

Обзорная статья

УДК 606:57.082.26;602.6:59;602.6:612;57.086.13;57:536.483

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248



Сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии

Н. В. Ромаданова, С. В. Кушнаренко

РГП «Институт биологии и биотехнологии растений», Алматы, Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Наталья Владимировна Ромаданова, nata_romadanova@mail.ru

В Республике Казахстан используются несколько способов сохранения генетического материала растений: 1) полевые генные банки в естественных местах произрастания и помологические коллекции; 2) сохранение семян в специализированных хранилищах при температурах: +4°C, -18°C, -196°C; 3) хранение *in vitro* при +4°C, +10 ± 2°C; 4) криоконсервация растительных тканей и органов при температуре -196°C; 5) сохранение ДНК при -80°C.

Полевые коллекции растений собраны в ботанических садах, дендрариях, помологических садах, питомниках, крестьянских и фермерских хозяйствах. Наиболее крупная коллекция плодовых и ягодных растений находится в «РГКП Помологический сад» и насчитывает более 40 тыс. образцов.

Коллекция семян Республики Казахстан составляет порядка 42 000 образцов. Коллекция зерновых культур сосредоточена в основном в Казахском НИИ земледелия и растениеводства – 1/3 национального генофонда. Основная коллекция семян овощебахчевых культур и картофеля насчитывает 14 700 образцов (Казахский НИИ картофелеводства и овощеводства). Коллекции семян дикорастущих растений имеются в Институте ботаники и фитоинтродукции и в Институте биологии и биотехнологии растений (ИББР), режим хранения +4°C и -18°C. В ИББР дополнительно используется технология криоконсервации в жидком азоте при -196°C.

Основная коллекция растений в культуре *in vitro* хранится в ИББР при +4°C, +10 ± 2°C, и насчитывает более 140 образцов. Криогенная коллекция семян, апикальных меристем, зимующих почек, изолированных зародышевых осей при -196°C находится в только в ИББР, коллекция насчитывает более 700 образцов.

Ключевые слова: коллекции растений, коллекции семян, коллекции *in vitro*, криогенные коллекции

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках Научно-технической программы BR18554099.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Ромаданова Н.В., Кушнаренко С.В. Сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):239-248. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

SURVEYS

Review article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods

Natalya V. Romadanova, Svetlana V. Kushnarenko

*Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan***Corresponding author:** Natalya V. Romadanova, nata_romadanova@mail.ru

Several methods of plant preservation are currently used in the Republic of Kazakhstan: 1) field gene banks in natural growing areas and pomological collections; 2) preservation of seeds at +4°C, -18°C, and -196°C; 3) cold storage of *in vitro* shoots at +4°C and +10 ± 2°C; 4) cryopreservation of plant tissues and organs at -196°C; 5) preservation of plant DNA at -80°C.

Ex situ field collections of plants in Kazakhstan are maintained in botanical gardens of the Republic, arboretums, pomological gardens, nurseries, peasant and farm enterprises, and personal plots. The largest collection of fruit and berry plants is located in the Pomological Garden and includes about 4 thousand varieties, more than 40 thousand hybrids and wild forms of various crops.

The Republic of Kazakhstan has about 42,000 accessions in the seed collection. The cereal crop collection is mainly concentrated in the Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing – 1/3 of the national genetic resources. The main seed collection of vegetable crops and potatoes (14,700 accessions) is held by the Kazakh Research Institute of Potato and Vegetable Growing. Collections are also available at the Institute of Botany and Phytointroduction and in the Institute of Plant Biology and Biotechnology (IPBB), with the storage mode of + 4°C and -18°C. IPBB also uses cryopreservation technology at -196°C for seed storage.

The main *in vitro* collection of Kazakhstan is kept at the IPBB at + 4°C and +10 ± 2°C; it includes more than 140 accessions of various fruit, berry, nut, vegetable, ornamental, and woody crops, grapes, potatoes, etc. A cryogenic collection of seeds, shoot tips, dormant buds, and embryonic axes in liquid nitrogen (-196°C) is found only in IPBB. The collection includes more than 700 accessions.

Keywords: plant collections, seed collections, *in vitro* collections, cryogenic collections

Acknowledgements: this research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (BR18554099).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Romadanova N.V., Kushnarenko S.V. Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):239-248. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

Человечество пользуется бесценными услугами природы. Биологическое разнообразие форм жизни имеет генетическое и экономическое, научное и культурное, социальное, рекреационное, а главное – экологическое значение. В последнее время уровень вымирания живых существ в 100–1000 раз превышают темпы вымирания до появления человека. Если все виды, которые в настоящее время считаются «находящиеся под угрозой исчезновения», вымрут в следующем столетии, то темпы исчезновения в будущем будут в 10 раз выше, чем сейчас (Pimm et al., 1995).

Причин сокращения видов животных и растений существует множество, и все они прямо или косвенно исходят от людей: расширение территорий населенных пунктов, превращение природных ландшафтов в сельскохозяйственные объекты, регулярные выбросы вредных веществ в атмосферу, вырубка лесов, использование химических веществ в сельском хозяйстве, загрязнение водоемов и почв, строительство дорог и коммуникаций, рост населения планеты, требующий большего продовольствия и территорий для жизнедеятельности, браконьерство, экологические катастрофы, вызванные людьми. Список причин можно продолжать, потому как любая жизнедеятельность человека влияет на сокращение ареалов флоры и фауны. Особи, не способные выжить, умирают преждевременно, численность популяций значительно сокращается, нередко приводя к полному вымиранию вида (<https://adilet.zan.kz/rus/docs/K210000400>).

На данный момент на территории Республики Казахстан зарегистрировано 5754 вида растений, из них в Красную книгу занесено 387 (6,7%) видов. Однако этот список далеко не полный и постоянно пополняется (Red Data Book..., 2014).

Учитывая глобальный характер проблемы, необходимо задействование научных подходов сохранения и размножения коллекций растений. В настоящее время существует несколько способов хранения генетического материала растений: 1) прежде всего это полевые генные банки в естественных местах произрастания и помологические коллекции; 2) сохранение семян в специализированных хранилищах при температурах: +4°C, –18°C; 3) хранение побегов *in vitro* при низких положительных температурах; 4) криоконсервация растительных тканей и органов при температуре –196°C (Reed, 2002).

Полевые генные банки в естественных местах произрастания относятся к традиционным методам сохранения генетических ресурсов *in situ*: заповедники, заказники, национальные парки, памятники природы, резерваты. К традиционным способам сохранения генетических ресурсов относится и сохранение генетического и видового разнообразия вне естественных мест обитания *ex situ*: ботанические сады, дендрарии, помологические сады, питомники, коллекционные участки, фермерские хозяйства, приусадебные участки.

В мире существует большое количество полевых генных банков, имеющих важное стратегическое значение: например, в Институте помологии г. Чангли (Китай) создана коллекция гермоплазмы плодовых деревьев, которая включает 1092 образца. В США существует Национальная система гермоплазмы растений, которая предназначена для свободного и неограниченного обмена растительным материалом со всеми странами и разрешает допуск к коллекциям США любым законным пользователям. Ежегодно высылаются свыше 150 тыс. образцов пользователям в США и более чем в 100 стран мира.

Создание такой системы позволяет надежно сохранять мировое биоразнообразие растений (Coelho et al., 2020).

В Казахстане такая полевая коллекция плодовых, ягодных культур и винограда собрана в «РГКП Помологический сад». Коллекция генофонда была интродуцирована из различных регионов земного шара, насчитывает около 4 тыс. сортов, более 40 тыс. образцов-гибридов (<http://fvri.kz>). Кроме того, имеется коллекция дикорастущих форм плодовых растений, собранная в горах Заилийского Алатау. Однако, при большой значимости, сохранение генофонда в естественной среде обитания, а также в помологических и ботанических садах, имеет ряд недостатков: 1) коллекции содержат только лишь незначительную часть образцов того или иного вида; 2) существует риск самоопыления в популяциях и гибридизации с родственными видами, что может привести к генной эрозии или даже к утере специфичности генотипа; 3) требуются значительные материальные затраты на содержание больших площадей земли; 4) коллекции в естественной среде обитания могут погибнуть от заражения опасными болезнями и вредителями, от воздействий неблагоприятных факторов (Rakhimbaev et al., 2003),

Поэтому на современном этапе сохранение генетических ресурсов необходимо проводить с учетом применения инновационных методов, в том числе и долгосрочное консервирование генетического материала в криобанках. В США создана Национальная система сохранения гермоплазмы растений. В большинстве стран Европы, в Китае, Японии, Корее, Перу и во многих других наряду с обширными полевыми коллекциями имеются также и криогенные банки различных органов растений. На данном этапе существует несколько видов банков генов: 1) семенной банк; 2) банк ДНК; 3) банк клеточных культур (Popov et al., 2006; Lynch et al., 2007; Keller et al., 2008; Kim et al., 2012; Coelho et al., 2020).

Создание банка семян – это важная задача для всего мирового сообщества на данный момент. Во всем мире насчитывается около 1750 генетических банков семян, в которых сохраняется порядка 10 000 образцов. Самое большое Всемирное хранилище семян находится на острове Шпицберген (Норвегия). В хранилище помещены для безопасного хранения образцы семян основных сельскохозяйственных культур. Коллекция постоянно пополняется семенами из различных уголков земного шара, в 2020 г. она насчитывала 900 000 образцов семян (<https://www.croptrust.org/our-work/svalbard-global-seed-vault>). Самое большое хранилище семян стран СНГ находится в России, на территории которой расположено несколько криогенных банков. Самый крупный – Генетический банк семян Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (Санкт-Петербург), коллекции также расположены в Кубанском генетическом банке и на опытных станциях – филиалах ВИР. Это одна из самых крупных в мире и богатых по видовому представительству коллекция мирового генетического разнообразия растений, которая насчитывает около 400 000 образцов. Большая часть этой коллекции хранится в контролируемых условиях (+4,5°C).

Коллекция семян Республики Казахстан насчитывает порядка 42 000 образцов (The second report..., 2010). Основная коллекция семян зерновых культур Казахстана находится в Казахском НИИ земледелия и растениеводства, где имеется среднесрочное генетическое хранилище, включающее 17 056 образцов 29 сельскохозяйствен-

ных культур: это 1/3 национального генофонда Республики Казахстан (<https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-zemledeliya-i-rastenievodstva>). Коллекция семян овоще-бахчевых культур и картофеля, состоящая из 14 700 образцов, сохраняется в Казахском НИИ картофелеводства и овощеводства (<https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-kartofelevodstva-i-ovoshhevodstva>). В РГП «Институт ботаники и фитопроизводства» КН МОН РК сосредоточены долгосрочная (базовая) с режимом хранения -18°C и краткосрочная (активная) коллекции семян дикорастущих видов, режим хранения $+4^{\circ}\text{C}$ (https://botsad.kz/ru/labs/view/laboratoriya_semenovodstva). Семенные коллекции находятся и в других научных учреждениях Казахстана. Одной из более весомых считается коллекция лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК (ИББР), в которой, кроме хранения при $+4^{\circ}\text{C}$ и -18°C (рис. 1), используется и технология криоконсервации растений при -196°C (Romadanova et al., 2019). Коллекция некоторых растений лаборатории криосохранения гермоплазмы ИББР, сохраняемая при разных температурных режимах, представлена в таблице.

Создание банков ДНК – это новое направление в современной науке. ДНК, как правило, выделяют из ли-

стьев растений и сохраняют при температуре -80°C и при -196°C в жидком азоте. Самые большие коллекции ДНК находятся в США, Китае, Индии, России, Японии и в странах Европы. Коллекции ДНК являются важным ресурсом в рамках глобальных усилий по преодолению кризиса в сфере биоразнообразия, управления генетическими ресурсами в мире и максимального увеличения их потенциала (De Vicente, Andersson, 2006).

Банк клеточных культур представлен в основном коллекциями *in vitro*, которые сохраняются при низких положительных температурах и криогенными коллекциями апикальных меристем, почек, пыльцы, сохраняемыми при -196°C . В Казахстане основная коллекция *in vitro* различных дикорастущих форм, сортов, клоновых подвоев, гибридов плодовых, ягодных, орехоплодных, декоративных и других культур хранится в ИББР при $+4^{\circ}\text{C}$ и при $+10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (см. таблицу, рис. 2, 3, 4).

In vitro коллекция ИББР насчитывает более 140 образцов различных плодовых, ягодных, орехоплодных, овощных, зерновых, декоративных, древесных культур, винограда, картофеля и т. д., некоторые образцы коллекции представлены в таблице. В меньших объемах, такие коллекции есть в РГП «Национальный центр биотехнологии» КН МОН РК (<https://www.biocenter.kz/#>), в ТОО



Рис. 1. Коллекция семян лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК: 1 – температурный режим хранения $+4^{\circ}\text{C}$; 2 – температурный режим хранения -20°C

Fig. 1. The seed collection at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology: 1 – storage temperature $+4^{\circ}\text{C}$; 2 – storage temperature -20°C

Таблица. Коллекция растений лаборатории криосохранения гермоплазмы ИББР, сохраненная при разных температурных режимах

Table. The plant collection of the IPBB Germplasm Cryopreservation Laboratory preserved under different temperature conditions

Наименование образца / Name of the accession	Коллекция семян и зародышевых осей. Количество образцов, шт. / Collection of seeds and embryonic axes. Number of accessions, pcs			Коллекция клеточных культур. Количество образцов, шт. / Collection of cell cultures. Number of accessions, pcs.			
	Температурный режим хранения / Storage temperature						
	4°C	-19 ± 1°C	-196°C	24 ± 1°C	4°C	10 ± 2°C	-196°C
<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	-	-	1	-	1	-	-
<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk	18	15	26	9	9	-	--
<i>Berberis iliensis</i> M. Pop.	3	11	7	3	3	-	-
<i>Berberis integerrima</i> Bunge	5	17	27	10	10	-	-
<i>Berberis oblonga</i> (Regel) C.K.Schneid.	-	-	-	2	2	-	1
<i>Berberis sibirica</i> Pall.	-	-	1	-	1	-	-
<i>Corylus avellana</i> L.	-	-	-	14	-	-	-
<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier	-	-	-	3	-	-	11
<i>Juglans regia</i> L.	-	-	73	11	-	-	-
<i>Lonicera altaica</i> Pall.	1	1	-	3	3	-	3
<i>Lonicera iliensis</i> Pojark.	3	3	-	2	2	-	2
<i>Lonicera stenantha</i> Pojark.	-	1	-	-	-	-	-
<i>Lonicera tatarica</i> L.	3	6	-	-	-	-	-
<i>Malus domestica</i> Borkh.	-	-	-	31	25	-	60
<i>Malus niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne	-	-	-	1	1	-	-
<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M. Roem	-	88	88	14	14	-	37
<i>Oryza sativa</i> L.	80	-	80	-	-	-	-
<i>Prunus armeniaca</i> L.	1	-	-	-	1	-	1
<i>Pyrus communis</i> var. <i>pyraster</i> L.	-	-	-	8	17	-	17
<i>Pyrus pyraster</i> (L.) Burgsd.	2	-	2	2	2	-	-
<i>Pyrus regelii</i> Rehder	2	-	2	-	-	-	-
<i>Ribes nigrum</i> L.	-	-	-	-	-	-	23
<i>Rubus idaeus</i> L.	-	-	-	12	12	-	26
<i>Solanum tuberosum</i> L.	-	-	-	13	-	10	13

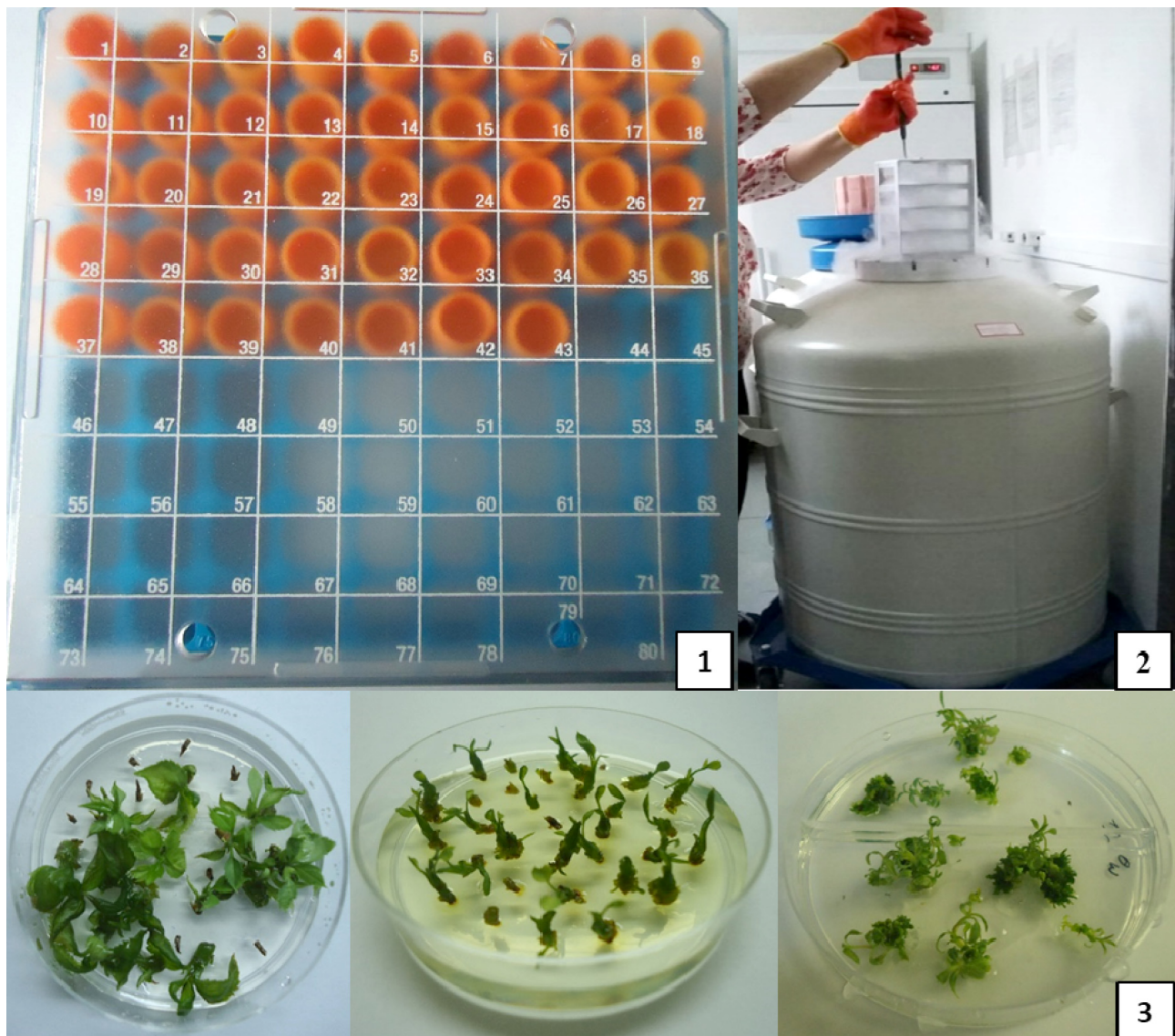


Рис. 2. Коллекция семян и апикальных меристем лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК. Температурный режим хранения -196°C :

1 – криопробирки в криобоксе, 2 – погружение криопробирок с растительным материалом в сосуд с жидким азотом, 3 – регенерация меристем после криоконсервации методом витрификации (слева на право: *Malus domestica* Borkh. сорт 'Восход', *Berberis integerrima* Bunge форма 14, *Lonicera altaica* Pall. сорт 'Галочка')

Fig. 2. The collection of seeds and shoot tips at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology. Storage temperature -196°C :

1 – cryotubes in a cryobox, 2 – immersion of cryotubes with plant material in a vessel with liquid nitrogen, 3 – regeneration of shoot tips after cryopreservation by vitrification (from left to right: *Malus domestica* Borkh. cultivar 'Voskhod', *Berberis integerrima* Bunge form 14, *Lonicera altaica* Pall. cultivar 'Galochka')



Рис. 3. Коллекция *in vitro* лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК:

1 – *Berberis integerrima* Bunge, 2 – *Corylus avellana* (L.) H. Karst, 3 – *Juglans regia* L., 4 – *Lonicera altaica* Pall., 5 – *Malus domestica* Borkh., 6 – *Populus heterophylla* L., 7 – *Populus pruinosa* Schrenk, 8 – *Pyrus communis* L., 9 – *Rubus caesius* L., 10 – *Solanum tuberosum* L., 11 – *Syringa chinensis* Willd., 12 – *Vitis vinifera* L.

Fig. 3. The *in vitro* collection at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology:

1 – *Berberis integerrima* Bunge, 2 – *Corylus avellana* (L.) H. Karst, 3 – *Juglans regia* L., 4 – *Lonicera altaica* Pall., 5 – *Malus domestica* Borkh., 6 – *Populus heterophylla* L., 7 – *Populus pruinosa* Schrenk, 8 – *Pyrus communis* L., 9 – *Rubus caesius* L., 10 – *Solanum tuberosum* L., 11 – *Syringa chinensis* Willd., 12 – *Vitis vinifera* L.



Рис. 4. Коллекция *in vitro* (среднесрочное хранение) лаборатории криосохранения гермоплазмы ГПП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК:

1 – режим хранения 4°C, 2 – режим хранения 8–12°C

Fig. 4. The *in vitro* collection (medium-term storage) at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology:

1 – storage mode 4°C, 2 – storage mode 8–12°C

«Казахский научно-исследовательский институт плодощеводства» (Kabyzbekova et al., 2020; Nurtaza et al., 2021) и в других. Криогенная коллекция семян, апикальных меристем, почек, изолированных зародышевых осей, ДНК в жидком азоте (–196°C) находится только в ИББР, коллекция насчитывает более 700 образцов (см. таблицу, рис. 3) (Romadanova et al., 2016a; Romadanova et al., 2017). Следует отметить, что в вышеупомянутой коллекции сохранены уникальные образцы эндемичных, реликтовых, редких, исчезающих, занесенных в Красную книгу растений, таких как *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., *Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne, *Berberis iliensis* Popov, *Lonicera iliensis* Pojark., *Corylus avellana* (L.) H. Karst., *Pyrus heterophylla* Regel & Schmalh. и другие (Kovalchuk et al., 2014a; Kovalchuk et al., 2014b; Romadanova et al., 2016a; Romadanova et al., 2017; Kushnarenko et al., 2020). Кроме того, в ИББР проводится работа по оздоровлению *in vitro* коллекции от вирусов методами химио-, крио- и термотерапии. На данный момент создана безвирусная *in vitro* коллекция яблоны и картофеля, работа продолжается (Romadanova et al., 2016a; Kushnarenko et al., 2017; Romadanova et al., 2021b). Коллекция *in vitro* используется для научных целей, для создания криогенного банка и для получения саженцев. Кроме того, в лаборатории проводится изучение компонентного состава и активности эфирных масел растений (Schepetkin et al., 2015; Kushnarenko et al., 2016; Utegenova et al., 2018; Romadanova et al., 2021a).

Несмотря на значительный прогресс в области сохранения генетических ресурсов в мире, в одних странах до сих пор не созданы хранилища судного дня, в других эта работа активно ведется, но ученые испытывают трудности с финансированием, не имеют условий для проведения необходимой работы. В результате многие ценные коллекции находятся в опасности. Кроме финансовой поддержки государства для облегчения доступа к информации, необходимо на международном уровне создать

рациональную глобальную базу, в которой будут задокументированы все мировые коллекции хранения генетических материалов *ex situ*. Необходимо повысить информативность на государственном уровне о существующей проблеме.

References / Литература

- Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021: [website]. Available from: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> [accessed May 18, 2022].
- Coelho N., Gonçalves S., Romano A. Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*. 2020;9(3):345. DOI: 10.3390/plants9030345
- De Vicente M.C., Andersson M.S. (eds). DNA banks – providing novel options for genebanks? Rome: IPGRI; 2006. Available from: https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/dna_banks.pdf [accessed Apr. 05, 2022].
- Kabyzbekova B., Kovalchuk I., Mukhitdinova Z., Turdiyev T., Kairova G., Madiyeva G. et al. Reduced major minerals and increased minor nutrients improve micropropagation in three apple cultivars. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2020;56(3):335-349. DOI: 10.1007/s11627-019-10019-1
- Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant growing: [website]. [in Russian] (Казахский НИИ земледелия и растениеводства: [сайт]). URL: <https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-zemledeliya-i-rastenievodstva/> [дата обращения: 23.06.2022].
- Kazakh Research Institute of Potato and Vegetable Growing: [website]. [in Russian] (Казахский НИИ картофелеводства и овощеводства: [сайт]). URL: <https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-kartofelevodstva-i-ovoshhevodstva/> [дата обращения: 30.06.2022].
- Keller E.R.J., Kaczmarczyk A., Senu A. Cryopreservation for plant genebanks – a matter between high expectations and cautious reservation. *CryoLetters*. 2008;29(1):53-62.

- Kim H.H., Popova E., Shin D.J., Yi J.Y., Kim C.H., Yoon M.K. et al. Cryobanking of Korean allium germplasm collections: results from a 10 year experience. *CryoLetters*. 2012;33(1):45-57.
- Kovalchuk I., Turdiev T., Mukhitdinova Z., Frolov S., Reed B.M. Cryopreservation of native Kazakhstan apricot (*Prunus armeniaca* L.) seeds and embryonic axes. *CryoLetters*. 2014a;35(2):83-89.
- Kovalchuk I., Zhumagulova Z., Turdiev T., Reed B.M. Growth medium alterations improve *in vitro* cold storage of pear germplasm. *CryoLetters*. 2014b;35(3):197-203.
- Kushnarenko S., Romadanova N., Aralbayeva M., Zholanova S., Alexandrova A., Karpova O. Combined ribavirin treatment and cryotherapy for efficient *Potato virus M* and *Potato virus S* eradication in potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* shoots. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2017;53(4):425-432. DOI: 10.1007/s11627-017-9839-0
- Kushnarenko S.V., Karasholakova N., Ozek G., Abidkulova K.T., Mukhitdinov N.M., Baser K.H.C. et al. Investigation of essential oils from three natural populations of *Lonicera iliensis*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016;52(4):751-753. DOI: 10.1007/s10600-016-1765-6
- Kushnarenko S.V., Romadanova N.V., Aralbayeva M.M. Current state and *in vitro* conservation of the only endangered population of *Corylus avellana* in Kazakhstan. *Research on Crops*. 2020;21(4):681-686. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.106
- LLP Kazakh Research Institute of Horticulture: [website]. [in Russian] (ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодовоовощеводства»: [сайт]). URL: <http://fvri.kz> [дата обращения: 30.06.2022].
- Lynch P.T., Benson E.E., Keith H. Climate change: the role of *ex situ* and cryo-conservation in the future security of economically important, vegetatively propagated plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2007;82(2):157-160. DOI: 10.1080/14620316.2007.11512213
- National Center for Biotechnology: [website]. Available from: <https://www.biocenter.kz/#> [accessed July 11, 2022].
- Nurtaza A., Magzumova G., Yessimseitova A., Karimova V., Shevtsov A., Silayev D. et al. Micropropagation of the endangered species *Malus niedzwetzkyana* for conservation biodiversity in Kazakhstan. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2021;57(6):965-976. DOI: 10.1007/s11627-021-10174-4
- Pimm S.L., Russell G.J., Gittleman J.L., Brooks T.M. The future of biodiversity. *Science*. 1995;269(5222):347-350. DOI: 10.1126/science.269.5222.347
- Popov A.S., Popova E.V., Nikishina T.V., Vysotskaya O.N. Cryobank of plant genetic resources in Russian Academy of Sciences. *International Journal of Refrigeration*. 2006;29(3):403-410. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2005.07.011
- Rakhimbaev I.R., Kovalchuk I.Yu., Kushnarenko S.V. Biotechnology of fruit plants germplasm cryopreservation. In: *Conservation and sustainable use of plant resources: Proceedings of the International Symposium; August 26–29, 2003; Bishkek*. Bishkek; 2003. p.234-238. [in Russian] (Рахимбаев И.Р., Ковальчук И.Ю., Кушнаренко С.В. Биотехнология криосохранения гермоплазмы плодовых растений. В кн.: *Сохранение и устойчивое использование растительных ресурсов: Материалы международного симпозиума; 26–29 августа 2003 г.; Бишкек*. Бишкек; 2003. С.234-238).
- Red Data Book of Kazakhstan. Vol. 2. Plants. 2nd ed. Astana: ArtPrintXXI; 2014. [in Russian] (Красная книга Казахстана. Т. 2. Растения. 2-е изд. Астана: АртPrintXXI; 2014).
- Reed B.M. The basics of *in vitro* storage and cryopreservation. In: *USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository*. Corvallis, OR; 2002. p.34-46.
- Romadanova N., Karasholakova L., Eshbakova K., Özek G., Özek T., Yur S., et al. Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Berberis iliensis* M. Pop and *Berberis integerrima* Bunge fruits pulp. *Research on Crops*. 2021a;22(4):940-947. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.154
- Romadanova N., Kushnarenko S., Karasholakova L. Development of a common PVS2 vitrification method for cryopreservation of several fruit. *In Vitro Cellular and Developmental Biology*. 2017;53(4):382-393. DOI: 10.1007/s11627-017-9849-y
- Romadanova N., Tolegen A., Koken T., Nurmanov M., Kushnarenko S. Chemotherapy of *in vitro* apple shoots as a method of viruses eradication. *International Journal of Biology and Chemistry*. 2021b;14(1):48-55. DOI: 10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04
- Romadanova N.V., Karasholakova L.N., Makhmutova I.A., Ishmuratova M.Yu., Копыткова Л.А., Кабулова Ф.Д., Кушнаренко С.В. Preservation of barberry (some species) genetic material in a cryobank. *Bulletin of Karaganda University. Series "Biology. Medicine. Geography"*. 2019;3(95):20-26. [in Russian] (Ромаданова Н.В., Карашолакова Л.Н., Махмутова И.А., Ишмуратова М.Ю., Копыткова Л.А., Кабулова Ф.Д., Кушнаренко С.В. Сохранение генетического материала некоторых видов барбариса в криобанке. *Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География»*. 2019;3(95):20-26). URL: <http://rep.ksu.kz/handle/data/8452> [дата обращения: 09.06.2022].
- Romadanova N.V., Mishustina S.A., Gritsenko D.A., Omashva M.Y., Galiakparov N.N., Reed B.M. et al. Cryotherapy as a method for reducing the virus infection of apples (*Malus* sp.). *CryoLetters*. 2016a;37(1):1-9.
- Romadanova N.V., Mishustina S.A., Matakova G.N., Kuhsnarenko S.V., Rakhimbaev I.R., Reed B.M. *In vitro* collection of *Malus* shoot cultures for cryogenic bank development in Kazakhstan. *Acta Horticulturae*. 2016b;1113:271-277. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1113.40
- Schepetkin I.A., Kushnarenko S.V., Özek G., Kirpotina L.N., Utegenova G.A., Kotukhov Yu.A. et al. Inhibition of human neutrophil responses by essential oil of *Artemisia kotuchovii* and its constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63(20):4999-5007. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01307
- Svalbard Global Seed Vault – Crop Trust: [website]. Available from: <https://www.croptrust.org/our-work/svalbard-global-seed-vault/> [accessed May 24, 2022].
- The Main Botanical Garden: [website]. Available from: https://botsad.kz/ru/labs/view/laboratoriya_semenovodstva [accessed May 18, 2022].
- The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Chapter 3. The state of *ex situ* conservation. Rome: FAO; 2010. [in Russian] (Второй доклад о состоянии мировых генетических ресурсов растений для продовольствия и сельского хозяйства. Глава 3. Положение дел в области сохранения *ex situ*. Рим: ФАО; 2010). URL: <http://www.fao.org/3/i1500r/i1500r03.pdf> [дата обращения: 23.06.2022].
- Utegenova G.A., Pallister K.B., Kushnarenko S.V., Ozek G., Ozek T., Abidkulova K.T. et al. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from *Ferula* L. species against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 2018;23(7):1679-1696. DOI: 10.3390/molecules23071679

Информация об авторах

Наталья Владимировна Ромаданова, кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник, РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК, 050040 Республика Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, nata_romadanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1052-2753>

Светлана Вениаминовна Кушнарченко, кандидат биологических наук, профессор, заведующая лабораторией, РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК, 050040 Республика Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, svetlana_bio@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1926-0091>

Information about the authors

Natalya V. Romadanova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, nata_romadanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1052-2753>

Svetlana V. Kushnarenko, Cand. Sci. (Biology), Professor, Head of a Laboratory, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, svetlana_bio@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1926-0091>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 26.05.2022; одобрена после рецензирования 26.07.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 26.05.2022; approved after reviewing on 26.07.2022; accepted for publication on 02.03.2023.