

Банк семян в вечной мерзлоте

Принято решение о создании в г. Якутске 1-й очереди Федерального криохранилища семян культурных, редких и исчезающих видов растений, которое будет располагаться в слое многолетнемерзлых пород. Основанием для этого стали результаты многолетнего эксперимента якутских ученых по хранению семян растений в подземной мерзлотной лаборатории, стартовавшего в 1977–1978 гг.

В наше время видовое и генетическое разнообразие растительного и животного мира планеты находится под угрозой: неожиданный и невосполнимый ущерб могут нанести последствия глобальных изменений климата, а также антропогенной деятельности, такие как техногенные катастрофы. По прогнозам специалистов, уже к середине XXI в. могут практически исчезнуть или подвергнуться серьезной генетической эрозии почти четверть видов высших растений, в том числе представляющие потенциальный экономический интерес.

Существует несколько способов по долговременному сохранению генетических растительных ресурсов. Наиболее удобная для хранения часть растений – семена, которые содержат уникальный набор генов. Поэтому в первую очередь речь идет о *семенных банках*, где образцы хранятся в течение десятилетий – этот метод имеет значительные преимущества перед другими из-за своей простоты и низкой трудоемкости. Создание такого «генетического запаса», особенно в отношении генов, значимых для селекции, – наиболее рациональный путь сохранения биоразнообразия в практических целях.

Подобные меры по сохранению семян редких и хозяйственно важных видов культурной и дикой флоры сегодня применяются во многих странах мира – общее число семенных банков приближается к полутора тысячам. В подобных хранилищах хранятся сотни тысяч образцов семян. Так, семенные банки Франции насчитывают около 500 тыс. образцов, Китая – более 800 тыс., Индии – более 600 тыс., США – около 1 млн, Брази-

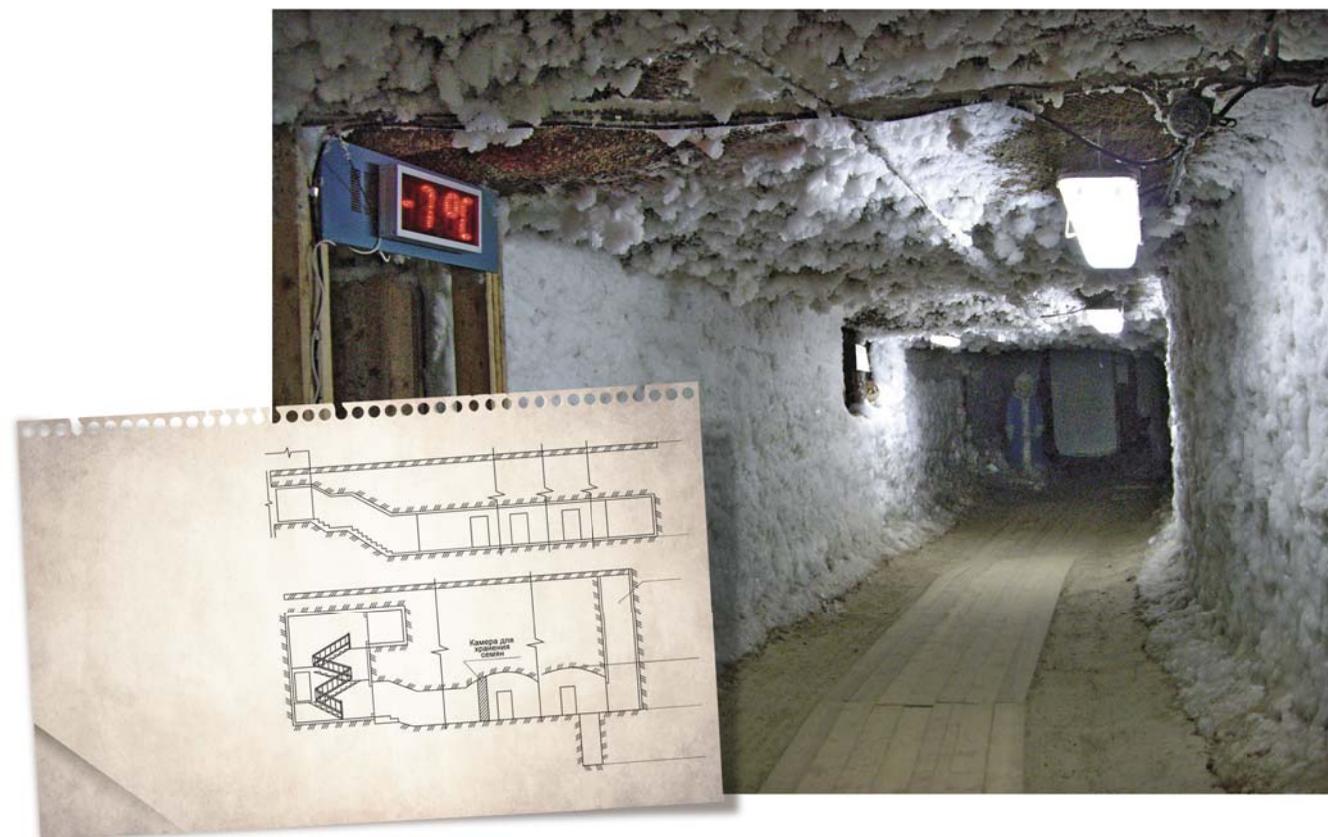
лии – более 300 тыс. В России основным хранителем коллекции семян является санкт-петербургский Всероссийский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР), причем за последние 35 лет число образцов в его коллекциях сократилось почти вдвое и сейчас составляет 270 тыс.

Международный совет по генетическим ресурсам растений разработал общие стандарты хранения семенного материала, которых должны придерживаться все страны мира. Согласно этим положениям, семенной банк состоит из *базовой* и *рабочей* (действующей) коллекций, причем образцы из последней регулярно тестируются. Коллекции должны храниться в условиях, гарантирующих, что жизнеспособность (всхожесть) семян составит не менее 65 % в течение 10–20 лет хранения. Для этого перед закладкой в хранилище их высушивают до 3–7%-ной влажности и хранят при отрицательных температурах в герметичной упаковке.

Предпочтительные условия хранения для базовой коллекции – минус 180 °С и относительная влажность 5 %, однако комбинация температуры и влажности может варьировать, в том числе в зависимости от вида растения. Интересен тот факт, что зависимость между температурой и максимально возможной продолжительностью хранения семян нелинейна, поэтому экономическая выгода от снижения температуры (по крайней мере в диапазоне температур до –200 °С) уменьшается со снижением температуры хранения.

Хранение семян при низких температурах и низкой влажности позволяет сохранять жизнеспособность семян в течение десятков и даже сотен лет. Всхожесть семян проверяется через определенные промежутки времени (обычно каждые 5 лет) из образцов рабочей коллекции. При снижении всхожести получают новый образец, выращивая растения из сохранившихся семян, однако подобная регенерация коллекции – процесс длительный и дорогостоящий.

Современные хранилища генетических ресурсов растений, призванные обеспечить оптимальные условия для долговременного сохранения жизнеспособности семян являются, по сути, большими холодильными установками. Их содержание весьма затратно из-за больших расходов на электроэнергию, обслуживание



холодильных установок и регулярные пересевы семян. Например, стоимость хранения около 1 млн образцов в хранилищах Национальной системы генетических ресурсов США (15 тыс. образцов – в жидком азоте, остальные – при –18 °С) составляет ежегодно около 100 млн долл. К тому же из-за относительно низкой сейсмостойкости этого комплекса имеется реальная угроза полной или частичной потери коллекции при воздействии экстремальных внешних факторов. Вот недавний печальный пример такого рода: из-за перебоев в электроснабжении, вызванных катастрофическим цунами, обрушившимся на побережье Японии весной 2011 г., там погибла почти половина коллекции банка семян.

Эта штольня ведет в подземное криохранилище – мерзлотную лабораторию Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН (Якутск), где в течение более 30 лет на глубине 12 м хранятся семена растений. Совместно с Институтом горного дела Севера им. Н. В. Черского были разработаны эффективные технологии управления температурно-влажностным режимом в камерах подземного хранилища большого объема практически только за счет рационального использования естественного холода. Поэтому такой способ длительного хранения семян отличается высокой экономичностью и независимостью от внешних источников энергии. Фото А. Шеина

Ключевые слова: банк семян, криохранилище, биоразнообразие.
Key words: seedbank, cryopreservation, biodiversity

К счастью, существует альтернатива – криохранилища, расположенные в толще многолетнемерзлых грунтов со стабильными температурами не выше -4°C , которые обладают большой температурной инерционностью. Использование естественного холода для создания необходимых отрицательных температур совместно с системой оптимизации температурно-влажностных и газовых условий может обеспечить сверхдлительное (десятки и сотни лет) хранение семян без промежуточных пересевов. Таким способом можно в сотни раз снизить себестоимость хранения, а относительная автономия хранилища и независимость от перебоев в энергоснабжении позволяют сохранить генофонд в условиях глобальных изменений климата, природных и техногенных катастроф.

Такие криохранилища оптимально размещать на севере зоны распространения сплошной и устойчивой мерзлоты. Этим требованиям отвечает, например, Северная и большая часть Центральной Якутии, где глубина вечномерзлых пород может достигать 1,5 км. Неудивительно, что предложение о создании в этом регионе криохранилища семян было выдвинуто еще в начале 1970-х гг. В.Н. Дохунаевым, сотрудником Якутского института биологии СО АН СССР (ныне – Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН).

В результате в 1977–1978 гг. в подземной лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР (ныне – Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН), расположенной на глубине 12 м в толще многолетнемерзлых пород, стартовал совместный эксперимент якутских ученых по длительному хранению более 10 тыс. образцов семян бобовых культур из коллекции ВИРа. Позднее туда же было помещено около 1 тыс. сортообразцов семян сельскохозяйственных культур, интродуцированных в Якутии, а также редких и исчезающих видов местных дикоросов. Других precedентов такого длительного криохранения только за счет естественного холода в мире нет (Соломонов и др., 1984; Мокроносков и др., 1994).

Промежуточные результаты эксперимента показали, что после 33-летнего хранения семена бобовых и злаковых культур сохраняют высокую всхожесть (на уровне 90–100 %) и хорошие морфологические характеристики, а уровень хромосомных нарушений не превышает 1–2 %. Исследования показали, что во время хранения в семенах значительно падают скорости синтеза белков и интенсивность клеточного деления на фоне возросшей активности антиоксидантной защитной системы и системы репарации (восстановления) ДНК. Это свидетельствует о физиологичности процессов, протекающих в семенах растений в условиях естественного холода при температурах около $-6,0^{\circ}\text{C}$ (более того, при -18°C уровень хромосомных нару-

шений увеличивается в 3–4 раза). Особенно хорошие показатели продемонстрировали семена, которые хранились в герметичной таре, заполненной углекислым газом, аргоном или азотом.

Если сравнить результаты эксперимента с показателями сохранности семян аналогичных сортообразцов из коллекции ВИРа, то оказывается, что хранение семян в стандартных условиях (рефрижераторных камерах) в течение 11–13 лет привело к снижению всхожести до 50–80 % при уровне хромосомных нарушений 6–28 %. При хранении же в течение 28–30 лет все семена стали нежизнеспособными.

В 2011 г. за счет средств бюджета Республики Саха (Якутия) была начата реконструкция заброшенной шахты № 2, расположенной на территории Института мерзлотоведения. В подземной выработке такого типа за счет рационального использования естественного холода может быть реализована эффективная технология управления температурно-влажностным режимом, что позволит поддерживать температуру в оптимальном диапазоне при соблюдении микробиологической чистоты. Эту подземную выработку в дальнейшем можно легко расширить.

Здесь будет размещена 1-я очередь Федерального криохранилища семян культурных, редких и исчезающих видов растений объемом более 100 тыс. сортообразцов, а в дальнейшем семенную коллекцию планируется увеличить в 6–7 раз. Предполагается, что площадь будущего криохранилища составит 1900 м². Сроки реализации проекта – 2013–2015 гг., ориентировочная стоимость – 180 млн руб.

В последние годы к идее создания международного криобанка семян в толще многолетней мерзлоты проявляют немалый интерес такие высокоразвитые страны, как Норвегия, Швеция, Япония и др. Так, в феврале 2008 г. в норвежском г. Свальбард на о. Шпицберген было запущено Всемирное хранилище семян с максимальной вместительностью 4,5 млн образцов. Это криохранилище в толще горы, которое еще называют Хранилищем Судного дня, расположено в сейсмически безопасной зоне на высоте 120 м над уровнем моря, что обеспечивает его безопасность даже в случае таяния полярных льдов. Здесь предполагается размещать резервные дубликаты коллекций других семенных банков: в марте 2010 г. здесь уже хранилось около полумиллиона образцов, и число их постоянно растет.

Вместе с тем следует отметить, что температуры многолетнемерзлых пород на Шпицбергене не опускаются ниже -3°C , поэтому для достижения рекомендуемых международными экспертами отрицательных температур (-18°C) используется энергоемкая рефрижераторная техника. Кроме того, судя по вышеприведенным



результатам, для сохранения жизнеспособности и генетической целостности семян оптимальными являются температуры от -6 до -10°C .

В заключение следует отметить, что наши знания о хранении семян достаточно ограничены, так как большинство исследований проведено на сельскохозяйственных растениях. Необходимо более тщательно изучить и вопросы оптимизации подготовки семян к длительному хранению в природных криогенных условиях, влияние газовой среды, а также решить задачи масштабирования технологии хранения семян в толще многолетнемерзлых пород, отработанные в лабораторных условиях.

Д. б. н. Б. М. Кершенгольц, к. б. н. П. А. Ремигайло,
к. б. н. Е. С. Хлебный (Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск)

В подземном криохранилище в Якутии хранятся 11 тыс. образцов семян культурных и диких растений. Сотрудники лаборатории микробиологии Института химической и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) отметили высокую микробиологическую чистоту как самого хранилища, так и сохраняемых там семян. Фото А. Шеина

Литература

- Мокроносков А. Т., Куцова Е. С., Попов А. С., Кузнецов В. В. Генетическая коллекция как способ сохранения биоресурсов планеты // Вестник РАН. 1994. Т. 64, № 11. С. 991–1001.
- 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.
- Соломонов Н. Г., Алексеев В. Г., Дохунаев В. Н. О путях использования вечной мерзлоты в решении народно-хозяйственных задач // Механизмы криоповреждений и криозащиты биологических объектов: Тез. докл. II Всесоюз. конф. Харьков, 1984. Т. 2. С. 83.