

# ХРАНЕНИЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

## STORAGE OF SEED IN LOW-TEMPERATURE CONDITIONS

Шац М.М.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН  
Россия, Якутск  
E-mail: mmshatz@mail.ru

*Одной из важнейших агробиологических проблем нашей планеты, тревожащей специалистов и общественность, в последние десятилетия является быстрое исчезновение различных видов растений в связи с нерациональным изъятием из сельскохозяйственного оборота огромных территорий. В этих условиях дефицит продуктов питания становится реальной угрозой для здоровья и даже жизни населения земного шара. Подобное истощение биологических ресурсов касается как современных, так и будущих поколений, становится пагубным для них – предупреждают специалисты продовольственных и сельскохозяйственных организаций ООН. В различных странах создаются разнообразные виды хранилищ продуктов, в том числе и семенного материала. Так, в России созданы несколько хранилищ, в США организована Национальная лаборатория длительного хранения семян, в Норвегии есть «Хранилище Судного Дня».*

### Введение

Среди многообразия фундаментальных биологических проблем особое положение занимает возможность хранения запасов продовольствия и генетического материала. При этом современная наука сталкивается с необходимостью изучения, обоснования условий длительного хранения. Для достижения этих условий необходимо создание соответствующих биотехнических сооружений.

О максимальной продолжительности сохранения семенного материала известно недостаточно. Только недавно получены результаты, касающиеся выживания микроорганизмов в тысячелетней мерзлоте, но механизм такого длительного сохранения до сих пор остается неизвестным.

Важное практическое значение представляет разработка методики хранения генетических коллекций уникальных генофондов возделываемых растений. Возникает очевидная возможность использования естественных ресурсов нашей страны, в том числе разработка технологии долгосрочного хранения этих коллекций в многолетнемерзлых толщах нашей страны для нужд будущих поколений. Такие хранилища могут создаваться либо в специальных помещениях, например, как недавно построенное сооружение в многолетнемерзлых породах (ММП) на Шпицбергене, либо используются существующие помещения, например, подземные выработки в Ямбурге (Тюменская область), Амдерме (Архангельская область) и Якутске (Республика Саха). Такие хранилища считаются перспективными для сохранности генофондов растений [2]. В связи с этим актуальной представляется реорганизация инфраструктуры, пригодной для хранения генофондов сельскохозяйственных растений в РФ, и создание на базе институтов РАН, обладающих крупнейшими генетическими банками, уступающими лишь банкам университета Киото (Япония) и китайским учреждениям, проекта национальной программы долгосрочного хранения генофонда растений в ММП.

Shatz M.M.

Institute for Permafrost P.I. Melnikov of the SB RAS  
Russia, Yakutsk  
E-mail: mmshatz@mail.ru

*One of the most important agrobiological problems of our planet, disturbing experts and the public in recent decades is the rapid disappearance of various plant species due to the irrational withdrawal from agricultural turnover of vast territories. In these circumstances, food shortages are becoming a real threat to the health and even life of the world's population. Such depletion of biological resources concerns both modern and future generations, it becomes harmful to them – warn experts of food and agricultural organizations of the United Nations. Various types of food storage facilities, including seed, are being established in different countries. Thus, in Russia, several storages have been created, in the US a national laboratory for long-term storage of seeds has been organized, in Norway there is a "doomsday Storage".*

Многие страны важнейшим национальным приоритетом в своих программах ставят наличие своего генетического банка и репарацию гермоплазмы. Так, в семенных банках Африки сохраняются около 200 тыс. образцов; Европы — 1,3 млн; Азии и Тихоокеанского региона — 1,8 млн; Ближнего Востока — 28,5 тыс.; Латинской Америки — 245 тыс.; Северной Америки — более 600 тыс. образцов.

В разных районах России в настоящее время имеются несколько подземелий в ММП, пригодных для длительного хранения биологических материалов. Так, бывшая Амдерминская мерзлотная станция Главсевморпути располагает неиспользуемой по назначению разведочной флюоритовой шахтой на глубине около 14 м в толще докембрийских известняков со среднегодовой температурой около  $-4^{\circ}\text{C}$ . В Якутске находится гораздо меньшее, длиной около 30 м подземелье с приблизительно теми же температурой и глубиной в песчаных отложениях р. Лены под зданием Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Этому же институту принадлежала Игарская подземная лаборатория, которая сейчас превращена в муниципальный музей. Она имеет еще меньшие по сравнению с якутской размеры и глубину заложения и непригодна для хранения значительных по объему коллекций биоматериалов.

Среди зарубежных хранилищ известен неглубокий, лишь в несколько метров тоннель Фокс в песчаных отложениях на Аляске с температурами пород около  $-3...-4^{\circ}\text{C}$ . Объект принадлежит Министерству обороны США. Там же вблизи г. Фербенкса в мерзлых песчано-галечных отложениях находятся несколько старых шахт по добыче золота протяженностью десятки метров. В Норвегии недавно закончено строительство специального хранилища на архипелаге Шпицберген.

Приведенные данные свидетельствуют, что характерной особенностью мерзлых толщ является то, что подошва слоя сезонных колебаний их температуры находится на глубине 10–15 м, а глубже температуры пород меняются очень медленно. Это явление и используется

при эксплуатации упомянутых объектов. Оптимальными для создания криохранилищ являются северные территории области распространения сплошных ММП с температурой мерзлых толщ от  $-3$  до  $-15$  °С и ниже, к которым относится вся территория Северной и большая часть Центральной Якутии. Мощность мерзлой толщи в криолитозоне зависит от ряда характеристик:

- географическое положение и высота местности;
- геологическое строение и теплофизические свойства горных пород;
- климатические и геоботанические условия;
- другие факторы.

В зависимости от их сочетания мощность мерзлой толщи горных пород измеряется от нескольких метров до тысяч и более. Так, вблизи южных границ распространения ММП их мощность может составлять около 5–6 м, а во внутриконтинентальных районах Якутии достигает 1500 м, в районе г. Якутска — 250–350 м. В толще таких многолетнемерзлых пород на специально подобранных горизонтах можно создавать различные камеры с температурами от  $-3$  до  $-10$  °С и ниже [1] (рис. 1).

В Якутии есть много подземных выработок, пригодных для низкотемпературных сооружений. В Институте горного дела Севера СО РАН (ИГДС СО РАН) в г. Якутске разработаны технологии строительства и крепления подземных сооружений различного назначения, в том числе подземных естественных холодильников в слое многолетнемерзлых пород [14, 15]. Создана трехмерная математическая модель и программный комплекс для расчета температурного режима подземного холодильника и выбора оптимальных параметров его регулирования; системы создания и регулирования требуемого микроклимата за счет «консервации» естественного холода в зимний период и использования его в летнее время для поддержания отрицательных температур в камерах вплоть до  $-12$ ... $-18$  °С с точностью до  $\pm 0,2$  °С. Создан кадастр подземных выработок на территории Республики Саха (Якутия), пригодных к повторному использованию для целей, не связанных с горным производством. Исследования сотрудников ИГДС СО РАН показали, что путем управления теплообменом на дневной поверхности можно добиться существенного сокращения тепловых нагрузок на холодильное оборудование, обеспечивающее стабильный температурный режим подземного криохранилища. Поэтому создание криохранилищ семян в толще ММП с круглогодично стабильными отрицательными температурами  $-6$ ... $-8$  °С на Северо-Востоке России с использованием только естественного холода лишено недостатков и рисков.

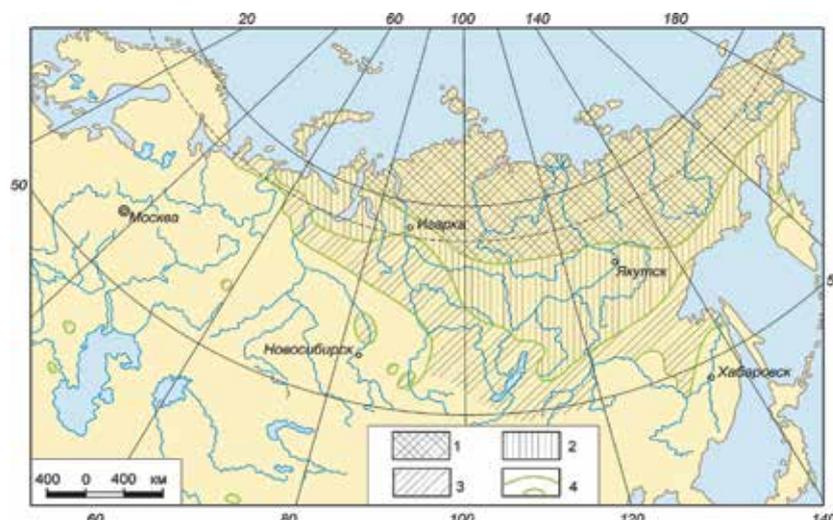
Установлено, что хранение в течение 34 лет в условиях подземной лаборатории института мерзлото-ведения СО РАН на глубине 12 м семян трех сортов гороха в толще ММП не привело к значительным изменениям прооксидантно-антиоксидантного статуса, уровня хромосомных aberrаций и всхожести, что свидетельствует о полном сохранении жизнеспособности семян [9]. Аналогичное исследование было проведено на семенах четы-

рех сортов гороха из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова, хранившихся в различных хранилищах с естественным (подземная лаборатория в толще многолетнемерзлых пород, Якутск) и искусственным охлаждением (Михнево, Крымск, Екатеринбург).

До сих пор слабо изученной является уникальная способность семян длительное время оставаться при низких температурах в состоянии покоя, исключительно важная для их сохранения на небольшом пространстве при минимальном уходе и при низких материальных затратах. В настоящее время в мире по этому принципу создано около 50 хранилищ семян, базирующихся на различных технологиях, основанных на искусственном и естественном холоде и обладающих своими недостатками и достоинствами. Основным недостатком систем, использующих электрическую энергию, является опасность технологических поломок или падения напряжения в сети. Особого внимания требуют семена видов растений, относящихся к категории «непослушных», которых в мире насчитывается около 15%. Они не обладают способностью состояния покоя, т.е. не выдерживают хранения при низких температурах, а, следовательно, не могут длительно храниться и обычно быстро прорастают, и гибнут. Подобные виды с «непослушными» семенами обычны для тропических лесов по сравнению с умеренной зоной [16]. Семена многих важных тропических плодовых деревьев, строевого леса и плантационных культур, таких как кофе и каучук, хранить в принципе невозможно и лишь некоторые из них можно в контролируемых условиях содержать в виде культуры тканей или размножать черенками материнского растения. Очевидно, что подобные методики более затратны, чем выращивание растений из семян.

Согласно международным стандартам коллекции генетических банков растений подразделяются на три типа: базовые, активные и дублетные. Материал из базовых коллекций, так называемого «золотого фонда» генетического банка растений, берут только для восстановления образца, когда жизнеспособность семян снижается ниже допустимого уровня, или когда образец не может быть получен ни из какого другого источни-

**Рис. 1.** Схематическая карта распространения вечной мерзлоты и преобладающих температур вечномерзлой толщи (Браун, Граве, 1981): 1 – районы сплошной вечной мерзлоты с температурами на глубине 10–15 м от  $-10$ ° до  $-5$ °; 2 – районы с таликами и температурами грунта на глубине 10–15 м от  $-5$ ° до  $-1,5$ °; 3 – районы с преобладанием таликов (на юге только острова вечной мерзлоты) и с температурами грунта на глубине 10–15 м выше  $-1,5$ °; 4 – граница области и островов вечной мерзлоты



ка [23,24]. Базовые коллекции хранят в условиях, обеспечивающих их длительное хранение: температура около 00С и ниже, влажность семян — 3–7%. Активные или рабочие коллекции регулярно тестируются и содержат образцы, которые служат для восстановления, размножения, рассылки, изучения и т.д. Активные коллекции хранят в более мягких условиях, что связано, в основном, с экономическими причинами и, отчасти, с удобством пользования. Такие условия обеспечивают среднесрочное хранение коллекций обычно не менее 10–20 лет со всхожестью не ниже 65% от ее первоначального значения. Дублетные коллекции представляют собой дублирующие образцы базовой коллекции, хранящиеся отдельно от нее, с целью увеличения надежности хранения.

В связи со всем вышесказанным наиболее эффективны в мировой практике хранилища семян, базирующиеся на использовании энергии естественного холода на базе уникального природного явления «многолетнемерзлых горных пород» [10]. Их отличительной особенностью является отрицательная температура на протяжении продолжительного периода времени, в связи с чем их часто называют «вечной мерзлотой». Россия имеет не только наибольшую в мире территорию, но и максимальную площадь ММП, которая занимает около 65% страны. Мерзлая толща горных пород в силу своих физико-механических свойств непроницаема ни для жидкостей, ни для газов, поэтому строители стремятся использовать заключенный в этой толще запас естественного холода для длительного хранения живых биологических материалов. При этом может быть достигнута существенная экономия за счет сокращения обслуживающего персонала и используемых энергоносителей.

Перечень проблем, возникших за время существования хранилищ, весьма обширен. Воспроизводство — всегда процесс дорогостоящий, требующий времени и больших материальных затрат. Для обеспечения условий, необходимых для долгосрочного сохранения жизнеспособности семян — стабильно низкой температуры, в ряде стран сооружены хранилища генетических ресурсов растений в виде больших холодильных установок. Их содержание очень дорогостоящее из-за затрат на электроэнергию и обслуживание, необходимости регулярного тестирования семян на всхожесть, силу роста и способность к самовозобновлению [13]. При таком хранении существует реальная угроза потери всего материала банков семян при воздействии внешних факторов, как, например: социальные, техногенные и природные катастрофы, неблагоприятные природные условия, отключение электроэнергии. Поэтому разработка технологий длительного хранения генофонда, отличающихся экономичностью, защищенностью от глобальных и локальных природных и техногенных катастроф, приобретает особую актуальность.

#### **Национальное хранилище семян мировой коллекции растительных ресурсов ВИР**

В середине 70-х годов XX века в соответствии с приказом ВАСХНИЛ №53 от 08 июля 1972 года в составе Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова было создано Национальное хранилище семян мировой коллекции растительных ресурсов, размещенное на территории Кубанской опытной станции этого института. 27 сентября 1976 года директор ВНИИРа академик Брежнев Д.Д. утвердил два документа: «Положение (временное)

о Национальном хранилище в составе Кубанской опытной станции ВНИИР» и «Общие положения по отбору образцов семян мировой коллекции ВИР для закладки на длительное хранение в Национальном хранилище». Этими документами были определены основные направления и принципы деятельности этого хранилища. Базовой являлась гениальная идея академика Н.И. Вавилова о широкомасштабном многолетнем изучении всемирного семенного материала по единой методике географической изменчивости различных видов культурных растений. Идея была реализована на огромных пространствах в 115 географических пунктах с различными природными условиями, в течение 5 лет изучали по 67 морфологическим и физиологическим признакам и свойствам 40 видов растений, представленных 185 сортами, в том числе 33 — яровой и озимой пшеницы [9].

В течение 1920–1940 годов по инициативе Н.И. Вавилова и, как правило, под его руководством и при участии было проведено 140 экспедиционных обследований на территории бывшего СССР и 40 — в зарубежных странах. В итоге была сформирована уникальная «Вавиловская коллекция мировых генетических ресурсов культурных растений», насчитывающая к 1940 году более 250 тыс. различных сортов и образцов — единиц хранения. Благодаря этому появилась возможность решить вопрос происхождения ряда культурных растений и наметить пути их исторического развития на отдельных материках земного шара [23,25].

Таким образом, за 110 лет существования коллектив ВИРа, по выражению Н.И. Вавилова, «стоя на глобусе», создал уникальнейшую мировую коллекцию культурных растений с непростой исторической судьбой [7]. В мире из действующих 1740 банков семян, некоторые работают для сохранения местных растений, другие — на всемирном уровне, и одно из ведущих мест занимает ВИР, где удалось сохранить не только научную идею, но технологическую базу. Эта коллекция занимает 4 место по численности, уступая только индийской, китайской и американской, а по исследовательской значимости, по изученности, по документированию, по использованию является лидером [7]. Центр института находится в Санкт-Петербурге, а 11 филиалов — по всей стране (Апатиты, Владивосток, Дербент, Адлер, Майкоп, Крымск, Астрахань, Волгоград, Тамбов, Краснодар). В целом сейчас хранится 325 тыс. образцов культурных растений и диких родичей. Это собрание генетического разнообразия способно обеспечить Россию запасом изменчивости на 200–300 лет. Большая часть хранится в контролируемых условиях при 4 °С, частично — при -18 °С в подземном хранилище филиала института — в так называемом Кубанском генетическом банке семян в герметичной или полужакрытой таре со сроком хранения без пересевов 25–30 лет. Однако исследования, проведенные после 9 лет хранения семян 2263 видов растений, показали, что положительные низкие температуры не позволяют длительно сохранять семена без ухудшения их качества и уменьшения жизнеспособности вследствие биохимических процессов старения и появления хромосомных aberrаций [4, 16].

Американский ученый Дж. Р. Харлан-младший сказал обо всей коллекции ВИР: «Все больше и больше стран находится сегодня в зависимости от мировой коллекции советского Института растениеводства. Работы этого института необходимы для существования всего человечества» [21].

На основе коллекции семян Н.И. Вавилова, хранимой в Санкт-Петербурге, можно создавать новые сорта

растений, и специалисты считают, что благодаря ей возможно обеспечить выживание населения всего мира. При этом, четверть из растений считаются вымершими — но потенциально они живы, пока цело собрание Вавилова. Его стоимость оценивается примерно в 10–11 трлн долларов [21], в то время как золотовалютные запасы России составляют менее 1 трлн.

Сегодня, когда человечество оценивает биологические ресурсы планеты, научная программа Н.И. Вавилова приобретает особый смысл, направленный на сохранение живого и растительного мира. Достигнутое ученым понимание культурных растений, как видов со всей индивидуальной сложностью, не утратило научной значимости и, в настоящее время, на нем базируются работы по пополнению коллекций, их дальнейшему формированию и более глубокому изучению. Проблема мобилизации растительных ресурсов особенно остро стоит в неблагоприятных по почвенно-климатическим и погодным условиям районах, подверженных экстремальным температурным, водным и геохимическим воздействиям.

В настоящее время национальная программа по генетическим ресурсам культурных растений и их диких родичей в Российской Федерации представляет собой основное средство и главный механизм для достижения целей мобилизации, сохранения и рационального использования компонентов агробиоразнообразия, с помощью которого будет выполняться подавляющая часть деятельности на национальном и международном уровнях. Национальная программа является составной частью Национальной Стратегии и Национального Плана действий сохранения биоразнообразия России [7].

### Хранилища в г. Якутске

Идея долгосрочного хранения семенного материала в естественных условиях многолетнемерзлых толщ горных пород севера России впервые была реализована якутскими учеными. В середине 70-х годов прошлого века выдающийся сибирский физиолог растений Ф.Э. Реймерс на одном из заседаний Объединенного ученого совета по биологическим наукам СО АН СССР поднял вопрос о создании хранилища семян растений в толще вечной мерзлоты без указания точного его местонахождения. При этом ученый делал упор на то, что такое хранилище будет весьма экономно, так как не будет необходимости поддерживать оптимальную температуру хранения за счет использования электроэнергии [22]. Вскоре в Институте биологии ЯФ СО АН СССР сформировался коллектив сторонников идеи о создании криохранилища в толще многолетнемерзлых пород, в который вошли тогда еще молодые кандидаты наук — биологи Б.И. Иванов, В.Г. Алексеев, В.Н. Дохунаев. Идея была поддержана руководством ВНИИР им. Н.И. Вавилова, Института биологии ЯФ СО АН СССР и Якутского НИИ сельского хозяйства. Особо важное значение имела активная поддержка идеи со стороны директора Института мерзлото-

ведения СО АН СССР академика П.И. Мельникова и его согласие на использование одной из подземных шахт института для хранения семян растений, комплексно-го исследования процессов их старения и сохранения репродуктивных способностей при различных способах хранения (рис. 2, 3).

Всесоюзный институт растениеводства предоставил экспериментальный материал из мировой коллекции семян, Институт мерзлотоведения (ИМЗ СО АН СССР) — камеру подземной лаборатории, где вместе с Институтом биологии было создано подземное хранилище семян с соответствующими условиями. Биологи отвечали за изучение динамики физиолого-биохимических параметров и всхожести семян. И так, в конце 70-х годов XX века на базе подземной лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР, созданной в 1964–1967 годах на глубине 12 м в толще многолетнемерзлых пород четвертичного возраста около 10 тыс. лет, мощностью 21 м, была размещена исследовательская камера. Собственно отложения представлены супесью и мелкозернистым песком весовой льдистостью 20–30% с незначительным (1–3% по объему) количеством воздуха. Подобный эксперимент проводили впервые в мире. В период с 1976 по 1983 годы на дублетное хра-

Рис. 2. Подземная лаборатория Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Фото М.М. Шац



Рис. 3. Подземная лаборатория ИБПК СО РАН по криохраниению семян растений в Института мерзлотоведения СО РАН (г. Якутск). Фото В.Н. Дохунаева



нение в условиях многолетнемерзлых грунтов в подземной лаборатории института мерзлотоведения ВИРОм было передано 10525 образцов сельскохозяйственных культур из коллекции отдела зерно-бобовых культур ВИР (г. Ленинград). В ряде публикаций, связанных с изучением хранения образцов семян сельскохозяйственных культур, в том числе коллекции ВИР, в условиях толщи многолетнемерзлых пород, также предлагалось использовать эти уникальные природные особенности при организации низкотемпературного хранилища семян растений [3, 5, 6, 12, 15, 16, 18, 26, 27]. Сотрудниками ИБПК СО РАН было установлено, что хранение более 30 лет семян зернобобовых в условиях толщи многолетнемерзлых грунтов (температуры  $-5,5...-6,0$  °С) способствовало сохранению их жизнеспособности [29]. На примере быстро стареющих семян было отмечено, что 3-х летнее хранение при температурах  $+4$ ,  $-6$  и  $-18$  °С вне зависимости от применяемых газовых сред (воздух, диоксид углерода, азот, аргон) не вызывает изменений свойств по сравнению с контрольными экземплярами, хранившимися при температуре  $20$  °С [10, 11].

В 2010 году по результатам совместных многолетних исследований ИБПК СО РАН и ИМЗ СО РАН получен патент РФ № 2391810 [19] на изобретение, относящееся к категории сельскохозяйственной биотехнологии, к энерго- и экономически малозатратным способам криобиологического сохранения в жизнеспособном и генетически интактном состоянии семян растений в течение многих десятилетий (столетий). Способ реализуется путем использования естественного холода вечномерзлых горных пород криолитозоны со стабильно низкой температурой  $-6...-8$  °С. Хранение семян при такой температуре в герметичной таре способствует сохранению их жизнеспособности и функциональной активности генетического аппарата клеток в течение длительного времени в толще вечномерзлых горных пород в режиме максимальной защищенности от локальных или глобальных природных или техногенных катастроф.

Техническим эффектом предлагаемого изобретения является полное сохранение жизнеспособности и генетического постоянства семян в течение десятков, а вероятно, даже сотен лет без дополнительных затрат электроэнергии, без зависимости от глобальных и локальных природных и техногенных катастроф, без пересевов семян, благодаря физиологическому подавлению интенсивности всех биологических процессов в семенах и угнетению жизнедеятельности микроорганизмов. Эффект достигается тем, что семена растений хранят в подземных хранилищах, размещаемых в толще ММП в слое с постоянной температурой  $-6...-8$  °С, соответствующей оптимальной температуре хранения семян. Каждый образец семян, высушенный до определенной видоспецифичной влажности в интервале  $5-7\%$ , помещают в герметичную тару и закупоривают. Проверочные отдельные пересевы должны проводиться не ранее, чем через  $5-10-25$  лет. Перед закладкой определяют параметры жизнеспособности семян, функциональной активности, устой-

чивости и интактности генома: энергию прорастания, всхожесть, выживаемость, функциональную активность генетического аппарата клеток тканей. Аналогичные параметры определяют спустя определенный срок криохранения. Объем выборки семян — не менее 1000 штук для обеспечения максимального сохранения всего разнообразия генофонда вида, особенно дикоросов. Параллельно с семенами в Якутске, образцы тех же самых видов продолжали храниться в хранилищах ВНИИР им. Н.И. Вавилова в гг. Крымск, Екатеринбург, Михнево. В 2005–2007 годах часть семян из этих хранилищ была взята для определения физиологических, биохимических и цитологических характеристик жизнеспособности, активности и устойчивости генетического аппарата. Установлено, что хранение семян бобовых растений в стандартных условиях в течение 11–13 лет приводит к снижению всхожести до  $50-80\%$  при уровне показателя генетических мутаций до  $6-14\%$ , а при хранении семян в тех же условиях в течение 28–31 года семена становятся полностью нежизнеспособными. При хранении аналогичных образцов семян бобовых в условиях подземной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН в течение 27–30 лет всхожесть семян даже несколько возросла по сравнению с исходной при закладке на хранение и составила  $80-100\%$ . Улучшились и иные биологические показатели [17, 19]. Получение патента

**Рис. 4.** Один из залов хранения семян криохранилища на о-ве Шпицберген. Фото с сайта правительства Норвегии



**Рис. 5.** Вход в Федеральное криохранилище в г. Якутске. Фото с электронного ресурса: <http://trinixy.ru/108919-yakutskoe-kriohranilische-semyan-rasteniy-9-foto.html>



**Рис. 6.** Герметичная упаковка семян.  
Фото из журнала *National Geographic*



явилось одним из оснований при организации и запуске за счет средств бюджета Республики Саха (Якутия) и инвестиционного проекта СО РАН первой очереди Федерального криохранилища семян растений площадью 150 м<sup>2</sup> и ориентировочной мощностью до 100 тысяч единиц хранения 12.12.2012 года (рис. 4, 5). В подземной выработке такого типа за счет рационального использования естественного холода реализована эффективная технология управления температурным режимом в диапазоне годовых колебаний -6...-12 °С. Вскоре после открытия был проведен перенос уже имеющейся в подземной лаборатории ИМЗ СО РАН коллекции семян зернобобовых культур (около 10 тыс. образцов хранения), переданных ВИР более 30 лет назад. Описание технических решений для первой очереди Федерального криохранилища в Якутске дано в специальной работе [12].

В перспективе — строительство второй очереди федерального криохранилища. Теперь перед учеными стоит новая задача — обосновать необходимость организации и строительства следующих очередей хранилищ семян, превосходящих по мощности уже введенное в десять раз, способное принять миллион образцов семян редких и перспективных растений, т.е. большую часть представителей земной флоры.

#### **Хранилища на острове Шпицберген**

Много лет учёные предупреждают об отчетливом сокращении биологического разнообразия на Земле. При этом основной акцент делается на употребляемые в пищу растения, уменьшение численности которых угрожает здоровью и даже самому существованию населения нашей планеты. По данному журналу «National Geographic», только за 20 век из-за различных факторов Земля лишилась больше половины мирового разнообразия продуктов. Во второй половине XX века гарантирующие сохранность семян хранилища были построены во многих развитых странах мира. Шпицбергенский проект стал принципиально новой ступенью в развитии продуманной идеи. Хранилище должно было представлять собой что-то вроде банковского помещения с ячейками, куда каждое государство поместит дубликаты семян из своих национальных фондов. Если катастрофа произойдет на родине растения, всегда останется надежда на северные запасы [13]. В мире существует различные семенные банки с аналогичной задачей: сохранить многообразие видов растений на планете. Однако они не надежны: образцы семян хра-

нятся в обычных зданиях и лабораториях при слишком высокой для сохранения их свойств температуре. Во многих регионах из-за разных политических событий, в т.ч. войн были разрушены генетические банки (Афганистан и Ирак), в 2006 году тайфун уничтожил хранилище на Филиппинах. Поэтому необходимо иметь «последний вариант» на случай, если все остальные хранилища исчезнут.

Место размещения нового хранилища тщательно выбирали с учетом нескольких обстоятельств [3]. В первую очередь, анализировали климат: температура воздуха на архипелаге никогда не поднимается выше 3,5 °С. Было учтено и возможное широко декларируемое «глобальное потепление»: хранилище расположено на возвышенности и погружено глубоко в гору, поэтому все возможные флуктуации температур воздуха с изменением уровня океана или талье воды от арктических льдов не должны повлиять на его сохранность.

Хранилище находится на глубине 120 м и на высоте 130 м над уровнем моря. Сохранность семенных материалов обеспечивают холодильные установки, способные работать на местном угле, а также вмещающие ММП. Даже если оборудование выйдет из строя, они обеспечат значительный срок очень медленного повышения температуры внутри. Низкая температура (-18 °С) и ограниченный доступ кислорода должны обеспечить низкую метаболическую активность и замедлить старение семян. Ещё одним фактором выбора стала небольшая тектоническая активность в районе Шпицбергена. В результате строить новое хранилище семян решили на норвежской части полярного архипелага Шпицберген (или Свальбард). Идею высоко оценили международные финансовые фонды и вложили в нее вместе с норвежским правительством почти 10 млн долларов [28]. Сама структура хранилища сравнима с устройством банка: участники проекта получают в своё распоряжение «ячейки», где будут храниться их семена — образцы наиболее важных сельскохозяйственных культур, из которых 500 семян каждого по мере их поступления будут запаяны в алюминиевые пакеты размером 26,5×9 см и заложены в коробки размером 60×40×28 см (рис. 6).

Естественным корпусом хранилища стала скала, герметичный вход в него укреплен железобетонными стенами метровой толщины, которые выдержат даже прямое попадание ядерной боеголовки (рис. 7). Строительство хранилища было завершено в 2008 году. Вход в хранилище оснащен стальными воротами и стенами, способными выдержать любое внешнее воздействие. Фасад и крыша здания декорированы стальными светоотражающими треугольниками различных размеров (рис. 8). Их дополняют призмы и зеркала с подсветкой. Футуристическая композиция отражает полярный свет в летние месяцы, а зимой сеть из 200 оптоволоконных кабелей окрашивает хранилище семян в приглушенный зеленовато-бирюзовый и белый цвета. Объект символизирует разнообразие жизни, которая спрятана в хранилище, и отражается на весь мир через большую призму. Всего хранилище может вместить до 4,5 млн сортов, этого достаточно, чтобы восстановить основные съедобные растения в случае их полного уничтожения. На случай локальных или глобальных катастроф

**Рис. 7.** Участок входа в криохранилище.  
Фото с сайта правительства Норвегии



в первый год организаторы проекта поместили в «Хранилище Судного дня» около 90 тыс. «запасных» экземпляров семян. К 2017 году их количество почти достигло миллиона, при этом большинство их них — различные сорта риса и пшеницы. Ученые при открытии хранилища надеялись, что его «никогда не придется использовать», но уже в 2015 году хранилище пришлось впервые распечатать и извлечь образцы. Сирийские исследователи, участвовавшие в проекте, попросили передать им некоторые сорта семян пшеницы, овса и некоторых трав, так как из-за войны их банк зерновых культур оказался частично разрушен. Руководство зернохранилища удовлетворило просьбу исследователей. «Защита биологического разнообразия планеты такими методами — именно в этом состоит задача хранилища», — отметил пресс-секретарь фонда Crop Diversity Trust, который отвечает за сбор и поддержание коллекции [13].

### Заключение

Приведенные данные убедительно свидетельствуют, что долговременное хранение растительного материала в виде семян является одним из самых распространенных и эффективных подходов к сохранению большинства видов растений мира. Создание банков семян имеет значительные преимущества по сравнению с другими методами сохранения растений: легкость хранения большого количества образцов, экономия места и сравнительно низкие трудо- и энергоемкость. Семена — наиболее удобная для хранения часть растений. За небольшим исключением каждое семя несет свою генетическую информацию. Очевидно, что в каждом образце семян присутствует широкий спектр генетической изменчивости, который в будущем будет способствовать минимизации потерь генетической целостности вида. Отсюда следует, что качественные и количественные показатели, характеризующие диагностические признаки вида, должны максимально сохраняться.

Во многих странах мира для решения проблем мобилизации, сохранения, изучения и рационального использования генетических ресурсов растений разработаны национальные стратегии и программы, находятся на государственном уровне. Не является исключением и Россия, где впервые в мире, во многом благодаря академику Н.И. Вавилову, на научной основе еще в прошлом веке было начато комплексное изучение растительного разнообразия с целью создания новых сортов и обеспечения населения продовольствием. В 2006 году по инициативе ВИР был разработан проект Национальной программы по генетическим ресурсам культур-

**Рис. 8.** Поверхность тоннеля-хранилища семенного материала.  
Фото с электронного ресурса: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%89%D0%B5>



ных растений для координации работ данной тематики для всех научных учреждений, органов государственной власти и в целом для совместной разработки и реализации национальной политики в области сохранения и рационального использования культурных растений.

В нашей стране проблема государственной важности по сохранению и рациональному использованию семенного материала ранее решалась в узких рамках отраслевой научно-технической программы, в связи с чем работы с генетическими ресурсами не имели необходимой координации на государственном межведомственном уровне и не были обеспечены достаточным объемом бюджетного финансирования. Поэтому требуется срочное обновление и модернизация материально-технической приборной базы, оборудования для создания условий хранения образцов в контролируемой среде и т.д. Выходом из создавшейся ситуации может быть организация в разных регионах криолитозонных сетей криохранилищ мирового генофонда растений, размещенных в слое многолетнемерзлых горных пород со стабильными температурами не выше  $-4...-6^{\circ}\text{C}$ , обладающими высокой надежностью и экономичностью, с системой оптимизации температурно-влажностных и газовых условий, обеспечивающих длительное хранение семян без промежуточных пересевов. Температурный режим в таких хранилищах должен обладать большой температурной инерционностью, что обеспечит сохранность генофонда, в том числе, и в экстремальных условиях природных и техногенных катастроф. Кроме того, в таких хранилищах должен быть налажен мониторинг сохранности физиолого-биологических свойств семян, их устойчивости и активности при выходе из анабиотического состояния.

В настоящее время следует уделять особое внимание 50 тыс. видов, из которых 20 тыс. находятся под угрозой, 15 тыс. потенциально могут стать исчезающими и еще 15 тыс. видов представляют интерес в качестве экономически важных. Непрогнозируемый ущерб видовому разнообразию растений и животных могут нанести глобальные изменения климата, а также техногенные катастрофы, включая ядерные, химические, бактериологические. Вместе с тем известно, что биологическое разнообразие обеспечивает устойчивость и надежность биосферных и экосистем. Существует мнение, что все современные хранилища, в том числе и наиболее современное — «Судного дня», не надежны. Общеизвестно, что сейчас во многих районах Земли происходят существенные изменения климата, в том числе в сторону повышения температуры возду-

ха и верхних горизонтов горных пород, не обошедшие стороной и Арктику. В результате широко развитые ледники на Шпицбергене возможно уже в недалеком будущем, начнут таять, и необходимый для хранения семян температурный режим объекта придется поддерживать обычными холодильными установками с огромными расходами электроэнергии. В то же время существует мнение об иной направленности климатических процессов в Арктике в результате изменения траектории «северной печки» — Гольфстрима из-за огромных объемов пресных вод, поступающих в Северную Атлантику от таяния обширных ледников Гренландии. При этом теплое течение повернет к северу гораздо западнее, чем ранее, и Северо-Запад Европы, в том числе и Шпицберген, лишатся его обогревающего влияния. Новая

компромиссная идея — создание международного генетического банка, расположенного на Южном полюсе [13, 17]. Мерзлые толщи горных пород Антарктиды по своим теплофизическим характеристикам способны обеспечить устойчивое состояние хранилища на ближайшие сотни лет. Сама природа будет поддерживать необходимую для хранения любого биоматериала температуру в этой по-настоящему вечной экологической системе даже при природных катаклизмах. Именно поэтому уникальная программа по созданию Всемирного генетического банка в Антарктиде под общим названием «Новый Ной» была разработана и включена, кроме прочих, в планы недавно созданной Международной общественной организации содействия Договору об Антарктике — «Антарктический Союз».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Д., Граве Н.А. Нарушение поверхности и её защита при освоении Севера. — Новосибирск: Наука, 1981. — 88 с.
2. Брушков А.В. Подземные хранилища в вечной мерзлоте: современное состояние // Вестник ВОГиС. 2008. Т. 12. № 4. С. 534–540.
3. Википедия. Электронный ресурс. Источник: <https://ru.wikipedia.org>. Код доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5).
4. Далецкая Т.В., Полякова Е.Н. Криоконсервация генетических ресурсов в проблеме сохранения биоразнообразия. Влияние криоконсервации на прорастание семян и некоторые стадии метаболизма // Биофизика живой клетки. 1994. — Том 6. — С.81–85.
5. Данилова М.С. Хранение семян зерновых культур в зоне вечной мерзлоты // Бюлл. ВИР. — 1982. — № 118. — С. 34–36.
6. Данилова М.С. Использование условий вечной мерзлоты для хранения семян сельскохозяйственных растений: Автореф. дис... канд. с.-х. Л., 1984. — 17 с.
7. Дзюбенко Н.И. Вавиловская стратегия пополнения, сохранения и рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей / Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 169. СПб.: ВИР, 2012. — 309 с.
8. Йоханссон К. Хранилище последней надежды // Холодильный бизнес. — 2009. — № 5. — С. 6–10.
9. Кершенгольц Б.М., Ремигайло П.А., Шеин А.А. Криохранилище семян растений в толще многолетнемерзлых пород: опыт, проблемы, состояние, перспективы. // Вестник ВОГиС. 2008. — Т. 12. — № 4. — С. 54–62.
10. Кершенгольц Б. М., Иванов Б. И. Десяткин Р. В. и др. Использование естественного холода многолетнемерзлых пород для длительного хранения генетических ресурсов // Вестник ВОГиС. 2008. — Т. 12. — № 4. — С. 524–533.
11. Кершенгольц Б.М., Жимулев И.Ф., Гончаров Н.П., Чжан Р.В., Филиппова Г.В., Шеин А.А., Прокопьев И.А. Сохранение генофонда растений в условиях многолетней мерзлоты: состояние, преимущества, перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2012. — Т. 16. — № 3. — С. 675–682.
12. Кузьмин Г.П., Панин В.Н. Основные результаты управления температурным режимом Федерального криохранилища I очереди в г. Якутске. // Вестник ВОГиС. — 2008. — Т.12. № 4. — С. 34–42.
13. Кузьмин Е. «Ковчег» для спасения человеческого наследия. Зачем норвежцы создают «Хранилища Судного дня» в Арктике. Электронный ресурс. Источник: <https://tjournal.ru>. Код доступа: <https://tjournal.ru/42743-kovchegi-dlya-spaseniya-chelovecheskogo-naslediya>. Дата обращения: 04 апреля 2017, 10:33.
14. Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Романова Е.К., Киселев В.В. Закономерности формирования температурного режима подземного криохранилища в условиях вечной мерзлоты // Наука и образование. — 2012. — № 1. — С. 20–24.
15. Курилко А.С., Хохолов Ю. А., Романова Е.К. Регулирование температурного режима подземного криохранилища

путем управления теплообменом на дневной поверхности // Наука и образование. — 2013. — № 1(69). — С. 17–19.

16. Мокронос А.Т., Купцова Е.С., Попов А.С., Кузнецов В.В. Генетическая коллекция как способ сохранения биоресурсов планеты // Вестник Российской академии наук. 1994. Т. 64. — № 11. — С. 991–1001.

17. Нужно ли России свое Хранилище судного дня? Электронный ресурс. Источник: <http://newsapk.ru>, код доступа: <http://newsapk.ru/stati-i-komentarii/nuzhno-li-rossii-svoe-hranilishhe-sudnogo-dnya.html>. Дата обращения: 11.04.2016

18. Павлов Н. Е., Данилова М. С., Сторожева Н. Н. Хранение семян сельскохозяйственных культур в вечной мерзлоте // Сб. тез. докл. 3 Приполярной сельскохозяйственной конф. «Приполярное сельское хозяйство: Перспективы глобализации». Аляска, США, 1998. — С.82.

19. Патент РФ №2391810 «Способ многолетнего хранения семян растений с использованием естественного холода толщи многолетнемерзлых горных пород» (зарегистрировано в реестре 20.06.2010, приоритет от 30.01.2008).

20. Силаева О.И. Хранение коллекции семян мировых растительных ресурсов в условиях низких положительных температур — оценка, состояние, перспективы / Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 169. СПб.: ВИР, 2012. — 309 с.

21. СМЕРТЬ ОТ ГОЛОДА... У КОРОБОК С ЕДОЙ. Электронный ресурс, Источник: <http://www.uznaipravdu.info>. Код доступа: <http://www.uznaipravdu.info/topic-4064.html>. Дата обращения 14.05.2017

22. Сторожева Н.Н. Вечная мерзлота как криобанк генетических ресурсов сельскохозяйственных культур // Сб. матер. IV науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России». Пенза, 2006. — С.211–214.

23. Филиппенко Г.И. Развитие системы низкотемпературного хранения и криоконсервации генофонда растений в ВИР им. Н.И. Вавилова // Тр. по прикл. ботан., генет. и селекции. 2007. — Т.164. — С.263–272.

24. Филиппенко Г.И., Силаева О.И., Сторожева Н.Н. Использование вечной мерзлоты с целью сохранения генетических ресурсов растений / Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 169. — СПб.: ВИР, 2012. — 309 с.

25. Шайкин В.Г. Николай Вавилов. — М.: Молодая гвардия, 2006. — 256 с.

26. Яшина С.Г., Губин С.В., Шабаева Э.В. и др. Жизнеспособность семян высших растений позднелейстоценового возраста из вечномерзлых отложений, обнаруживаемая в культуре in vitro // Докл. РАН, 2002. — Т.383. — №5. — С.714–717.

27. Яшина С.Г., Шабаева Э.В., Розанов С.И. Проблема создания и размещения криобанка семян редких и исчезающих видов растений в условиях вечной мерзлоты // Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли в Арктике и Субарктике. Новосибирск, Наука, 1997. — С.188–192.

28. Frequently asked questions. Электронный ресурс. Источник: <https://web.archive.org>. Код доступа: <https://web.archive.org/web/20111021223103/http://www.regjering.no/en/dep/lmd/campaign/svalbard-global-seed-vault/frequently-asked-questions.html>. Дата обращения: 12.06.2017.

## ОБ АВТОРЕ:

Шац М.М., к.г.н., ведущий науч. сотрудник