранилище. Первая выемка образцов состоялась после 6 лет хранения. Лабораторный анализ качества семян проводился с применением ГОСТ 12036-85; ГОСТ 12038-84; ГОСТ 12041-82; ГОСТ 12042-80; ГОСТ Р 52325-2005. Результаты показали высокую сохранность жизнеспособности семян зерновых и овощных культур. Семена всех образцов зерновых культур соответствовали требованиям, предъявляемым к репродукционным семенам (всхожесть более 87 %) согласно ГОСТ Р 52325-2005. Семена 17 образцов овощных культур сохранили всхожесть на уровне первого класса согласно требованиям ГОСТ 12038-84. Многолетние метеонаблюдения показывают постепенное потепление арктического климата за счет относительно высоких летних температур. В целом растет континентальность климата, и эксперимент продолжается, большая часть вышеуказанных партий семян остаются еще на хранении, намечены дальнейшие экспедиции с выемкой образцов на 2025, 2035 и 2050 гг. Полученные данные метеоусловий свидетельствуют о повышении континентальности арктического климата и общем его потеплении. Полученные данные по жизнеспособности зерна злаковых и семян овощных культур при длительном хранении показывают эффективность использования условий многолетней мерзлоты для данной цели.

Ключевые слова: семена, длительное хранение, многолетняя мерзлота, температура воздуха, качество семян, всхожесть семян

Для цитирования: Длительное хранение семян генетических ресурсов растений в условиях многолетней мерзлоты / Ф. Б. Мусаев, С. Л. Белецкий, В. В. Лоозе, М. М. Тареева // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 1. – С. 23–34. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-23-34>

Farkhad B. Musaev¹, Sergey L. Beletskiy², Valery V. Looze³, Marina M. Tareeva¹

¹Federal Scientific Vegetable Center, village VNISSOK, Odintsovo District, Moscow Region, Russian Federation

²All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve, Moscow, Russian Federation

LONG-TERM STORAGE OF SEEDS OF PLANT GENETIC RESOURCES IN PERMAFROST CONDITIONS

Abstract. Collections of plant genetic resources are the guarantor of the preservation of both natural biological diversity and breeding achievements. Basically, genetic collections consist of seeds and, proper storage in optimal conditions is a ne-

cessity (it frees them from frequent reproduction associated with material and labor costs). It is necessary to search for optimal natural conditions for long-term storage of seeds, because in case of emergency situations of a technogenic nature, they will be the most vulnerable. A long-term experiment of long-term storage of agricultural plant seeds in permafrost conditions is being carried out. The aim of research is to find optimal and safe conditions for long-term storage of seeds and grain for both sowing and food purposes, and to study the conditions of natural storage facilities for creation of strategic reserves of seeds and food. In 2010, consignments of seeds of the main grain crops were put into storage (spring wheat, spring barley, winter rye and oats); in 2016, a seed collection of 26 varieties of 8 types of vegetable crops was laid. Meteorological observations were carried out, thermographs and hygrographs were used in the storage. The first sample extraction took place after 6 years of storage. Laboratory analysis of seed quality was carried out using the following standard methods: GOST 12036-85; GOST 12038-84; GOST 12041-82; GOST 12042-80; and GOST R 52325-2005. The results showed high viability of seeds of grain and vegetable crops. Seeds of all samples of grain crops met the requirements for reproductive seeds (germination over 87 %) according to GOST R 52325-2005. Seeds of 17 samples of vegetable crops retained germination at the first-class level in accordance with the requirements of GOST 12038-84. Long-term meteorological observations show a gradual warming of the Arctic climate due to relatively high summer temperatures. In general, the continentality of the climate is growing. The experiment continues, most of the above seed batches remain in storage, further expeditions with the extraction of samples are planned for 2025, 2035 and 2050. The obtained weather data indicate an increase in the continentality of the Arctic climate and its general warming. The data obtained on the viability of cereal grains and vegetable seeds during long-term storage show the effectiveness of using permafrost conditions for this purpose.

Keywords: seeds, long-term storage, permafrost, air temperature, seed quality, seed germination

For citation: Musaev F. B., Beletskiy S. L., Looze V. V., Tareeva M. M. Long-term storage of seeds of plant genetic resources in permafrost conditions. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 1, pp. 23–34 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-23-34>

Введение. Семена являются источником генетической информации растительного организма. Природа наделила их периодом покоя, позволяющим пережить неблагоприятные условия. Семена являются удобным средством размножения растений. Поэтому генетические коллекции растений во всем мире главным образом состоят из семян.

Сохранение генетического разнообразия растительных ресурсов в жизнеспособном состоянии является частью решения проблемы продовольственной безопасности страны.

Основная задача мировых генных банков – сохранение генетического разнообразия растений, обеспечивающее высокий уровень жизнеспособности хранящегося материала. Современные стандарты для генбанков ФАО предусматривают закладку на хранение образцов семян, исходная всхожесть которых должна быть не менее 85 % для большинства видов сельскохозяйственных культур, и периодическое размножение, когда жизнеспособность падает ниже 85 % от первоначальной [1].

Длительное хранение связано с потерей жизнеспособности, биохимическими изменениями, нарушением структуры семян [2–5]. Поэтому создаются оптимальные условия для длительного сохранения семян в жизнеспособном состоянии. Семена не единственный объект передачи генетической информации. Возможно также хранение клонов картофеля [6–8], побегов и почек плодовых культур в специальных условиях. Для хранения генетических ресурсов плодовых культур применяют метод криоконсервации побегов и вегетативных почек, разработанный для яблони [9]. Сотрудники Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР) метод модифицировали и успешно применяют к другим плодовым культурам, таким как абрикос, айва, вишня, груша, жимолость, черешня, черемуха, виноград и др. [10, 11]. Возможна также криоконсервация семян [12–14]. Однако такое хранение энергозатратное и дорогое, и семена остаются наиболее удобным объектом для создания генетических коллекций растений.

Во всем мире существует более 1700 генетических банков растительных ресурсов, в которых хранится более 7,5 млн образцов. Крупнейшие из них находятся в США, Китае, Индии, Японии и других странах мира. Коллекция ВИР является четвертой по количеству сохраняемых образцов и первой по уникальности. Она насчитывает более 300 тыс. образцов культивируемых растений и их диких родичей [15, 16].

Все вышеперечисленные ресурсы хранятся в регулируемых условиях среды с пониженной температурой и влажностью воздуха, что продлевает срок жизнеспособности семян [17, 18]. Существуют современные высокотехнологичные хранилища семян. Самое крупное и современное из них – Svalbard Global Seed Vault на острове Шпицберген емкостью 4,5 млн образцов [19]. Пока

в нем находится немногим более миллиона образцов [20]. В то же время необходимо вести поиск естественных природных условий для длительного хранения семян, потому как в случае нештатных, чрезвычайных ситуаций именно они окажутся в выгодном положении [21].

Около 63–65 % территории России заключают в себе громадные холодовые ресурсы. Это криолитозона (многолетняя мерзлота) – толща горных пород различного состава, имеющая отрицательную температуру, простирающаяся на тысячи километров [22]. Такие природные условия могут служить естественным хранилищем для семян и продовольствия [23].

В 2012 г. в г. Якутске при поддержке Северного отделения РАН построено современное криохранилище, и сюда переведены семена из старого хранилища (1979 года постройки), находящегося поблизости. Новый объект расположен в слое многолетнемерзлых пород на глубине 10 м с естественной температурой пород $-2,4^{\circ}\text{C}$. Общая площадь 150 м^2 рассчитана на хранение 100 тыс. образцов семян. Поддержание круглогодично постоянных температур $-6...-10^{\circ}\text{C}$ осуществляется благодаря разработанной технологии использования естественного холода атмосферного воздуха в зимний период, аккумуляирования и расходования его в летнее время [24].

Многолетний эксперимент по хранению коллекции семян различных сортов зерновых культур показал: за десять лет хранения в подземном хранилище в условиях вечной мерзлоты семена 42 образцов сохранили всхожесть на уровне более 80 %, только у двух сортов посевные качества стали ниже этого показателя. В других опытах установлено, что после длительного хранения (27 лет) в условиях многолетнемерзлых грунтов семян гороха их всхожесть сохранилась на 100 %, лишь с небольшой аномалией (4 %) митозов в меристематических клетках корешков [25–27].

Уникальное своего рода хранилище семян и продовольствия сооружено на полуострове Таймыр. Отправной точкой к началу работы служило обнаружение в 1973 г. экспедицией «Комсомольской правды» продуктового припаса полярного исследователя Эдуарда Толля, оставленного в 1900 г. Знаменитый исследователь запасы продовольствия спрятал в мерзлую землю во время северного похода с расчетом на обратную дорогу, но поход закончился трагично – никто не вернулся. Лабораторный анализ найденных продуктов показал их высокое качество по прошествии десятилетий. Принято было решение организовать длительный эксперимент по хранению продуктов и материалов в условиях вечной мерзлоты. Совершено было несколько научных экспедиций в разные годы (1974, 1980, 2004, 2010, 2016 и 2022) [28, 29]. Производились закладки на хранение и выемка ранее заложенных различных продуктов и материалов. Поначалу, в 1980 г., экспериментировали с товарным зерном, позже начали закладывать на хранение семенной материал [30].

В 2010 г. во время очередной экспедиции проведены закладки на хранение семян ряда хлебных злаковых культур. В 2016-м к эксперименту подключился Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур (ныне Федеральный научный центр овощеводства). На длительное хранение были заложены семена сортообразцов ряда овощных культур собственной селекции. В 2022 г. коллекция дополнилась и расширилась.

Материал и методы исследований. Материалом для исследований служили семенной материал зерновых и овощных культур.

Семена зерновых культур заложены на длительное хранение в 2010 г., выемки намечены на 2016, 2022 и 2035 гг.

Набор состоит из семян четырех основных хлебных культур (хлеба первой группы): пшеницы яровой, ячменя ярового, ржи озимой, овса (табл. 1). Все партии семян свежие, урожая 2009 г. Закладка на хранение произведена в 2010 г., выемки намечены на 2016, 2022 и 2035 гг.

Таблица 1. Набор семян зерновых культур для закладки на длительное хранение, 2010 г.

Table 1. Set of grain seeds for long-term storage, 2010

Наименование показателя	Яровая пшеница, сорт Эстер	Яровой ячмень, сорт Владимир	Озимая рожь, сорт Валдай	Овес, сорт Скакун
Энергия прорастания, %	91	99	92	95
Всхожесть, %	93	99	92	96
Влажность, %	13,6	10,9	11,5	11,2
Масса 1000 зерен, г	36,8	47,7	38,1	37,5

Семена овощных культур на длительное хранение заложены в 2016 г. Коллекция семян состояла из 26 образцов восьми видов овощных культур (табл. 2). Обеспечено как генетическое, так и морфобиологическое разнообразие закладываемых на хранение образцов. Семена каждой партии (образца) поделены на три «лота» и рассчитаны на три выемки в разные сроки. Предполагается, изъятия намечены на 2022, 2035 и 2050 гг.

Таблица 2. Коллекция семян овощных культур для закладки на длительное хранение, 2016 г.

Table 2. Collection of vegetable seeds for long-term storage, 2016

Культура	Сорт	Год урожая
Капуста белокочанная	Амагер 611	2015
	Июньская 3200	2012
	Зимовка 1474	2014
	Подарок 2500	2013
Морковь	Марлинка	2009
	Московская зимняя А-515	2013
	Нантская-4	2010
Огурец	Водолей	2011
	Водопад	2014
	Изящный	2013
	Электрон	2012
Томат	Гном	2006
	Гурман	2012
	Перст	2011
Перец сладкий	Хризолит	2014
	Желтый букет	2015
	Белоснежка	2014
	Сибиряк	2015
Лук репчатый	Атас	2014
	Золотые купола	2013
	Ампэкс	2013
Сельдерей	Егор	2015
	Юдинка	2009
	Эликсир	2014
Петрушка	Сахарная	2015
	Бриз	2010

Анализ посевных качеств зерна и семян до закладки на хранение и после изъятия проводился в лаборатории технологии зерна Федерального исследовательского центра «Немчиновка» и лабораторно-аналитическом и испытательном отделе Федерального научного центра овощеводства.

Работа выполнялась в соответствии с ГОСТ 12036-85 («Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб»), ГОСТ 12038-84 («Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести»), ГОСТ 12041-82 («Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности»), ГОСТ 12042-80 («Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян»), ГОСТ Р 52325-2005 («Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия»).

Для получения параметров микроклимата в экспериментальном складе внутри алюминиевой фляги с хранимым материалом в 2010 г. были размещены регистраторы температуры – логгеры TR-5L измерительного комплекса IBDL. Диапазон регистрируемых параметров температуры логгером TR-5L составляет от $-40...+85$ °C. В 2016 г. также были размещены логгеры – измерители влажности воздуха.

Результаты и их обсуждение. Непрерывное наблюдение за температурой воздуха в хранилище и окружающем пространстве позволило установить минимальные и максимальные значения данного показателя. За семь лет (2010–2016) наблюдений температура воздуха в пункте мыс

Депо колебалась от 41,5 °С (2015 г.) до 21,6 °С (2013 г.). В то же время температура воздуха на глубине 1,0 м, в хранилище семян, не опускалась ниже –23 °С. В летние месяцы верхние слои почвы слегка оттаивали, и температура в верхней части хранилища доходила до 0 °С, в 2016 г. достигнув отметки 1 °С (рис. 1). Наметилась устойчивая тенденция потепления климата, судя по максимальным значениям температуры воздуха: если в 2010–2011 гг. максимумы температуры воздуха зафиксированы на уровне 9,4 и 12,6 °С, то к 2015–2016 гг. они достигли отметки 20,3 и 21,0 °С. Минимальные значения температуры воздуха остаются на прежнем, низком, уровне и колеблются в интервале –30,4...–41,2 °С. Можно заключить, что увеличивается континентальность климата.

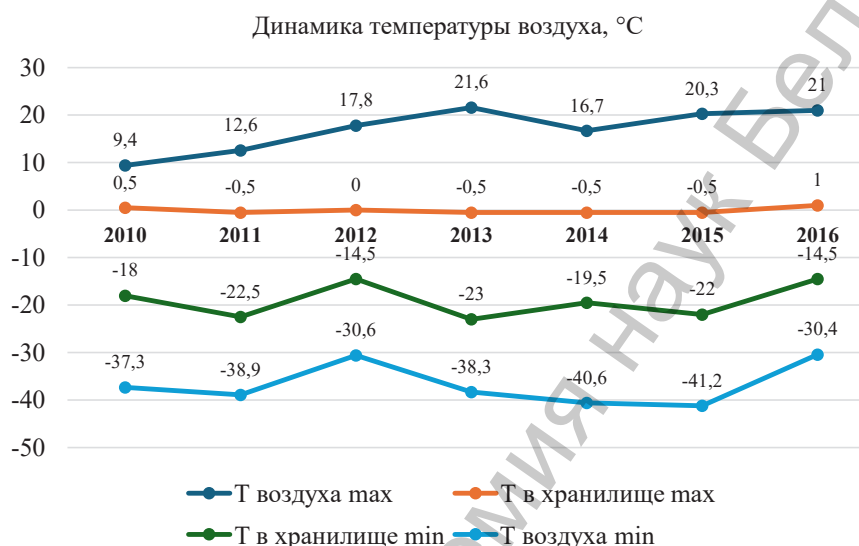


Рис. 1. Наблюдение и регистрация показателей температуры воздуха в хранилище и окружающей среде, мыс Депо, п-ов Таймыр, 2010–2016 гг.

Fig. 1. Observation and recording of air temperature indicators in the storage facility and the environment, Cape Depo, Taimyr Peninsula, 2010–2016

Проведен лабораторный анализ качества закладываемых на хранение семян хлебных злаковых культур, который показал их высокую энергию прорастания и всхожесть. Все образцы соответствовали первому классу по посевным качествам (табл. 3). После шести лет хранения, в 2016 г., проведен повторный анализ качества семян. Результаты анализа показали хорошую сохранность жизнеспособности семян. Например, семена ячменя ярового сорта Владимир практически не снизили всхожесть (она осталась на уровне 99 %). Семена остальных культур в период хранения снизили энергию прорастания на 7–10,2 % и всхожесть на 4–5,7 %, что можно считать нормой, если учесть, что долговечность семян пшеницы, ячменя, ржи, овса ограничивается пятью – семью годами хранения.

Таблица 3. Посевные качества семян хлебных злаковых культур на длительном хранении, 2010–2016 гг.

Table 3. Sowing qualities of seeds of cereal crops at long-term storage, 2010–2016

Наименование показателя	Яровая пшеница, сорт Эстер			Яровой ячмень, сорт Владимир			Озимая рожь, сорт Валдай			Овес, сорт Скакун		
	2010 г.	2016 г.	Убыль, %	2010 г.	2016 г.	Убыль, %	2010 г.	2016 г.	Убыль, %	2010 г.	2016 г.	Убыль, %
Энергия прорастания, %	91	85,0	7	99	98,2	0	92	85,0	8,2	95	86,2	10,2
Всхожесть, %	93	88,5	5	99	99,0	0	92	88,5	4,0	96	90,8	5,7
Доля зерен, % ненормально проросших	–	5,5	–	–	0,8	–	–	3,5	–	–	4,0	–
набухших	–	3,5	–	–	0,2	–	–	1,8	–	–	3,5	–
гнилых	–	2,5	–	–	–	–	–	6,2	–	–	1,8	–

Более наглядно динамика жизнеспособности семян при хранении отображена на рис. 2, где видно, что семена ярового ячменя практически сохранили энергию и лабораторную всхожесть по истечении срока хранения. Семена остальных культур хоть и снизили немного энергию и всхожесть семян, все же остались в пределах соответствия требованиям относительно посевных качеств репродукционных семян зерновых культур (ГОСТ Р 52325-2005).

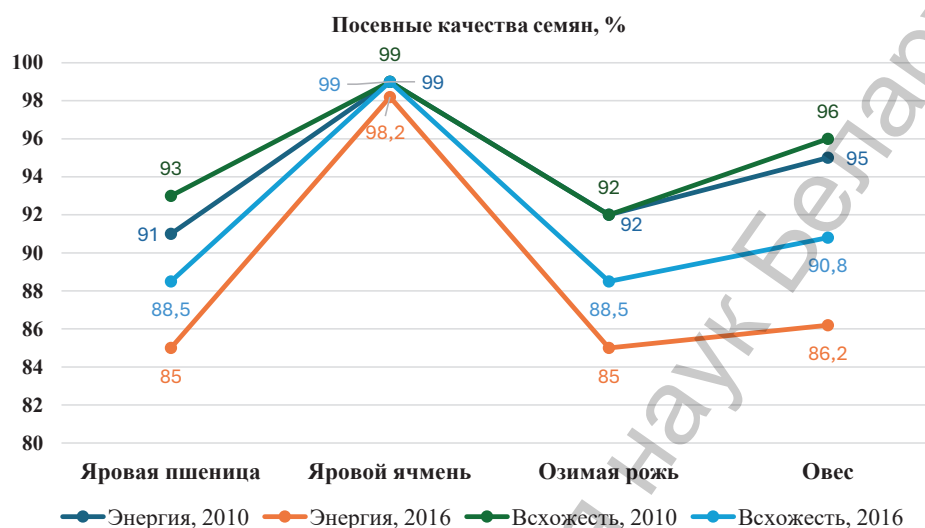


Рис. 2. Посевные качества семян хлебных злаковых культур при длительном хранении, 2010–2016 гг.

Fig. 2. Sowing qualities of cereal seeds during long-term storage, 2010–2016

В период хранения семян овощных культур (2016–2022 гг.) также велось непрерывное наблюдение за ходом метеорологических элементов. В этот период, кроме термодатчиков, были применены датчики – измерители влажности воздуха. Температура внутри хранилища от зимы до лета колебалась в диапазоне $-22,5...+2$ °C (рис. 3), несмотря на большие колебания наружной температуры воздуха. Относительная влажность воздуха в контейнере в первые годы хранения держалась на оптимальном уровне (колебание составляло $16,1...42,2$ %) (рис. 3). Однако произошедшая разгерметизация контейнера способствовала увеличению показателя до $60,2$ %. В экспедиции 2022 г. эта ситуация устранена.

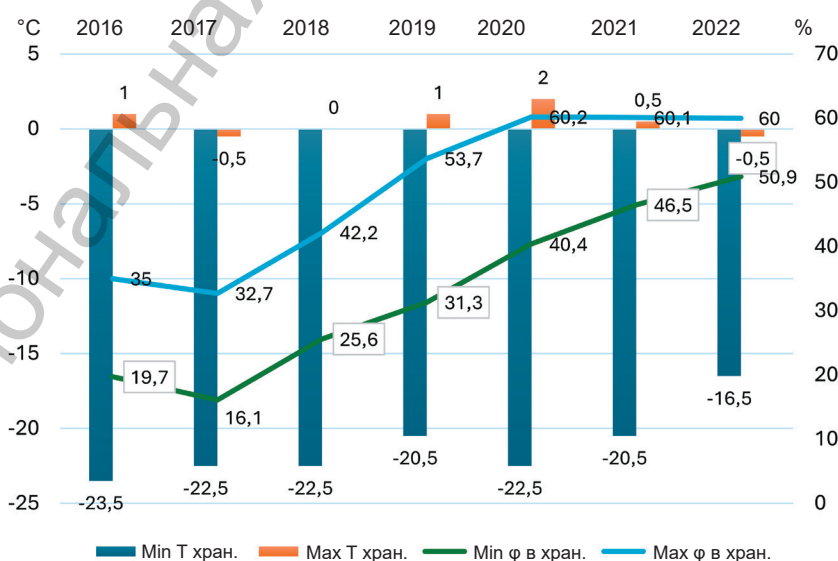


Рис. 3. Многолетнее наблюдение за температурой и влажностью воздуха в хранилище семян, 2016–2022 гг.

Fig. 3. Long-term observation of air temperature and humidity in the seed storage facility, 2016–2022

В 2016 г. семена коллекции овощных культур перед закладкой на хранение были проанализированы на жизнеспособность в лабораторных условиях. Результаты анализа показали высокую лабораторную всхожесть семян большинства сортов овощных культур: 24 образца по всхожести семян соответствовали первому классу, только семена петрушки сорта Бриз оказались второго класса по всхожести и семена сельдерея сорта Егор – некондиционными (табл. 4).

Нужно отметить, что семена ко времени закладки были разновозрастными. Свежеубранными на то время считались семена перца, часть образцов капусты и сельдерея; 11 образцов из 26 были в возрасте двух-трех лет, 2013–2014 гг. урожая. Семена томата 5–10-летнего, моркови 6–7-летнего возраста ко времени закладки обладали высокой всхожестью.

Таблица 4. Всхожесть семян коллекции овощных культур перед закладкой на длительное хранение, 2016 г.

Table 4. Germination of seeds of a collection of vegetable crops before laying for long-term storage, 2016

Культура	Сорт	Год урожая	Всхожесть, %
Капуста белокочанная	Амагер 611	2015	98
	Июньская 3200	2012	99
	Зимовка 1474	2014	99
	Подарок 2500	2013	97
Морковь	Марлинка	2009	85
	Московская зимняя А-515	2013	91
	Нантская-4	2010	76
Огурец	Водолей	2011	99
	Водопад	2014	99
	Изящный	2013	100
	Электрон	2012	95
Томат	Гном	2006	97
	Гурман	2012	97
	Перет	2011	95
Перец сладкий	Хризолит	2014	90
	Желтый букет	2015	97
	Белоснежка	2014	89
	Сибиряк	2015	85
Лук репчатый	Атас	2014	95
	Золотые купола	2013	91
	Ампэкс	2013	97
Сельдерей	Егор	2015	19
	Юдинка	2009	80
	Эликсир	2014	72
Петрушка	Сахарная	2015	77
	Бриз	2010	62

Проведен анализ качества коллекции семян овощных культур после шести лет хранения. Определена энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян. Результаты анализа показали, что 17 образцов из 26 сохранили высокие посевные качества – первый класс по лабораторной всхожести согласно требованиям ГОСТ 12038-84 (табл. 5). Если учесть, что изначально два образца были заложены с низкой всхожестью, то получается, что всего семь образцов снизили свои показатели. Это семена овощных культур, представителей семейства Сельдереиных: моркови, сельдерея, петрушки – они физиологически не отличаются долговечностью [31].

Наиболее наглядно динамика посевных качеств семян при длительном хранении представлена на рис. 4, где большинство образцов (17 из 26) за шесть лет сохранили не только всхожесть семян, соответствующую принятым стандартам к первому классу, но и высокую энергию прорастания, что свидетельствует об их «запасе» долговечности.

Нами сделан небольшой анализ погодных условий на полуострове Таймыр в годы проведения эксперимента. Если рассматривать показатели температуры воздуха в течение 13 лет (2010–

Таблица 5. Посевные качества семян коллекции овощных культур после шести лет хранения, 2016–2022 гг.

Table 5. Sowing qualities of seeds of a collection of vegetable crops after six years of storage, 2016–2022

Культура	Сорт	Энергия, %	Всхожесть, %
Капуста белокочанная	Амагер 611	94	96
	Июньская 3200	93	95
	Зимовка 1474	89	94
	Подарок 2500	90	92
Морковь столовая	Марлинка	67	75
	Московская зимняя А-515	5	11
	Нантская-4	43	59
Огурец	Водолей	92	94
	Водопад	100	100
	Изящный	99	99
	Электрон	94	94
Томат	Гном	91	96
	Гурман	94	98
	Перст	91	93
Перец сладкий	Хризолит	87	88
	Желтый букет	95	95
	Белоснежка	80	80
	Сибиряк	76	77
Лук репчатый	Атас	78	84
	Золотые купола	55	70
	Ампэкс	82	92
Сельдерей	Егор	0	0
	Юдинка	0	0
	Эликсир	19	21
Петрушка	Сахарная	0	0
	Бриз	0	0

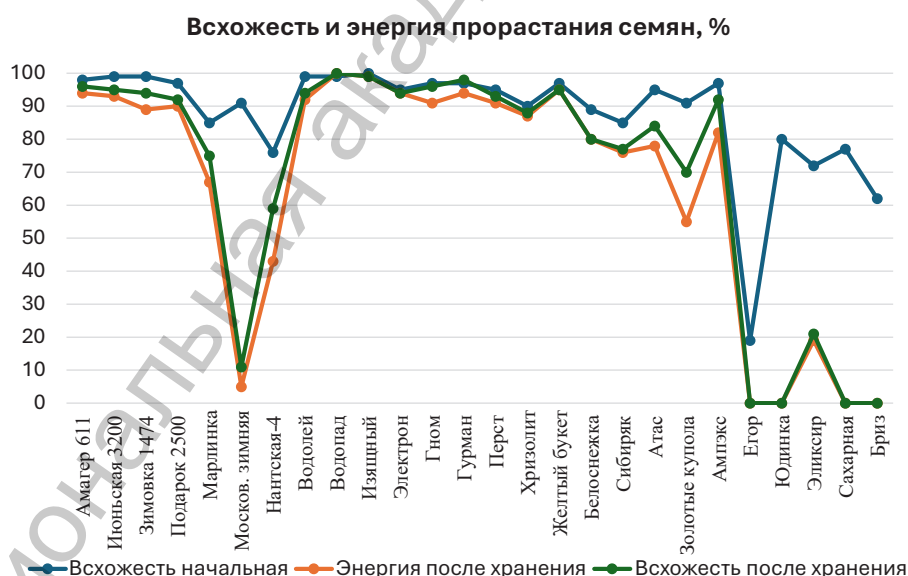


Рис. 4. Посевные качества семян коллекции овощных культур после шести лет хранения, 2016–2022 гг.

Fig. 4. Sowing qualities of seeds of a collection of vegetable crops after six years of storage, 2016–2022

2022 гг.), то наблюдается поступательное повышение температуры воздуха в летний период из года в год (рис. 5). Интересно, что на этом фоне зима становится более «суровой»: в первые годы температурные минимумы отмечены на уровне $-37,3$; $38,9$; $30,6$ °C, в последние годы наблюдения они опускались до $-41,7$; $-42,4$; -43 °C, а в 2017 г. даже до $-47,3$ °C. Стало быть, наряду с потеплением, растет и континентальность арктического климата.

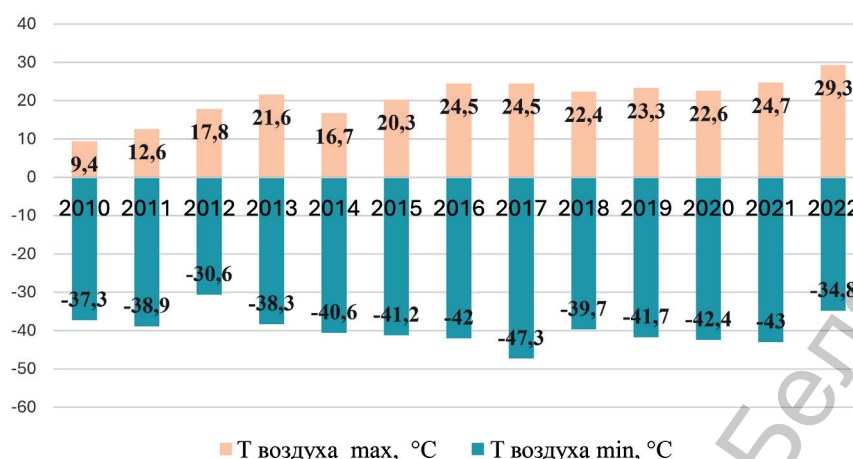


Рис. 5. Многолетнее наблюдение за колебаниями температуры воздуха на полуострове Таймыр, 2010–2022 гг.

Fig. 5. Long-term observation of air temperature fluctuations on the Taimyr Peninsula, 2010–2022

Заключение. Проведенные исследования подтверждают целесообразность такого подхода к хранению семян генетических ресурсов растений. Природные хранилища могут являться страховым фондом в случае непредвиденных ситуаций природного и техногенного характера. Первые результаты данного многолетнего эксперимента выглядят показательными. Семенной материал хлебных злаковых культур: пшеницы, ячменя, ржи и овса после шести лет хранения (2010–2016 гг.) в многолетней мерзлоте сохранили лабораторную всхожесть в пределах требований ГОСТ Р 52325-2005. Анализ качества семян 26 сортообразцов овощных культур после шести лет хранения (2016–2022 гг.) также подтвердил высокую сохранность жизнеспособности большинства образцов: 17 образцов сохранили лабораторную всхожесть семян согласно требованиям ГОСТ 12038-84 на уровне первого класса. Наблюдение за изменениями метеорологических показателей указывает на некоторое потепление арктического климата. Так, за 13 лет наблюдений среднесуточный максимум температуры воздуха вырос с 9,4...12,6 °C в 2010–2011 гг. до 24,7...29,3 °C в 2021–2022 гг., также наблюдалось снижение среднесуточных показателей температуры воздуха: 47,3...42,4...43 °C в 2017, 2020–2021 гг., что позволяет сделать вывод о росте континентальности климата.

Список использованных источников

1. Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture / FAO, Commis. on Genetic Resources for Food a. Agriculture. – Rome: FAO, 2014. – URL: <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> (date of access: 06.03.2024).
2. Priming of long-term stored cotton seeds using combined UV-A, B and C radiation and its influence on germination / J. Dana, A. K. Issam, S. Aghyad [et al.] // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. – 2020. – Vol. 16, № 4. – P. 82–94.
3. Changes in the biochemical composition of the seed material of sunflower hybrids during long-term storage / O. A. Yerenenko, L. A. Pokoptseva, L. V. Todorova, A. V. Shepel // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2020. – Vol. 10, № 2. – P. 126–130. https://doi.org/10.15421/2020_74
4. Seed storage behavior of *Musa balbisiana* Colla, a wild progenitor of bananas and plantains – implications for ex situ germplasm conservation / S. A. Singh, R. Agrawal, R. Kumar, K. J. J. Thangjam // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 280. – Art. ID 109926. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109926>
5. Zhang, J. Negative association between seed dormancy and seed longevity in bread wheat / J. Zhang, S. Xiang, H. Wan // *American Journal of Plant Sciences*. – 2021. – Vol. 12, № 3. – P. 347–365. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.123022>
6. Niino, T. Cryopreservation for preservation of potato genetic resources / T. Niino, M. V. Arizaga // *Breeding Science*. – 2015. – Vol. 65, № 1. – P. 41–52. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.41>
7. Muthoni, J. Long-term conservation of potato genetic resources: Methods and status of conservation / J. Muthoni, H. Shimelis, R. Melis // *Australian Journal of Crop Science*. – 2019. – Vol. 13, № 5. – P. 717–725. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.05.p1400>
8. A global strategy for the conservation of potato / M. Nagel, M. E. Dulloo, P. Bissessur [et al.]. – Bonn: Global Crop Diversity Trust, 2022. – 159 p. <https://doi.org/10.5447/ipk/2022/29>
9. Recovery and longevity of cryopreserved dormant apple buds / F. L. Forsline, L. E. Towill, J. W. Waddell [et al.] // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 1998. – Vol. 123, № 3. – P. 365–370. <http://doi.org/10.21273/JASHS.123.3.365>

10. Криоконсервирование как метод сохранения отдельных видов плодово-ягодных культур и дикорастущих лекарственных растений / А. В. Павлов, В. Г. Вержук, С. Ю. Орлова [и др.] // Проблемы кріобіології і кріомедицини. – 2019. – Т. 29, № 1. – Р. 44–57. <https://doi.org/10.15407/cryo29.01.044>
11. Post-cryogenic viability of peach (*Persica vulgaris* Mill.) dormant buds from the VIR genetic collection / V. Verzhuk, V. Eremin, T. Gasanova [et al.] // Agriculture. – 2023. – Vol. 13, № 1. – Art. 111. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010111>
12. Николаева, М. А. Влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели на всхожесть и зараженность патогенными грибами / М. А. Николаева, Е. Ю. Варенцова, Г. Ф. Сафина // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – Т. 182, № 1. – С. 157–167. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-157-167>
13. Benelli, C. Plant cryopreservation: a look at the present and the future / C. Benelli // Plants. – 2021. – Vol. 10, № 12. – Art. 2744. <https://doi.org/10.3390/plants10122744>
14. Polish cryobanks: research and conservation of plant genetic resources / E. Zimnoch-Guzowska, P. Chmielarz, M. K. Wawrzyniak [et al.] // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. – 2022. – Vol. 91. – Art. 9121. <http://doi.org/10.5586/asbp.9121>
15. Филипенко, Г. И. Использование вечной мерзлоты с целью сохранения генетических ресурсов растений / Г. И. Филипенко, О. И. Силаева, Н. Н. Сторожева // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2012. – Т. 169. – С. 240–244.
16. Хлесткина, Е. К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183, № 1. – С. 9–30. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30>
17. Seeds: physiology of development, germination and dormancy / J. D. Bewley, K. J. Bradford, H. W. M. Hilhorst, H. Nonogaki. – 3rd ed. – New York: Springer, 2013. – 392 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
18. Walters, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss / C. Walters // Planta. – 2015. – Vol. 242, № 2. – P. 397–406. <http://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>
19. Svalbard Global Seed Vault. – URL: <https://www.seedvault.no> (date of access: 09.04.2024).
20. Asdal, Å. The Svalbard Global Seed Vault: 10 years – 1 million samples / Å. Asdal, L. Guarino // Biopreservation and Biobanking. – 2018. – Vol. 16, № 5. – P. 391–392. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0025>
21. Гурьева, К. Б. Влияние продолжительности и условий хранения на посевные качества зерна и семян / К. Б. Гурьева, Н. А. Хаба, С. Л. Белецкий // Хлебопродукты. – 2022. – № 4. – С. 42–47. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-4-42-47>
22. Юрченко, В. А. Вечная мерзлота: геокриологические опасности и региональная деградация мерзлых грунтов / В. А. Юрченко, А. В. Манько // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 8 (104). – С. 1–9.
23. Шац, М. М. Мировая практика долговременного хранения семенного материала в условиях низких температур / М. М. Шац // Климат и природа. – 2018. – № 1 (26). – С. 40–68.
24. Сторожева, Н. Н. Криохранилище семян в толще многолетнемерзлых пород: история, современное состояние и перспективы / Н. Н. Сторожева, В. И. Алексеева // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 6. – С. 39–42. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-16102>
25. Использование естественного холода многолетнемерзлых пород для длительного хранения генетических ресурсов / Б. М. Кершенгольц, Б. И. Иванов, Р. В. Десяткин [и др.] // Информационный вестник ВОГиС. – 2008. – Т. 12, № 4. – С. 524–533.
26. Влияние протатранов на всхожесть семян пшеницы и тритикале после их длительного хранения / Г. И. Филипенко, С. Н. Адамович, Е. Н. Оборина [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – Т. 11, № 2 (37). – С. 272–280. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-272-280>
27. Всхожесть, биохимические и цитогенетические характеристики проростков после долговременного хранения семян гороха в условиях вечной мерзлоты / А. Н. Журавская, Г. В. Филиппова, Б. М. Кершенгольц, Р. В. Чжан // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – Т. 49, № 1. – С. 72–78.
28. Снегирев, В. Н. Путь на Север / В. Н. Снегирев, Д. И. Шпаро. – М.: Молодая гвардия, 1979. – 271 с.
29. Вечная мерзлота на страже качества продуктов. Клад Эдуарда Толля / сост.: Д. И. Шпаро, А. А. Семенова, С. Л. Белецкий; под общ. ред. А. Б. Лисицына, Д. Ю. Гогина. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Паулсен, 2021. – 246 с.
30. Уланин, С. Е. Эксперимент по длительному хранению продовольственных товаров и сырья в условиях вечной мерзлоты успешно продолжается – Арктика, 2016 / С. Е. Уланин, С. Л. Белецкий // Овощи России. – 2016. – № 4 (33). – С. 66–75. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-4-66-75>
31. Бухаров, А. Ф. Морфометрия в системе тестирования качества семян / А. Ф. Бухаров, Д. Н. Балеев, А. Р. Бухарова. – М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2020. – 80 с.

References

1. *Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture*. Rome, FAO, 2014. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> (accessed 06.03.2024).
2. Dana J., Issam A. K., Aghyad S., Abdulmunim A., Adnan I., Bassam A.-S. Priming of long-term stored cotton seeds using combined UV-A, B and C radiation and its influence on germination. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2020, vol. 16, no. 4, pp. 82–94.
3. Yeremenko O. A., Pokoptseva L. A., Todorova L. V., Shepel A. V. Changes in the biochemical composition of the seed material of sunflower hybrids during long-term storage. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 126–130. https://doi.org/10.15421/2020_74

4. Singh S. A., Agrawal R., Kumar R., Thangjam K. J. J. Seed storage behavior of *Musa balbisiana* Colla, a wild progenitor of bananas and plantains-implications for ex situ germplasm conservation. *Scientia Horticulturae*, 2021, vol. 280, art. 109926. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109926>
5. Zhang J., Xiang S., Wan H. Negative association between seed dormancy and seed longevity in bread wheat. *American Journal of Plant Sciences*, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 347–365. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.123022>
6. Niino T., Arizaga M. V. Cryopreservation for preservation of potato genetic resources. *Breeding Science*, 2015, vol. 65, no. 1, pp. 41–52. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.41>
7. Muthoni J., Shimelis H., Melis R. Long-term conservation of potato genetic resources: methods and status of conservation. *Australian Journal of Crop Science*, 2019, vol. 13, no. 5, pp. 717–725. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.05.p1400>
8. Nagel M., Dulloo M. E., Bissessur P., Gavrilenko T., Bamberg J., Ellis D., Giovannini P. *A global strategy for the conservation of potato*. Bonn, Global Crop Diversity Trust, 2022. 159 p. <https://doi.org/10.5447/ipk/2022/29>
9. Forsline F. L., Towill L. E., Waddell J. W., Stushnoff C., Lamboy W. F., McFerson J. R. Recovery and longevity of cryo-preserved dormant apple buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1998, vol. 123, no. 3, pp. 365–370. <http://doi.org/10.21273/JASHS.123.3.365>
10. Pavlov A. V., Verzhuk V. G., Orlova S. Y., Radchenko O. E., Erastenkova M. V., Dodonova A. S., Gavrilkova E. A., Sitnikov M. N., Filipenko G. I., Murashev S. V. Cryopreservation as a method to preserve some fruit and berry crops and wild medicinal plants. *Problemi kriobiologii i kriomeditsiny = Problems of Cryobiology and Cryomedicine*, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 44–57 (in Russian). <https://doi.org/10.15407/cryo29.01.044>
11. Verzhuk V., Eremín V., Gasanova T., Eremina O., Novikova L. Y., Filipenko G., Sitnikov M., Pavlov A. Post-cryogenic viability of peach (*Persica vulgaris* Mill.) dormant buds from the VIR genetic collection. *Agriculture*, 2023, vol. 13, no. 1, art. 111. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010111>
12. Nikolaeva M. A., Varentsova E. Yu., Safina G. F. The impact of temperature patterns during storage of scots pine and norway spruce seeds on their germination and fungal infection rates. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2021, vol. 182, no. 1, pp. 157–167 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-157-167>
13. Benelli C. Plant cryopreservation: a look at the present and the future. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 12, art. 2744. <https://doi.org/10.3390/plants10122744>
14. Zimnoch-Guzowska E., Chmielarz P., Wawrzyniak M. K., Plitta-Michalak B. P., Michalak M., Pałucka M., Wasileńczyk U., Kosek P., Kulus D., Rucińska A., Mikuła A. Polish cryobanks: research and conservation of plant genetic resources. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 2022, vol. 91, art. 9121. <http://doi.org/10.5586/asbp.9121>
15. Filipenko G. I., Silaeva O. I., Storozheva N. N. The use of permafrost with the purpose of plant genetic resources conservation. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2012, vol. 169, pp. 240–244 (in Russian).
16. Khlestkina E. K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2022, vol. 183, no. 1, pp. 9–30 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30>
17. Bewley J. D., Bradford K. J., Hilhorst H. W. M., Nonogaki H. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. New York, Springer, 2013. 392 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
18. Walters C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta*, 2015, vol. 242, no. 2, pp. 397–406. <http://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>
19. Svalbard Global Seed Vault. Available at: <https://www.seedvault.no> (accessed 09.04.2024).
20. Asdal Å., Guarino L. The Svalbard Global Seed Vault: 10 years – 1 million samples. *Biopreservation and Biobanking*, 2018, vol. 16, no. 5, pp. 391–392. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0025>
21. Guryeva K. B., Khaba N. A., Beletskiy S. L. The influence of duration and storage conditions on the sowing qualities of grain and seeds. *Bread Products*, 2022, no. 4, pp. 42–47 (in Russian). <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-4-42-47>
22. Yurchenko V. A., Manko A. V. Permafrost: geocryological hazards and regional degradation of frozen soils. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*, 2023, no. 8 (104), pp. 1–9 (in Russian).
23. Shatz M. M. World practice of long-term storage of seeds in conditions of low temperatures. *Klimat i priroda = Climate & Nature*, 2018, no. 1 (26), pp. 40–68 (in Russian).
24. Storozheva N. N., Alekseeva V. I. Cryostorage of seeds in the thickness of permafrost rocks: history, current state and prospects. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2019, no. 6, pp. 39–42 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-16102>
25. Kershengolts B. M., Ivanov B. I., Desjatkin R. V., Remigaylo P. A., Fyodorov I. A., Chzhan R. V. Use of permafrost natural cold for long-term storage of genetic resources. *Informatsionnyi vestnik VOGiS [VOGiS Herald]*, 2008, vol. 12, no. 4, pp. 524–533 (in Russian).
26. Filipenko G. I., Adamovich S. N., Oborina E. N., Rozentsveig I. B., Safina G. F. Effects of protatranes on the germination of wheat and triticale seeds after their long-term storage. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2021, vol. 11, no. 2 (37), pp. 272–280 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-272-280>
27. Zhuravskaya A. N., Filippova G. V., Kershengolts B. M., Chzhan R. V. Viability of seeds, and biochemical and cytological characteristics of seedlings in peas after long-term seed storage under permafrost. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2014, vol. 49, no. 1, pp. 72–78 (in Russian).
28. Snegirev V. N., Shparo D. I. *The way to the North*. Moscow, Molodaya gvardiya Publ., 1979. 271 p. (in Russian).

29. Shparo D. I., Semenova A. A., Beletskii S. L. (comp.). *Permafrost on the guard of food quality. Eduard Toll's treasure*. 2nd ed. Moscow, Paulsen Publ., 2021. 246 p. (in Russian).

30. Ulanin S. E., Beletskiy S. L. Experiment on long-storage of food products foodstuffs in condition of permafrost continued, Arctic, 2016. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*, 2016, no. 4 (33), pp. 66–75 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-4-66-75>

31. Bukharov A. F., Baleev D. N., Bukharova A. R. *Morphometry in seed quality testing system*. Moscow, Publishing house of the FSBSI Federal Scientific Centre for Vegetable Growing, 2020. 80 p. (in Russian).

Информация об авторах

Мусаев Фархад Багадыр оглы – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр овощеводства (ул. Селекционная, 14, поселок ВНИИССОК, 143080, Одинцовский район, Московская область, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0001-9323-7741>. E-mail: musayev@bk.ru

Белецкий Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем имени В. М. Горбатова РАН (ул. Электрозаводская, 20, 107023, Москва, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-4351-2674>. E-mail: grain-miller@yandex.ru

Лоозе Валерий Владимирович – старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва (ул. Волочаевская, 40, 111033, Москва, Российская Федерация). E-mail: vaalfa@yandex.ru

Тареева Марина Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр овощеводства (ул. Селекционная, 14, поселок ВНИИССОК, 143080, Одинцовский район, Московская область, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0001-5817-0860>. E-mail: tareeva-marina@rambler.ru

Information about the authors

Farkhad B. Musaev – Dr. Sc. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Scientific Vegetable Center (14, Selektsionnaya Str., village VNISSOK, 143080, Odintsovo District, Moscow Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-9323-7741>. E-mail: musayev@bk.ru

Sergey L. Beletskiy – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences (20, Elektrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4351-2674>. E-mail: grain-miller@yandex.ru

Valery V. Looze – Senior Researcher, Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve (40, Volochaevskaya Str., 111033, Moscow, Russian Federation). E-mail: vaalfa@yandex.ru

Marina M. Tareeva – Ph. D. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Scientific Vegetable Center (14, Selektsionnaya Str., village VNISSOK, 143080, Odintsovo District, Moscow Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-5817-0860>. E-mail: tareeva-marina@rambler.ru