МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 581.1:581.9:502.05:582.734.6:581.4:581.481
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-9-22

CC BY

Изучение и сохранение в культуре *in vitro* редкого исчезающего вида *Prunus armeniaca* L. в Казахстане

Н. А. Алтаева[1], А. С. Земцова[1], Н. А. Артимович[1], А. Б. Толеген[1, 2], С. В. Кушнаренко[1], Н. В. Ромаданова[1]

[1] *Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан*

[2] *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

Автор, ответственный за переписку: Назира Алтайқызы Алтаева, altnazira@gmail.com

Актуальность. Гибель растений в природных популяциях приводит к утрате биоразнообразия и изменениям экосистем. Комплексное изучение и восстановление деградирующих популяций, особенно редких видов, актуально. Биотехнология культуры тканей – важный инструмент сохранения генетического разнообразия.
Материалы и методы. Собраны и изучены 115 образцов *Prunus armeniaca* L. из двух популяций Алматинской области. Применялись геоботанические методы и методы культуры тканей.
Результаты. Проведена дескрипторная оценка (46 признаков), собраны гербарии, выполнено дистанционное зондирование, построены цифровая модель рельефа (ЦМР) и ортофотоплан, рассчитан NDVI (0,3–0,7). При введении в культуру *in vitro* зародышевых осей оптимальной для размножения была среда Кнопа (94,5% жизнеспособности). На среде 523 выявлен низкий уровень контаминации (1,1%). Максимальный коэффициент размножения (КР) (2,9) достигнут на среде МС5 с 1 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП) и 0,3 мг/л гиббереллловой кислоты (ГК).
Заключение. Установлено реальное состояние популяций: высокая поражаемость (до 52,6%) и отсутствие плодоношения в отдельных точках. Составлены картосхемы территории. Подтверждена эффективность среды Кнопа для проращивания зародышевых осей в культуре *in vitro*, тестирование побегов *in vitro* на среде 523 выявило низкий процент контаминации (1,1%). Максимальный КР (2,9) получен на среде МС5 с повышенным содержанием БАП и ГК.

Ключевые слова: *Prunus armeniaca*, картирование, NDVI, популяции, размножение *in vitro*

Благодарности: работа выполнена в рамках программы BR21882024, проект 0123РК01118 «Изучение биоразнообразия редкого исчезающего вида *Prunus armeniaca* L. и *ex situ* сохранение генотипов с ценными хозяйственно-биологическими признаками».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Алтаева Н.А., Земцова А.С., Артимович Н.А., Толеген А.Б., Кушнаренко С.В., Ромаданова Н.В. Изучение и сохранение в культуре *in vitro* редкого исчезающего вида *Prunus armeniaca* L. в Казахстане. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):9-22. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-9-22

© Алтаева Н.А., Земцова А.С., Артимович Н.А., Толеген А.Б., Кушнаренко С.В., Ромаданова Н.В., 2025

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-9-22

Study and *in vitro* preservation of the rare endangered species *Prunus armeniaca* L. in Kazakhstan

Nazira A. Altayeva[1], Alina S. Zemtsova[1], Natalya A. Artimovich[1], Arman B. Tolegen[1, 2], Svetlana V. Kushnarenko[1], Natalya V. Romadanova[1]

[1] *Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan*

[2] *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

Corresponding author: Nazira A. Altayeva, altnazira@gmail.com

Background. The decline of plants in natural populations leads to biodiversity loss and ecosystem disruption. Comprehensive study and restoration of degrading populations, particularly of rare species, is highly relevant. Plant tissue culture biotechnology is an important tool for conserving genetic diversity.
Materials and methods. A total of 115 accessions of *Prunus armeniaca* L. from two populations in Almaty Region were collected and studied employing geobotanical and tissue culture techniques.
Results. Descriptor-based evaluation (46 parameters) was conducted, herbarium specimens were prepared, remote sensing was performed, a digital elevation model (DEM) and orthophotomap were created, and NDVI values (0.3–0.7) were calculated. For *in vitro* initiation of embryonic axes, Knop's medium proved optimal, with 94.5% viability. Medium 523 showed a low contamination rate (1.1%). The highest multiplication rate (MR) of 2.9 was achieved on the MS5 medium supplemented with 1 mg L^{-1} of 6-benzylaminopurine (BAP) and 0.3 mg L^{-1} of gibberellic acid (GA).
Conclusion. The actual condition of the populations was determined: high incidence of damage (up to 52.6%) and absence of fruiting in certain areas. Cartographic maps of the territory were made. The effectiveness of Knop's medium for *in vitro* germination of embryonic axes was confirmed, and testing of *in vitro* shoots on medium 523 showed a low contamination level (1.1%). The highest MR (2.9) was obtained on the MS5 medium with elevated concentrations of BAP and GA.

Keywords: *Prunus armeniaca*, mapping, NDVI, populations, *in vitro* propagation

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the BR21882024 program, Project 0123РК01118 "Study of biodiversity of the rare endangered species *Prunus armeniaca* L. and *ex situ* conservation of genotypes with valuable economic and biological traits".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Altayeva N.A., Zemtsova A.S., Artimovich N.A., Tolegen A.B., Kushnarenko S.V., Romadanova N.V. Study and *in vitro* preservation of the rare endangered species *Prunus armeniaca* L. in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):9-22. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-9-22

Введение

Абрикос обыкновенный (*Prunus armeniaca* L.) – единственный вид абрикоса, произрастающий на территории Казахстана. Под влиянием антропогенной деятельности и природно-климатических изменений этот вид стал редким, с резко сокращающимся ареалом, и внесен в Красную книгу Казахстана (Red Data Book…, 2014). Дикорастущий абрикос Заилийского и Джунгарского Алатау отличается повышенной зимостойкостью (выдерживает морозы до –30°C), исключительным полиморфизмом и устойчивостью к болезням (Zaurov et al., 2013). Он также обладает высокой хозяйственной ценностью, является важным источником генофонда (Zaurov et al., 2013; Jiang et al., 2019; Groppi et al., 2021). Плоды дикорастущего абрикоса Казахстана по содержанию сахаров (7,6–11,5%) не уступают культурным сортам европейской группы, содержат схожее количество клетчатки (0,96%), но превосходят их по концентрации органических кислот (2,35%) и пектиновых веществ (1,85%) (Mukanova et al., 2024).

Гибель растений в природных популяциях ведет к их исчезновению и глобальным изменениям экосистем. Казахстанские ботаники изучали популяции абрикоса, в результате были выявлены места произрастания и состояние дикорастущих популяций, сделаны выводы о массовом исчезновении этого уникального вида (Dzhangaliev et al., 2001, 2003; Kokoreva et al., 2013). Поэтому изучение, сохранение и восстановление деградирующих популяций имеют первостепенное значение. Геоботанические комплексные исследования растений включают в себя изучение как самих растений, так и среды их обитания (Rotach, 2003; Lateur et al., 2022; https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL). Дистанционное зондирование, создание геодезических и географических карт мест произрастания абрикоса может быть использовано для контроля использования территории и сохранения экосистемы (Balenović et al., 2015a, b).

Для сохранения генетического материала исчезающих растений, помимо традиционных методов – создания заказников, заповедников, национальных парков, а также культивирования в ботанических садах, – необходимо активно внедрять современные биотехнологические подходы, такие как сохранение *ex situ* в культуре тканей (Romadanova, Kushnarenko, 2023). В последние годы методы биотехнологии *in vitro* находят все более широкое применение для сохранения и размножения ценных дикорастущих видов (Trigiano, Gray, 2011; Romadanova et al., 2016; Alzubi et al., 2019; Kushnarenko et al., 2020; Abdalla et al., 2022). Ученые по всему миру формируют коллекции *in vitro* и осуществляют долгосрочную криоконсервацию генетического материала в специализированных банках (Gavrilenko et al., 2007; Engelmann, 2011; Dunaeva et al., 2012; Chaudhury, Malik, 2017; Jenderek, Reed, 2017; Romadanova et al., 2017; Coelho et al., 2020; Kushnarenko et al., 2023). Эти инновационные методы позволяют сохранять растительную гермоплазму без временных ограничений, клонировать растения в тканевых культурах, очищать их от эндофитных и вирусных инфекций, а также получать саженцы для реинтродукции в естественные экосистемы или использования в сельском хозяйстве (Engelmann, 2011; Romadanova et al., 2024). Биотехнология культуры тканей играет ключевую роль в сохранении генетического биоразнообразия, особенно для редких и исчезающих видов, включая абрикос. Однако исследований по микроклональному размножению и криоконсервации апикальных меристем абрикоса крайне мало, что свидетельствует о недостаточной изученности данного направления (Soliman, 2012; Lalso et al., 2018; Balla, Vertesy, 2000; Šiško et al., 2022). В Казахстане была начата работа по оптимизации питательной среды для микроклонального размножения абрикоса и криоконсервации зародышевых осей (Kovalchuk et al., 2014, 2017). Однако данные исследования требовали детальной доработки. Поэтому *целью данной работы* стало изучение природных популяций *P. armeniaca* и оптимизация этапов введения в культуру *in vitro* и микроклонального размножения для создания коллекции *in vitro*.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – 115 образцов *P. armeniaca*, собранные в двух популяциях в Алматинской области (бывшая Алма-Атинская): ущелье Тургень Енбекшиказахского района (25 образцов); ущелье Большой Аксу Уйгурского района (44 образца, 1-я точка), ущелье Большой Кыргызсай Уйгурского района (25 образцов, 2-я точка), предгорье ущелья Большой Кыргызсай (16 образцов, 3-я точка) и с. Чунджа, лесное хозяйство «Карадала» (5 образцов, 4-я точка) (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1. Места сбора, GPS-координаты и высота произрастания *Prunus armeniaca* L.
Table 1. Collection locations, GPS coordinates and growing altitude of *Prunus armeniaca* L.

Место сбора, год	Количество образцов	GPS-координаты, высота над уровнем моря, м
Ущелье Тургень Енбекшиказахского района, 2023–2024 гг.	23 образца	N43°22’.417’ – N43°22’.832’, E077°35’.351’ – E077°35’.868’, 980–1046 м
Ущелье Большой Аксу Уйгурского района, 2023–2024 гг.	42 образца	N43°17’.118’ – N43°18’.456’, E079°37’.901’ – E079°39’.901’, 1302–1691 м
Ущелье Большой Кыргызсай Уйгурского Района, 2023–2024 гг.	23 образца	N43°18’.072’ – N43°18’.702’, E079°30’.658’ – E079°32’.314’, 1580–1692 м
Предгорье ущелья Большой Кыргызсай Уйгурского района, 2023–2024 гг.	16 образцов	N43°20’.784’ – N43°20’.875’, E079°29’.827’ – E079°29’.890’, 1234–1246 м
С. Чунджа, лесное хозяйства «Карадала», 2024 г.	5 образцов	N43°31’.652’ – N43°31’.674’, E079°27’.353’ – E079°27’.849’, 862–864 м

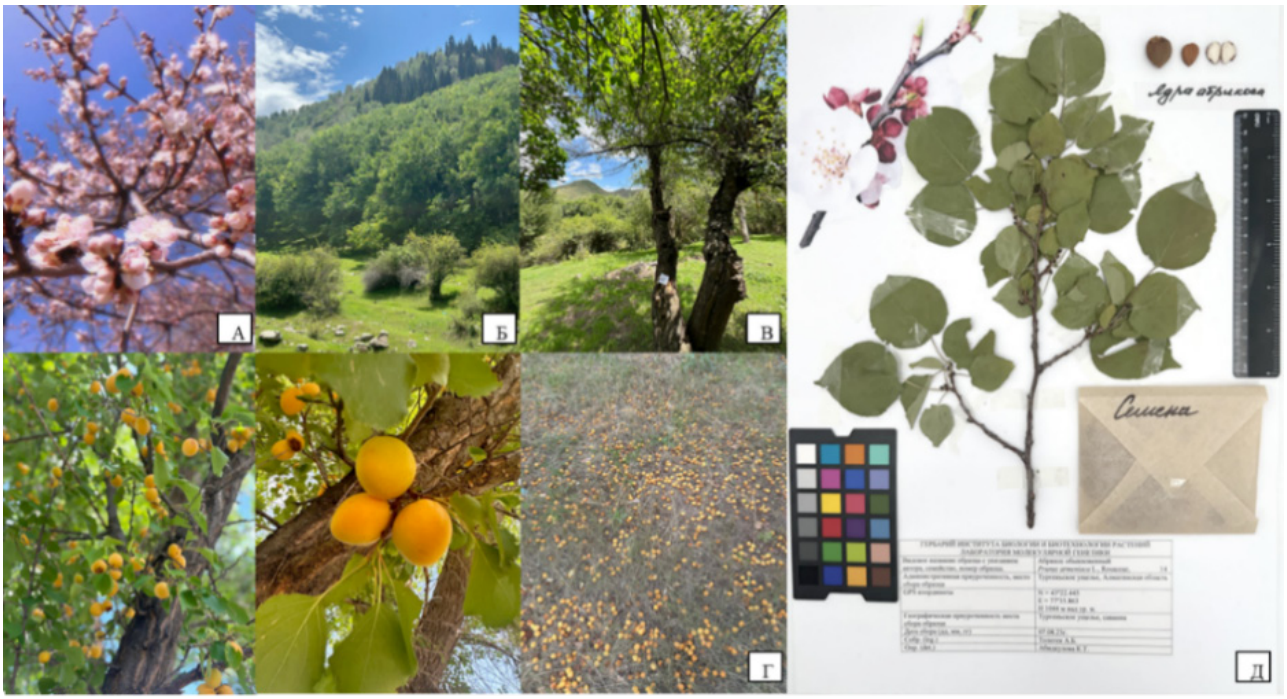


Рис. 1. ***Prunus armeniaca*** **L.: А** – цветение абрикоса в ущелье Тургень Енбекшиказахского района; **Б** – лесной массив в ущелье Большой Аксу Уйгурского района; **В** – взрослое жизнеспособное неплодоносящее дерево в ущелье Большой Кыргызсай Уйгурского района; **Г** – взрослое жизнеспособное плодоносящее дерево и опавшие плоды в предгорье ущелья Большой Кыргызсай Уйгурского района; **Д** – гербарий образца № 25

Fig. 1. ***Prunus armeniaca*** **L.: А** – apricot flowering in the Turgen Gorge, Enbekshikazakh District; **Б** – a forest massif in the Bolshoy Aksu Gorge, Uyghur District; **В** – an adult viable non-fruit-bearing tree in the Bolshoy Kyrgyzsay Gorge, Uyghur District; **Г** – an adult viable fruit-bearing tree and fallen fruits in the foothills of the Bolshoy Kyrgyzsay Gorge, Uyghur District; **Д** – herbarium of accession No. 25

Ботаническое описание

Для оценки состояния растительных популяций *P. armeniaca* изучили и проанализировали имеющиеся карты произрастания растений и выбрали маршруты экспедиций. Для описания состояния популяций *P. armeniaca* использовались дескрипторы, разработанные Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO), Международным институтом генетических ресурсов растений (International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI), Европейской кооперативной программой по генетическим ресурсам растений (European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources, ECPGR) (Rotach, 2003; Lateur et al., 2022).

Описание в дескрипторах осуществлялось с учетом 46 параметров. В природных условиях координаты участков произрастания фиксировали с помощью GPS-навигатора eTREX®H Garmin Montana 750i. Все деревья помечали специальной биркой с номером образца и датой сбора.

Дистанционное зондирование территорий для картирования естественных посадок дикого абрикоса

Проводили определение территории для съемки, разметку изучаемой площади по контурам территории, подготовку беспилотных летательных аппаратов (1. DJI Mavic 3E с RGB-камерой; 2. DJI Phantom 4 с мультиспектральной камерой) для съемки – внесение полетного задания. Карты рельефа создавали в формате Geotiff, 3D-модели местности – в формате OBJ, проект – в платформе QGIS, с отмеченными точками дикорастущего абрикоса, исходные данные с камер БПЛА представлены в виде фотографий.

Для проведения биотехнологических работ проводили:

1) сбор плодов (плоды каждого образца помещали в пластиковые контейнеры объемом 250 мл или полиэтиленовые пакеты);

2) сбор побегов (побеги размером 15–30 см срезали секатором и помещали между картонными листами размером 42 × 59,4 см для гербаризации).

Фотосъемку проводили в фотобоксе Godox LSD60 с LED-подсветкой на фотокамеру Canon EOS RP RF 24-105 F4-7.1 IS STM. Фотоснимки с трехкратным увеличением сделаны на стереоскопическом микроскопе Levenhuk ZOOM 0750 с цифровой камерой Levenhuk M200.

Введение в культуру in vitro изолированных зародышевых осей

Семена очищали от мякоти плодов, промывали проточной водой и высушивали в лабораторных условиях (ЛУ) (рис. 2, А), помещали в пластиковые контейнеры объемом 500 мл и стратифицировали при 4°С в течение 8 недель при освещенности 10 $\mu E \cdot m^{-2} s^{-1}$, 16-часовом фотопериоде. После стратификации семена очищали от оболочки (скорлупы) с помощью орехокола (рис. 2, Б), ядра обрабатывали ¼ раствора отбеливателя «Белизна» (5–15% гипохлорита натрия, щелочные компоненты ≤ 5%) в течение 4 мин с последующим промыванием в проточной воде. Ядра в стерильных условиях ламинарного бокса (Haier Biological Safety Cabinet, HR 1200-II A2-D, Китай) обрабатывали в 0,1-процентном растворе $HgCl_2$ (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США) в течение 3 мин с последующим трехкратным промыванием в стерильной дистиллированной воде.

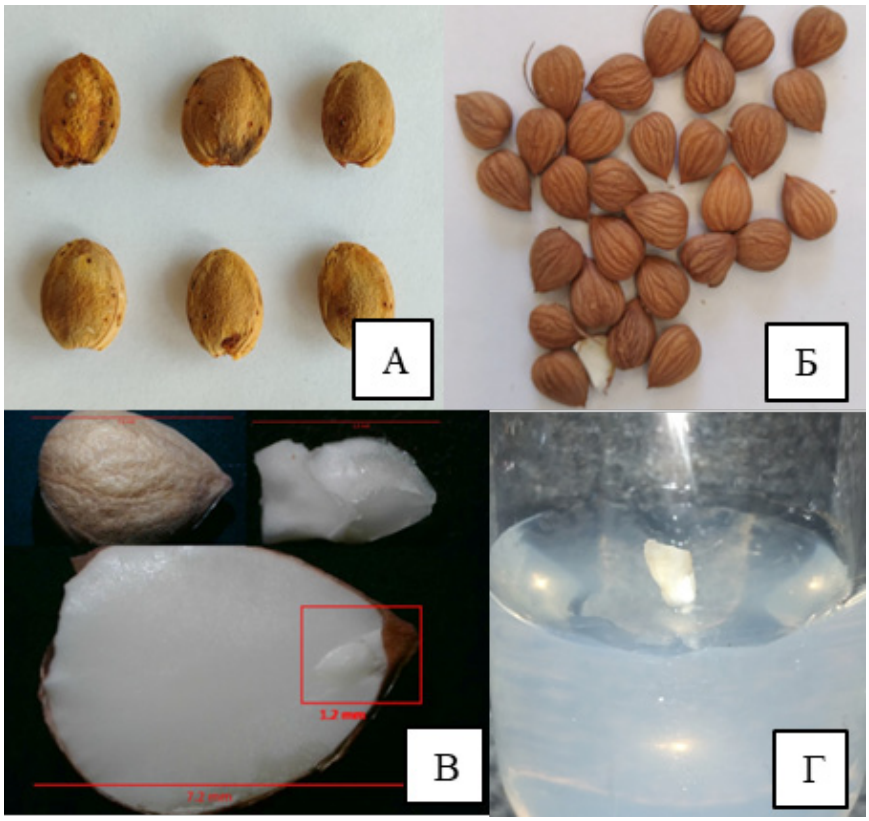


Рис. 2. Введение в культуру *in vitro Prunus armeniaca* L.: А – высушенные семена;
Б – ядра, очищенные от скорлупы; **В** – семена и изолированные зародышевые оси (увеличение 3×);
Г – зародышевая ось на питательной среде Кнопа

Fig. 2. *In vitro* initiation of *Prunus armeniaca* L.: А – dried seeds; **Б** – kernels peeled from shell;
В – seeds and isolated embryonic axes (3× magnification); **Г** – an embryonic axis on Knop's medium

Из ядер изолировали зародышевые оси (рис. 2, В), помещали в культуральные пробирки (150 × 25 мм) (PhytoTechnology Laboratories®, Ленекса, Канзас, США) на следующие варианты питательных сред (рис. 2, Г): 1) Кнопа (Knop, 1865) и 2) Мурасиге – Скуга (МС) с 30 г/л сахарозы, 1 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП), 0,1 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК), 2 мг/л пантотената кальция (ПК), 1,75 г/л джелрайта, 4 г/л агара, pH = 5,7 (PhytoTechnology Laboratories®, Ленекса, Канзас, США) (Murashige, Skoog, 1962). Побеги *in vitro* выращивали при температуре 24 ± 1°C в течение 16-часового светового дня с интенсивностью света 40 $\mu E \cdot m^{-2} s^{-1}$ от двух типов трубчатых люминесцентных ламп OPPLE: YK 21RR 16/G 21W 6500K RGB и YK 21RL 16/G 21W 4000K RGB, поставляемых ElectroComplex in Corporation (Алматы, Казахстан) – стандартные условия (СУ).

Проверка растений на эндофитную микрофлору

Побеги в культуре *in vitro* протестировали на присутствие эндофитной контаминации на специализированной среде 523: 10 г/л сахарозы, 8 г/л гидролизата казеина (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США), 4 г/л дрожжевого экстракта, 2 г/л KH_2PO_4, 0,15 г/л $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 6 г/л джелрайта, pH 6,9 (Viss et al., 1991). У 4-недельных побегов *in vitro* изолировали основания длиной 3–5 мм и помещали в пластиковые чашки Петри (100 × 15 мм) (PhytoTechnology Laboratories®, Ленекса, Канзас, США) на среду 523, культивировали в ЛУ в течение 1–2 недель (Romadanova et al., 2022).

Микроклональное размножение

Для оптимизации состава питательной среды использовали 10 вариантов питательных сред на основе среды МС с добавлением 30 г/л сахарозы, 2 мг/л ПК, 1,75 г/л джелрайта, 4 г/л агара, pH 5,7 с различными концентрациями регуляторов роста (табл. 2).

Оптимизацию проводили для побегов (1–2 см) 10 образцов абрикоса в стеклянных культуральных сосудах объемом 237 мл (PhytoTechnology Laboratories®, Ленекса, Канзас, США), плотность посадки – 5 побегов на сосуд. Побеги культивировали в СУ, пересадку на свежую питательную среду осуществляли с интервалом 6 недель. Коэффициент размножения (КР) *in vitro* побегов абрикоса рассчитывали по формуле: P = a/вс, где «а» – количество образовавшихся побегов, «в» – количество высаженных побегов, «с» – количество культивирований.

Статистический анализ

В экспериментах по введению в культуру *in vitro* использовали по 10 побегов абрикоса в трехкратной повторности. Общее количество побегов, индексированных с использованием специализированной питательной среды 523, колебалось от 15 до 30, в зависимости от доступности образцов, полученных после введения в культуру *in vitro*. Эксперимент по микроклональному размножению проводили дважды для 10–45 побегов в каждом варианте. Средние значения и стандартную ошибку (SE) вычисляли на основе повторных экспериментов и подвергали тщательной проверке посредством дисперсионного анализа. Для выделения различий между средними значениями применяли тест Тьюки; при $P \leq 0,05$ результаты считались статистически значимыми. Все исследования осуществлялись с использованием программного пакета SYSTAT версии 13.0 (https://systat.informer.com/13.0; Romadanova et al., 2022).

Таблица 2. Состав питательной среды для размножения *Prunus armeniaca* L. в культуре *in vitro*
Table 2. Nutrient conditions for *in vitro* propagation of *Prunus armeniaca* L.

Культуральная среда	БАП	ИМК	ГК
	мг/л		
1	0,5	0,1	–
2	1,0	0,1	0,1
3	0,5	0,1	0,1
4	1,0	0,1	0,2
5	1,0	0,1	0,3
6	1,0	0,1	0,4
7	0,8	0,1	0,3
8	0,8	0,05	0,3
9	1,0	0,05	0,3
10	0,8	0,02	0,3

Примечание: БАП – 6-бензиламинопурин; ИМК – индолилмасляная кислота; ГК – гиббереллловая кислота; все химикаты были предоставлены СПФ «Мединленд» (Алматы, Казахстан)

Note: БАП – 6-benzylaminopurine, BAP; ИМК – indolebutyric acid, IBA; ГК – gibberellic acid, GA; all chemicals were provided by SPF Mediland (Almaty, Kazakhstan)

Результаты исследования

Описание популяций

Впервые проведено описание популяций абрикоса с использованием международных дескрипторов. Выявлено, что поражаемость деревьев вредителями и болезнями первой популяции *P. armeniaca* составила 35,5%, наблюдались сухие ветви на старых деревьях, что может быть следствием естественного старения (табл. 3).

Доминантные виды растений в месте сбора: *Berberis heteropoda* Schrenk, *Crataegus dsungarica* Zabel ex Lange, *Elaeagnus angustifolia* L., *Rosa platyacantha* Schrenk, *Spiraea hypericifolia* L. и другие. Плодоношение отсутствовало.

Доминантные виды растений в месте сбора второй популяции (первая точка) представлены следующими видами: *Berberis heteropoda*, *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt, *Lonicera xylosteum* L., *Picea schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey и другие. Поражаемость деревьев – 52,6% (сухие ветви, повреждение листьев и плодов насекомыми, грибные заболевания).

Вторая популяция (вторая точка). Доминантные виды растений в месте сбора: *Berberis heteropoda*, *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., *Lonicera xylosteum*, *Picea schrenkiana*, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. Выявлены повреждения тлей, лишайники. Молодые деревья без повреждений.

Вторая популяция (третья точка). Доминантные виды растений в месте сбора: *Berberis heteropoda*, *Malus sieversii*, *Ulmus pumila* L. и другие. Поражаемость деревьев – 10,0%. Вредители и болезни не обнаружены. Плодоношение обильное.

Вторая популяция (четвертая точка). Доминантные виды растений в месте сбора: *Artemisia santolinifolia* (Turcz. ex Pamp.) Krasch., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Malus sieversii*, *Melica transsilvanica* Schur., *Rosa platyacantha* и другие. Деревья не поражены. Вредители и болезни не обнаружены. Взрослые и молодые деревья без повреждений (см. табл. 3). Плодоношение обильное.

Дистанционное зондирование территорий для картирования природных популяций Prunus armeniaca

Впервые проведено дистанционное зондирование территорий произрастания абрикоса, в результате которого определена его массовая локация, размечена изучаемая площадь. В результате получены снимки, которые были обработаны для создания наборов карт (рис. 3).

В результате дистанционного зондирования создан ортофотоплан (фотодокумент местности) с помощью перекрывающихся исходных снимков (см. рис. 3, А), который послужит вспомогательным материалом для создания геодезических графических чертежей (схем, топопланов, карт) мест произрастания абрикоса, может быть задействован для контроля использования территории, в экологии, мониторинге экзогенных процессов и сельском хозяйстве. Кроме того, получена цифровая модель рельефа (ЦМР) – трехмерное отображение земной поверхности (рельефа), представленная в виде массива точек с определяемой высотой, без учета растительности, зданий и других антропогенных объектов (см. рис. 3, Б).

Полученная ЦМР может быть использована в географических информационных системах (ГИС), так как является наиболее распространенной основой для цифровых карт рельефа. Кроме того, ЦМР может быть полезна для моделирования ландшафта, визуализация приложений ЦМР часто требуется для моделирования наводнений или дренажа, исследований землепользования и геологических приложений (Balenović et al., 2015a).

Установлен NDVI – числовой показатель качества и количества растительности на участке поверхности, зависящий от отражения и поглощения растениями световых волн разной длины (см. рис. 3, В) (Weier, Herring, 2000; https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index). Его практическое применение невероятно разнообразно, включает и количественную оценку лесного фонда, и использование в качестве индикатора засухи. Более того, с его помощью можно

Таблица 3. **Распределение качественных морфологических признаков *Prunus armeniaca* L.**
Table 3. **Distribution of qualitative morphological features of *Prunus armeniaca* L.**

Дескрипторы	Количество образцов	Количество образцов / проценты				
***P. armeniaca* (1-я популяция)**						
ПП	23	Н (11/47,8)	С 5/21,7)			
СД	23	СД (1/4,3)	ВЖ 12/52,3)	МП (2/8,7)	МН (4/17,4)	
ВД	23	Н (3/13,0)	С (5/21,7)	В (15/65,2)		
ФК	23	УП (1/4,3)	ОП (8/34,8)	О (6/26,1)	ПО (1/4,3)	НК (7/30,4)
ПК	23	Г (6/26,1)	С (14/60,9)	Р (3/13,0)		
ФЛП	16	О (15/92,9)	Я (2/12,5)	ШЯ (15/92,9)		
КЛП	16	КГ (1/6,3)	МГ 15/93,8)	КП (1/6,3)		
***P. armeniaca* (2-я популяция, первая точка)**						
ПП	42	С (8/19,1)	В (34/81,0)			
СД	42	ВЖ (30/71,4)	МП (8/19,0)	МН (7/16,7)		
ВД	42	Н (4/9,5)	С (19/45,2)	В (19/45,2)		
ФК	42	УП (3/7,1)	ОП 18/42,9)	ШП (12/28,6)	ШР (1/2,4)	НК (8/19,1)
ПК	42	Г (21/50,0)	С (17/40,5)	Р (4/9,5)		
П	27	НП (22/81,5)	СлП (2/7,4)	СП (1/3,7)	ОП (2/7,4)	
ФЛП	42	О (11/26,2)	Я (21/50,0)	ШЯ (23/54,8)	У (1/2,4)	
КЛП	42	КГ (7/16,7)	МГ 21/50,0)	КП (7/16,7)	МкП (9/21,4)	ПГ (3/7,1)
***P. armeniaca* (2-я популяция, вторая точка)**						
ПП	23	Н (2/8,7)	С (15/65,2)	В (6/26,1)		
СД	23	ВБ (10/43,5)	ВЖ (9/39,1)	МП (3/13,0)	П (1/4,3)	
ВД	23	С (10/43,5)	В (13/56,5)			
ФК	23	УП (1/4,3)	ОП 11/47,8)	ШП (7/30,4)	О (2/8,7)	НК (2/8,7)
ПК	23	Г (15/65,2)	С (8/34,8)			
П	1	НП (22/81,5)	СлП 7/30,4)	СП (5/21,7)		
ФЛП	23	О (2/8,7)	Я (11/47,8)	ШЯ (11/47,8)		
КЛП	23	КГ (5/21,7)	МГ 11/47,8)	КП (3/13,0)	МкП (6/26,1)	
***P. armeniaca* (2-я популяция, третья точка)**						
ПП	16	В (16/100,0)				
СД	16	ВЖ (7/46,7)	МП (9/53,3)			
ВД	16	С (15/93,8)	В (1/6,7)			
ФК	16	ШП 11/68,8%)	О (1/6,7)	НК (3/18,8)		
ПК	16	Г (9/53,3)	С (6/40,0)	Р (1/6,7)		
П	16	СлП (1/6,7)	СП (4/26,6)	ОП (11/66,7)		
ФЛП	16	О (6/40,0)	ШЯ 10/60,0)			
КЛП	16	МГ (16/100,0)				

Таблица 3. **Окончание**
Table 3. **The end**

Дескрипторы	Количество образцов	Количество образцов / проценты				
P. armeniaca **(2-я популяция, четвертая точка)**						
ПП	5	С (5/100,0)				
СД	5	ВЖ (3/60,0)	МП (2/40,0)			
ВД	5	С (5/100)				
ФК	5	О (1/20,0)	НК (4/80,0)			
ПК	5	Г (2/40,0)	С (3/60,0)			
П	5	СП (3/60,0)	ОП (2/40,0)			

Примечание: используемые дескрипторы – высота дерева (ВД), край листовой пластинки (КЛП), плодоношение (П), плотность кроны (ПК), плотность популяции (ПП), состояние дерева (СД), форма кроны (ФК), форма листовой пластинки (ФЛП); анализируемые морфологические признаки – взрослое больное (ВБ), взрослое жизнеспособное (ВЖ), высокий (-ая, -ое) (В), густая (Г), крупногородчатый (КГ), крупнопильчатый (КП), мелкогородчатый (МГ), молодое неплодоносящее (МН), мелкопильчатый (МкП), молодое плодоносящее (МП), неправильная крона (НК), нет плодоношения (НП), низкая (-ое) (Н), обильное плодоношение (ОП), обратнопирамидальная (ОП), округлая (-ое) (О), пильчатогородчатый (ПГ), плоскоокруглая (ПО), погибающее (П), редкая (Р), слабое плодоношение (СлП), средний (-яя, -ее, -ие) (С), среднее плодоношение (СП), старое дряхлое (СД), удлиненная (У), узкопирамидальная (УП), широкопирамидальная (ШП), широкораскидистая (ШР), широкояйцевидная (ШЯ), эллиптическая (Э), яйцевидная (-ое) (Я)

Note: the list of descriptors includes the tree height (ВД), leaf blade edge (КЛП), fruiting (П), crown density (ПК), population density (ПП), tree condition (СД), crown shape (ФК), and leaf blade shape (ФЛП); the symbols for the analyzed morphological characters are adult diseased tree (ВБ), adult viable tree (ВЖ), tall tree (В), dense crown (Г), largely crenate leaf edge (КГ), largely serrate leaf edge (КП), finely crenate leaf edge (МГ), young non-fruitful tree (МН), finely serrate leaf edge (МкП), young fruitful tree (МП), irregular crown (НК), no fruiting (НП), low tree (Н), abundant fruiting (ОП), reverse pyramidal crown shape (ОП), round crown shape (О), serrate-crenate leaf edge (ПГ), flat round crown shape (ПО), dying tree (П), sparse crown (Р), weak fruiting (СлП), medium tree (С), medium fruiting (СП), old decrepit tree (СД), elongated leaf blade shape (У), narrow pyramidal crown (УП), broad pyramidal crown (ШП), broadly spreading crown (ШР), broad ovate leaf blade (ШЯ), elliptical leaf blade (Э), and ovate leaf blade (Я)

определять пожароопасные зоны и составлять карты опустынивания.

Определяя состояние здоровья растений, вычисляли отношение между разностью интенсивностей отраженного света в красном (RED) и инфракрасном диапазоне (NIR) и их суммой. В результате выявлено, что NDVI колебался в значениях от 0,3 до 0,7, что соответствует верхним показателям для слабой, больной растительности, нижним показателям индексов для здоровой растительности; основная масса лесного массива соответствовала средним показателям. Составлена карта размещения оцифрованного участка на территории ущелья Большой Аксу Уйгурского района Алматинской области и карта произрастания абрикоса. Абрикос на карте отмечен красными точками (рис. 3, Г–Д).

Введение в культуру in vitro изолированных зародышевых осей

Для введения в культуру *in vitro* используются различные части и органы растений (Ostrikova et al., 2018; İpek et al., 2023). В данном исследовании использовались зародышевые оси вследствие того, что они являются оптимальным материалом для эффективного введения абрикоса в культуру *in vitro* (Ostrikova et al., 2018). В связи с плохим урожаем абрикоса в течение последних четырех лет и пораженностью семенного материала болезнями и вредителями, для введения в культуру *in vitro* использовали зародышевые оси 10 доступных образцов абрикоса. Установлено, что использование питательной среды Кнопа более эффективно для проращивания зародышевых осей. Уже на 3–5-е сутки появились зеленые листочки и отмечено интенсивное отрастание корня (рис. 4, А).

Процент введения в культуру *in vitro* в среднем составил 94,5% (табл. 4). На среде МС светло-зеленые листья появлялись на 6–7-е сутки, листочки были мельче, рост корня не был интенсивным (см. рис. 4, Б). Процент введения в культуру *in vitro* на среде МС в среднем составил 69,4%. В результате установлено, что использование среды Кнопа и МС эффективно для размножения в культуре тканей зародышевых осей абрикоса. Максимальную жизнеспособность (статистически значимую) зародыши абрикоса всех исследуемых генотипов проявляют на питательной среде без регуляторов роста (см. табл. 4). Полученный результат коррелирует с данными, полученными для других видов абрикоса (Ostrikova et al., 2018; Mitrofanova et al., 2020).

Следующим важным этапом для успешного микроклонального размножения послужил контроль пробирочных растений на наличие эндофитной контаминации на специализированной среде 523. Тестирование всех полученных побегов *in vitro* из зародышевых осей показало инфицирование только у образца № 42, где контаминация составила 1,1% (см. рис. 4, Д; табл. 4).

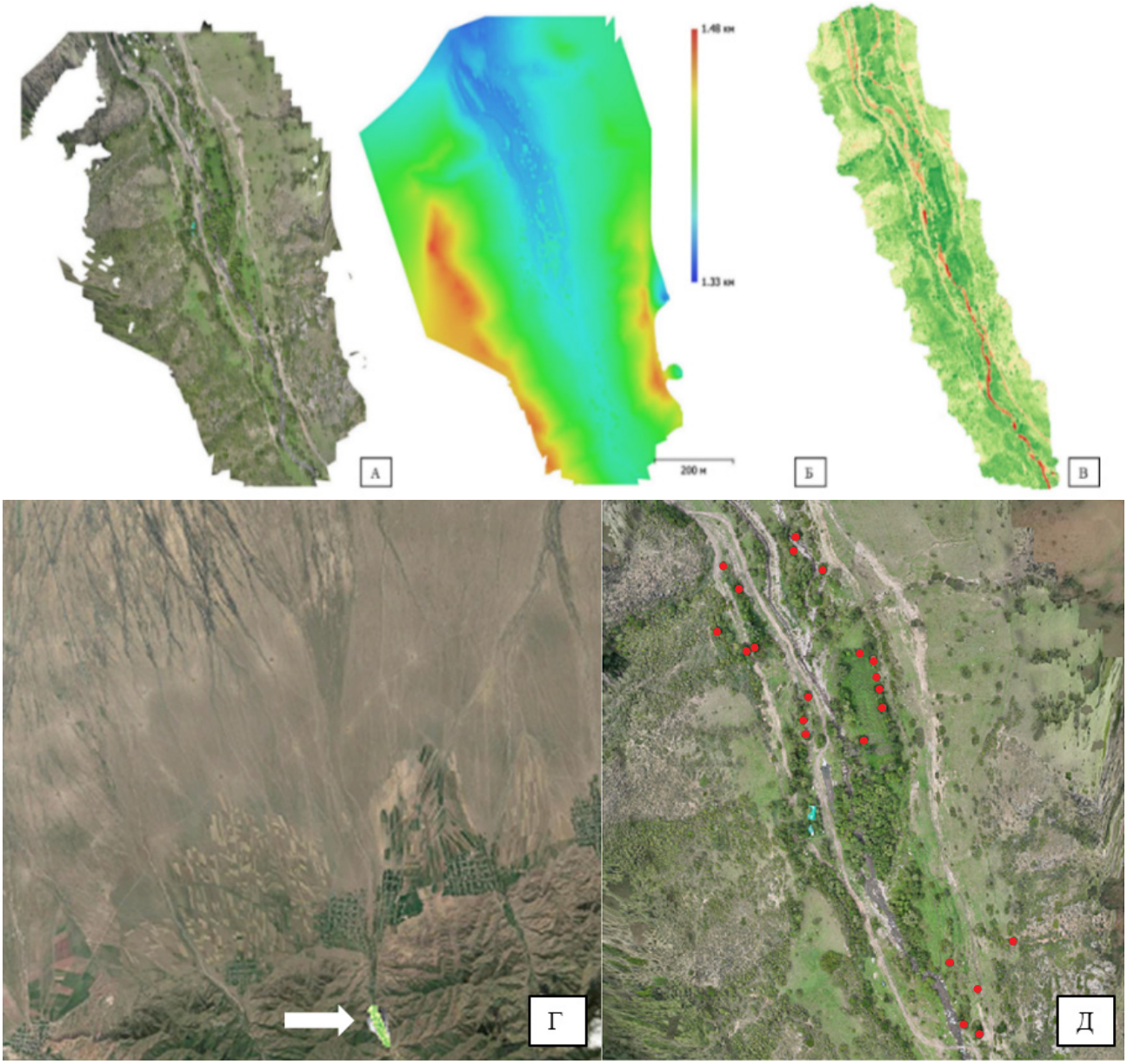


Рис. 3. Дистанционное зондирование территории произрастания *Prunus armeniaca* L. в ущелье Большой Аксу Уйгурского района Алматинской области: А – ортофотоплан; **Б** – карта высот (Digital Elevation Model, DEM); **В** – числовой показатель качества и количества растительности на участке NDVI; **Г** – карта размещения оцифрованного участка (показан стрелкой); **Д** – карта произрастания абрикоса (абрикос отмечен красными точками)

Fig. 3. Remote sensing of the *Prunus armeniaca* L. growing area in the Bolshoy Aksu Gorge, Uyghur District, Almaty Region: А – orthophotomap; **Б** – elevation map (Digital Elevation Model, DEM); **В** – numerical indicator of the quality and quantity of vegetation in the area, NDVI; **Г** – map of the location of the digitized area (shown by the arrow); **Д** – map of the apricot growing sites (apricot is marked with red dots)

При микроклональном размножении растений на коэффициент размножения большое влияние оказывает состав питательной среды. Существует разные варианты питательных сред для микроклонального размножения абрикоса, чаще всего используют питательную среду МС (Pérez-Tornero, Burgos, 2006; Golubev, 2017; Khafri et al., 2020; İpek et al., 2023). Учитывая литературные данные и личный опыт, была подобрана питательная среда МС с 10 вариантами регуляторов роста (см. табл. 2). Высокий коэффициент размножения 4,4 и 3,9 показали образцы № 17 и № 18 на среде МС5 (рис. 4, Е, Ж, З, И; табл. 5).

Достаточно высокий КР от 1,0 до 4,0 на питательной среде МС8 и от 1,0 до 3,6 на питательной среде МС10 получен и с концентрацией 0,8 мг/л БАП, 0,02 мг/л и 0,05 мг/л ИМК, 0,3 мг/л ГК. Увеличение концентрации ГК до 0,4 мг/л на среде МС6 привело к понижению КР до значений 1,0–2,7. Максимальный КР в диапазоне 1,6–4,4 получен на питательной среде МС5 с 1 мг/л БАП, 0,1 мг/л ИМК и 0,3 мг/л ГК.

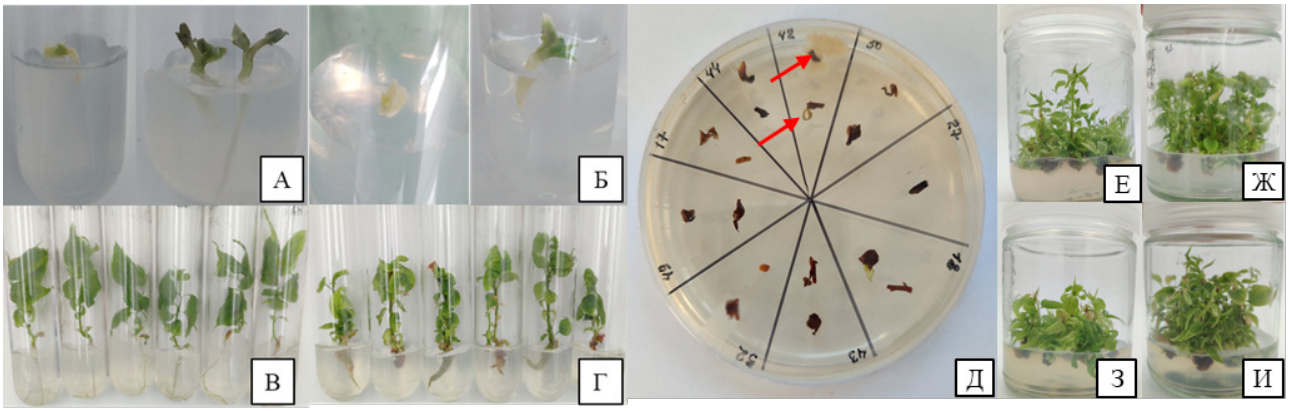


Рис. 4. Микроклональное размножение *Prunus armeniaca* L.:
А, **В** – на среде Кнопа; **Б**, **Г** – на среде МС; **Д** – красные стрелки указывают на инфицированные образцы на среде 523; **Е** – № 17 на среде МС4; **Ж** – № 17 на среде МС5; **З** – № 18 на среде МС4; **И** – № 18 на среде МС5

Fig. 4. Micropropagation of *Prunus armeniaca* L.:
А, **В** – on Knop's medium; **Б**, **Г** – on the MS medium; **Д** – red arrows indicate contaminated accessions on medium 523; **Е** – No. 17 on MS4; **Ж** – No. 17 on MS5; **З** – No. 18 on MS4; **И** – No. 18 on MS5

Таблица 4. Введение в культуру *in vitro* зародышевых осей *Prunus armeniaca* L.

Table 4. *In vitro* initiation of *Prunus armeniaca* L. embryonic axes

Образцы	Размножение ЗО на питательной среде Кнопа		Размножение ЗО на питательной среде МС		Процент асептических побегов после проверки на среде 523	
	Исходное количество ЗО / Жизнеспособные побеги, шт.	%	Исходное количество ЗО / Жизнеспособные побеги, шт.	%	Исходное количество побегов / количество асептических побегов, шт.	%
№ 17	18/16	88,9	17/14	82,4	30/30	100
№ 18	34/31	91,2	30/20	66,7	51/51	100
№ 27	5/5	100,0	–	–	5/5	100
№ 42	9/9	100,0	–	–	9/8	88,9
№ 43	8/6	75,0	8/6	75,0	12/12	100
№ 44	5/5	100,0	-	–	5/5	100
№ 49	10/9	90,0	15/8	53,3	17/17	100
№ 50	7/7	100,0	–	–	7/7	100
№ 52	8/8	100,0	–	–	8/8	100
№ 55	6/6	100,0	–	–	6/6	100
Сред. знач. ± ст. откл.		94,5 ± 8,3[a]		69,4 ± 12,5[b]		98,9 ± 3,5[a]

Примечание: ЗО – зародышевые оси; данные представляют собой среднее значение ± SE; значения, сопровождаемые различными буквами в каждом разделе, значительно различались при p ≤ 0,05 с использованием теста разделения средних Тьюки

Note: ЗО – embryonic axes; the data represent mean ± SE; values followed by different letters within each section were significantly different at p ≤ 0.05 using Tukey's mean separation test

Таблица 5. **Коэффициент размножения *in vitro* побегов абрикоса на различных вариантах питательной среды МС**

Table 5. **Multiplication rates of *in vitro* apricot shoots on different variants of the MS medium**

Образцы	№ 17	№ 18	№ 27	№ 42	№ 43	№ 44	№ 49	№ 50	№ 52	№ 55
ИКП, шт.	26	34	20	36	24	28	36	28	24	20
КП4Н на МС1, шт.	40	68	20	92	52	48	124	28	60	40
КР	1,5	2,0	1,0	2,6	2,2	1,7	3,4	1,0	2,5	2,0
ИКП, шт.	26	34	24	30	36	42	36	30	36	30
КП4Н на МС2, шт.	37	69	96	45	84	84	100	90	54	30
КР	1,4	2,0	4,0	1,5	2,3	2,0	2,8	3,0	1,5	1,0
ИКП, шт.	42	51	36	30	30	48	42	36	30	39
КП4Н на МС3, шт.	99	114	60	48	81	60	81	60	36	45
КР	2,4	2,2	1,7	1,6	2,7	1,3	1,9	1,7	1,2	1,3
ИКП, шт.	33	51	30	36	30	42	42	30	36	36
КП4Н на МС4, шт.	108	135	75	54	105	54	81	54	48	63
КР	3,2	2,6	2,5	1,5	3,5	1,3	1,9	1,8	1,3	1,8
ИКП, шт.	28	28	24	20	24	20	32	24	20	20
КП4Н на МС5, шт.	124	108	60	40	88	56	100	48	50	32
КР	4,4	3,9	2,5	2,0	3,7	2,8	3,1	2,0	2,5	1,6
ИКП, шт.	54	90	36	36	90	27	23	36	27	27
КП4Н на МС6, шт.	103	90	16	36	90	45	63	45	35	27
КР	1,9	1,0	2,3	1,0	1,0	1,6	2,7	1,3	1,3	1,0
ИКП, шт.	54	54	27	27	81	28	27	29	27	27
КП4Н на МС7, шт.	60	81	108	54	150	28	30	29	36	102
КР	1,1	1,5	4,0	2,0	1,9	1,0	1,1	1,0	1,3	3,8
ИКП, шт.	39	81	27	27	54	36	27	45	27	18
КП4Н на МС8, шт.	54	171	87	57	216	104	84	45	87	58
КР	1,4	2,1	3,2	2,1	4,0	2,9	3,1	1,0	3,2	3,2
ИКП, шт.	36	45	27	45	36	36	27	54	35	27
КП4Н на МС9, шт.	72	55	87	50	128	36	87	54	35	90
КР	2,0	1,2	3,2	1,1	3,6	1,0	3,2	1,0	1,0	3,3
ИКП, шт.	27	36	25	27	27	45	36	45	32	36
КП4Н на МС10, шт.	66	92	50	63	103	50	84	160	32	112
КР	2,4	2,6	2,0	2,3	3,8	1,1	2,3	3,6	1,0	3,1

Примечание: исходное количество побегов (ИКП), шт.; количество побегов после 4 недель (КП4Н) на МС1, шт.

Note: initial number of shoots (ИКП), pcs.; number of shoots after 4 weeks (КП4Н) on MS1, pcs.

Выводы

Описание популяций современными геоботаническими методами позволили установить реальное состояние дикорастущих лесных массивов *P. armeniaca*. Выявлена высокая поражаемость деревьев до 52,6% (некроз, повреждения насекомыми, лишайниками, грибные заболевания). В первой популяции и в двух точках второй популяции отсутствовало плодоношение.

С помощью дистанционного зондирования составлены карта размещения оцифрованного участка на территории ущелья Большой Аксу Уйгурского района Алматинской области и карта произрастания абрикоса. Определена локация массового произрастания абрикоса, размечена изучаемая площадь, создан ортофотоплан, получена ЦМР, установлен NDVI в значениях от 0,3 до 0,7, что соответствует средним показателям. Полученные данные могут быть использованы в географических информационных системах (ГИС), для моделирования ландшафта, наводнений или дренажа, исследований землепользования и геологических приложений.

Установлено, что использование питательной среды Кнопа более эффективно (94,5%) для проращивания зародышевых осей в культуре *in vitro*, чем среда МС (69,4%). Тестирование полученных побегов *in vitro* на среде 523 показало крайне низкий процент контаминации (1,1%), что говорит о низком проценте зараженности исходного материала. Максимальный коэффициент размножения в диапазоне 1,6–4,4 получили на питательной среде МС5 с 1 мг/л БАП, 0,1 мг/л ИМК и 0,3 мг/л ГК. Полученная *in vitro* коллекция впоследствии будет использована для проведения SSR-маркирования биоразнообразия дикорастущих популяций *P. armeniaca*, а также для получения саженцев, которые используют для восстановления деградирующих популяций.

References / Литература

Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Mahrouk M.E., Taha N., Bayoumi Y. et al. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*. 2022;8(8):677. DOI: 10.3390/horticulturae8080677

Alzubi H., Yepes L.M., Fuchs M. *In vitro* storage of micropropagated grapevine rootstocks at low temperature. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2019;55(3):334-341. DOI: 10.1007/s11627-019-09980-8

Balenović I., Marjanović H., Vuletić D., Paladinić E., Ostrogović Sever M.Z., Indir K. Quality assessment of high-density digital surface model over different land cover classes. *Periodicum Biologorum*. 2015a;117(4):459-470. DOI: 10.18054/pb.2015.117.4.3452

Balenović I., Seletković A., Pernar R., Jazbec A. Estimation of the mean tree height of forest stands by photogrammetric measurement using digital aerial images of high spatial resolution. *Annals of Forest Research*. 2015b;58(1):125-143. DOI: 10.15287/afr.2015.300

Balla I., Vértesy J. *In vitro* culture of Hungarian apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Acta Horticulturae*. 2000;560:395-398. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.560.75

Chaudhury R., Malik S.K. Cryopreservation of plant species: Practical approaches from handling to cryobanking. New Delhi: ICAR – NBPGR; 2017. Available from: http://www.nbpgr.ernet.in:8080/cryobank/img/books/Cryo_Preservation_of_Plant_Species.pdf [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

Dunaeva S.E., Antonova O.Y., Pendinen G.I., Shvachko N.A., Gavrilenko T.A. Maintenance of genetic diversity of vegetatively propagated plant crops under controlled environment at the VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:245-256. [in Russian] (Дунаева С.Е., Антонова О.Ю., Пендинен Г.И., Швачко Н.А., Гавриленко Т.А. Сохранение генетического разнообразия вегетативно размножаемых культур растений в контролируемых условиях среды в ВИРе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:245-256).

Dzhangaliev A.D., Salova T.N., Turekhanova P.M. The wild fruit and nut plants of Kazakhstan. In: J. Janick (ed.). *Horticultural Reviews. Vol. 29. Wild Apple and Fruit Trees of Central Asia*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2003. p.305-371. DOI: 10.1002/9780470650868.ch3

Dzhangaliev A.D., Salova T.N., Turekhanova R.M. Wild fruit plants of Kazakhstan. Almaty; 2001. [in Russian] (Джангалиев А.Д., Салова Т.Н., Туреханова Р.М. Дикие плодовые растения Казахстана. Алматы; 2001).

Engelmann F. Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2011;47(1):5-16. DOI: 10.1007/s11627-010-9327-2

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data: [website]. Available from: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL [accessed Jan. 21, 2025].

Gavrilenko T.A., Dunayeva S.E., Truskinov E.V., Antonova O.Y., Pendinen G.I., Lupysheva J.V. et al. A strategy of long-term conservation of vegetatively propagated crops under controlled conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:273-285. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Трускинов Э.В., Антонова О.Ю., Пендинен Г.И., Лупышева Ю.В. и др. Стратегия долгосрочного сохранения генофонда вегетативно размножаемых сельскохозяйственных растений в контролируемых условиях среды. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007:164:273-285).

GISGeography. What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): [website]. Available from: https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index [accessed Oct. 11, 2024].

Golubev A.M. Clonal micropropagation of some apricot genotypes in the culture of apical meristems and leaf cuttings. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;144(2):64-69. [in Russian] (Голубев А.М. Клональное микроразмножение некоторых генотипов абрикоса в культуре апикальных меристем и высечек листьев. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2017;144(2):64-69).

Groppi A., Liu S., Cornille A., Decroocq S., Bui Q.T., Tricon D. et al. Population genomics of apricots unravels domestication history and adaptive events. *Nature Communications*. 2021;12(1):3956. DOI: 10.1038/s41467-021-24283-6

İpek M., Arıkan Ş., Eşitken A., Aras S. Effect of different hormones concentration on *in vitro* regeneration of apricot cultivars. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*. 2023;11(8):1372-1379. DOI: 10.24925/turjaf.v11i8.1372-1379.6194

Jenderek M.M., Reed B.M. Cryopreserved storage of clonal germplasm in the USDA National Plant Germplasm Sys-

tem. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2017;53(4):299-308. DOI: 10.1007/s11627-017-9828-3

Jiang F., Zhang J., Wang S., Yang L., Luo Y., Gao S. et al. The apricot (*Prunus armeniaca* L.) genome elucidates Rosaceae evolution and beta-carotenoid synthesis. *Horticulture Research*. 2019;6(1):128. DOI: 10.1038/s41438-019-0215-6

Khafri A.Z., Solouki M., Zarghami R., Fakheri B.A., Mahdinezhad N., Naderpour M. *In vitro* propagation of three Iranian apricot cultivars. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2020;57(1):1-16. DOI: 10.1007/s11627-020-10112-w

Knop W. Quantitative Utersuchungen Über den Ernährungensprozeß der Pflanze. *Landwirtschaftliche Versuchsstation*. 1865;7:93. [in German]

Kokoreva I.I., Otradnykh I.G., Syedyna I.A., Lysenko V.V. Rare plant species of the Northern Tien Shan. Almaty; 2013. [in Russian] (Кокорева И.И., Отрадных И.Г., Съедина И.А., Лысенко В.В. Редкие виды растений Северного Тянь-Шаня. Алматы; 2013).

Kovalchuk I., Turdiyev T., Mukhitdinova Z., Frolov S., Reed B.M. Cryopreservation of native Kazakhstan apricot (*Prunus armeniaca* L.) seeds and embryonic axes. *CryoLetters*. 2014;35(2):83-89.

Kovalchuk I.Y., Mukhitdinova Z.R., Turdiyev T.T., Madiyeva G.A., Reed B.M. Optimization of *in vitro* growth medium for a wild Kazakhstan apricot, *Prunus armeniaca. Acta Horticulturae*. 2017:1155:193-199. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1155.27

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

Lalso V., Onet A., Vicas S., Agud E., Onet C. *In vitro* propagation of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Annals of the University of Oradea, Fascicle: Environmental Protection*. 2018:30:197-202. Available from: https://protmed.uoradea.ro/facultate/publicatii/protectia_mediului/2018A/im/05.%20Laslo%20Vasile.pdf [accessed Jan. 21, 2025].

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., Ordidge 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].

Mitrofanova I.V., Mitrofanova O.V., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Chelombit S.V., Gorina V.M., Chirkov S.N. Some features of obtaining new breeding forms of apricot *in vitro. Acta Horticulturae*. 2020;1290:237-242. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1290.42

Mukanova G.S., Smailova M.K., Sankaibaeva A.G., Shadmanova L.Sh. Analysis of phenological, pomological and biochemical characteristics of wild apricot in Kazakhstan. *Acta Horticulturae*. 2024;1387:217-224. DOI: 10.17660/ActaHortic.2024.1387.29

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

Ostrikova O.V., Fedotova I.E., Kharkhardina E.L. Studing of the nutrient medium hormonal composition influence on the morphogenesis of apricot embryos *in vitro* culture. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2018;5(1):93-96. [in Russian] (Острикова О.В., Федотова И.Э., Хархардина Е.Л. Изучение влияния гормонального состава питательной среды на морфогенез зародышей абрикоса обыкновенного в культуре *in vitro*. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2018;5(1):93-96).

Pérez-Tornero O., Burgos L. Apricot micropropagation. In: S.M. Jain, H. Häggman (eds). *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht: Springer; 2006. p.267-278. DOI: 10.1007/978-1-4020-6352-7_25

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).

Romadanova N., Kushnarenko S., Karasholakova L. Development of a common PVS2 vitrification method for cryopreservation of several fruit and vegetable crops. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2017;53(4):382-393. DOI: 10.1007/s11627-017-9849-y

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

Romadanova N.V., Tolegen A.B., Kushnarenko S.V., Zholdybayeva E.V., Bettoni J.C. Effect of Plant Preservative Mixture™ on endophytic bacteria eradication from *in vitro*-grown apple shoots. *Plants (Basel)*. 2022;11(19):2624. DOI: 10.3390/plants11192624

Rotach P. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for service tree (*Sorbus domestica*). Rome: IPGRI; 2003. Available from: https://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical_guidelines/Technical_guidelines_Sorbus_domestica.pdf [accessed Jan. 21, 2025].

Šiško M., Ternjak T., Grobelnik-Mlakar S. The effects of different cytokinin types and their concentration on *in vitro* growth of apricot (*Prunus armeniaca* L.) shoots. *Agricultura*. 2022;19(1):1-6. DOI: 10.18690/agricultura.19.1.1-6.2022

Soliman H.I.A. *In vitro* propagation of apricot (*Prunus armeniaca* L.) and assessment of genetic stability of micropropagated plants using RAPD analysis. *World Applied Sciences Journal*. 2012;19(5):1818-4952. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.05.2770

SYSTAT 13.0.5: [website]. Available from: https://systat.informer.com/13.0 [accessed Jan. 21, 2025].

Trigiano R.N., Gray D.J. (eds). Plant tissue culture, development, and biotechnology. Boca Raton, FL: CRC Press; 2011. DOI: 10.1201/9781439896143

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

Weier J., Herring D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory; 2000. Available from: https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation [accessed Oct. 10, 2024].

Zaurov D.E., Molnar T., Eisenman S.W., Ford T.M., Mavlyanova R.F., Capik J.M. et al. Genetic resources of apricots (*Prunus armeniaca* L.) in Central Asia. *HortScience*. 2013;48(6):681-691. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.6.681

Информация об авторах

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

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

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

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

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

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

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

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 29.05.2025; принята к публикации 11.08.2025.
The article was submitted on 31.01.2025; approved after reviewing on 29.05.2025; accepted for publication on 11.08.2025.