

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 581.1:581.19:581.1.03:581.4:60:502.1:602.6:58

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-37-56



Изучение и создание коллекций *in vitro* редких исчезающих растений семейства Rosaceae

А. С. Земцова¹, Н. А. Алтаева¹, М. М. Аралбаева¹, Н. А. Артимович¹, А. Б. Толеген^{1,2}, С. В. Кушнарченко¹,
Е. Я. Сатеков¹, Н. В. Премина³, Н. В. Ромаданова¹

¹ Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

² Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³ Западно-Алтайский государственный природный заповедник, Риддер, Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Алина Сергеевна Земцова, zemtsovaalina@gmail.com

Актуальность. Актуальность обусловлена необходимостью сохранения генетического разнообразия редких и исчезающих растений семейства Rosaceae, которые играют важную роль в экосистемах и имеют ценность для сельского хозяйства, медицины и декоративного садоводства.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили 9 видов растений семейства Rosaceae, занесенных в Красную книгу Казахстана.

Результаты. В результате экспедиций собрано девять видов растений семейства Rosaceae. Для шести видов оптимизирована методология введения в культуру *in vitro* и микрклонального размножения на основе использования питательной среды Мурасиге и Скуга с добавлением регуляторов роста.

Заключение. Созданная коллекция *in vitro* редких и исчезающих растений семейства Rosaceae является эффективным инструментом для их сохранения и воспроизводства. Эти методы обеспечивают долгосрочное сохранение биоразнообразия и создают возможности для дальнейшего использования генетического материала в научных и прикладных целях.

Ключевые слова: Rosaceae, Красная книга Казахстана, геоботаническое изучение популяций, дескрипторы, коллекция *in vitro*

Благодарности: работа выполнена при поддержке грантового финансирования проекта AP19676010 Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

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

Для цитирования: Земцова А.С., Алтаева Н.А., Аралбаева М.М., Артимович Н.А., Толеген А.Б., Кушнарченко С.В., Сатеков Е.Я., Премина Н.В., Ромаданова Н.В. Изучение и создание коллекций *in vitro* редких исчезающих растений семейства Rosaceae. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(3):37-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-37-56

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-37-56

Studying and setting up *in vitro* collections of rare endangered plants of the Rosaceae family

Alina S. Zemtsova¹, Nazira A. Altayeva¹, Moldir M. Aralbaeva¹, Natalya A. Artimovich¹, Arman B. Tolegen^{1,2}, Svetlana V. Kushnarenko¹, Yeskendir Ya. Satekov¹, Natalya V. Premina³, Natalya V. Romadanova¹

¹ Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³ West Altai State Nature Reserve, Ridder, Kazakhstan

Corresponding author: Alina S. Zemtsova, zemtsovaalina@gmail.com

Background. The relevance is based on the need to preserve the genetic diversity of rare and endangered Rosaceae plants that play an important role in ecosystems and are of value for agriculture, medicine, and ornamental gardening.

Materials and methods. Nine plant species from the Rosaceae family listed in the Red Data Book of Kazakhstan served as the material for this study.

Results. Accessions of 9 Rosaceae species were collected by plant collecting missions. The *in vitro* initiation and micropropagation techniques employing the Murashige and Skoog medium with added growth regulators was optimized for 6 species.

Conclusion. The established *in vitro* collection of rare and endangered plants from the Rosaceae family is an effective tool for their conservation and reproduction. The applied techniques ensure long-term conservation of biodiversity and create opportunities for further use of genetic material for scientific and practical purposes.

Keywords: Rosaceae, Red Data Book, geobotanical population study, descriptors, *in vitro* collection

Acknowledgements: the study was supported from the grant-funded project AP19676010 of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

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

For citation: Zemtsova A.S., Altayeva N.A., Aralbaeva M.M., Artimovich N.A., Tolegen A.B., Kushnarenko S.V., Satekov Ye.Ya., Premina N.V., Romadanova N.V. Studying and setting up *in vitro* collections of rare endangered plants of the Rosaceae family. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):37-56. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-37-56

Введение

В свете стремительной утраты биоразнообразия и надвигающейся угрозы исчезновения множества видов растений, забота о сохранении и защите редких и уязвимых представителей флоры привлекает все большее внимание ученых. Эти зеленые сокровища нашей планеты, несущие в себе уникальные генетические коды и неповторимые экосистемные роли, становятся объектом глубоких исследований и настоятельных призывов к действию, приводя к созданию биотехнологий по сохранению и восстановлению деградирующих популяций (Myers et al., 2000; Molkanova et al., 2015; Marchese, 2015).

Семейство Rosaceae насчитывает более 3000 видов, отличающихся по морфологическим и экологическим особенностям, играющих ключевую роль в поддержании биоразнообразия и функционирования экосистем. Однако в данный момент, в связи с различными антропогенными и природными воздействиями, многие виды растений этого семейства находятся под угрозой исчезновения (Mammadov, Abbaszade, 2022; Afifi et al., 2023; Petruzzello, 2024). Казахстан, с его разнообразными природными условиями и уникальной флорой, не является исключением. В Красную книгу Казахстана занесено 13 видов растений семейства Rosaceae: *Cotoneaster karatavicus* Pojark.; *Crataegus ambigua* C.A. Mey. ex A.K. Becker.; *Dryomocallis tianschanica* (Th. Wolf) Sojak (в Красной книге – *Potentilla tianschanica* Th. Wolf); *Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne; *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.); *Prunus armeniaca* L. (= *Armeniaca vulgaris* Lam.); *Prunus tenella* Batsch (= *Amygdalus ledebouriana* Schlecht.); *Prunus ulmifolia* Franch. (= *Louiseania ulmifolia* (Franch.) Pachom.); *Rosa cinnamomea* L. (= *Rosa pavlovii* Chrshan.); *Sibiraea laevigata* (L.) Maxim. (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.); *S. tianschanica* Pojark.; *Sorbus persica* Hedl.; *Spiraeanthus schrenckianus* (Fisch. & C.A. Mey.) Maxim.) (Red Data Book..., 2014).

Вышеперечисленные растения – это уникальные виды, обладающие лекарственными, декоративными и пищевыми свойствами, являющиеся ценными источниками генофонда. Генетическое разнообразие внутри этих видов позволяет селекционерам разрабатывать новые сорта, устойчивые к болезням и изменяющимся климатическим условиям, что является важным условием для обеспечения глобальной продовольственной безопасности (Romadanova et al., 2023; Petruzzello, 2024).

Сохранение биоразнообразия требует применения многоаспектных стратегий, направленных на преодоление как экологических, так и антропогенных вызовов. Существуют как традиционные, так и нетрадиционные способы сохранения растений *ex situ* (Hogg, 2012; Coelho et al., 2020; Romadanova et al., 2023). К нетрадиционным способам относится в том числе и среднесрочное сохранение в культуре тканей (хладостранение) *in vitro* побегов при низких положительных температурах от 4°C до 12°C (Kovalchuk et al., 2014; Kushnarenko et al., 2020), а также криоконсервация гермоплазмы растений при температуре –196°C (Popov et al., 2006; Kim et al., 2012; Coelho et al., 2020; Kushnarenko et al., 2023).

Незаменимой техникой в настоящее время стало среднесрочное сохранение *in vitro* коллекций растений при низких положительных температурах. Научные исследования в данной области проводятся во многих странах по всему миру (Kumar, Reddy, 2011; Vinoth, Ravindhran, 2013), в том числе и в Казахстане (Romadanova et al., 2023).

В последнее время успешно используются специально созданные криогенные банки, предназначенные для длительного хранения генетического материала при сверхнизких температурах. Это предоставляет возможность неограниченное время сохранять разнообразные ткани и органы растений в жидком азоте, обеспечивая потенциальную регенерацию и использование в полевых условиях (Kim et al., 2012; <https://www.fao.org/home/en>; Lateur et al., 2022). Криогенные банки растений играют важную роль в сохранении генетического разнообразия флоры, особенно для видов, находящихся под угрозой исчезновения (Reed, 2008; Romadanova, 2023).

Успешные примеры из разных стран демонстрируют эффективность различных стратегий и технологий сохранения растительного материала, которые могут быть адаптированы для применения в различных регионах, включая Казахстан. Для данных способов сохранения генетического материала необходимо наличие асептической *in vitro* коллекции. Целью данной работы являлась оптимизация биотехнологии микроклонального размножения гермоплазмы растений семейства Rosaceae, занесенных в Красную книгу Казахстана, а также мониторинг состояния популяций.

Материалы и методы

Объекты исследования и места сбора растительного материала

Для сбора растительного материала были проведены экспедиции в пять областей Казахстана: Алматинскую, Восточно-Казахстанскую, Жамбылскую, Мангистаускую и Туркестанскую. Места сбора растительного материала показаны на рисунке 1. В результате экспедиций за 2023–2024 гг. собрано девять видов (250 образцов): *Cotoneaster karatavicus* – 39, *Crataegus ambigua* – 40, *Malus niedzwetzkyana* – 3, *Malus sieversii* – 55, *Prunus tenella* – 21, *Prunus ulmifolia* – 15, *Sibiraea laevigata* – 31, *Sorbus persica* – 26, *Spiraeanthus schrenckianus* – 20.

Описание популяций

Для оценки состояния популяций семейства Rosaceae использовались дескрипторы, разработанные Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (<https://www.fao.org/4/i1500e/Kazakhstan.pdf>), Международным институтом генетических ресурсов растений, Европейской кооперативной программой по генетическим ресурсам растений и авторами статьи (Lateur et al., 2022). В таблице 1 содержится список условных сокращений, применяемых для обозначения дескрипторов и морфологических признаков растений.

Описание в дескрипторах осуществлялось с учетом 35–49 параметров, варьирующих в зависимости от вида. В природных условиях координаты участков произрастания фиксировали с помощью GPS-навигатора eTREX®H Garmin Montana 750i. Образцы помечали специальной биркой с номером и датой сбора. Места сбора, GPS-координаты и высота произрастания растений семейства Rosaceae указаны в таблице 2.

Для биотехнологических работ выполняли следующие:

1. Сбор плодов. Плоды каждого образца помещали в пластиковые контейнеры объемом 250 мл с крышкой или в полиэтиленовые пакеты.
2. Сбор побегов. Побеги размером 15–30 см срезали секатором и помещали между плотными сложенными

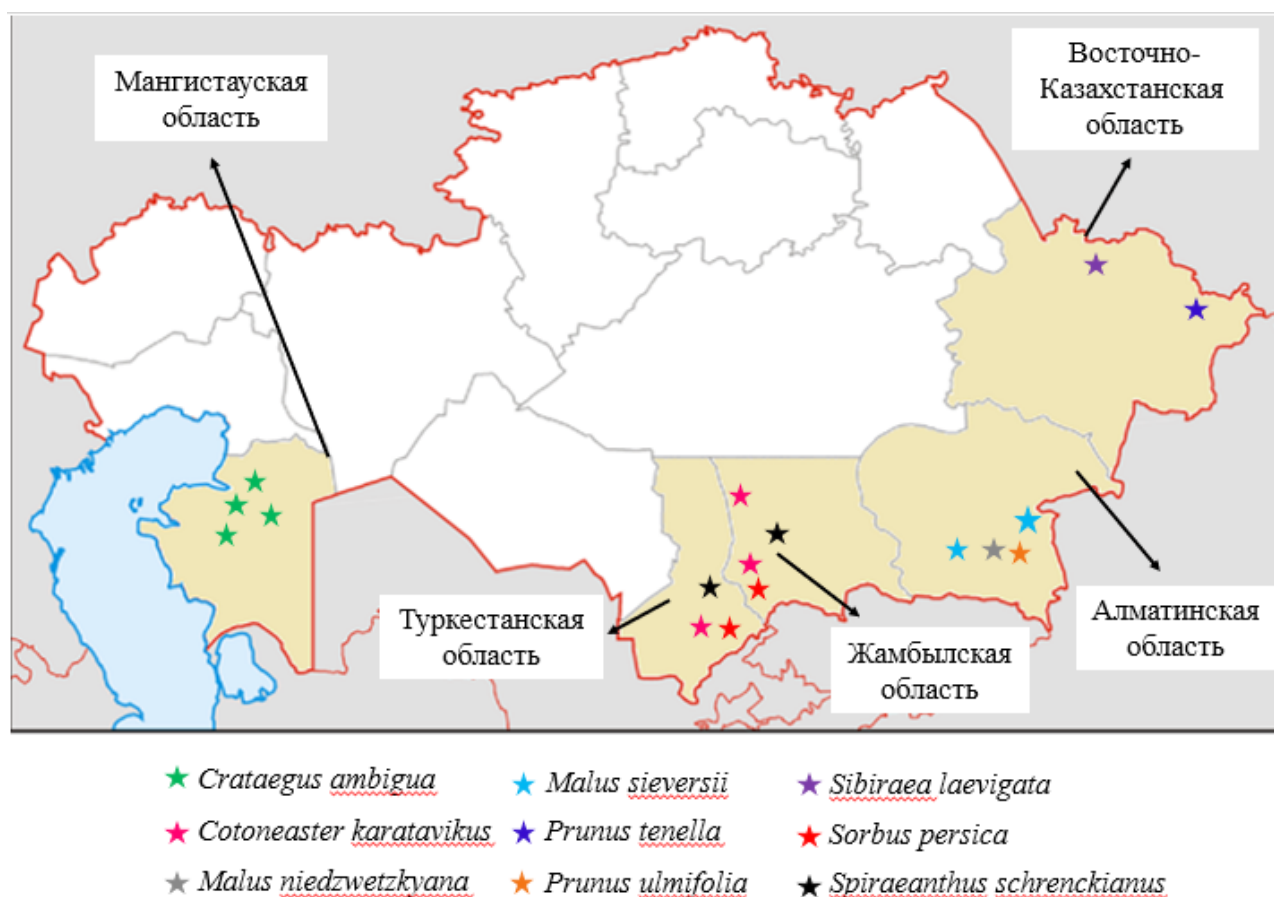


Рис. 1. Места сбора растений семейства Rosaceae

Fig. 1. Rosaceae plant collecting sites

Таблица 1. Список условных сокращений

Table 1. List of abbreviations for descriptors and morphological characters

Дескрипторы		Морфологические признаки			
ВПО	Величина плодов образца	АК	Ассиметричная крона	ОГ	Отличная герметизация
ВКП	Вкусовые качества плодов	БП	Без повреждений	ОМ	Очень мелкие
ВО	Высота образца	ВВС	Величина выше средней	ПК	Пильчатый край
ГВ	Глубина воронки	ВНС	Величина ниже средней	ПБО	Пластика без опушения
ИЦЯ	Интенсивность цвета ядра	ВБ	Взрослое большое	ПСО	Пластика слабо опушенная
КЛ	Край листа	ВЖ	Взрослый жизнеспособный	ПОО	Плодоношение у образца отсутствует
ООП	Основная окраска плодов	ВП	Взрослый плодоносящий	ПОФ	Плоскоокруглая форма плодов
ОСШ	Открывание скорлупы по шву	В	Высокий (-ая)	ПВК	Плохие вкусовые качества
ПЛС	Пластика листа снизу	Г	Густая	ПШФ	Полушаровидная форма
П	Плодоношение	ГВ	Глубокая воронка	ПКО	Пониклая крона образца
ПКО	Плотность кроны образца	Ж	Желтый	ПЭ	Продолговато-эллиптическая

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Дескрипторы		Морфологические признаки			
ПО	Плотность образца	ЖК	Желто-красный	РП	Редкая плотность
ПП	Плотность популяции	З	Зеленый (-ая)	Р	Розовый
ПС	Прочность скорлупы	ЗЖ	Зеленовато-желтый	РЗ	Розовато-зеленый цвет
СО	Состояние образца	ЗК	Зубчатый край	РК	Розовато-красный
ФВО	Фактура внешней оболочки плодов	КФП	Коническая форма плодов	СЦ	Светлый цвет
ФКО	Форма кроны образца	КЦ	Красный	СЖ	Светло-желтый
ФЛ	Форма листа	КБ	Красно-бурый	СП	Слабое плодоношение
ФП	Форма плодов	КЗ	Красно-зеленый	СОП	Сильноопушенная пластинка
ЦКП	Цвет кожуры плодов	КГК	Крупногородчатый край	СПЛ	Слабоопушенная пластинка листа
ЦМП	Цвет мякоти плодов	КК	Крупнопильчатый край	С)	Средний (-ая; -ее; -ие)
ЦК	Целостность кожуры	К	Крупные	СПО	Среднепористая оболочка
ШВ	Ширина воронки	ЛВ	Легко вскрываемая скорлупа	СД	Старое дряхлое
		МПО	Малопористая оболочка	ТВ	Тяжело вскрываемая
		М	Мелкая (-ие)	ТК	Темно-красный
		МГК	Мелкогородчатый край	УФ	Удлиненная форма
		МПК	Мелкопильчатый край пластинки	уяф	Удлиненно-яйцевидная форма
		МНП	Молодой неплодоносящий	У	Узкая
		МП	Молодой плодоносящий	ХВК	Хорошие вкусовые качества
		МКО	Метловидная крона образца	ЦФ	Цилиндрическая форма
		Н	Низкая (-ое)	ШК	Шаровидная крона
		НКО	Неправильная крона образца	Ш	Широкая
		ОП	Обильное плодоношение	ШПК	Широкопирамидальная крона
		ОБП	Оболочка без пор	ШРФ	Широкораскидистая форма
		ОПК	Обратнопирамидальная крона	шцф	Широкоцилиндрическая форма
		ОЯФ	Обратнойяйцевидная форма	ШФ	Широкояйцевидная форма
		ОФ	Округлая форма	ЭФ	Эллиптическая форма
		ОК	Округло-коническая	ЯФ	Яйцевидная форма
		ОЭ	Округло-эллиптическая	ЯК	Ярко-красный
		ОС	Открытая скорлупа		

Таблица 2. Места сбора, GPS-координаты и высота произрастания растений семейства Rosaceae
Table 2. Rosaceae plant collecting sites, their GPS coordinates and altitudes

Образец	Количество образцов	GPS-координаты, высота над уровнем моря, м	Место сбора, год
<i>Cotoneaster karatavicus</i>	21	N42°36'.064" – N42°40'.044" E070°13'.444" – E070°23'.508", 837-844	П1 – Туркестанская область, Сайрам-Угамский национальный парк, ущ. «Кокбулак», 2024
	9	N42°36'.123" – N42°36'.574" E070°23'.671" – E070°24'.047", 932-956	П2 – Туркестанская область, Тюлькубасский район, Водохранилище «Кулан», 2024
	9	N43°05'.101" – N43°05'.146" E069°55'.351" – E069°55'.388", 715-716	П3 – Туркестанская область, ущ. Байжансай, река Улкен Букен, 2024
<i>Crataegus ambigua</i>	10	N44°27'.42,2" – N44°27'.45,8" E50°35'.22,2" – E50°35'.25,1", 51-126	Популяция 1 (П1) – Мангистауская область, урочище «Кизим», 2023
	10	N44°28'.26,3" – N44°28'.27,5" E51°00'.45,4" – E51°00'.50,1", 58-81	П2 – Мангистауская область, ущ. «Сұлтан Ұлы», 2023
	10	N43°39'.02,7" – N43°39'.55,8" E50°35'.22,2" – E50°35'.25,1", 4-12	П3 – Мангистауская область, Мангышлакский экспериментальный ботанический сад, 2023
	10	N44°12'.53,8" – N44°12'.55,5" E51°59'.29,1" – E51°59'.30,8", 252-277	П4 – Мангистауская область, Западный Каратау, ущ. «Самал», 2023
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	2	N43°17'.896" – N43°17'.880" E079°30'.902" – E079°30'.912", 1646-1664	П1 – Алматинская область, Уйгурский район, ущ. «Большой Кыргызсай», 2024
	1	N43°40'.1080", E076,59'.8702", 600	П2 – Алматинская область, Илийский район, 2024
<i>Malus sieversii</i>	35	N43°17'.118" – N43°23'.036" E77°34'.394" – E77°39'.850", 819-1343	П1 – Енбекшиказахский район, Алматинская область, село Турген, 2023
	19	N43°17'.938" – N43°20'.749" E079°29'.802" – E079°37'.927", 1585-1657	П2 – Алматинская область, Уйгурский район, ущ. «Кыргызсай», 2023-2024
	1	N43°38'.240", E080°03'.255", 745	П3 – Алматинская область, Уйгурский район, трасса Чунджа-Кольжат, 2024
<i>Prunus tenella</i>	20	N49°42'.460" – N49°42'.466" E083°43'.463" – E083°43'.492", 710-710	П1 – Восточно-Казахстанская область, западный Алтай, окрестность п. Прибрежный, 2023
	1	N50°32'.305", E083°54'.190", 512	П2 – Восточно-Казахстанская область, окраина г. Риддер, 2024

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Образец	Количество образцов	GPS-координаты, высота над уровнем моря, м	Место сбора, год
<i>Prunus ulmifolia</i>	15	N43°13'29.106" – E76°54'51.132", 867-880	Алматинская область, Главный Ботанический сад, 2023-2024
<i>Sibiraea laevigata</i>	10	N50°19'254" – N50°19'290" E83°32'514" – E083°33'083", 730-793	П1 – Восточно-Казахстанская область, г. Риддер, долина реки Быструха, 2023
	21	N50°17'826" – N50°17'855" E083°29'310" – E083°29'379", 873-880	П2 – Восточно-Казахстанская область, г. Риддер, пойма реки Громотуха, 2024
<i>Sorbus persica</i>	21	N42°24'423" – N42°53'915" E70°34'813" – E70°34'874", 1752-1883	П1 – Туркестанская область, Аксу-Жабаглинский государственный природный заповедник (АЖГПЗ), ущ. «Кши-Каинды», 2023
	5	N42°53'910" – N42°53'915" E70°00'086" – E70°00'091", 1044-1052	П2 – Туркестанская область, АЖГПЗ, ущ. «Ауле Карабастау», 2023 г.
<i>Spiraeanthus schrenckianus</i>	12	N42°44'35.33" – N42°44'39.81" E71°00'01.53" – E71°00'20.97", 1055-1079	П1 – Жамбылская область, Жуалынский район, перевал Куюк, 2023
	8	N42°58'608" – N42°58'623" E69°40'705" – E69°40'707", 527-538	П2 – Туркестанская область, АЖГПЗ, предгорье Каратау, пещера Ак-Мечеть, 2023

картонными листами размером 42 × 59,4 см для изготовления гербария.

3. Сбор черенков. Черенки со спящими почками размером 25–40 см срезали секатором в начале марта. Черенки использовали для проращивания в лабораторных условиях (ЛУ).

Введение в культуру *in vitro*

В ЛУ семена всех образцов очищали от мякоти, просушивали и стерилизовали в (1 : 1) коммерческом отбеливателе «Белизна» (5–15% гипохлорита натрия, щелочные компоненты ≤ 5%, вода) в течение 5 минут.

Опыт 1 (О1) – семена стратифицировали в пластиковых контейнерах объемом 300 мл, заполненных перлитом (Union Perlite, Алматы, Казахстан; <https://perlite.kz>) при 4°C (8 недель), освещенность – 10 μmol m⁻² s⁻¹, 8-часовой фотопериод (акклиматизация в холодных условиях, АХ).

Через 8 недель контейнеры переносили в светокультуральную комнату, температура – 24 ± 1°C, освещенность – 40 μmol m⁻² s⁻¹, фотопериод – 16 ч (стандартные условия, СУ); отросшие в результате побеги (1–2 см) стерилизовали в 0,1% HgCl₂ в течение 4–9 мин, промывали стерильной водой и помещали в пробирки (150 × 25 мм) (PhytoTechnology Laboratories, Lenexa, KS, USA) со средой Мурасиге и Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1962): 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП), 0,02 мг/л индолмасляной кислоты (ИМК), 1,75 г/л джелрайта, 4 г/л агара, pH 5,7.

Семена стратифицировали (8 недель) в пластиковых контейнерах объемом 300 мл в условиях АХ, после чего их или изолированные из них зародышевые оси стерилизовали в 0,1% HgCl₂ в течение 5 мин и использовали для: Опыт 2/1 (О2/1) – семена проращивали в пробирках в СУ на среде Кнопа (Кноп, 1865): 1 г/л Ca(NO₃)₂, 0,25 г/л MgSO₄·7H₂O, 0,25 г/л KH₂PO₄, 0,125 г/л KCl, 27,8 мг/л FeSO₄·7H₂O, 37,3 мг/л Na₂EDTA·2H₂O, 1,75 г/л джелрайта, 4 г/л агара, pH 5,7; Опыт 2/2 (О2/2) – зародышевые оси проращивали в пробирках в СУ на среде Кнопа; Опыт 2/3 (О2/3) – семена проращивали в пробирках в СУ на среде МС; Опыт 2/4 (О2/4) – зародышевые оси проращивали в пробирках в СУ на среде МС. Контролем служили: семена, пророщенные в перлите без стратификации (К1); семена, пророщенные в пробирках в СУ на среде Кнопа без стратификации (К2); семена, пророщенные в пробирках в СУ на среде МС без стратификации (К3).

В культуру *in vitro* вводили также побеги *Prunus ulmifolia* и *Malus sieversii*, полученные путем проращивания однолетних черенков в ЛУ в период с февраля по март, и побеги, проросшие в естественных условиях в апреле – мае. Черенки со спящими почками размером 30–40 см обрабатывали мыльным раствором под проточной водой, после чего проводили поверхностную стерилизацию раствором (1 : 1) отбеливателя «Белизна» в течение 5 мин. Основания черенков погружали в емкость с водой на глубину 15 см, ежедневно меняли срез и обновляли воду (Romadanova et al., 2016). Побеги, полученные из проросших в перлите семян (2–3 см), из проросших спящих почек (1–2 см), проросшие в естественной среде (размером 2–3 см), промывали в мыльном растворе, после чего обрабатывали 0,1% HgCl₂ в стерильных условиях в течение 5 мин для побегов, проросших спящих почек и 7 мин для побегов, полученных из проросших семян и проросших в естественной среде. Обработанные побеги помещали в пробирки со средой МС, описанной выше (Romadanova et al., 2016).

Микроклональное размножение

Для получения высокого коэффициента размножения (КР) использовали среду МС с различными концентрациями фитогормонов в зависимости от генотипа (табл. 3). КР асептических побегов после 4 недель культивирования рассчитывали по формуле: $P = a/vc$, где «а» – количество образовавшихся побегов, «в» – количество высаженных побегов, «с» – количество культивирований.

Скрининг эндофитной контаминации

Полученные *in vitro* побеги тестировали на наличие эндофитной микрофлоры на специализированной среде 523: 10 г/л сахарозы, 8 г/л гидролизата казеина, 4 г/л дрожжевого экстракта, 2 г/л KH₂PO₄, 0,15 г/л MgSO₄·7H₂O, 6 г/л джелрайта, pH 6,9 (Viss et al., 1991), асептические побеги переносили в культуральные сосуды (237 мл) (PhytoTechnology Laboratories, Lenexa, KS, USA).

Статистический анализ

В экспериментах по введению в культуру *in vitro* использовали по 14–56 побегов для проведения эксперимента в трехкратной повторности. Общее количество побегов, индексированных с использованием бактериальной питательной среды 523, варьировалось от 14 до 86, в зависимости от доступности образцов, полученных в каждом образце после инициации. Средние значения и стандартная ошибка (SE) рассчитывали по повторности экспериментов и проанализировали с помощью дисперсионного анализа. Тесты разделения средних значений выполнены с использованием теста Тьюки, при $P \leq 0,05$ значения считались существенно различными. Все анализы выполнялись с использованием пакета программного обеспечения SYSTAT 13.0 (<https://systat.informer.com/13.0>).

Результаты и обсуждение

Описание популяций

Распределение качественных морфологических признаков в популяциях представлены (табл. 4). Общий вид растений, плоды и гербарий показаны (рис. 2).

Cotoneaster karatavicus. Основные виды растительности в районе сбора популяций – это *Acer platanoides* L., *Crataegus laevigata* (Poir.) DC., *Fraxinus excelsior* L., *Rosa spinosissima* L. Поражаемость деревьев не превышает 5–10% (некроз).

Crataegus ambigua. Доминантные виды растений в месте произрастания: *Caragana grandiflora* (M. Bieb.) DC., *Elaeagnus angustifolia* L., *Morus alba* L., *Rhamnus sintenisii* Rech. f. Отмечен некроз и *Aphis pomi* De Geer 35–70%.

Malus niedzwetzkyana. В месте сбора популяций отмечены: *Berberis heteropoda* Schrenk, *Prunus armeniaca*, *Ulmus pumila* L.

Яблони поражены (20–65,7%) различными вредителями: *Cydia pomonella* (Linnaeus), *Hyphantria cunea* Drury, *Tetranychidae* Donnadieu и бактериальным ожогом (*Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al.).

Malus sieversii. Доминантные виды растений в месте сборов: *Berberis heteropoda*, *Elaeagnus angustifolia*, *Lonicera tatarica* L., *Prunus armeniaca* и другие. Поражаемость деревьев – 30,1%, в основном это *Venturia pirina*, *Plasmopara viticola* и другие грибково-ржавчинные заболевания.

Prunus tenella. В месте сбора популяций отмечено произрастание *Lonicera tatarica*, *Rosa spinosissima*, *Spiraea hypericifolia* L., *Stipa capillata* L. Вредители и болезни не выявлены (< 5%).

Таблица 3. Варианты питательных сред для микроклонального размножения побегов *in vitro* растений семейства Rosaceae

Table 3. Variants of nutrient media for Rosaceae plant shoot micropropagation

Название вида	Варианты питательных сред
<i>Crataegus ambigua</i>	1) МС с добавлением 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7; 2) МС с 30 г/л сахарозы, 0,2 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7; 3) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,1 мг/л ИМК, pH 5,7; 4) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,02 мг/л ИМК, pH 5,7; 5) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,03 мг/л ИМК, pH 5,7
<i>Prunus tenella</i>	1) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 7,0 мг/л FeSO ₄ ·7H ₂ O, 9,3 мг/л Na ₂ EDTA 2H ₂ O, 166 мг/л CaCl ₂ , pH 5,7; 2) ½ МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 7,0 мг/л FeSO ₄ ·7H ₂ O, 9,3 мг/л Na ₂ EDTA 2H ₂ O, 166 мг/л CaCl ₂ , pH 5,7; 3) ½ МС с 20 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 7,0 мг/л FeSO ₄ ·7H ₂ O, 9,3 мг/л Na ₂ EDTA 2H ₂ O, 166 мг/л CaCl ₂ , pH 5,7; 4) ½ МС с 20 г/л сахарозы, 1,0 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 7,0 мг/л FeSO ₄ ·7H ₂ O, 9,3 мг/л Na ₂ EDTA 2H ₂ O, 166 мг/л CaCl ₂ , pH 5,7; 5) ½ МС с 20 г/л сахарозы, 1,0 мг/л БАП, 0,05 мг/л ИМК, 7,0 мг/л FeSO ₄ ·7H ₂ O, 9,3 мг/л Na ₂ EDTA 2H ₂ O, 166 мг/л CaCl ₂ , pH 5,7
<i>Prunus ulmifolia</i>	1) МС с 30 г/л сахарозы, 1 мл/л БАП, pH – 5,7; 2) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мл/л БАП, pH 5,7; 3) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мл/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7; 4) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мл/л БАП, 0,05 мг/л ИМК, pH 5,7; 5) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мл/л БАП, 0,02 мг/л ГК, pH 5,7
<i>Sibiraea laevigata</i>	1) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH – 5,7; 2) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 0,1 мл/л ГК, pH 5,7; 3) МС с 30 г/л сахарозы, 1 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 0,1 мл/л ГК, pH 5,7; 4) МС с 30 г/л сахарозы, 1 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 0,2 мл/л ГК, pH 5,7; 5) МС с 30 г/л сахарозы, 1 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 0,3 мл/л ГК, pH 5,7
<i>Spiraeanthus schrenckianus</i>	1) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7; 2) МС с 30 г/л сахарозы, 1,0 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7; 3) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,1 мг/л ИМК, pH 5,7; 4) МС с 30 г/л сахарозы, 1,0 мг/л БАП, 0,1 мг/л ИМК, pH 5,7; 5) МС с 30 г/л сахарозы, 0,5 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, 0,1 мг/л ГК, pH 5,7; 6) МС с 30 г/л сахарозы, 0,2 мг/л БАП, 0,02 мг/л ИМК, pH 5,7; 7) МС с 30 г/л сахарозы, 0,1 мг/л БАП, 0,01 мг/л ИМК, pH 5,7

Таблица 4. Распределение качественных морфологических признаков у дикорастущих видов растений семейства Rosaceae

Table 4. Distribution of qualitative morphological characters in Rosaceae wild plant species

Название / Дескрипторы		Кол-во	Количество образцов, %				
П1 <i>Cotoneaster karatavicus</i>	СО	9	ВЖ (7/77,8)	МП (2/22,2)			
	ФО	9	ОФ (7/77,8)	ПШФ (2/22,2)			
	ПО	9	Г (2/22,2)	С (6/66,7)	РП (1/11,1)		
	П	9	СП (7/77,8)	С (1/11,1)	ОП (1/11,1)		
	ФЛ	9	ЯФ (8/88,9)	УЯФ (1/11,1)			
	ФП	9	ЦФ (4/44,4)	ОК (5/55,6)			
	ЦКП	9	КЦ (2/22,2)	КЗ (3/33,4)	РК (2/22,2)	КБ (2/22,2)	
	ЦК	9	С (8/88,9)	БП (1/11,1)			

Таблица 4. Продолжение

Table 4. Continued

Название / Дескрипторы		Кол-во	Количество образцов, %				
П2 <i>Cotoneaster karataevicus</i>	ПП	21	Н (5/23,8)	С (16/76,2)			
	СО	21	ВЖ (8/38,1)	МП (4/19,1)	МНП (9/42,9)		
	ФО	21	ОФ (12/57,2)	ПШФ (9/42,9)			
	ПО	21	РП (10/47,6)	С (11/52,4)			
	ФЛ	21	ЯФ (20/95,2)	УЯФ (1/4,8)			
	П	8	ПОО (13/61,9)	СП (2/9,6)	С (4/19,1)	ОП (2/9,5)	
	ФП	8	ЦФ (3/37,5)	ЯФ (2/25,0)	ОКФ (3/37,5)		
	ЦКП	8	КЗ (3/37,5)	РЗ (3/37,5)	ЗЦ (1/12,5)	РЦ (1/12,5)	
	ЦК	8	С (4/50,0)	БП (4/50,0)			
П3 <i>Cotoneaster karataevicus</i>	ПП	9	Н (1/11,1)	С (8/88,9)			
	СО	9	ВЖ (4/44,4)	МП (5/55,6)			
	ФО	9	ОФ (5/55,6)	ПШФ (4/44,4)			
	ПО	9	С (8/88,9)	РП (1/11,1)			
	П	9	СП (2/22,2)	С (2/22,2)	ОП (5/55,6)		
	ФЛ	9	ЯФ (7/77,8)	УЯФ (3/22,2)			
	ФП	9	ЦФ (2/22,2)	ОК (7/77,8)			
	ЦКП	9	КЦ (3/33,3)	КЗ (3/33,3)	РЦ (3/33,4)		
	ЦК	9	С (1/11,1)	БП (8/88,9)			
П1 <i>Crataegus ambigua</i>	ПП	10	Н (9/90,0)	С (1/10,0)			
	ВО	10	Н (5/50,0)	С (5/50,0)			
	ФКО	10	ШК (1/10,0)	АК (9/90,0)			
	ПКО	10	С (9/90,0)	РП (1/10,0)			
	П	10	СП (4/40,0)	С (6/60,0)			
	ВПО	10	М (3/30,0)	С (7/70,0)			
	ВКП	10	ПВК (1/10,0)	ХВК (9/90,0)			
П2 <i>Crataegus ambigua</i>	СО	10	ВЖ (4/40,0)	МП (6/60,0)			
	ПКО	10	С (5/50,0)	РП (5/50,0)			
	П	10	СП (3/30,0)	С (6/60,0)	ОП (1/10,0)		
П3 <i>Crataegus ambigua</i>	СО	10	ВЖ (3/30,0)	МП (7/70,0)			
	ФКО	10	ШК (3/30,0)	АК (7/70,0)			
	ПКО	10	С (9/90,0)	РП (1/10,0)			
	П	10	СП (1/10,0)	С (7/70,0)	ОП (2/20,0)		
П4 <i>Crataegus ambigua</i>	СО	10	ВЖ (9/90,0)	МП (1/10,0)			
	ПКО	10	С (6/60,0)	РП (4/40,0)			
	П	10	СП (5/50,0)	С (4/40,0)	ОП (1/10,0)		
	ВКП	10	С (3/30,0)	ХВК (7/70,0)			

Таблица 4. Продолжение

Table 4. Continued

Название / Дескрипторы		Кол-во	Количество образцов, %				
П1 <i>Malus niedzwetzkyan</i>	ФКО	2	ПКО (1/50,0)	НКО (1/50,0)			
	ПКО	2	Г (1/50,0)	С (1/50,0)			
	ФЛ	2	УФ (1/50,0)	ЯФ (1/50,0)			
	ПЛС	2	ПБО (1/50,0)	ПСО (1/50,0)			
	КЛ	2	МК (1/50,0)	МПК (1/50,0)			
	ФП	2	ОФ (1/50,0)	КФП (1/50,0)			
	ЦКП	2	Р (1/50,0)	КБ (1/50,0)			
	ШВ	2	У (1/50,0)	С (1/50,0)			
П1 <i>Malus sieversii</i>	ПП	35	Н (14/40,0)	С (19/54,3)	В (2/5,7)		
	СО	35	СД (4/11,4)	МНП (3/8,6)	ВЖ (20/57,1)	МП (5/14,3)	ВБ (3/8,6)
	ВО	35	Н (5/14,3)	С (16/45,7)	В (14/40,0)		
	ФКО	35	ШПК (3/8,6)	М (8/22,9)	ОФ (18/51,4)	НКО (6/17,1)	
	ПКО	35	Г (9/25,7)	С (19/54,3)	РП (7/20,0)		
	П	35	ПОО (2/5,7)	СП (24/68,6)	С (5/14,3)	ОП (4/11,4)	
	ФЛ	35	ЭФ (4/11,4)	УФ (2/5,7)	ЯФ (20/57,1)	ШФ (9/25,7)	
	ПЛС	35	СПЛ (17/48,6)	СОП (18/51,4)			
	КЛ	35	МГК (1/2,9)	МПК (13/37,1)	КК (21/60,0)		
	ФП	33	ОФ (27/81,9)	ПОФ (1/3,0)	ОК (5/15,1)		
	ВПО	33	М (14/42,5)	ВНС (8/24,2)	С (8/24,2)	ВВС (3/9,1)	
	ВКП	33	ПВК (26/78,8)	С (7/21,2)			
	ЦМП	33	З (30/90,9%)	Ж (3/9,1)			
	ООП	33	З (21/63,6)	ЗЖ (8/24,2)	СЖ (2/6,1)	ЖК (2/6,1)	
	ЦК	33	С (29/87,9)	БП (4/12,1)			
	ГВ	33	М (12/36,4)	С (16/48,5)	ГВ (5/15,1)		
	ШВ	33	У (9/27,3)	С (23/69,7)	Ш (1/3,0)		
П2 <i>Malus sieversii</i>	ПП	19	Н (9/47,4)	С (6/31,6)	В (4/21,0)		
	СО	19	ВЖ (8/42,1)	МП (2/10,5)	ВБ (9/47,4)		
	ВО	19	Н (1/5,3)	С (5/26,3)	В (13/68,4)		
	ФКО	19	ШПК (7/36,8)	ОФ (10/52,6)	ПКО (1/5,3)	НКО (1/5,3)	
	ПКО	19	Г (10/52,6)	С (9/47,4)			
	П	19	СП (7/36,8)	С (6/31,6)	ОП (6/31,6)		
	Л	19	ЯФ (6/31,6%)	УЯФ (7/36,8%)	ОЯФ (2/10,5)	ЭФ (4/21,1)	
	ПЛС	19	ПБО (1/5,3)	СПЛ (10/52,6)	СОП (8/42,1)		
	КЛ	19	КК (6/31,6)	МПК (7/36,8)	ПК (2/10,5)	МК (4/21,1)	
	ФП	19	ОФ (9/47,4)	ПОФ (1/5,3)	ШЦФ (1/5,3)	КФП (8/42,1)	
	ВПО	19	М (1/5,3)	ВНС (5/26,3)	С (10/52,6)	ВВС (2/10,5)	К (1/5,3)

Таблица 4. Продолжение

Table 4. Continued

Название / Дескрипторы		Кол-во	Количество образцов, %				
П2 <i>Malus sieversii</i>	ВКП	19	ПВК (10/52,6)	С (8/42,1)	ХВК (1/5,3)		
	ООП	19	З (10/52,6)	ЗЖ (9/47,4)			
	ЦК	19	С (15/78,9)	БП (4/21,1)			
	ГВ	19	М (5/26,3)	С (11/57,9)	ГВ (3/15,8)		
	ШВ	19	У (3/15,8)	С (13/68,4)	Ш (3/15,8)		
П1 <i>Prunus tenella</i>	СО	20	ВЖ (7/35,0)	ВП (7/35,0)	МП (3/15,0)	МНП (3/15,0)	
	ВО	20	Н (6/30,0)	С (7/35,0)	В (7/35,0)		
	ПКО	20	Г (2/10,0)	С (10/50,0)	РП (8/40,0)		
	П	20	ПОО (2/10,0)	СП (18/90,0)			
	ВПО	18	ОМ (1/5,6)	М (2/11,1)	С (15/83,3)		
	ФВО	18	ОБП (2/11,1)	МПО (13/72,2)	СПО (3/16,7)		
	ОСШ	18	ОГ (13/72,2)	ОС (5/27,8)			
	ПС	18	ТВ (14/77,8)	ЛВ (4/22,2)			
	ИЦЯ	18	СЦ (12/66,7)	С (6/33,3)			
П1 <i>Prunus ulmifolia</i>	СО	15	ВЖ (8/53,3)	МП (7/46,7)			
	П	15	ПОО (7/46,7)	СП (8/53,3)			
	ВО	15	Н (4/26,7)	С (11/73,3)			
	ФКО	15	ШПК (7/46,7)	ОПК (8/53,3)			
	ПКО	15	Г (9/60,0)	С (6/40,0)			
	ФЛ	15	ЭФ (4/26,7)	УФ (4/26,7)	ШФ (7/46,7)		
	ФП	15	ОФ (7/46,7)	ШЦФ (8/53,3)			
П1 <i>Sibiraea laevigata</i>	ЦКП	7	ЯК (4/57,1)	ТК (3/42,9)			
	ПП	10	Н (2/20,0)	С (4/40,0)	В (2/20,0)		
	СО	10	ВБ (1/10,0)	ВЖ (5/50,0)	МП (4/40,0)		
	ВО	10	Н (4/40,0)	В (6/60,0)			
	ПКО	10	Г (4/40,0)	С (5/50,0)	РП (1/10,0)		
	П	10	СП (7/70,0)	С (2/20,0)	ОП (1/10,0)		
	ЦК	10	С (4/40,0)	БП (6/60,0)			
	СО	21	ВЖ (19/90,5)	МП (2/9,5)			
П2 <i>Sibiraea laevigata</i>	ВО	21	С (5/23,8)	В (16/76,2)			
	ФКО	21	ОФ (9/42,9)	МКО (9/42,9)	НКО (3/14,3)		
	ПКО	21	Г (19/90,5)	С (2/9,5)			
	П	21	С (4/19,0)	ОП (17/81,0)			

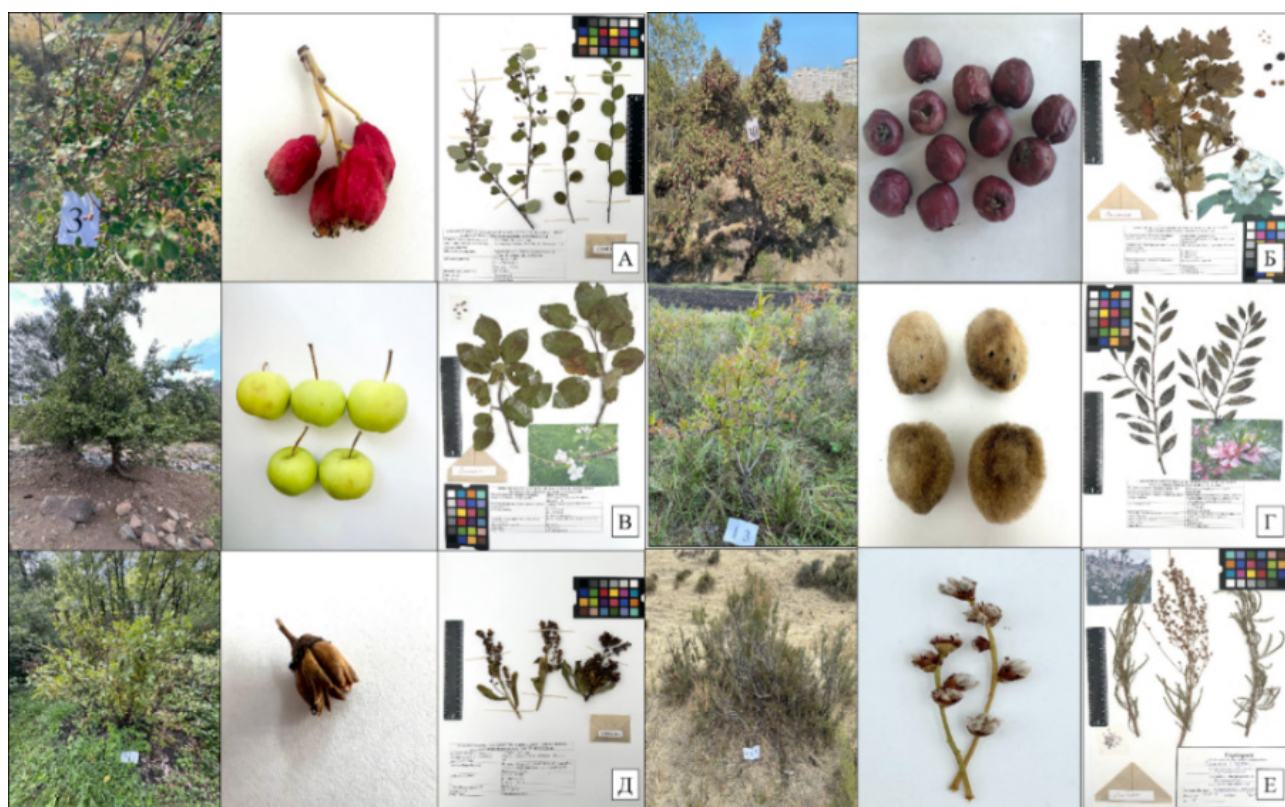
Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

Название / Дескрипторы		Кол-во	Количество образцов, %				
П1 <i>Sorbus persica</i>	ПП	21	Н (7/33,3)	С (1/4,8)	В (13/61,9)		
	СО	21	ВЖ (12/57,1)	МНП (9/42,9)			
	ВО	21	Н (8/38,1)	С (9/42,9)	В (4/19,0)		
	ФКО	21	ОПК (17/81,0)	ОФ (4/19,0)			
	ПКО	21	Г (3/14,3)	С (15/71,4%)	РП (3/14,3)		
	ФЛ	21	ЭФ (3/14,3)	ПЭ (4/19,0)	ОЭ (14/66,7)		
	ПЛС	21	СПЛ (8/38,1)	СОП (13/61,9)			
П2 <i>Sorbus persica</i>	СО	5	ВЖ (1/20,0)	МП (1/20,0)	МНП (3/60,0)		
	ВО	5	Н (3/60,0)	В (2/40,0)			
	ФКО	5	ОПК (4/80,0)	НКО (1/20,0)			
	ПКО	5	С (3/60,0)	РП (2/40,0)			
	ФЛ	5	ЭФ (1/20,0)	ПЭ (1/20,0)	ОЭ (3/60,0)		
П1 <i>Spiraeanthus schrenckianus</i>	ПП	12	Н (9/75,0)	С (3/25,0)			
	СО	12	ВЖ (11/91,7)	МП (1/8,3)			
	ВО	12	Н (9/75,0)	С (2/16,7)	В (1/8,3)		
	ПКО	12	Г (2/16,7)	С (7/58,3)	РП (3/25,0)		
	П	12	СП (3/25,0)	С (5/41,7)	ОП (4/33,3)		
	ВПО	12	С (8/66,7)	ВВС (4/33,3)			
П2 <i>Spiraeanthus schrenckianus</i>	ПП	8	В (7/87,5)	С (1/12,5)			
	ВО	8	Н (7/87,5)	С (1/12,5)			
	ФКО	8	ШК (6/75,0)	ШРФ (2/25,0)			
	ПКО	8	Г (7/87,5)	С (1/12,5)			
	ВПО	8	М (1/12,5)	С (4/50,0)	ВВС (2/25,0)	ВНС (1/12,5)	

Примечание: сокращения приведены в таблице 1 (см. раздел «Материалы и методы»)

Note: abbreviations are deciphered in Table 1 (see the Material and Methods section)



А) *Cotoneaster karatavicus* образец № 3 (П1); Б) *Crataegus ambigua* (П3); В) *Malus sieversii* (П2); Г) *Prunus tenella* (П1);
Д) *Sibiraea laevigata* (П1); Е) *Spiraeanthus schrenckianus* (П1)

Рис. 2. Общий вид, плоды и гербарий растений семейства Rosaceae

Fig. 2. General appearance, fruits and herbarium of Rosaceae plants

Sibiraea laevigata. В месте сбора произрастают *Rosa spinosissima*, *Daphne altaica* Pall. и *Lonicera tatarica*. Все кустарники поражены тлей, отмечается поражение мучнистой росой и грибково-ржавчинными заболеваниями.

Prunus ulmifolia. Отмечено слабое плодоношение. Вредителей и заболеваний не обнаружено.

Sorbus persica. Доминантные виды растений в местах сбора: *Cerasus tianshanica* Pojark., *Crataegus turkestanica* Pojark., *Juniperus semiglobosa* Regel, *Filipendula vulgaris* Moench, *Fraxinus sogdiana* Bunge и другие. Отмечено поражение ржавчиной – 19–31,7%. Плодоношение отсутствовало.

Spiraeanthus schrenckianus. Популяции с *Gaultheria procumbens* L. формируют кустарниковые заросли. Поражаемость растений – 5%, на трех образцах были обнаружены коконы пауков (*Argiope bruennichi* Scopoli).

Введение в культуру *in vitro*

Для введения в культуру *in vitro* *Crataegus ambigua* использовали семена, которые проращивали в перлите, однако прорастания не отмечали. Семена боярышника защищены толстой скорлупой, в природных условиях при попадании плодов в землю мякоть плода гнивает, а скорлупа размягчается, соответственно для прорастания семян в ЛУ требуется больше времени. Поэтому для введения в культуру *in vitro* были использованы изолированные зародышевые оси (табл. 5, рис. 3) (Kheloufi et al., 2019). Для *Malus sieversii* и *Sibiraea laevigata* максимальный процент введения в культуру *in vitro* получен при введении проростков в О1, для *Prunus tenella* максимальный процент введения в культуру *in vitro* получен при введении зародышевых осей на среду Кнопа в О2/2,

для *Spiraeanthus schrenckianus* максимальный процент получен в О2/1. Следует отметить, что у всех образцов стратификация при 4°C увеличивала процент всхожести семян. Проращивание семян *in vitro* на среде МС давало стабильно низкие результаты всхожести во всех вариантах. Жизнеспособность семян и зародышевых осей достаточно высокая, также отмечен низкий процент поверхностной (7,2%) и внутренней (22,1%) контаминации в среднем по образцам. Семена, в отличие от побегов, в меньшей степени подвержены инфицированию извне, поэтому в большей части остаются стерильными (Shaik, Thomas, 2019).

Выявлено, что оба метода подходят для введения побегов в культуру *in vitro* в разное время года и при варианте недоступности семян. Процент жизнеспособности в среднем при первом способе составил 57,4%, при втором – 47,6%. Достоверных отличий между вариантами не обнаружено.

Для введения в культуру *in vitro* использовали также побеги *Prunus ulmifolia* и *Malus sieversii*, проросшие из черенков в ЛУ, и побеги, проросшие в естественных условиях (рис. 3, 4).

Микроклональное размножение

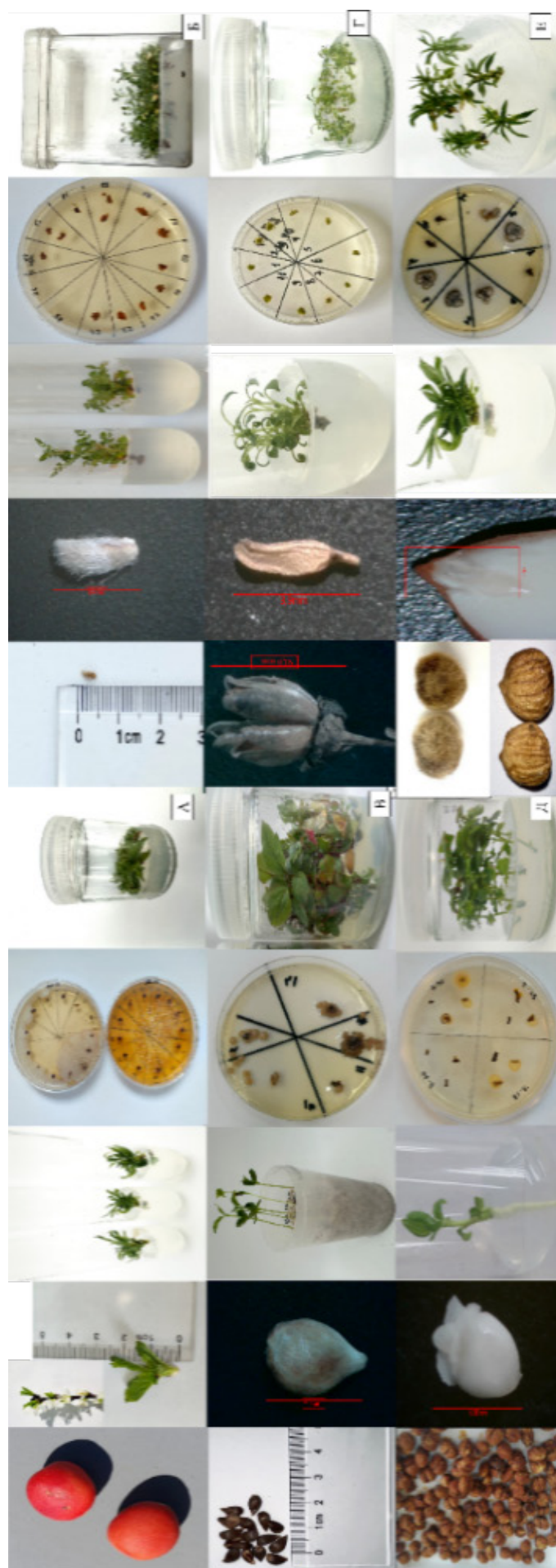
Состав питательной среды для размножения в культуре тканей оказывает глубокое влияние как на индукцию образования придаточных побегов, так и на стимулирование пролиферации пазушных побегов (Bonnart et al., 2022; Pasternak, Steinmacher, 2024). Среда МС (Murashige, Skoog, 1962) часто успешно используется для культивирования побегов в культуре *in vitro*, а ее дополнение фитогормонами служит инструментом для регу-

Таблица 5. Введение в культуру *in vitro* растений семейства RosaceaeTable 5. *In vitro* initiation of Rosaceae plants

Кол-во образцов	Вариант эксперимента	Длительность стерилизации побегов в HgCl ₂ , мин					Асептические побеги после тестирования на среде 523	
		4	5	6	7	9		
		Жизнеспособность побегов, %					шт.	%
Crataegus ambigua								
60	01	-	0 ^f	-	0 ^f	-	0	-
80	02/2	52,6 ± 8,0 ^{bc}	-	7,3 ± 4,2 ^b	-	0 ^f	15	40,3 ± 6,7 ^{cd}
80	02/4	31,7 ± 7,0 ^{cd}	-	42,2 ± 4,7 ^c	-	7,7 ± 5,3 ^{df}	9	39,8 ± 5,1 ^{cd}
80	K1	0 ^f	-	0	-	0 ^f	0	0 ^f
Malus sieversii								
60	01	29,4 ± 5,3 ^{cd}	-	45,9 ± 4,0 ^c	-	-	16	72,8 ± 5,4 ^b
60	02/1	23,7 ± 12,2 ^d	-	37,1 ± 4,0 ^{cd}	-	-	14	75,1 ± 13,7 ^b
60	02/3	15,6 ± 11,8 ^{df}	-	19,1 ± 4,7 ^d	-	-	6	53,9 ± 6,5 ^{bc}
60	K1	17,8 ± 12,6 ^d	-	22,7 ± 12,8 ^{cd}	-	-	6	47,3 ± 8,3 ^c
60	K2	32,8 ± 14,1 ^{cd}	-	37,6 ± 12,3 ^{cd}	-	-	11	53,8 ± 7,1 ^{bc}
Prunus tenella								
80	02/2	22,5 ± 10,7 ^d	-	-	34,3 ± 7,5 ^{cd}	0 ^f	12	71,4 ± 8,8 ^b
80	02/4	14,9 ± 12,8 ^{df}	-	-	19,5 ± 12,8 ^d	0 ^f	5	52,8 ± 9,3 ^{bc}
Sibiraea laevigata								
60	01	61,5 ± 11,7 ^{bc}	-	38,2 ± 12,6 ^{cd}	-	-	30	100 ± 0,0 ^a
60	02/1	56,2 ± 5,7 ^{bc}	-	36,7 ± 13,1 ^{cd}	-	-	29	100 ± 0,0 ^a
60	02/3	33,4 ± 14,4 ^{cd}	-	25,8 ± 12,9 ^d	-	-	18	100 ± 0,0 ^a
60	K1	54,5 ± 13,5 ^{bc}	-	34,0 ± 13,3 ^{cd}	-	-	27	100 ± 0,0 ^a
60	K2	56,9 ± 12,4 ^{bc}	-	37,3 ± 5,8 ^{cd}	-	-	28	100 ± 0,0 ^a
60	K3	27,1 ± 14,0 ^{cd}	-	26,9 ± 5,5 ^{cd}	-	-	16	100 ± 0,0 ^a
Spiraeanthus schrenckianus								
60	01	-	37,3 ± 12,2 ^{cd}	-	26,9 ± 12,3 ^{cd}	-	19	100 ± 0,0 ^a
60	02/1	-	41,1 ± 12,5 ^c	-	35,6 ± 14,8 ^{cd}	-	23	100 ± 0,0 ^a
60	02/3	-	20,9 ± 14,6 ^d	-	12,9 ± 12,6 ^{df}	-	10	100 ± 0,0 ^a
60	K1	-	0 ^f	-	0 ^f	-	-	-
60	K2	-	30,2 ± 2 0,7 ^{cd}	-	20,5 ± 12,9 ^d	-	15	100 ± 0,0 ^a
60	K3	-	13,7 ± 12,9 ^{df}	-	9,5 ± 11,9 ^{df}	-	14	100 ± 0,0 ^a
Ср. знач. ± ст. откл		33,2 ± 18,2 ^{cd}	20,5 ± 15,5 ^d	29,3 ± 13,3 ^{cd}	17,7 ± 13,3 ^d	1,5 ± 3,4 ^f	14	73,1 ± 32,9 ^b

Примечание: данные представляют собой среднее значение ± SE; значения, сопровождаемые различными буквами в каждом разделе, значительно различались при $p \leq 0,05$ с использованием теста разделения Тьюки

Note: the data represent mean ± SE; the values accompanied by different letters in each section were significantly different at $p \leq 0.05$ using Tukey's split test



А) *Prunus ulmifolia*; Б) *Spiraeanthus schrenckianus*; В) *Malus sieversii*; Г) *Sibiraea laevigata*; Д) *Crataegus ambigua*; Е) *Prunus tenella*

Рис. 3. Введение в культуру *in vitro* растений семейства Rosaceae (семена, черенки, *in vitro* побеги, тестирование *in vitro* побегов на среде 523)
Fig. 3. *In vitro* initiation of Rosaceae plants (seeds, cuttings, *in vitro* shoots, and *in vitro* testing of shoots on medium 523)

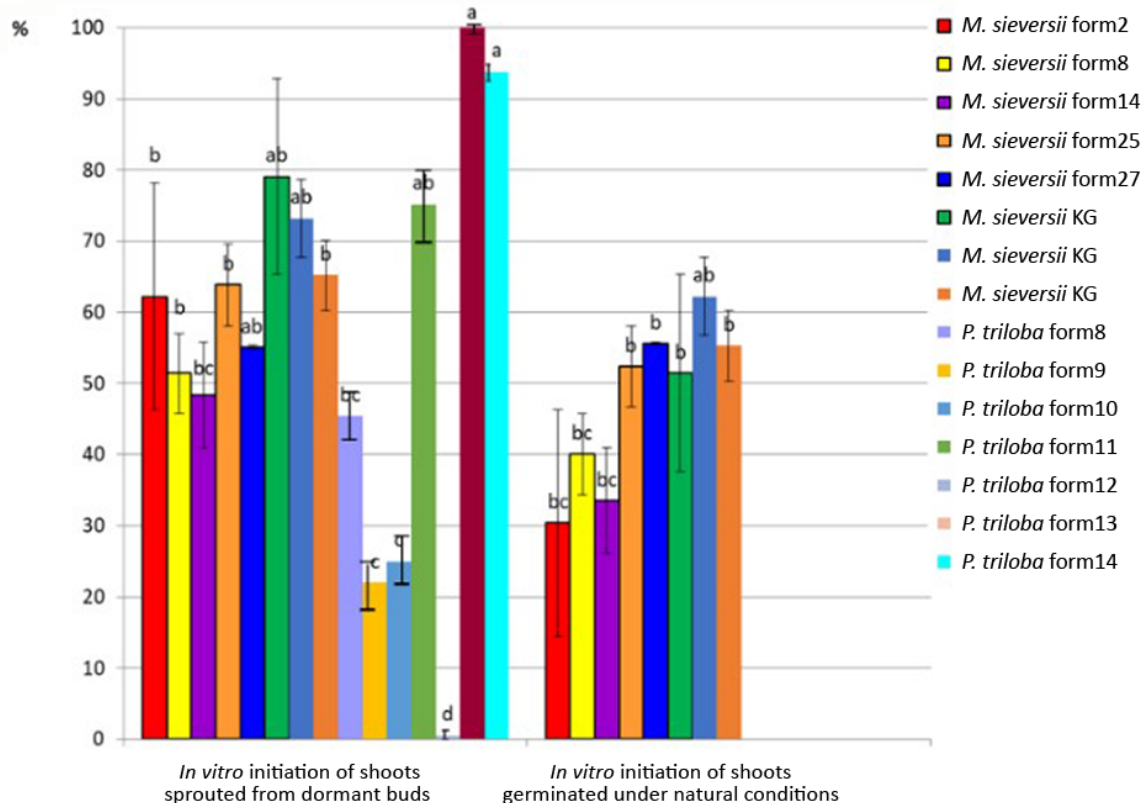


Рис. 4. Введение в культуру *in vitro* побегов *Prunus ulmifolia* Franch. и *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.

Fig. 4. *In vitro* initiation of *Prunus ulmifolia* Franch. and *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. shoots

лирования различных процессов в культуре растительных тканей.

Ауксины и цитокинины являются наиболее часто используемыми фитогормонами и часто используются в сочетании (Bonnart et al., 2022; Romadanova et al., 2024). В данном исследовании проводился поиск идеального баланса фитогормонов в среде МС для 5 видов растений семейства Rosaceae (табл. 6).

У всех образцов не выявили признаков инфицирования во время фазы размножения, что является показателем того, что предварительный скрининг на наличие потенциальных загрязнителей был эффективным.

В результате было установлено, что для *Crataegus ambigua* требуется пониженное содержание 0,2 мг/л БАП

и 0,01 ИМК, для *Prunus ulmifolia* требуется более высокая концентрация 0,5 мг/л БАП. Для *Spiraeanthus schrenckianus* требуются состав и концентрация фитогормонов, близкая к составу питательной среды для *Malus*, оптимизация которой проводилась ранее (Romadanova et al., 2016).

Для *Prunus tenella* необходимо добавление хелата железа, а для *Sibiraea laevigata* – ГК. Следует отметить, что для *Crataegus ambigua* (КР2,0) и *Prunus tenella* (КР2,5) эксперименты по оптимизации состава питательных сред продолжаются, но уже сейчас у всех образцов отмечены листья с интенсивной зеленой окраской, отсутствие витрифицированных или некротических побегов (см. рис. 3).

Таблица 6. Коэффициент размножения в культуре тканей побегов Rosaceae

Table 6. Multiplication rates in tissue culture of Rosaceae shoots

Вариант питательной среды	Наименование образца, КР				
	<i>Crataegus ambigua</i>	<i>Prunus tenella</i>	<i>Prunus ulmifolia</i>	<i>Sibiraea laevigata</i>	<i>Spiraeanthus schrenckianus</i>
1	1,2	2,8	2,8	2,6	1,2
2	2,0	2	2,5	3	1
3	1	2,5	3,5	4,4	1,3
4	1,2	1,5	3,1	5,5	1
5	1,1	1,8	2	2,6	1,2
6	–	–	–	–	3,5
7	–	–	–	–	4

Заключение

Популяции редких и исчезающих растений семейства Rosaceae подвергаются воздействиям болезней и вредителей, находясь во многих случаях в крайне неудовлетворительном состоянии. В частности, стоит отметить, что всего известно о двух популяциях *Rosa cinnamomea*, в ходе экспедиции в первую точку произрастания не был обнаружен ни один образец этого вида. Более того, в течение двух последних лет экспедиции по сбору *Sorbus persica* плоды также не встречали, плодоношение не фиксируется уже в последние четыре года. Таким образом, проделанная работа по изучению состояния этих популяций подчеркивает необходимость применения комплексного подхода к сохранению биоразнообразия. Важны дальнейшие усилия по защите местообитаний, а также разработка и внедрение методов сохранения, таких как культура *in vitro* и криогенные банки. Эти меры содействуют сохранению уникальных видов и их генетического материала для грядущих поколений.

References / Литература

- Afifi L., Lapin K., Tremetsberger K., Konrad H. A systematic review of threats, conservation, and management measures for tree species of the family Rosaceae in Europe. *Flora*. 2023;301:152244. DOI: 10.1016/j.flora.2023.152244
- Bonnart R.M., Chen K.Y., Volk G.M. Plant tissue culture media preparation. In: G.M. Volk, K. Chen (eds). *Training in Plant Genetic Resources: Cryopreservation of Clonal Propagules*. Fort Collins, CO: Colorado State University: 2022. Available from: <https://colostate.pressbooks.pub/clonalcryopreservation/chapter/media> [accessed Jan. 21, 2025].
- Coelho N., Gonçalves S., Romano A. Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*. 2020;9(3):345. DOI: 10.3390/plants9030345
- Country report on the state of plant genetic resources for food and agriculture in the Kazakhstan Republic. Almaty: Scientific and Production Center of Farming and Plant Growing; 2007. Available from: <https://www.fao.org/4/i1500e/Kazakhstan.pdf> [accessed Jan. 21, 2025].
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [website]. Available from: <https://www.fao.org/home/en> [accessed Jan. 21, 2025].
- Hogg R. The British pomology: the history, description, classification, and synonymes, of the fruits and fruit trees of Great Britain. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. DOI: 10.1017/CBO9781139108270
- Kheloufi A., Mansouri L.M., Vanbellinghen C. Seed germination of *Crataegus monogyna* – a species with a stony endocarp. *Reforesta*. 2019;7(7):73-80. DOI: 10.21750/REFOR.7.06.68
- 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.
- Knop W. Quantitative Untersuchungen über den Ernährungsspross der Pflanze. *Landwirtschaftliche Versuchsstation*. 1865;7:93-107. [in German]
- Kovalchuk I., Zhumagulova Z., Turdiev T., Reed B.M. Growth medium alterations improve *in vitro* cold storage of pear germplasm. *CryoLetters*. 2014;35(3):197-203.
- Kumar N., Reddy M.P. *In vitro* plant propagation: A review. *Journal of Forest and Environmental Science*. 2011;27(2):61-72. DOI: 10.7747/JFS.2011.27.2.1
- 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
- Kushnarenko S.V., Rymkhanova N.K., Aralbayeva M.M., Romadanova N.V. *In vitro* cold acclimation is required for successful cryopreservation of *Juglans regia* L. shoot tips. *CryoLetters*. 2023;44(4):240-248. DOI: 10.54680/fr23410110612
- Lateur M., Dapena E., Szalatnay D., Gantar M.E., Guyader A., Hjalmarsson I., Höfer M., Ikase L., Kellerhals M., Lacis G., Militaru M., Miranda Jiménez C., Osterc G., Rondia A., Volens K., Zeljković M.K., Ordridge M. ECPGR characterization and evaluation descriptors for apple genetic resources. Apple (*Malus × domestica*). Rome: ECPGR; 2022. Available from: https://www.ecpgr.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/2022_ECPGR_Malus_descriptors_final.pdf [accessed Jan. 21, 2025].
- Mammadov T., Abbaszade Z. Rare endangered species of the Rosaceae family of the *Rosa* L. genus in the flora of Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*. 2022;8(4):51-57. DOI: 10.33619/2414-2948/77/05
- Marchese C. Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept. *Global Ecology and Conservation*. 2015;3:297-309. DOI: 10.1016/j.gecco.2014.12.008
- Molkanova O.I., Vasilyeva O.G., Konovalova L.N. The scientific basis for conservation and sustainable reproduction of plant genofond in culture *in vitro*. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2015;25(2):95-100. [in Russian] [Молканова О.И., Васильева О.Г., Коновалова Л.Н. Научные основы сохранения и устойчивого воспроизводства генофонда растений в культуре *in vitro*. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2015;25(2):95-100].
- Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A., Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000;403(6772):853-858. DOI: 10.1038/35002501
- Pasternak T.P., Steinmacher D. Plant growth regulation in cell and tissue culture *in vitro*. *Plants (Basel)*. 2024;13(2):327. DOI: 10.3390/plants13020327
- Petrizzello M. List of economically important members of the family Rosaceae. In: *Britannica*; 2024. Available from: <https://www.britannica.com/plant/Rosaceae> [accessed on Jan. 14, 2025].
- 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
- 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. (ed.). Plant cryopreservation: A practical guide. New York, NY: Springer Verlag; 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-72276-4
- Romadanova N.V., Aralbayeva M.M., Zemtsova A.S., Alexandrova A.M., Kazybayeva S.Zh., Mikhailenko N.V. et al. *In vitro* collection for the safe storage of grapevine hybrids and identification of the presence of *Plasmopora viticola* resistance genes. *Plants*. 2024;13(8):1089. DOI: 10.3390/plants13081089

- 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. [in Russian] [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
- Romadanova N.V., Mishustina S.A., Matakova G.N., Kushnarenko S.V., Rakhimbaev I.R., Reed B.M. *In vitro* collection of *Malus* shoot cultures for cryogenic bank development in Kazakhstan. *Acta Horticulturae*. 2016;1113:271-277. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1113.40
- Shaik S.P., Thomas P. *In vitro* activation of seed-transmitted cultivation-recalcitrant endophytic bacteria in tomato and host-endophyte mutualism. *Microorganisms*. 2019;7(5):132. DOI: 10.3390/microorganisms7050132
- SYSTAT 13.0.5: [website]. Available from: <https://systat.informer.com/13.0> [accessed Jan. 21, 2025].
- Vinoth A., Ravindhran R. *In vitro* propagation – a potential method for plant conservation. *International Journal of Computing Algorithm*. 2013;2:268-272.
- Viss P.R., Brooks E.M., Driver J.A. A simplified method for the control of bacterial contamination in woody plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 1991;27(1):42. DOI: 10.1007/BF02632060

Информация об авторах

Алина Сергеевна Земцова, младший научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, zemtsovaalina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0258-9448>

Назира Алтайқызы Алтаева, старший научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, altnazira@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5039-8999>

Молдир Маликовна Аралбаева, научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, berim.moldir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2322-8054>

Наталья Анатольевна Артимович, лаборант, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, artimovich_nata@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5354-8069>

Арман Болатханулы Толеген, старший научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 050040 Казахстан, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71, tolegenarman7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3747-2330>

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

Ескендир Яковлевич Сатеков, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологии и биотехнологии растений, 050040 Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, irokezz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6625-0043>

Наталья Викторовна Премина, старший научный сотрудник, Западно-Алтайский государственный природный заповедник, 070000 Казахстан, Риддер, Семипалатинская ул., 9, Preminanv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0792-1086>

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

Information about the authors

Alina S. Zemtsova, Associate Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, zemtsovaalina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0258-9448>

Nazira A. Altayeva, Senior Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, altnazira@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5039-8999>

Moldir M. Aralbaeva, Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, berim.moldir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2322-8054>

Natalya A. Artimovich, Laboratory Assistant, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, artimovich_nata@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5354-8069>

Arman B. Tolegen, Senior Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, PhD Student, al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty 050040, Kazakhstan, tolegenarman7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3747-2330>

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>

Yeskendir Ya. Satekov, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, irokezz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6625-0043>

Natalya V. Premina, Senior Researcher, West Altai State Nature Reserve, 9 Semipalatinskaya St., Ridder 070000 Kazakhstan, Preminanv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0792-1086>

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>

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 31.01.2025; одобрена после рецензирования 26.05.2025; принята к публикации 18.08.2025.

The article was submitted on 31.01.2025; approved after reviewing on 26.05.2025; accepted for publication on 18.08.2025.