

Научная статья

УДК 631.52:635.9

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-03



Оценка регенерационного потенциала каллусной ткани сортов *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson в культуре *in vitro*

Р. С. Рахмангулов¹, Н. Г. Тихонова¹, А. А. Иванов¹, М. В. Ерастенкова¹, К. М. Межина¹, Е. В. Евдокимов^{2,3}, Ю. В. Ухатова¹, Е. К. Хлесткина¹

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Россия, Санкт-Петербург

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Адлерская опытная станция – филиал ВИР, Россия, Сочи

³ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), Сочинский институт (филиал) РУДН, Россия, Сочи

Автор, ответственный за переписку: Рахмангулов Руслан Султанович, r.rakhmangulov@vir.nw.ru

Актуальность. Применение современных агробιοтехнологических методов позволяет получать качественно новые высокорентабельные сорта актинидии с повышенным содержанием биологически активных веществ. Достижение подобных результатов возможно при комплексном изучении генетических ресурсов растений коллекции ВИР, в том числе и в асептических условиях *in vitro*. В этой связи актуальным является изучение вопросов индукции каллусогенеза с последующей пролиферацией у перспективных сортов *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson в условиях *in vitro* с целью их сохранения для дальнейшей селекции. **Материалы и методы.** Объектами исследования стали четыре сорта *A. chinensis* var. *deliciosa* коллекции ВИР ‘Hayward’, ‘Bruno’, ‘Monty’, ‘Allison’. В качестве эксплантов для введения в условия *in vitro* использовали молодые побеги проростков, выращенных в культуральных сосудах в условиях климатической камеры. На данном этапе использовали три стерилизующих вещества. Побеги вводили в пробирки с питательной средой по прописи Мурасиге и Скуга (МС). На десятые сутки производили учет эффективности введения в культуру при стерилизации различными видами веществ. Для индукции каллусогенеза использовали листовые сегменты с микрорастений актинидии, которые помещали на питательную среду МС с различным сочетанием регуляторов роста. Для изучения эффективности препарата 3-гидрокситетрагидрофурана (рифтал), регулятора роста растений, был заложен опыт, в котором стабильно растущий каллус был пересажен на четыре варианта питательной среды МС с добавлением 1 мл/л препарата различной концентрации. Непосредственно для индукции органогенеза использовали каллус сортов актинидии, поддерживаемый в течение трех лет. **Результаты и обсуждение.** Наилучший результат с точки зрения эффективности стерилизации и жизнеспособности эксплантов показал вариант стерилизации побегов 10%-ным раствором «Белизны», универсальным моющим, дезинфицирующим и отбеливающим средством. Образование первичного каллуса отмечено на всех вариантах питательных сред для индукции каллусогенеза. При последующем культивировании каллусной ткани на питательных средах МС, содержащих 2,4-Д в своем составе, отмечено образование рыхлого, водянистого, бесхлорофильного каллуса. В опыте по изучению влияния рифтала отмечен стабильный рост каллуса на всех вариантах питательных сред и зафиксировано образование корней у сортов ‘Hayward’, ‘Allison’, ‘Bruno’. Отмечен органогенез в каллусной ткани у всех изучаемых сортов. **Заключение.** Оценка регенерационного потенциала *A. deliciosa* у сортов ‘Hayward’, ‘Allison’, ‘Bruno’, ‘Monty’, позволила выявить сорта ‘Hayward’ и ‘Allison’ с наибольшим количеством регенерантов на органогенный каллус: 2,2 и 3,7 соответственно. Полученные результаты послужат основой для интенсификации селекционного процесса представителей рода *Actinidia* с применением современных молекулярно-генетических и биотехнологических методов, в том числе и с помощью геномного редактирования CRISPR/Cas.

Ключевые слова: генетические ресурсы растений, *Actinidia* (Lindl.), каллусная ткань, регенерация микрорастений *in vitro*, каллусогенез, органогенез

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану НИР № FGEM-2025-0008 «Разработка подходов ускоренной селекции для улучшения хозяйственно ценных признаков декоративных и ягодных культур».

Для цитирования: Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г., Иванов А.А., Ерастенкова М.В., Межина К.М., Евдокимов Е.В., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Оценка регенерационного потенциала каллусной ткани сортов *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson в культуре *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2026;9(1):49-63. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-03

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г., Иванов А.А., Ерастенкова М.В., Межина К.М., Евдокимов Е.В., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К., 2026

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-o3

Evaluation of the regenerative potential of callus tissue in *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A.Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson cultivars in *in vitro* culture

Ruslan S. Rakhmangulov¹, Nadezhda G. Tikhonova¹, Aleksandr A. Ivanov¹, Mariya V. Erastenkova¹, Ksenya M. Mezhdina¹, Evgeny V. Evdokimov^{2,3}, Yulia V. Ukhatova¹, Elena K. Khlestkina¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Adler Experiment Station, a branch of VIR, Sochi, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Sochi Institute (branch) RUDN University, Sochi, Russia

Corresponding author: Ruslan S. Rakhmangulov, r.rakhmangulov@vir.nw.ru

Background. The use of modern agrobiotechnological methods allows for obtaining qualitatively new highly profitable *Actinidia* cultivars with an increased content of bioactive substances. Achieving such results is possible through a comprehensive study and use of genetic resources of plants from the VIR collection, including *in vitro* aseptic conditions. In this regard, it is relevant to study the issues of callusogenesis induction with subsequent proliferation of promising cultivars of *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson *in vitro* with the aim of preserving them for further selection. **Materials and methods.** The objects of the study were the cultivars: 'Hayward', 'Bruno', 'Monty', and 'Allison' of *A. chinensis* var. *deliciosa* from the VIR collection. Young shoots of plantlets from seeds germinated in culture vessels in a climatic chamber were used as explants for introduction into artificial culture conditions. At this stage, three variants of sterilizing agents were tested for identifying the main substance for multi-stage sterilization of explants. Shoots were placed in test tubes with a nutrient medium according to the Murashige and Skoog (MS) prescription. On day 10, the efficiency of introduction applying different types of sterilizing substances was assessed. To induce callusogenesis, leaf segments from *Actinidia* microplants were planted on four variants of the MS nutrient medium with different combinations of growth regulators. In order to determine the efficiency of 3-Hydroxytetrahydrofuran (Riftal) plant growth regulator, a steadily growing callus was transplanted onto four variants of the MS nutrient medium with the addition of 1 ml/l of the growth regulator at different concentrations. Calluses of *Actinidia* cultivars maintained *in vitro* for three years were used directly for the induction of organogenesis. **Results and discussion.** The best result in terms of sterilization efficiency and explant viability was shown by the variant of shoot sterilization with a 10% solution of "Belizna", a universal detergent, disinfectant and bleaching agent. Primary callus formation was noted on all variants of nutrient media for callusogenesis induction. However, the subsequent cultivation of callus tissue on MS nutrient media containing 2,4-D, resulted in formation of loose, hydrated, chlorophyll-free calli. In the experiment focused on the effect of Riftal, steady callus growth was noted on all variants of nutrient media and root formation was recorded in cultivars 'Hayward', 'Allison', and 'Bruno'. Organogenesis was noted in callus tissue of all studied cultivars. **Conclusions.** Evaluation of the regenerative potential of *A. chinensis* var. *deliciosa* cultivars 'Hayward', 'Allison', 'Bruno', and 'Monty' has shown that 'Hayward' and 'Allison' have the highest number of regenerants per organogenic callus: 2.2 and 3.7, respectively. The obtained results will serve for intensifying the breeding within the genus *Actinidia* using modern molecular genetics and biotechnological methods, including CRISPR/Cas genome editing.

Keywords: plant genetic resources, *Actinidia* (Lindl.), callus tissue, *in vitro* microplant regeneration, callusogenesis, organogenesis

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the State Assignment to VIR in accordance with the SRW Thematic Plan Topic No. FGEM-2025-0008 "Development of accelerated breeding approaches to improve the economically valuable properties of ornamental and berry crops".

For citation: Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G., Ivanov A.A., Erastenkova M.V., Mezhdina K.M., Evdokimov E.V., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K. Evaluation of the regenerative potential of callus tissue in *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson cultivars in *in vitro* culture. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2026;9(1):49-63. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-o3

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G., Ivanov A.A., Erastenkova M.V., Mezhdina K.M., Evdokimov E.V., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K., 2026

Введение

Современное международное сообщество и мировая экономика переживают переход производительных сил в шестой технологический уклад, успешная реализация которого в первую очередь будет зависеть от эффективного использования имеющихся инноваций. В России с целью сохранения технологического суверенитета наблюдается активное развитие стратегии НТР (On the Strategy..., 2024). В области сельского хозяйства в рамках ФНТП на 2017-2030 годы (Federal Scientific and Technical Program..., 2017) особое внимание уделяется выведению сортов растений с качественно новыми заданными характеристиками. Для достижения подобных результатов имеется полный арсенал современных агробιοтехнологических и молекулярно-генетических методов, коллекции генетических ресурсов растений, что позволяет обеспечить продовольственную безопасность страны, сохранить лидерские позиции в экспорте как на традиционных рынках, так и расширить присутствие на рынке Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества.

Одним из таких молекулярно-генетических методов является геномное редактирование CRISPR/Cas. Совершенствованию и развитию технологии геномного редактирования опосредованного системой CRISPR/Cas, посвящено множество обзоров и методологических работ, в которых сообщается о значимых успехах редактирования генов 186 генотипов ряда злаковых, овощных, плодовых, ягодных, декоративных культур (Khlestkina, Shumny, 2016; Tikhonova, Khlestkina, 2019; Kuluev et al., 2019; Strygina, Khlestkina, 2020; Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022; Rakhmangulov et al., 2022; Ukhatova et al., 2023).

В настоящее время в России развитию концепции функционального питания уделяется все больше внимания в соответствии с основными положениями Доктрины продовольственной безопасности страны (On approval of the Doctrine ..., 2020). Формирование теоретических основ, организация производства, реализация и употребление функциональных пищевых продуктов ориентировано на оздоровление населения путем корректировки биохимического состава продуктов питания массового потребления. Среди основных задач, на решение которых направлено функциональное питание, отмечается и восполнение дефицита микронутриентов (Dydykin, Aslamova, 2016). Добавление в рацион разнообразных продуктов питания богатых микронутриентами способствует предупреждению и снижению риска развития хронических заболеваний и замедлению процессов старения. Одними из таких микронутриентов являются биологически активные вещества, которым свойственны антиоксидантные, противовоспалительные, гипогликемические, антимуtagenные, антидиабетические, противораковые, нейропротекторные свойства (Fotev et al., 2018; Yudina et al., 2021). Больше всего данных веществ содержится в плодах и ягодах садовых культур. В связи с этим отме-

чают актуальность разработки селекционных программ, ориентированных на создание новых сортов растений с повышенным содержанием биологически активных веществ (Yudina et al., 2021).

Среди таких растений особое место занимает актинидия, к которой в последнее время возрастает интерес ввиду ценных биологически активных веществ в плодах. Так по данным FAO в 2022 году, мировой уровень производства актинидии достиг 4,5 млн тонн (FAOSTAT, 2024).

Род *Actinidia* (Lindl.) насчитывает свыше 70 видов, которые представлены в основном многолетними кустарниковыми лианами из субтропических лесных регионов Юго-Восточной Азии. В промышленном масштабе возделывается вид *Actinidia chinensis* Planch., в рамках которого различают два подвида: *A. chinensis* Planch. var. *chinensis* и *A. chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson. Основные площади возделывания актинидии заняты сортом 'Hayward' *A. chinensis* var. *deliciosa*, на который приходится 90-95% реализуемых плодов актинидии. Другим видом, который набирает популярность в Европе, является *A. arguta* Planch. (Latocha et al., 2011; Molkanova et al., 2022). В России на Дальнем Востоке встречаются естественные места произрастания *Actinidia kolomikta* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *A. arguta* Planch., *A. giraldii* Diels. и *A. polygama* (Sieb. et Zucc.) Maxim. (Kolbasina, 2000). На черноморском побережье Западного Кавказа интродуцирована *A. chinensis* var. *deliciosa*, где ее выращивают в промышленном масштабе в условиях открытого грунта (Tarasenko, 1999).

Работы по интродукции в культуру дальневосточных видов актинидии начаты еще в конце XIX века (Plekhanova, 1990), позже предприняты попытки интродукции *A. deliciosa* (Michurin, 1940; Plekhanova, 1990; Tarasenko, 1999) в различные географические зоны. В 1985 году в условиях Адлерской опытной станции – филиала ВИР (Адлерская ОС – филиал ВИР) заложен первый сад *A. deliciosa*, который и сейчас сохранен, и даже пополнен образцами других видов актинидии. В последующем в условиях субтропиков были изучены особенности биологии, требования к условиям выращивания *A. deliciosa*, *A. kolomikta*, *A. arguta* (Plekhanova, 1990; Tarasenko, 1999; Kolbasina, 2000; Tutberidze, 2004; Aiba, 2004; Tutberidze et al., 2012), разработаны технологические регламенты вегетативного размножения *A. deliciosa* зелеными и одревесневшими черенками в условиях субтропиков России (Ryndin et al., 2014). К настоящему времени разработаны биотехнологические методы культивирования органов и тканей в условиях *in vitro* ряда видов *Actinidia*. Установлено, что на регенерационный потенциал *A. chinensis* var. *deliciosa* (Mitrofanova, 2000; Malyarovskaya et al., 2024), *A. kolomikta*, *A. arguta*, *A. polygama* (Konovalova et al., 2008; Krakhmaleva et al., 2023) влияют следующие факторы: вид, подвид, сорт, тип исходного экспланта и концентрация регуляторов роста.

Россия обладает лишь незначительными площадями Черноморского побережья, пригодными для возделыва-

ния *A. chinensis* var. *deliciosa*, поэтому актуальным вопросом селекции становится продвижение данной культуры в более северные районы. Учеными ВИР и ФНЦ Садоводства ведутся эколого-географические исследования образцов различных видов актинидии в условиях умеренного климата Подмосковья и Северо-Запада России (Plekhanova, 1983; Kolbasina, Kozak, 2014; Kozak et al., 2015). В целом, имеется значительный потенциал для расширения ареала культивирования видов *Actinidia* на территории России. Ускоренному расширению ареала возделывания данной культуры может способствовать комплексное изучение генетических ресурсов, в том числе с применением современных молекулярно-генетических и биотехнологических методов, что в последующем позволит получить новые высококормительные сорта актинидии с повышенным содержанием биологически

активных веществ, адаптированных к умеренному климату России.

Целью данной работы явилось изучение вопросов индукции каллусогенеза с последующей пролиферацией почек и побегов у перспективных сортов *A. chinensis* var. *deliciosa* в условиях *in vitro* для дальнейших селекционных работ.

Материалы и методы

Объектами исследования стали четыре генотипа *A. chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson, поддерживаемые на коллекционном участке Адлерской ОС – филиала ВИР (табл. 1). В качестве эксплантов использовали молодые активно вегетирующие побеги и сегменты листовых пластинок.

Таблица 1. Образцы *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson из коллекции ВИР, взятые в качестве материала исследований

Table 1. Accessions of *A. chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang & A.R. Ferguson from the VIR collection taken as research material

№	Наименование сорта/ Cultivar name	№ каталога ВИР/ VIR Catalogue No.	Происхождение/ Origin
1	'Hayward'	к-44018	Болгария
2	'Bruno'	к-44020	Болгария
3	'Monty'	к-44019	Болгария
4	'Allison'	к-44022	Болгария

Для отработки этапа введения в асептические условия использовали различные стерилизующие вещества, среди которых 10%-ный раствор «Белизны» (гипохлорит натрия), 10% перекись водорода и 3% раствор «Велтолена» (клатрат четвертичного аммониевого соединения с карбамидом). Для апробации способов стерилизации был задействован сорт 'Hayward' в качестве модельного объекта. Далее экспланты всех четырёх генотипов актинидии стерилизовали лишь одним вариантом основного действующего вещества. Процесс стерилизации эксплантов состоял из поверхностной очистки с помощью моющего средства в течение 10 минут, обработки 70% этиловым спиртом в течение 30 секунд и стерилизации основным действующим веществом в зависимости от варианта опыта в течение 10 минут. После стерилизации производили 3-х кратную промывку эксплантов в стерильной дистиллированной воде. Для каждого образца брали по 10 эксплантов в трехкратной повторности при введении побегов в культуру *in vitro*, а также листовые диски с микрорастений актинидии, поддерживаемые в культуре *in vitro* для индукции каллусогенеза и последующего органогенеза. Введение в условия *in vitro* осуществляли в пробирках с питательной средой МС (Sigma-Aldrich; Murashige, Skoog, 1962). Опытные экспланты содержали в комнате искусственного климата при фотопериоде 16 час. свет/8 час. темнота и температуре

25±1,0°C, влажности 70% и освещенности 5000 Лк. Учет на наличие контаминации и некроза проводили на 10 день введения эксплантов в условия *in vitro*.

Для инициации роста побегов и индукции каллусогенеза был произведен пассаж на питательные среды по прописи МС с различным сочетанием регуляторов роста (табл. 2). В дальнейшем, после определения оптимального соотношения фитогормонов для стабильного роста каллусной ткани, поддержание каллуса осуществлялось на одной среде с пассажем один раз в два месяца. На момент закладки опыта по регенерации микрорастений из каллусной ткани возраст каллуса всех изучаемых образцов составлял три года.

Статистический анализ. Все данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение (SD). Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартного программного пакета Microsoft Office Excel 2016, Statistica 12.0. Различия между средними значениями нескольких групп определяли с помощью теста Тьюки. Все различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Общеизвестно, что стерилизация многолетних древесных культур является трудоемким процессом и при-

Таблица 2. Варианты соотношения фитогормонов для роста побегов, индукции каллусной ткани и регенерации микрорастений актинидии

Table 2. Variants of phytohormones ratio for shoot growth, callus tissue induction and regeneration of *Actinidia* microplants

№	Регуляторы роста, мг/л / Growth regulators, mg/L	Ссылка / Reference
Побеги		
МС-1	1,0 БАП+0,1 ИУК	модифицировано по Corsi, 2014
МС-2	2,0 БАП+0,1 ИУК	модифицировано по Corsi, 2014
МС-3	1,0 КИН+0,1 ИУК	модифицировано по Corsi, 2014
МС-4	2,0 КИН+0,1 ИУК	модифицировано по Corsi, 2014
Листовые сегменты		
МС-5	2,0 2,4-Д	модифицировано по Revilla, Power, 1988
МС-6	2,5 БАП+2,0 НУК	модифицировано по Gvasaliya, 2013
МС-7	1,0 БАП+0,5 2,4-Д+0,1 ИУК	модифицировано по Gvasaliya, 2013
МС-8	1 зеатин+0,1 ИУК	модифицировано по Oliveira, 2005
Каллус		
МС-9	1 мл 0,001% рифтал	Talipov et al., 1999
МС-10	1 мл 0,0005% рифтал	Talipov et al., 1999
МС-11	1 мл 0,0001% рифтал	Talipov et al., 1999
МС-12	1 мл 0,00005% рифтал	Talipov et al., 1999
Регенерация		
МС-13	6 зеатин+0,1 НУК	модифицировано по Wang et al., 2007
МС-14	3 зеатин+0,1 НУК	Wang et al., 2007
МС-15	2,5 БАП+2,0 НУК	модифицировано по Gvasaliya, 2013

водит к низким результатам введения в условия *in vitro*. Сад актинидии на Адлерской ОС – филиале ВИР заложен в 1985 году на площади 5 га, представляет собой единственный на территории России промышленный сад. В случаях введения побегов с многолетних растений в условия *in vitro*, с целью повышения эффективности стерилизации применяют различные способы, среди которых выращивание маточных растений в горшках в контролируемых условиях теплицы, предобработка побегов непосредственно перед основной стерилизацией, а также многоступенчатая деконтаминация с использованием ряда стерилизующих агентов (Rakhmangulov et al., 2018). В нашем случае мы использовали многоступенчатую поверхностную обработку и стерилизацию эксплантов, апробированную ранее на ряде декоративных кустар-

ников и субтропических древесных культур (Gvasaliya, 2013; Kolomiets et al., 2014; Malyarovskaya et al., 2020). В качестве эксплантов использовали невызревшие фрагменты побега с одной почкой. Для более полного понимания применимости данного многоступенчатого способа при работе с эксплантами актинидии использовали ряд стерилизующих веществ: 10%-ный раствор «Белизны», 10%-ная перекись водорода и 3%-ный раствор «Велтолена». В результате эмпирическим путем установлено, что лучшим вариантом стерилизации является 10%-ный раствор «Белизны» с 83%-ной эффективностью выхода чистых и жизнеспособных эксплантов. 3%-ный раствор «Велтолена» и 10%-ная перекись водорода оказались менее эффективными (табл. 3). Далее в работе при введении в культуру *in vitro* всех образцов актинидии, исполь-

Таблица 3. Варианты стерилизации побегов актинидии

Table 3. Options for sterilizing *Actinidia* shoots

№/ No.	Наименование / Name	Контаминация, %/ Contamination, %	Некроз, %/ Necrosis, %	Стерильные экспланты, %/ Sterile explants, %
Апробация				
1	«Белизна», 10%	17	-	83
2	Перекись водорода, 10%	25	-	75
3	«Велтолен», 3%	-	39	61
Основная стерилизация эксплантов сортов (10% «Белизна»)				
1	‘Hayward’	30	-	70
2	‘Bruno’	15	-	75
3	‘Monty’	20	-	80
4	‘Allison’	38	-	62

зовали многоступенчатую стерилизацию с 10%-ным раствором «Белизны». Эффективность стерилизации оказалась ниже, чем при апробации, однако она была в пределах, необходимых для получения достаточного количества качественного материала для дальнейших работ.

В последующем с образцами актинидии был заложен опыт по выявлению степени влияния концентрации некоторых фитогормонов на рост и развитие побегов (рис. 1,

табл. 4). В результате сравнения данных установили наибольшие значения средних длин микропобегов у сортов: 'Hayward' – 1,65 см (МС-2), 'Bruno' – 1,42 см (МС-1). Для сорта 'Allison' оптимальной питательной средой стал вариант МС-3 со средней длиной микропобегов 1,32 см, тогда как для сорта 'Monty' ею оказалась среда МС-1. Достоверно значимых различий для сортов 'Allison' и 'Monty' не выявлено (см. табл. 4).

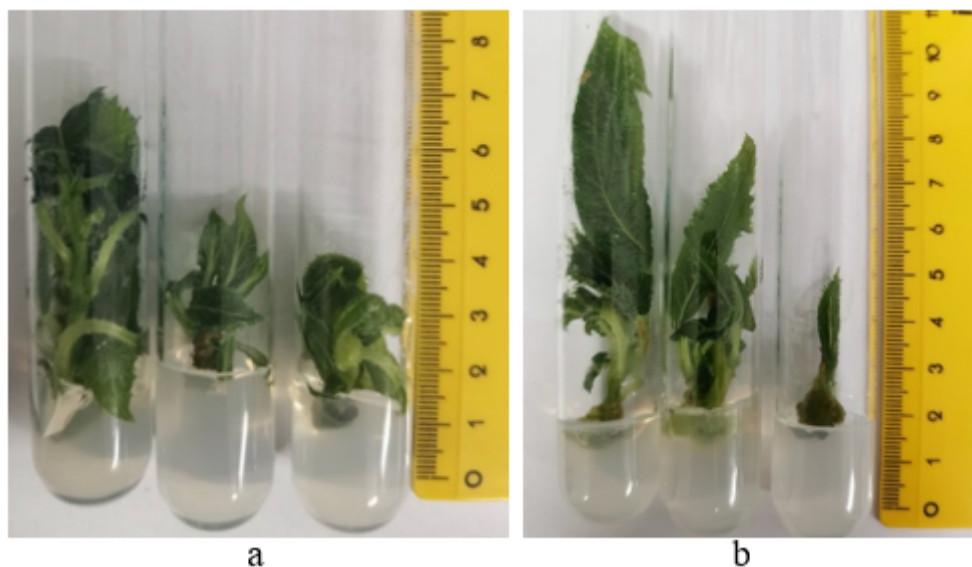


Рис. 1. Микрорастения актинидии сортов 'Monty' (а) и 'Bruno' (b) после введения в культуру *in vitro* фрагментов побегов с почкой

Fig. 1. Micro plants of *Actinidia* cultivars 'Monty' (a) and 'Bruno' (b) after introduction of shoot fragments with a bud into *in vitro* culture

Таблица 4. Средняя длина микропобегов актинидии

Table 4. Average length of *Actinidia* microshoots

№/ No.	Название сорта/ Cultivar name	Вариант питательной среды, длина побега, см/ Culture medium option, shoot length, cm			
		МС-1	МС-2	МС-3	МС-4
1	'Hayward'	1,25±0,58 ^{c,d*}	1,65±0,64 ^c	0,7±0,21 ^{a,b}	0,79±0,23 ^a
2	'Allison'	1,04±0,86	1,11±0,61	1,32±0,54	0,86±0,34
3	'Bruno'	1,42±0,76 ^d	1,11±0,57 ^c	0,98±0,70 ^b	0,68±0,41 ^a
4	'Monty'	1,3±0,73	1,07±0,74	1,21±0,64	1,14±0,44

Примечание: в таблице приведены средние значения ±SD

*a, b, c, d – значимые отличия средних значений длин микропобегов между вариантами питательных сред

Note: The table shows mean values ±SD.

*a, b, c, d – significant differences in average microshoot length between nutrient media options

В исследовании наших коллег В.И. Маляровской с соавторами (Malyarovskaya et al., 2023) по изучению особенностей влияния типов и концентраций цитокининов на этапе микроразмножения лучший вариант питательной среды для сорта 'Hayward' со средним значением длины микропобегов в 3,96 см отмечен при воздействии

2 мг/л БАП+1 мг/л ГК₃, тогда как в случае МС без ГК₃ только с 2 мг/л БАП – 2,11 см, что на 0,46 см больше, чем у образцов актинидии 'Hayward' в данном эксперименте. В свою очередь, для сорта 'Monty' также наибольший показатель средней длины микропобегов отмечен на питательной среде с 2 мг/л БАП+1 мг/л ГК₃, тогда

как на среде без ГК₃ только с 2 мг/л БАП – 1,11 см, что в определённой степени согласуется с нашими данными. Различия в морфометрических показателях средних длин микропобегов сорта ‘Hayward’, возможно, могут быть объяснены разным возрастом маточных растений Адлерской ОС – филиала ВИР (год закладки – 1985 год) и растений коллекции ФИЦ «Субтропический научный центр РАН» (год закладки – 2021 год) (Malyarovskaya et al., 2023).

В дальнейшем с целью индукции каллусогенеза был осуществлен пассаж листьев с ранее введенных в культуру побегов всех изучаемых образцов актинидии на питательные среды с различным сочетанием регуляторов роста (табл. 5). В результате на всех апробированных вариантах питательных сред отмечен активный прирост каллусной ткани различной структуры и цвета в зависимости от концентрации и сочетания гормонов (рис. 2).

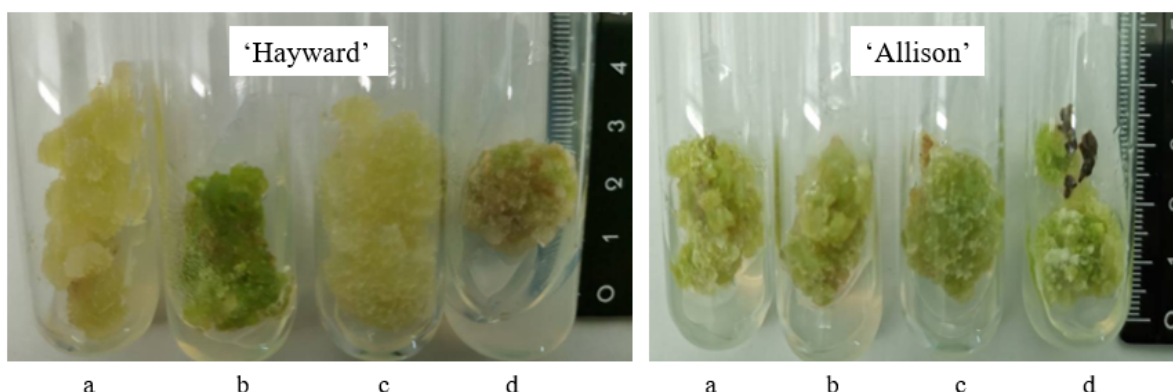


Рис. 2. Каллусная ткань актинидии сортов ‘Hayward’ (слева) и ‘Allison’ (справа) на питательных средах для каллусогенеза

Питательные среды. а – МС-5 : 2,0 мг/л 2,4-Д; б – МС-6: 2,5 мг/л БАП+2,0 мг/л НУК;
с – МС-7: 1,0 мг/л БАП+0,5 мг/л 2,4-Д+0,1 мг/л ИУК; д – МС-8: 1,0 мг/л зеатин+0,1 мг/л НУК

Fig. 2. Callus tissue of *Actinidia* cvs. ‘Hayward’ (left) and ‘Allison’ (right) on nutrient media for callusogenesis

Nutrient media. а – МС-5: 2.0 mg/l 2,4-D; б – МС-6: 2.5 mg/l BAP+2.0 mg/l NAA;
с – МС-7: 1.0 mg/l BAP+0.5 mg/l 2,4-D +0.1 mg/l IAA; д – МС-8: 1.0 mg/l zeatin+0.1 mg/l NAA

Таблица 5. Средняя масса каллуса образцов актинидии

Table 5. Average callus mass of *Actinidia* accessions

№/ No.	Сорт/ Cultivar	Вариант питательной среды, масса каллуса, г/ Culture medium variant, callus mass, g			
		МС-5	МС-6	МС-7	МС-8
1	‘Hayward’	1,97±0,49 ^{c*}	1,97±0,66 ^c	2,80±0,51 ^{a,b,d}	1,56±0,26 ^c
2	‘Allison’	2,16±0,77 ^{b,d}	1,54±0,35 ^a	1,91±0,42	1,50±0,37 ^a
3	‘Bruno’	2,46±0,45 ^{b,d}	1,40±0,55 ^{a,c}	2,16±0,87 ^{b,d}	1,41±0,20 ^{a,c}
4	‘Monty’	2,09±0,67 ^{b,c,d}	1,60±0,29 ^{a,c}	2,66±0,32 ^{a,b,d}	1,70±0,29 ^{a,c}

Примечание: в таблице приведены средние значения ±SD

*a, b, c, d – значимые отличия средних значений массы каллуса между вариантами питательных сред

Note: The table shows mean values ±SD.

*a, b, c, d – significant differences in average callus mass between nutrient medium options

Таким образом, лучшим вариантом питательной среды для индукции и прироста каллусной ткани для сортов ‘Hayward’ и ‘Monty’ является МС-7 (1,0 БАП+0,5 мг/л 2,4-Д+0,1 мг/л ИУК), МС-5 (2,0 мг/л 2,4-Д) для сортов ‘Allison’ и ‘Bruno’. Однако каллус на эксплантах всех образцов актинидии в вариантах питательных сред с наибольшим приростом массы имел рыхлую струк-

туру с обесцвеченными (бесхлорофильными) клетками. В варианте питательной среды МС-6 (2,5 мг/л БАП+2,0 мг/л НУК) каллус имел плотную структуру с насыщенной зелёной окраской. Перед нами стояла задача получения эмбрионного каллуса, поэтому мы учли и количественные, и качественные характеристики каллусной массы, и для дальнейшего поддержания в куль-

туре *in vitro* каллусной ткани образцов актинидии был выбран именно вариант МС-6, что позволяло производить пассирование образцов на новые питательные среды один раз в 2-3 месяца.

В дополнение к изучению потенциала роста каллусной ткани актинидии был осуществлен анализ влияния стимулятора роста растений, действующим веществом которого является тетрагидрофуранол-3 (Talipov et al., 1999), другое название соединения – 3-гидрокситетрафуран (рифтал) (Yamaleyeva et al., 2004). В ряде исследований показана положительная роль рифтала на прирост растительной биомассы у различных однодольных и двудольных культур. Так, в фазе формирования зерна у пшеницы и ячменя более интенсивное накопление белков происходит у растений, которые были обработаны рифталом. Также отмечено возрастание количества растворимых белков, глиадинов, гордеинов и снижение содержания глютеинов в зерне (Yamaleyeva et al.,

2004). Сообщается значимая роль в стимуляции увеличения массы корней и их удлинении на 28% по сравнению с контрольными образцами *Triticum aestivum* L. сорта ‘Казахстанская 10’ при стрессовых условиях дефицита минерального питания (Rakhmatullina et al., 2007). В результате нашей работы наибольший прирост массы каллуса отмечен для варианта 1 мл/л 0,0005% рифтала (МС-10) для сортов ‘Hayward’ и ‘Monty’, тогда как для сорта ‘Bruno’ отмечен вариант 1 мл/л 0,001% рифтала (МС-9) и вариант 1 мл/л 0,0001% рифтала (МС-11) для сорта ‘Allison’ (табл. 6). Также отмечено активное образование корней у образцов актинидии при различных вариантах концентрации рифтала (рис. 3), что позволяет предположить ауксиновую природу действующего вещества препарата рифтал и возможное стрессовое состояние каллусной ткани при уменьшении количества минеральных веществ в питательной среде.

Таблица 6. Средняя масса каллуса образцов актинидии на питательных средах с препаратом рифтал

Table 6. Average callus mass of *Actinidia* accessions on nutrient media with Riftal chemical

№/ No.	Сорт/ Cultivar	Вариант питательной среды, масса каллуса, г/ Culture medium option, callus mass, g			
		МС-9	МС-10	МС-11	МС-12
1	‘Hayward’	1,32±0,21 ^{c*}	1,73±0,60 ^c	0,62±0,28 ^{a,b,d}	1,44±0,71 ^a
2	‘Allison’	1,07±0,24 ^c	1,28±0,27	1,53±0,45 ^a	1,35±0,72
3	‘Bruno’	2,46±0,76 ^{b,c}	1,84±0,68 ^{a,c,d}	0,93±0,35 ^{a,b}	1,21±0,45 ^b
4	‘Monty’	1,23±0,15 ^b	1,78±0,55 ^{a,c,d}	1,28±0,19 ^b	1,45±0,18 ^{a,b}

Примечание: в таблице приведены средние значения ±SD.

*a, b, c, d – значимые отличия средних значений массы каллуса между вариантами питательных сред

Note: The table shows mean values ±SD.

*a, b, c, d – significant differences in average values of callus mass between nutrient medium options

Оценка регенерационной способности в культуре *in vitro*. Во время депонированного поддержания на разных питательных средах каллусной ткани образцов актинидии сортов ‘Hayward’, ‘Allison’, ‘Bruno’ отмечены единичные случаи образования регенерантов. Для сорта ‘Monty’ подобный случай отмечен лишь после введения побегов в культуру *in vitro*, на одном из которых на верхнем срезе экспланта регенеранты и образовались (рис. 4). Так в работе В.И. Маляровской с соавторами (Malyarovskaya et al., 2023) для сортов ‘Hayward’ и ‘Monty’ отмечается наибольшее количество микропобегов: 3,9 и 3,1 соответственно, на питательной среде МС с 2 мг/л БАП+1 мг/л ГК₃ (Malyarovskaya et al., 2023). В нашей работе для сортов ‘Hayward’ и ‘Monty’ на одном каллусе формировалось: 1-2,2 и 1,1-1,5 микрорастений соответственно.

Целенаправленно для получения растений-регенерантов из каллусной ткани актинидии использовали моди-

фицированные варианты питательных сред, ранее апробированных другими авторами на листовых эксплантах с целью регенерации после агробактериальной трансформации *Actinidia chinensis* var. *chinensis* Hort16A (Wang et al., 2007). В результате скрининга регенерационной способности установлен наилучший вариант питательной среды с добавлением 6 мг/л зеатина+0,1 мг/л НУК (МС-13) для всех четырех сортов актинидии. Также установлены статистически достоверные различия по показателю среднего количества регенерантов на каллус между вариантами питательных сред (рис. 5, 6; табл. 7). Наибольшие значения среднего количества регенерантов на каллус: 2,2 и 3,7 отмечены для сортов ‘Hayward’ и ‘Allison’ соответственно. Наибольшее количество регенерантов и количество органогенного каллуса отмечено у сорта ‘Allison’ с показателями 92 регенеранта на 25 из 30 эксплантов каллусной ткани.

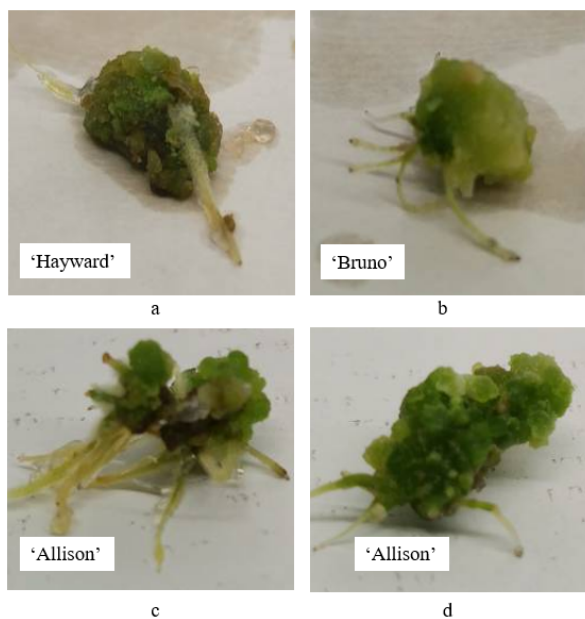


Рис. 3. Влияние препарата рифтал на морфогенез каллуса актинидии
 Питательные среды. а – МС-9: 1 мл/л 0,001% рифтала; б – МС-10: 1 мл/л 0,0005% рифтала;
 с, д – МС-11: 1 мл/л 0,0001% рифтала

Fig. 3. Effect of Riflital chemical on *Actinidia* callus morphogenesis
 Nutrient media. а – МС-9: 1 ml/l 0.001% Riflital; б – МС-10: 1 ml/l 0.0005% Riflital;
 с, д – МС-11: 1 ml/l 0.0001% Riflital

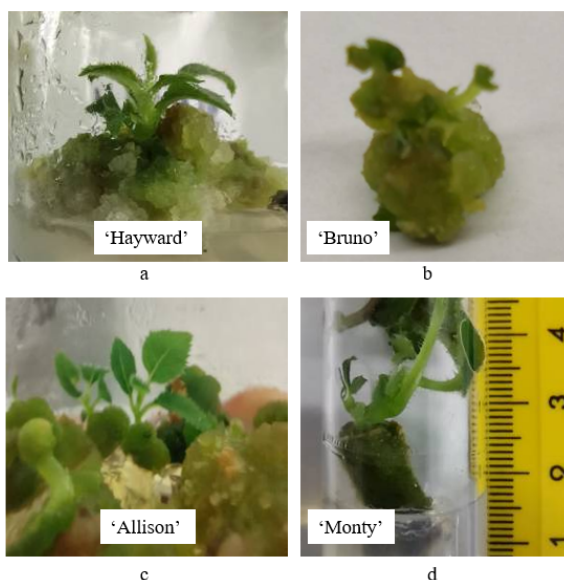


Рис. 4. Спонтанный органогенез из каллусной ткани образцов актинидии
на различных питательных средах

Питательные среды. а – МС-13: 6 мг/л зеатин+0,1 мг/л НУК; б – МС-15: 2,5 мг/л БАП+2 мг/л
 НУК; с – МС-14: 3 мг/л зеатин+0,1 мг/л НУК; д – 0,5 мг/л БАП

Fig. 4. Spontaneous organogenesis from callus tissue of *Actinidia* accessions on various nutrient media
 Nutrient media. а – МС-13: 6 mg/l zeatin+0,1 mg/l NAA; б – МС-15: 2,5 mg/l BAP+2 mg/l
 NAA; с – МС-14: 3 mg/l zeatin+0,1 mg/l NAA; д – 0,5 mg/l BAP

Таблица 7. Регенерационный потенциал каллусной ткани образцов актинидии

Table 7. Regenerative potential of callus tissue of *Actinidia* accessions

№/ No.	Сорт/ Cultivar	Вариант питательной среды/ Culture medium option	Количество органогенного каллуса/ Number of organogenic calli	Процент органогенного каллуса/ Organogenic callus frequency	Количество регенерантов/ Number of regenerants	Среднее количество регенерантов на каллус/ Mean number of regenerants per callus
1	'Hayward'	13	16	53,3	35	2,19±0,28
		14	12	40	20	1,67±0,36
		15	2	6,6	3	1,00
2	'Allison'	13	25	83,3	92	3,68±0,68
		14	20	66,6	40	2,00±0,28
		15	3	10	2	1,33±0,33
3	'Bruno'	13	11	36,6	21	1,91±0,25
		14	10	33,3	23	2,30±0,45
		15	1	3,3	1	1,00
4	'Monty'	13	11	43,3	15	1,15±0,15
		14	4	13,3	6	1,50±0,5
		15	0	0	0	0

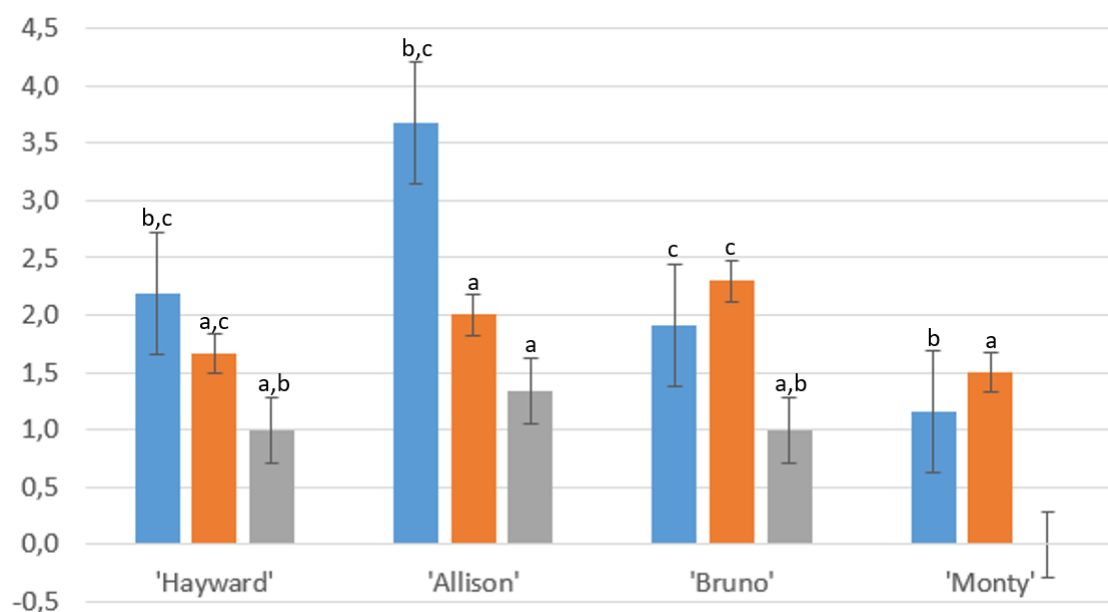


Рис. 5. Среднее количество растений-регенерантов на каллус образцов актинидии

Цветом обозначены питательные среды: 13 (синий) – 6 мг/л зеатин+0,1 мг/л НУК;

14 (оранжевый) – 3 мг/л зеатин+0,1 мг/л НУК; 15 (серый) – 2,5 мг/л БАП+2 мг/л НУК

*a, b, c, d – значимые отличия между средним количеством растений-регенерантов на различных вариантах питательных сред

Fig. 5. Average number of regenerated plants per callus of *Actinidia* accessions

Colors indicate nutrient media: 13 (blue) – 6 mg/L zeatin+0.1 mg/L NUK;

14 (orange) – 3 mg/L zeatin+0.1 mg/L NUK; 15 (gray) – 2.5 mg/L BAP+2 mg/L NUK

*a, b, c, d – significant differences between the average number of regenerated plants on different nutrient media variants

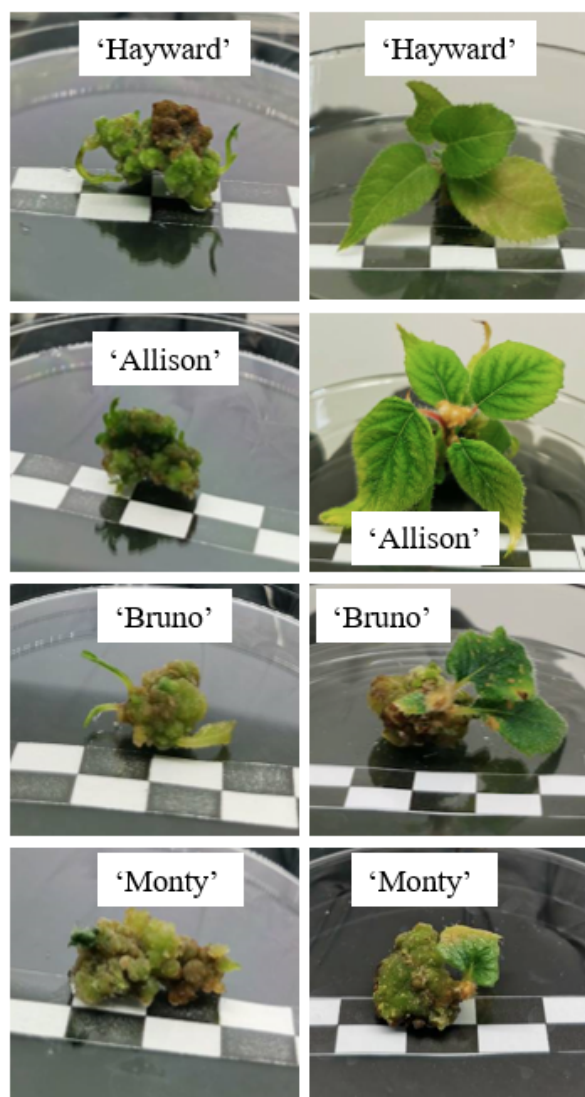


Рис. 6. Растения-регенеранты (справа) из каллусной ткани (слева) образцов актинидии
Fig. 6. Regenerated plants (right) from callus tissue (left) of *Actinidia* accessions

В результате проведенных экспериментов нами подобраны оптимальные условия для регенерации побегов из эксплантов четырех сортов актинидии. В процессе проведения исследований мы фиксировали как адвентивную регенерацию, так и формирование эмбрионного каллуса, способного к регенерации микропобегов. Ранее, в исследовании И.В. Митрофановой (Mitrofanova, 2000), была подчеркнута важность адвентивного побегообразования актинидии непосредственно с листовых дисков, поскольку у регенерантов, полученных из каллусной ткани, отмечался определенный уровень гетерогенности. Через каллусную культуру были получены регенеранты *Haworthia setata* Poelln., отличные по признакам от родительского растения, а также по уровню пloidности: тетраплоиды, анеуплоиды, растения с делецией части сегмента хромосомы, с реципрокными и нерципрокными

ми транслокациям, а также с хроматидными aberrациями, выявляемыми в мейозе (Ogihara, 1981). Аналогичные данные об индуцированной соматоклональной изменчивости получены и другими авторами на примерах длительно депонированных *in vitro* линий *Rumex acetosa* L. и *Inula britannica* L. (Skaptsov et al., 2012; 2015). С другой стороны, цитологический анализ не выявил изменений в числе хромосом у регенерантов лайма *Citrus acida* Roxb. (сейчас *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle), где каллус был получен из нуцелярных семян (Chakravarty, 1999). На соматоклонах чая *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze в культуре *in vitro* посредством SSR и ISSR анализа полногеномной ДНК также установлен сравнительно низкий процент генетических различий у регенерантов полученных из каллусной ткани при субкультивировании *in vitro* свыше 10 лет (Samarina et al., 2019; Gvasaliya, 2021). Кро-

ме того, было показано, что генетический полиморфизм *R. acetosa* и *I. britannica* на ранних стадиях пролиферации клеток каллуса увеличивался, а уже через несколько месяцев после культивирования и на стадии регенерации восстанавливался (Skaptsov et al., 2012; 2015). Таким образом, явление соматической изменчивости предполагает наличие обязательного сравнения ДНК растений-регенерантов с исходными растениями для детекции наличия изменений или их отсутствия, что мы планируем сделать на следующих этапах исследования. В этом ключе интересным является изучение метилирования ДНК растений и влияние данного процесса на развитие клеточных культур, регуляцию активности меристем, инициацию цветения и полового размножения (Lebedeva et al., 2017).

В данном исследовании мы изучили влияние фитогормонов на различных этапах клонального микроразмножения актинидии, установлен эффективный вариант питательной среды для получения растений-регенерантов ряда сортов, что в последующем может упростить селекционный процесс в том числе и с применением методов агробιοтехнологии.

Заключение

Таким образом, произведена оценка регенерационного потенциала каллусной ткани сортов актинидии коллекции ВИР. Установлена возможность использования микрорастений актинидии в культуре *in vitro* в качестве источника листовых эксплантов для последующего каллусогенеза и регенерации, в том числе и в случае агробактериальной трансформации. На примере сортов 'Hayward' и 'Allison' показана высокая регенерационная способность каллусной ткани изученных образцов, несмотря на трехлетний период культивирования в условиях *in vitro*. Актуальным видится дальнейшее изучение полученных растений-регенерантов на предмет генетической однородности по сравнению с исходным растительным материалом. Также интересным будет разработка методологических основ криоконсервации гермоплазмы актинидии в парах жидкого азота с целью длительного хранения ценного растительного материала для дальнейших исследований. Полученные результаты, несомненно, являются значимым вкладом в селекционную программу по получению зимостойких сортов актинидии с хорошими показателями качества плодов и пригодных для выращивания в умеренном климате России.

References/Литература

Aiba L.Ya. Kiwi culture in the subtropical zone of Abkhazia (Kul'tura kivi v subtropicheskoy zone Abhazii). *Horticulture and viticulture*. 2004;(5):22-24. [in Russian] (Айба Л.Я. Культура киви в субтропической зоне Абхазии. *Садоводство и виноградарство*. 2004;(5):22-24).

Chakravarty B. Plantlet regeneration from long-term callus cultures of *Citrus acida* Roxb. and the uniformity of regenerated plants. *Scientia Horticulturae*. 1999;82(1):159-169. DOI: 10.1016/S0304-4238(99)00047-3

Corsi B., Riccioni L., Forni C. *In vitro* cultures of *Actinidia deliciosa* (A. Chev) C.F. Liang & A.R. Ferguson: A tool to study the SAR induction of chitosan treatment. *Organic Agriculture*. 2014;5(3):189-198. DOI: 10.1007/s13165-014-0087-x

Dydykin A.S., Aslamova M.A. Functional nutrition – a new concept of a healthy lifestyle (Funktsional'noye pitaniye – novaya kontseptsiya zdorovogo obraza zhizni). *Agritechnics and technologies*. 2016;(3):43. [in Russian] (Дыдыкин А.С., Асланова М.А. Функциональное питание – новая концепция здорового образа жизни. *Агротехника и технологии*. 2016;(3):43).

FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Domains: Production. Items: Aggregated. Fruit primary. Available from: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize> [accessed November 18, 2024].

Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030. Resolution of the Government of the Russian Federation of August 25, 2017 No. 996 "On approval of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030". (Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma razvitiya sel'skogo hozyaistva na 2017-2030 gody. Postanovleniye Pravitel'stva Rossiiskoy Federatsii ot 25 avgusta 2017 g. №996 "Ob utverzhdenii Federal'noy nauchno-tekhnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo hozyaistva na 2017-2030 gody"). 2017. [in Russian] (Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. №996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы»). URL: <https://minobrnauki.gov.ru/about/deps/dkdovssn/> [дата обращения: 24.02.2026].

Fotev Yu.V., Pivovarov V.F., Artemyeva A.M., Kulikov I.M., Goncharova Yu.K., Syso A.I., Goncharov N.P. The concept of creating a Russian national system of functional food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):776-783. [in Russian] (Фотев Ю.В., Пивоваров В.Ф., Артемьева А.М., Куликов И.М., Гончарова Ю.К., Сысо А.И., Гончаров Н.П. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):776-783). DOI: 10.18699/VJ18.421

Gvasaliya M.V. Clonal micropropagation of tea plants (*Thea sinensis* L.) *in vitro* culture. *Horticulture and viticulture*. 2013;(3):20-22. [in Russian] (Гвасалия М.В. Клональное микроразмножение растений чая (*Thea sinensis* L.) в культуре *in vitro*. *Садоводство и виноградарство*. 2013;(3):20-22).

Gvasaliya M.V. Study of the genetic diversity *in vitro* somatic tea clones (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) by SSR and ISSR methods of full genomic DNA analysis. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2021;69(3):76-85. [in Russian] (Гвасалия М.В. Изучение генетического разнообразия *in vitro* соматических клонов чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) методами SSR и ISSR анализа полногеномной ДНК. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021;69(3):76-85). DOI: 10.30679/2219-5335-2021-3-69-76-85

Khlestkina E.K., Shumny V.K. Prospects for application of breakthrough technologies in breeding: The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing. *Russian Journal of Genetics*. 2016;52(7):774-787. [in Russian] (Хлесткина Е.К., Шумный В.К. Перспективы использования прорывных технологий в селекции: система CRISPR/Cas9 для редактирования генома растений. *Генетика*. 2016;52(7):774-787). DOI: 10.7868/S0016675816070055

Kolbasina E.I. *Actinidia* and magnolia-vine in Russia (biology, introduction, breeding) (Актинидии и лимонник в России (биология, интродукция, селекция). Москва: Россельхозакадемия; 2000. [in Russian] (Колбасина Э.И. Актинидии и лимонник в России (биология, интродукция, селекция). Москва: Россельхозакадемия; 2000).

Kolbasina E.I., Kozak N.V. About the valuable samples of collection *Actinidia arguta*. *Horticulture and viticulture*. 2014;(3):6-11. [in Russian] (Колбасина Э.И., Козак Н.В. О ценных коллекционных образцах актинидии аргута. *Садоводство и виноградарство*. 2014;(3):6-11).

Kolomiets T.M., Malyarovskaya V.I., Gvasaliya M.V., Samarina L.S.,

- Sokolov R.N. Propagation *in vitro* of subtropical, ornamental crops and endemic species of Western Caucasus: developed and improved protocols. *Agricultural biology*. 2014;49(3):49-58. [in Russian] (Коломиец Т.М., Маляровская В.И., Гвасалия М.В., Самарина Л.С., Соколов Р.Н. Микроразмножение *in vitro* субтропических, декоративных культур и эндемиков Западного Кавказа: оригинальные и оптимизированные протоколы. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;49(3):49-58).
- Konovalova L.N., Malaeva E.V., Molkanova O.I. Assessment of resource potential and optimization of technology for clonal micropropagation of representatives of the *Actinidiaceae* Van-Tiegh family (Otsenka resursnogo potentsiala i optimizatsiya tekhnologii klonal'nogo mikrorazmnozheniya predstavitelei semeistva *Actinidiaceae* Van-Tiegh). *The Bulletin of KrasGAU*. Krasnoyarsk. 2008;(6):42-46. [in Russian] (Коновалова Л.Н., Малаева Е.В., Молканова О.И. Оценка ресурсного потенциала и оптимизация технологии клонального микроразмножения представителей семейства *Actinidiaceae* Van-Tiegh. *Вестник КрасГАУ*. Красноярск. 2008;(6):42-46).
- Kozak N.V., Temirbekova S.K., Kulikov I.M. *Actinidia colomicta* of VSTISP breeding. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2015;1:43-45. [in Russian] (Козак Н.В., Темирбекова С.К., Куликов И.М. Актинидия коломикта селекции ВСТИСП. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015;1:43-45).
- Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I., Orlova N.D., Koroleva O.V., Mitrofanova I.V. Plant growth regulators on the micropropagation of *Actinidia* cultivars. *Ciencia e Agrotecnologia*. 2023;47:e008923. DOI: 10.1590/1413-7054202347008923
- Kuluev B.R., Kiryanova O.Yu., Gerashchenkov G.A., Rozhnova N.A., Gumerova G.R., Verzhinina Z.R., Matniyazov R.T., Akhmetzyanova L.U., Knyazev A.V., Mikhaylova E.V., Garafutdinov R.R., Baymiev An.Kh., Gubaydullin I.M., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. Some novelties in CRISPR/Cas genome editing and related areas. *Biomics*. 2019;11(3):315-343. [in Russian] (Кулуев Б.Р., Кирьянова О.Ю., Геращенко Г.А., Рожнова Н.А., Гумерова Г.Р., Вершинина З.Р., Матниязов Р.Т., Ахметзянова Л.У., Князев А.В., Михайлова Е.В., Гарафутдинов Р.Р., Баймиев А.Н.Х., Губайдуллин И.М., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Некоторые новшества в CRISPR/Cas геномном редактировании и в смежных областях. *Биомика*. 2019;11(3):315-343). DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-27
- Latocha P., Jankowski P., Radzanowska J. Genotypic difference in postharvest characteristics of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrids), as a new commercial crop. *Food Research International*. 2011;44(7):1936-1945. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.01.033
- Lebedeva M.A., Tvorogova V.E., Tikhodeev O.N. Epigenetic mechanisms and their role in plant development. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53(10):1057-1071. DOI: 10.1134/S1022795417090083
- Malyarovskaya V.I., Kolomiets T.M., Samarina L.S. Methods of clonal micropropagation and preservation of the species of natural flora and beautifully blooming shrubs in *in vitro* conditions (Metodika klonal'nogo mikrorazmnozheniya i sohraneniya vidov prirodnoy flory i krasivocvetushchih kustarnikov v usloviyakh *in vitro*). Sochi: Federal Research Centre Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; 2020. [in Russian] (Маляровская В.И., Коломиец Т.М., Самарина Л.С. Методика клонального микроразмножения и сохранения видов природной флоры и красивоцветущих кустарников в условиях *in vitro*. Сочи: Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»; 2020).
- Malyarovskaya V.I., Matskiv A.O., Tutberidze Ts.V. Rhizogenesis induction features of *Actinidia* Lindl. genus representatives *in vitro*. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2024;(88):133-145. [in Russian] (Маляровская В.И., Мацькив А.О., Тутберидзе Ц.В. Особенности индукции ризогенеза в условиях *in vitro* представителей рода *Actinidia* Lindl. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2024;(88):133-145). DOI: 10.31360/2225-3068-2024-88-133-145
- Malyarovskaya V.I., Matskiv A.O., Tutberidze Ts.V. Specifics of the influence of cytokinin types and concentrations during micropropagation stage of of the genus *Actinidia* Lindl. representatives. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2023;(85):132-143. [in Russian] (Маляровская В.И., Мацькив А.О., Тутберидзе Ц.В. Особенности влияния типов и концентраций цитокининов на этапе микроразмножения представителей рода *Actinidia* Lindl. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2023;(85):132-143). DOI: 10.31360/2225-3068-2023-85-132-144
- Michurin I.V. Essays. Notebooks and diaries (Sochineniya. Zapisnyye knizhki i dnevniki). Vol. 3. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1940. [in Russian] (Мичурин И.В. Сочинения. Записные книжки и дневники. Т. 3. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1940).
- Mitrofanova I.V. Direct regeneration of micro-shoots from leaf disks of kiwi (*Actinidia deliciosa* (Chev.) Liang, Ferguson) in *in vitro* conditions (Pryamaya regeneratsiya mikropobegov iz listovykh diskov kivi (*Actinidia deliciosa* (Chev.) Liang, Ferguson) v usloviyakh *in vitro*). *Plant Introduction*. 2000;(1):157-158. [in Russian] (Митрофанова И.В. Прямая регенерация микропобегов из листовых дисков киви (*Actinidia deliciosa* (Chev.) Liang, Ferguson) в условиях *in vitro*. *Интродукция растений*. 2000;(1):157-158).
- Molkanova O., Krakhmaleva I., Kozak N. Genetic resources and features of clonal micropropagation of Far Eastern species of *Actinidia*. In: *BIO Web of Conferences. Dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N.I. Vavilov; 2021 November 25-26; Saratov, Russia. Vol. 43*. Saratov; 2022. DOI: 10.1051/bioconf/20224303021
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Ogihara Y. Tissue culture in *Haworthia*: Part 4: genetic characterization of plants regenerated from callus. *Theoretical and Applied Genetics*. 1981;60(6):353-363. DOI: 10.1007/BF00264330
- Oliveira M.M., Fraser L.G. *Actinidia* spp. Kiwifruit. In: R.E. Litz (ed.). *Biotechnology of fruit and nut crops*. Wallingford, UK: CAB Publishing; 2005. p.1-27.
- On approval of the Doctrine of food security of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 (Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiiskoy Federatsii. Ukaz Prezidenta Rossiiskoy Federatsii No. 20 ot 21 yanvarya 2020 g.). 2020. [in Russian] (Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. №20. 2020). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106> [дата обращения: 24.02.2026]
- On the Strategy for scientific and technological development of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation of February 28, 2024 No. 145 (O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiiskoy Federatsii. Ukaz rezidenta Rossiiskoy Federatsii No. 145 ot 28 fevralya 2024). 2024. [in Russian] (О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145. 2024). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> [дата обращения: 24.02.2026].
- Plekhanova M.N. *Actinidia*, schizandra, honeysuckle (Aktinidiya, limonnik, zhimolost'). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Плеханова М.Н. Актинидия, лимонник, жимолость. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- Plekhanova M.N. Winter-hardy varieties of *Actinidia* for the Northwestern region of the Non-chernozem zone of the RSFSR (Zimostoikiye sorta aktinidii dlya severo-zapadnogo rayona nechernozemnoy zony RSFSR). *Research Bulletin of the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1983;(127):58-61. [in Russian] (Плеханова М.Н. Зимостойкие сорта актинидии для северо-западного района нечерноземной зоны РСФСР. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1983;(127):58-61).
- Rakhmangulov R.S. Application of the CRISPR/Cas system for gene editing in ornamental crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):33-41. [in Russian] (Рахмангулов Р.С. Применение

- системы CRISPR/Cas для редактирования генов декоративных культур. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(3):33-41. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-01
- Rakhmangulov R.S., Barabanov I.V., Erastenkova M.V., Ivanov A.A., Kovalenko T.M., Mezhdina K.M., Petrosyan I.A., Kharchenko A.A., Shaimardanov D.Yu., Shaimardanova E.H., Anisimova I.N., Tikhonova N.G., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). *Biotechnology and plant breeding*. 2022;5(4):65-78. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Барабанов И.В., Ерастенкова М.В., Иванов А.А., Коваленко Т.М., Межина К.М., Петросян И.А., Харченко А.А., Шаймарданов Д.Ю., Шаймарданова Э.Х., Анисимова И.Н., Тихонова Н.Г., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):65-78). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03
- Rakhmangulov R.S., Malyarovskaya V.I., Samarina L.S., Koninskaya N.G. To the problem of sterilizing explants of wood and fruit crops when introducing into *in vitro* conditions. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2018;(64):116-120. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Маляровская В.И., Самарина Л.С., Конинская Н.Г. К вопросу стерилизации эксплантов древесных и плодовых культур при введении в условия *in vitro*. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2018;(64):116-120).
- Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G. Breeding of ornamental plants in Russia. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):40-54. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г. Селекция декоративных растений в России. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):40-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-04
- Rakhmatullina S.R., Fedyayev V.V., Talipov R.F., Rakhmankulova Z.F. The effect of Rifal chemical on the morphophysiological parameters of wheat seedlings with normal and deficient mineral nutrition (Vliyaniye preparata riftal na morfofiziologicheskie parametry prorostkov pshenitsy pri normal'nom i defitsitnom mineral'nom pitanii). *Agricultural chemistry*. 2007;(5):42-48. [in Russian] (Рахматуллина С.Р., Федяев В.В., Талипов Р.Ф., Рахманкулова З.Ф. Влияние препарата рифтал на морфофизиологические параметры проростков пшеницы при нормальном и дефицитном минеральном питании. *Агрохимия*. 2007;(5):42-48).
- Revilla M.A., Power J.B. Morpho-genetic potential of long-term callus cultures of *Actinidia deliciosa*. *The Journal of Horticultural Sciences*. 1988;63:541-545.
- Ryndin A.V., Tutberidze Ts.V., Grebenyukov S.N., Gryazev V.A. Influence of growth stimulators on *Actinidia deliciosa* vegetative micropropagation in Russian subtropics. *Agricultural biology*. 2014;49(3):59-69. [in Russian] (Рындин А.В., Тутберидзе Ц.В., Гребенюков С.Н., Грязев В.А. Вегетативное размножение *Actinidia deliciosa* в условиях субтропиков России при применении стимуляторов роста. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;49(3):59-69).
- Samarina L.S., Gvasaliya M.V., Koninskaya N.G., Rakhmangulov R.S., Efremov A., Kiselyova N., Ryndin A.V., Hanke M.-V. A comparison of genetic stability in tea [*Camellia sinensis* (L.) Kuntze] plantlets derived from callus with plantlets from long-term *in vitro* propagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2019;138(3):467-474.
- Skaptsov M.V., Belkin D.L., Smirnov S.V., Kutsev M.G. Somaclonal variation of Elecampane, *Inula britannica* L. in culture *in vitro*. *Turczaninowia*. 2015;18(4):41-48. [in Russian] (Скапцов М.В., Белкин Д.Л., Смирнов С.В., Куцев М.Г. Соматоклональная изменчивость девясила британского – *Inula britannica* L. в культуре *in vitro*. *Turczaninowia*. 2015;18(4):41-48). DOI: 10.14258/turczaninowia.18.4.5
- Skaptsov M.V., Kutsev M.G. Changing *Rumex acetosa* L. caryotype in the culture *in vitro* against the background of the somaclonal variation phenomenon *Izvestiya of Altai State University Journal*. 2012;3(2):57-59. [in Russian] (Скапцов М.В., Куцев М.Г. Изменения кариотипа *Rumex acetosa* L. в культуре *in vitro* на фоне явления соматоклональной изменчивости. *Известия алтайского государственного университета*. 2012;3(2):57-59).
- Strygina K.V., Khlestkina E.K. Wheat, barley and maize genes editing using the CRISPR/Cas system. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(1):46-56. [in Russian] (Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Редактирование генов пшеницы, ячменя и кукурузы с использованием системы CRISPR/Cas. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(1):46-56). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-1-02
- Talipov R.F., Gaisin A.M., Safarov M.G., Safullina Z.N., Rakhmankulov D.L., Zorin V.V., Musavirov R.S., Bazunova G.G. Plant Growth Stimulator: Patent RU 2127053 C1; 10.03.1999. №95117735/04, 18.10.1995. [in Russian] (Талипов Р.Ф., Гайсин А.М., Сафаров М.Г., Сафиуллина З.Н., Рахманкулов Д.Л., Зорин В.В., Мусавиров Р.С., Базунова Г.Г. Стимулятор роста растений: Патент на изобретение RU 2127053 C1, 10.03.1999. Заявка №95117735/04 от 18.10.1995). URL: <https://patents.google.com/patent/RU2127053C1/ru> [дата обращения: 13.10.2025].
- Tarasenko V.I. Cultivation of kiwi in Russia (Vozdelyvaniye kivi v Rossii). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Тарасенко В.И. Возделывание киви в России. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Tikhonova N.G., Khlestkina E.K. Genetic editing for improvement of fruit and small fruit crops. *Horticulture and viticulture*. 2019;(44):10-15. [in Russian] (Тихонова Н.Г., Хлесткина Е.К. Генетическое редактирование для улучшения плодовых и ягодных культур. *Садоводство и виноградарство*. 2019;(44):10-15). DOI: 10.31676/0235-2591-2019-4-10-15
- Tutberidze Ts.V. The growth and development of kiwi varieties in the subtropics of Russia (Rost i razvitie sortov kivi v subtropikakh Rossii). *Subtropical and ornamental horticulture*. 2004;(39-2):474-486. [in Russian] (Тутберидзе Ц.В. Рост и развитие сортов киви в субтропиках России. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2004;(39-2):474-486).
- Tutberidze Ts.V., Besedina T.D., Dobezhina S.V. Estimation of *Actinidia deliciosa* cultivars (kiwi) adaptive potential in Russian subtropics. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2012;(80):47-58. [in Russian] (Тутберидзе Ц.В., Беседина Т.Д., Добежина С.В. Оценка адаптивного потенциала сортов *Actinidia deliciosa* (киви) в субтропиках России. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012;(80):47-58). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17904327_89301736.pdf [дата обращения: 24.02.2026].
- Ukhatova Yu.V., Erastenkova M.V., Korshikova E.S., Krylova E.A., Mikhailova A.S., Semilet T.V., Tikhonova N.G., Shvachko N.A., Khlestkina E.K. Improvement of crops using the CRISPR/Cas system: new target genes. *Molecular biology*. 2023;57(3):387-410. [in Russian] (Ухатова Ю.В., Ерастенкова М.В., Коршикова Е.С., Крылова Е.А., Михайлова А.С., Семилет Т.В., Тихонова Н.Г., Швачко Н.А., Хлесткина Е.К. Улучшение культурных растений при помощи системы CRISPR/Cas: новые гены-мишени. *Молекулярная биология*. 2023;57(3):387-410). DOI: 10.31857/S0026898423030151
- Wang T., Atkinson R., Janssen B. The choice of agrobacterium strain for transformation of kiwifruit. *Acta Horticulturae*. 2007;(753):227-232. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.753.26
- Yamaleyeva A.A., Talipov R.F., Ibragimov R.I., Sakayeva A.G. Action of Rifal on fractional composition of protein of seeds and optical properties CPC of plants. *Bulletin of Bashkir State University*. 2004;9(3):96-99. [in Russian] (Ямалеева А.А., Талипов Р.Ф., Ибрагимов Р.И., Сакаева А.Г. Исследование действия рифтала на фракционный состав белков семян и оптические свойства ХБК растений. *Вестник Башкирского университета*. 2004;9(3):96-99).
- Yudina R.S., Gordeeva E.I., Shoeva O.Yu., Tikhonova M.A., Khlestkina E.K. Anthocyanins as components of functional nutrition. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(2):178-189. [in Russian] (Юдина Р.С., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Тихонова М.А., Хлесткина Е.К. Антоцианы как компоненты функционального питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(2):178-189). DOI: 10.18699/VJ21.022

Информация об авторах

Руслан Султанович Рахмангулов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий, лаборатория генетики, селекции и биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

Надежда Геннадьевна Тихонова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая, отдел генетических ресурсов плодовых и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, n.g.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

Александр Александрович Иванов, младший научный сотрудник, лаборатория генетики, селекции и биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.ivanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9055-0986>

Мария Викторовна Ерастенкова, младший научный сотрудник, лаборатория генетики, селекции и биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, m.erastenkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7328-437X>

Ксения Максимовна Межина, младший научный сотрудник, лаборатория генетики, селекции и биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, k.mezhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1587-2608>

Евгений Владимирович Евдокимов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Адлерская опытная станция – филиал ВИР, 354340 Россия, Сочи, ул. Ленина, 95; доцент, Сочинский институт (филиал) РУДН, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), 354376 Россия, Сочи, ул. Куйбышева, 32, agro Eugen_77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2278-577X>

Юлия Васильевна Ухатова, кандидат биологических наук, заместитель директора по научно-организационной работе, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, u.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Information about the authors

Ruslan S. Rakhmangulov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

Nadezhda G. Tikhonova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, n.g.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

Aleksandr A. Ivanov, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.ivanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9055-0986>

Mariya V. Erastenkova, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, m.erastenkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7328-437X>

Ksenya M. Mezhdina, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, k.mezhdina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1587-2608>

Evgeny V. Evdokimov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Adler Experiment Station, a branch of VIR, Lenina Street, 95, Sochi, 354340 Russia; Associate Professor, Sochi Institute (branch) RUDN University, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 32, Street Kuibysheva, Sochi, 354376 Russia, agro Eugen_77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2278-577X>

Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Scientific and Organizational Work, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, u.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

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 22.10.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted on 22.10.2025; approved after reviewing on 27.02.2026; accepted for publication on 20.03.2026.