

ОСОБЕННОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛАНДШАФТНОМ ДИЗАЙНЕ СОРТОВ ГЕЙХЕРЫ (*HEUCHERA* L.) И ГЕЙХЕРЕЛЛЫ (*×HEUCHERELLA* H.R.WEHRH.)

Н.А. Мамаева✉, И.Л. Крахмалева, О.И. Молканова

ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

mamaeva_n@list.ru

Представлены результаты изучения эффективности использования регулятора роста растений — ретарданта хлорхолинхлорида ГУР при разной длительности депонирования *in vitro* сортов гейхеры (*Heuchera*) и гейхереллы (*×Heucherella*), перспективных для применения в ландшафтном дизайне в условиях низких значений температуры воздуха и слабой освещенности, в частности сортов: ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’, ‘Grape Soda’, ‘Midnight Rose Select’, ‘Pistache’ и ‘Plume Cascade’. Выполнено два эксперимента: краткосрочное (6 мес.) и среднесрочное (10 мес.) хранение регенерантов. Установлено, что депонировании изученных сортов гейхеры и гейхереллы в течение 6 мес. оптимальным является использование питательной среды Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов, дополненной 40 г/л сахарозы, 0,3 мг/л 6-бензиламинопурина при температуре $8 \pm 1^\circ\text{C}$ и освещенности 40...50 лк. Показано, что при краткосрочном депонировании регенерационная активность эксплантов сохраняется полностью (100 %) и не зависит от генетических особенностей сортов. Установлено, что при депонировании изученных сортов гейхеры в течение 10 мес. оптимальным является использование питательной среды Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов с добавлением 40 г/л сахарозы и 0,1 мг/л 6-бензиламинопурина при температуре $15 \pm 2^\circ\text{C}$ и интенсивности света 650 лк. Выявлено достоверное влияние сортоспецифических характеристик изученных генотипов на дальнейшую регенерацию растений после среднесрочного депонирования.

Ключевые слова: гейхера (*Heuchera*), гейхерелла (*×Heucherella*), хранение *in vitro*, пониженные значения температуры и освещенности, ретардант хлорхолинхлорид, озеленение

Ссылка для цитирования: Мамаева Н.А., Крахмалева И.Л., Молканова О.И. Особенности депонирования в культуре *in vitro* некоторых перспективных для использования в ландшафтном дизайне сортов гейхеры (*Heuchera* L.) и гейхереллы (*×Heucherella* H.R.Wehrh.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 3. С. 55–69. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-3-55-69

Представители родов гейхера (*Heuchera* L.) и гейхерелла (*×Heucherella* H.R.Wehrh.) — это декоративно-лиственные многолетние травянистые растения, входящие в состав семейства Камнеломковые (*Saxifragaceae* Juss.). К роду *Heuchera* относят 46 видов, распространенных в Северной Америке [1, 2]. Род *×Heucherella* — культигенный. Его представители получены в результате гибридизации гейхеры трясуновковидной (*Heuchera × brizoides* hort. ex Lemoine) и тиареллы сердцевидной (*Tiarella cordifolia* L.) [3].

В настоящее время роды гейхера (*Heuchera* L.) и гейхерелла (*×Heucherella* H.R.Wehrh.) активно применяются в составе широкого спектра ландшафтных композиций: от простых рабаток, выполненных на основе моносортовых

посадок, до сложных, многокомпонентных миксбордеров (рис. 1). Некоторые сорта гейхеры и гейхереллы также могут быть использованы для интерьерного озеленения [4–6].

Базовой характеристикой представителей родов гейхера (*Heuchera* L.) и гейхерелла (*×Heucherella* H.R.Wehrh.) является их принадлежность к группе малолетников [3, 7–9]. В связи с этим при поддержании коллекции *in vitro* этих культур в условиях нормального роста (температура $24 \pm 2^\circ\text{C}$, интенсивность света 1500 лк, фотопериод 16/8 ч) длительность пассажа составляет в среднем четыре недели [10–12]. Совершенствование приемов культивирования гейхеры и гейхереллы, индуцирующих устойчивое замедление ростовых процессов и увеличение продолжительности беспересадочного периода ныне приобрело актуальность, поскольку они имеют широкое распространение в ландшафтном проектировании.



a

Рис. 1. Цветочные композиции с использованием сортов гейхеры (*Heuchera* L.) и гейхереллы (*×Heucherella* H.R. Wehrh.): *a* — гейхерелла в парке Appeltern (Нидерланды); *б* — гейхера в усадьбе С.Н. Худекова (Россия)

Fig. 1. Flower arrangements of the genera *Heuchera* and *×Heucherella*: *a* — Appeltern Park (Netherlands); *б* — S.N. Khudekov estate (Russia)



б

Это позволяет оптимизировать систему поддержания их генофонда в условиях *in vitro*.

Основополагающий принцип методики депонирования растений *in vitro* состоит в сохранении жизнеспособности в период хранения и восстановления регенерационной активности после завершения хранения.

Одним из наиболее эффективных методических подходов к длительному сохранению регенерантов *in vitro* считается их содержание в условиях замедленного роста [13–15]. Замедления ростовых процессов можно достичь благодаря использованию различных способов регуляции экзогенных факторов, в частности физически, т. е. манипуляций с условиями культивирования (снижение температуры и интенсивности света) и химических, т. е. модификаций состава питательной среды (уменьшение концентрации компонентов основы питательной среды, применение осмотиков и ретардантов).

В комплексе факторов, замедляющих метаболические процессы у растений *in vitro*, наиболее доступно и широко распространено депонирование растений при низких положительных значениях температуры [16]. Снижение температуры при культивировании регенерантов позволяет увеличить длительность пассажа до 6...24 мес. в зависимости от таксономического статуса объекта хранения. При этом избранный

температурный диапазон должен коррелировать с экологическими характеристиками растений. Сохранение биологического материала культур, произрастающих в условиях умеренного климата, как правило, осуществляется при температуре 4...8 °С, для представителей тропической флоры — 10...15 °С [17–21].

Снижению кинетики роста регенерантов также способствует уменьшение интенсивности света [22]. Влияние этого стресс-фактора затрагивает как физиологические характеристики растений, снижая продуктивность фотосинтеза, так и изменяет анатомическое строение стебля регенерантов, в частности, слабее развиваются механические ткани и ткани центрального цилиндра. При этом активируется растяжение клеток, что обуславливает вытягивание микропобегов, и повышается уровень биосинтеза эндогенных ауксинов, что потенциально способствует дальнейшему развитию корневой системы. В технологии депонирования снижение интенсивности света используют, преимущественно, как вспомогательный элемент. Эффективность данного подхода изучена для некоторых биологических объектов: гипсофила каменная (*Gypsophila petraea* (Baumg.) Rchb.), гвоздика мозолистая (*Dianthus callizonus* Schott et Kotschy.), виноград культурный (*Vitis vinifera* L.) [23, 24].

Активное лимитирующее действие на ростовые процессы регенерантов оказывает добавление в состав питательной среды ретардантов. Наиболее широко применяют хлорхолинхлорид и паклбутразол [14, 25]. Физиологические аспекты действия хлорхолинхлорида связаны с сокращением вытягивания клеток, активацией камбия (формируются укороченные стебли) и ризогенезом (образуется большое количество коротких корней), биохимические — с индукцией биосинтеза этилена и абсцизовой кислоты, изменением метаболизма тканей (увеличивается содержание хлорофилла в листьях, повышается водоудерживающая способность тканей, усиливается отток пластических веществ в запасующие органы).

В настоящее время для представителей различных таксономических групп с применением ретардантов разработаны способы депонирования в условиях *in vitro*, что считается оптимальной системой сохранения генофонда представителей природной и культурной флоры *ex situ* [15, 26–33].

Цель работы

Цель работы — изучение эффективности депонирования при пониженных значениях температуры, освещенности и применения хлорхолинхлорида при среднесрочном и краткосрочном депонировании *in vitro* изученных сортов гейхеры (*Heuchera* L.) и гейхереллы (*×Heucherella* H.R. Wehrh.), перспективных для использования в озеленении.

Материалы и методы

Исследования проведены в Лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) в 2023–2025 гг.

В ходе работы последовательно выполнены два лабораторных эксперимента: среднесрочное (10 мес.) и краткосрочное (6 мес.) хранение регенерантов сортов гейхеры (*Heuchera* L.) и гейхереллы (*×Heucherella* H.R. Wehrh.).

В качестве объектов исследования выбраны шесть сортов гейхеры и гейхереллы:

- в первом эксперименте
Heuchera × hybrida hort. ‘Cherry Cola’,
Heuchera × hybrida hort. ‘Dew Drops’,
Heuchera × hybrida hort. ‘Midnight Rose Select;
- во втором эксперименте
Heuchera villosa Michx. ‘Pistache’,
Heuchera × hybrida hort. ‘Cherry Cola’,
×Heucherella ‘Grape Soda’,
×Heucherella ‘Plume Cascade’ (рис. 2).

При проведении экспериментов применяли общепринятые и разработанные в Лаборатории

биотехнологии растений ГБС РАН способы [34, 35]. Использовали экспланты размером 1,5...2,0 см. Применяли питательную среду с минеральной основой Murashige and Skoog (MS) [36]: при депонировании — половину концентрации компонентов, при изучении восстановительной способности после хранения — полную. Состав питательной среды дополняли 6,8 г/л агара, 40 г/л сахарозы и 0,2 г/л хлорхолинхлорида (ТУР), а также 6-бензиламинопурином (6-БАП) в концентрации 0,1 мг/л в первом эксперименте и 0,3 мг/л — во втором. Для оценки восстановительной способности регенерантов после хранения использовали полную концентрацию компонентов питательной среды Murashige and Skoog, дополненную 0,2 мг/л 6-БАП и стандартные условия культивирования (температура 24 ± 2 °С, интенсивность света 1500 лк). На всех этапах исследования поддерживали фотопериод 16/8 ч.

В первом эксперименте — при среднесрочном хранении — изучали влияние пониженных значений температуры и интенсивности света (по сравнению со стандартными условиями культивирования) и наличия в составе питательной среды ретарданта на морфометрические показатели регенерантов.

Опыт проводили в два этапа:

– в условиях климатической камеры при температуре 15 ± 2 °С, интенсивности освещения 700 лк. Стандартные условия культивирования при температуре 24 ± 2 °С, интенсивности света 1500 лк (контрольный вариант);

– при наличии в составе питательной среды ТУР (0,2 г/л) как в климатической камере, так при стандартных условиях культивирования (контрольный вариант — отсутствие ретарданта в составе питательной среды).

Во втором эксперименте — при краткосрочном хранении — в условиях климатической камеры (при температуре 8 ± 1 °С) оценивали влияние различных режимов сохранения растительного материала на рост и развитие регенерантов на питательных средах разного компонентного состава.

Опыты проводили в следующих условиях:

– при различной освещенности: 40...50 лк; 500 лк (контрольный вариант);

– при наличии в составе питательной среды ТУР (0,2 г/л) и отсутствии ретарданта (контрольный вариант).

Во втором эксперименте снижали температуру и освещенность, увеличивали концентрацию 6-БАП.

Жизнеспособность (доля вегетирующих растений относительно общего количества в каждом варианте опыта) и морфометрические



a



б



в



г

Рис. 2. Сорты Гейхереллы (\times Heucherella H.R. Wehrh.) в различных условиях культивирования: 'Plume Cascade': a — *in vivo*; б — *in vitro*; 'Grape Soda': в — *in vivo*; г — *in vitro*

Fig. 2. Heucherella cultivars under different cultivation conditions: 'Plume Cascade': a — *in vivo*; б — *in vitro*; 'Grape Soda': в — *in vivo*; г — *in vitro*

показатели регенерантов (число микророзеток, их высоту и число листьев (облиственность)) оценивали через каждые 2 мес. в первом эксперименте, через 3 мес. — во втором.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных осуществляли стандартными методами с использованием пакета программ IBM SPSS Statistics 23. Достоверные различия между вариантами опыта устанавливали с помощью множественного рангового критерия Дункана при $P < 0,05$. В таблицах и на гистограммах ука-

заны средние значения изученных морфометрических признаков и их стандартные ошибки (\pm).

Результаты исследования

В ходе исследований были изучены различные режимы депонирования. На первом этапе работы исследована эффективность сохранения регенерантов в условиях замедленного роста и в стандартных условиях, оценена целесообразность применения хлорхолинхлорида.

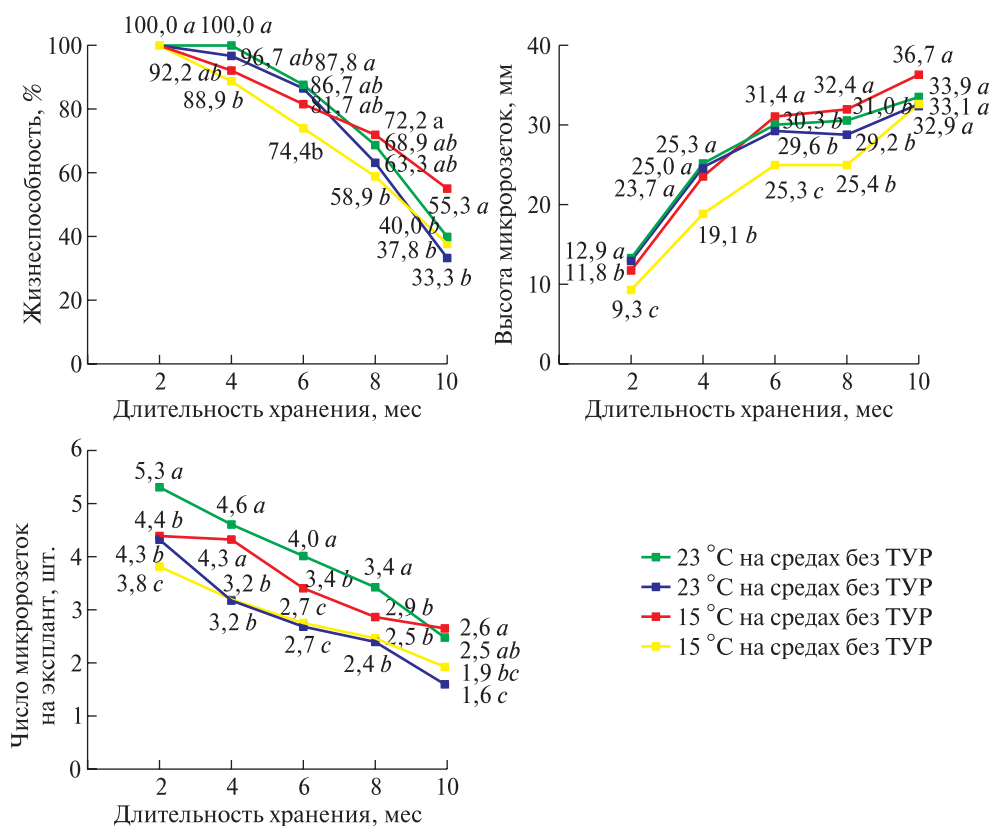


Рис. 3. Изменение морфометрических характеристик регенерантов гейхеры в процессе среднесрочного депонирования *in vitro* (при различных значениях температуры и на средах различного состава): *a* — жизнеспособность эксплантов; *б* — высота микророзеток; *в* — число микророзеток на эксплант

Fig. 3. Changes in morphometric characteristics of *Heuchera* regenerants during medium-term *in vitro* deposition under different temperatures and medium compositions: *a* — viability of explants; *b* — height of microrosettes; *v* — number of microrosettes per explant

Показано, что после 2 мес. депонирования жизнеспособность эксплантов гейхеры во всех вариантах опыта составляла 100 %. Добавление в питательную среду ретарданта способствовало снижению кинетики их роста в 1,2 раза. При этом наибольшее замедление ростовых процессов отмечали при сохранении эксплантов на средах, дополненных ТУР в условиях пониженных температуры и интенсивности света. Так, число и высота микророзеток в условиях климатической камеры составили $3,8 \pm 0,2$ шт. на эксплант и $9,3 \pm 0,4$ мм на среде с ТУР, $4,4 \pm 0,2$ шт. и $11,8 \pm 0,4$ мм на среде без ТУР. В стандартных условиях аналогичные морфометрические параметры составили $4,3 \pm 0,1$ шт. и $12,9 \pm 0,5$ мм на среде с ТУР, $5,3 \pm 0,1$ шт. и $13,3 \pm 0,5$ мм на среде без ТУР (рис. 3).

Дальнейшее депонирование (с 4-го по 8-й месяц) показало снижение количества жизнеспособных эксплантов. В частности, на питательных средах без добавления ТУР при всех условиях хранения отмечали большую жизне-

способность растений. Так, на 8-й месяц культивирования этот показатель составил 72,2 % в климатической камере и 68,9 % в стандартных условиях, что больше в 1,2 и 1,1 раза соответственно, чем на средах с добавлением ТУР. Установлено, что в процессе сохранения высота микророзеток увеличивалась, а их число уменьшалось. Не были обнаружены отличия в изменении морфометрических параметров во всех вариантах опыта.

Установлено, что в период с 8-го по 10-й месяц депонирования жизнеспособность эксплантов уменьшилась в среднем в 1,6 раза. Таким образом, более длительное сохранение гейхеры (превышающее 10 мес.) без пересадки нецелесообразно. Выявлено, что до 10-го месяца наиболее эффективно депонирование на средах без ингибитора роста в условиях пониженных температуры и интенсивности света. Жизнеспособность эксплантов составляет 55,3 %. Наибольшее число микророзеток отмечали на средах без ТУР во всех вариантах физических

Т а б л и ц а 1

Морфометрические характеристики регенерантов гейхеры (*Heuchera*) после среднесрочного хранения при различных температурных режимах на средах разного состава

Morphometric characteristics of *Heuchera* regenerants after medium-term *in vitro* deposition under different temperatures and medium compositions

Условия хранения		Жизнеспособность, %	Высота микророзеток, мм	Число микророзеток на эксплант, шт.
1	23 °С	95,0 a	17,1 ± 1,1 b	4,9 ± 0,4 b
2		73,3 b	17,0 ± 1,7 b	5,0 ± 0,4 b
1	15 °С	80,0 ab	19,0 ± 1,3 b	5,5 ± 0,3 b
2		86,7 ab	24,4 ± 1,5 a	7,5 ± 0,4 a

Примечание: 1 — питательная среда Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов без добавления ТУР; 2 — питательная среда Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов, дополненная 0,2 г/л ТУР. Идентичными буквами отмечены значения морфометрических показателей без достоверных статистических различий, разными буквами — значения морфометрических показателей с наличием достоверных статистических различий.

Т а б л и ц а 2

Морфометрические характеристики сортов гейхеры (*Heuchera*) после депонирования в течение 10 мес.

Morphometric characteristics of *Heuchera* cultivars after 10 months of deposition

Сорт	Жизнеспособность, %	Высота микророзеток, мм	Число микророзеток на эксплант, шт.
'Cherry Cola'	87,5 a	21,4 ± 1,3 a	5,8 ± 0,4 ab
'Dew Drops'	66,7 b	20,1 ± 1,4 ab	6,8 ± 0,6 a
'Midnight Rose Select'	95,8 a	17,8 ± 1,2 b	5,4 ± 0,3 b

Примечание: идентичными буквами отмечены значения морфометрических показателей без достоверных статистических различий, разными буквами — значения морфометрических показателей с наличием достоверных статистических различий.

условий ($2,6 \pm 0,2$ и $2,5 \pm 0,2$ шт.), а различия по высоте микророзеток не были обнаружены (от $32,9 \pm 1,5$ до $36,7 \pm 1,6$ мм).

Кроме того, жизнеспособность и интенсивность роста эксплантов также зависят от сортовых особенностей гейхеры. Наибольшей жизнеспособностью характеризуется сорт 'Cherry Cola', у которого в течение 10 мес. хранения доля жизнеспособных эксплантов составила 70,8 %. У сорта 'Dew Drops' с 8-го по 10-й месяц депонирования отмечали снижение жизнеспособности эксплантов в 3,7 раза (с 61,4 до 16,7 %). Сорт 'Midnight Rose Select' в период до 10 мес. депонирования характеризовался наименьшей жизнеспособностью. Однако в дальнейшем у него доля жизнеспособных эксплантов оказалась больше (36,7 %), чем у сорта 'Dew Drops' (16,7 %). Наибольшей интенсивностью роста (числом микророзеток, образовавшихся до 2-го – 4-го месяца, и увеличением их высоты) отличаются сорта 'Cherry Cola' и 'Dew Drops'. После 10 мес. хранения высота микророзеток

у сорта 'Cherry Cola' составила $40,8 \pm 0,9$ мм, 'Dew Drops' — $39,6 \pm 2,6$ мм, 'Midnight Rose Select' — $25,3 \pm 1,4$ мм, а по числу микророзеток существенных различий не было установлено (от $2,2 \pm 0,2$ до $2,3 \pm 0,2$ шт.).

При депонировании растений *in vitro* важное значение имеет сохранение регенерационной способности эксплантов при отсутствии аномалий развития по завершении хранения.

После 10 мес. депонирования в зависимости от условий опыта способность к регенерации сохранялась у 73,3...95,0 % эксплантов (на среде Murashige and Skoog с 0,2 мг/л 6-БАП). Наибольшую регенерацию микророзеток (95,0 %) отмечали после сохранения в стандартных условиях на среде без добавления ретарданта, наименьшую (73,3 %) — в аналогичных условиях на среде с ТУР. Наибольшими морфометрическими показателями (числом микророзеток $7,5 \pm 0,4$ шт. и их высотой $24,4 \pm 1,5$ мм) отличались экспланты после депонирования в климатической камере на среде с ТУР. В других

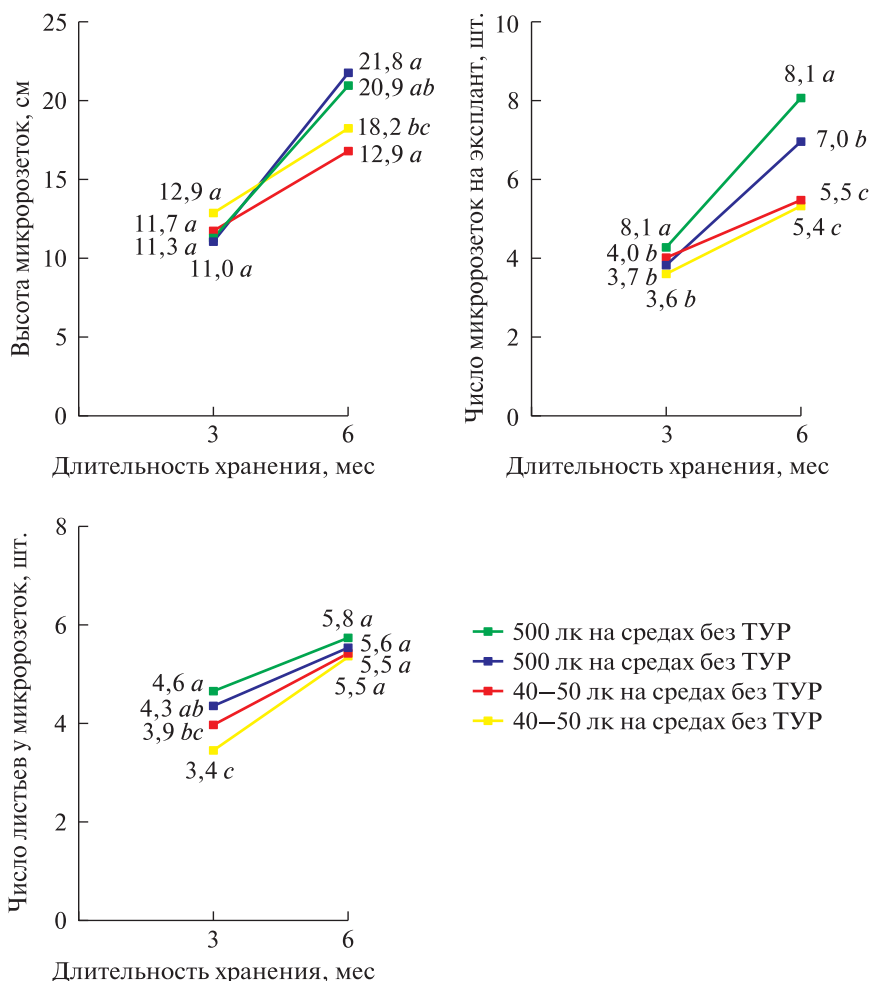


Рис. 4. Изменение морфометрических характеристик регенерантов гейхеры и гейхереллы в процессе краткосрочного депонирования *in vitro* (при разном уровне освещенности и на средах разного состава): *a* — высота микророзеток; *b* — число микророзеток на эксплант; *в* — число листьев у микророзеток

Fig. 4. Changes in morphometric characteristics of *Heuchera* and *Heucherella* regenerants during short-term *in vitro* deposition under different light intensities and medium compositions: *a* — height of micro-rosettes; *b* — number of micro-rosettes per explant; *в* — number of leaves in micro-rosettes

вариантах опыта по числу микророзеток и их высоте существенных различий не установлено (табл. 1).

По данным различных исследований [27, 37, 38], восстановительная способность регенератов после длительного хранения детерминирована их генетическими особенностями. При среднесрочном депонировании изученных в представленной работе сортов гейхеры эта закономерность прослеживается слабее (табл. 2).

По жизнеспособности регенератов от двух других изученных сортов гейхеры достоверно отличается сорт ‘Dew Drops’, характеризующийся наименьшим значением этого показателя (66,7 %). Таким образом, в эксперименте по

среднесрочному депонированию исследуемые сорта гейхеры по регенерационной способности располагаются в следующем порядке: ‘Midnight Rose Select’ (90,0...100,0 % в зависимости от условий и состава питательной среды) > ‘Cherry Cola’ (70,0...90,0 %) > ‘Dew Drops’ (50,0...80,0 %). Также выявлены статистически значимые различия между сортами ‘Cherry Cola’ и ‘Midnight Rose Select’ по высоте микророзеток: $21,4 \pm 1,3$ и $17,8 \pm 1,2$ мм соответственно. Однако высота микророзеток не оказывает непосредственного влияния на регенерационную активность растений.

На втором этапе работы осуществлено изучение эффективности различных режимов

сохранения регенерантов в условиях климатической камеры и использования в составе питательной среды ТУР.

Установлено, что в течение 6 мес. хранения жизнеспособность регенерантов у всех изученных сортов гейхеры и гейхереллы во всех вариантах опыта не изменяется и составляет 100 %. Некротизации, витрификации и других аномалий развития микророзеток не зафиксировано.

После 3 мес. культивирования условия хранения, не снижая жизнеспособность растений, оказывали влияние на процессы их роста и развития. Снижение освещенности (с 500 до 40–50 лк) приводило к уменьшению числа микророзеток в 1,1 раза при увеличении их облиственности в 1,2 раза. Различия между морфометрическими показателями регенерантов статистически значимые. По высоте микророзеток достоверных различий не выявлено (рис. 4).

Добавление в состав питательной среды регулятора ТУР способствовало снижению числа микророзеток у всех изученных сортов гейхеры и гейхереллы при обоих режимах освещенности: в 1,2 раза при 500 лк, в 1,1 раза — при 40...50 лк. Однако предпочтительно использование ретарданта при освещенности 500 лк, поскольку кроме большего замедления разрастания растений. Это способствует снижению облиственности микророзеток (в 1,2 раза) при статистически недостоверном изменении их высоты ($11,0 \pm 0,3$ мм при 500 лк и $12,9 \pm 0,5$ мм при 40...50 лк).

В процессе дальнейшего депонирования (с 3-го по 6-й месяц) сортов гейхеры и гейхереллы установлено, что снижение освещенности способствует уменьшению числа микророзеток и их высоты в 1,5 и 1,4 раза соответственно. При этом их облиственность изменяется незначительно и составляет $5,8 \pm 1,3$ шт. в условиях освещенности 500 лк и $5,5 \pm 0,9$ шт. — при 40...50 лк.

Добавление в состав питательной среды ТУР способствует статистически достоверному снижению числа микророзеток у исследуемых сортов гейхеры и гейхереллы (в 1,2 раза) освещенности 500 лк. Уменьшение ее до 40...50 лк детерминирует статистически недостоверное изменение числа микророзеток ($5,4 \pm 1,0$ шт. на средах с добавлением ТУР, $5,5 \pm 1,2$ шт. — на средах без ТУР). На изменение кинетики роста регенерантов наибольшее влияние оказывает снижение интенсивности света с 500 лк до 40...50 лк, а также использование ретарданта в составе питательной среды при освещенности 40...50 лк. В обоих вариантах опыта высота микророзеток сокращается в 1,2 раза. Все изученные режимы депонирования детермини-

руют статистически недостоверное изменение облиственности микророзеток. Абсолютные значения этого показателя варьируют в очень узких пределах: от $5,8 \pm 1,2$ до $5,5 \pm 1,1$ шт. (см. рис. 3).

На рост и развитие регенерантов гейхеры и гейхереллы существенно влияют их сортоспецифические особенности. После 6 мес. хранения стабильно низкой интенсивностью разрастания характеризуется сорт 'Pistache' (число микророзеток варьирует от $3,1 \pm 0,3$ до $4,9 \pm 0,5$ шт., в зависимости от условий хранения), стабильно высокой — сорт 'Cherry Cola' (от $7,0 \pm 1,5$ до $7,8 \pm 1,6$ шт.). Наибольшая вариабельность этого показателя, в зависимости от режимов хранения, отмечена у сорта 'Plume Cascade': $2,8 \pm 0,7$ шт. — при освещенности 40...50 лк и наличии в составе питательной среды ТУР, $8,7 \pm 1,4$ шт. — при 500 лк, но в отсутствие ТУР. Максимальное замедление размножения сортов 'Cherry Cola', 'Plume Cascade' и 'Pistache' достигается за счет снижения освещенности (40...50 лк) вне зависимости от состава питательной среды. Число микророзеток составляет соответственно: $7,0 \pm 1,8$ — без добавления ТУР, $2,8 \pm 0,8$ — с добавлением ТУР и $3,1 \pm 0,3$ шт. — без ТУР. У сорта 'Grape Soda' наименьшее число микророзеток отмечено на питательных средах без добавления ретарданта вне зависимости от интенсивности света: $7,0 \pm 2,0$ шт. — при освещенности 500 лк, $7,1 \pm 2,3$ шт. — при 40...50 лк.

На изменение числа листьев у изученных сортов гейхеры и гейхереллы наиболее существенное, но не одинаковое влияние оказывает режим освещенности в 500 лк. При таком условии у цветнолистных сортов 'Cherry Cola', 'Plume Cascade' и 'Grape Soda' наблюдается уменьшение облиственности микророзеток (относительно вариантов опыта с пониженной освещенностью) в 1,5; 1,3 и 1,2 раза соответственно. При этом минимальные значения отмечены у 'Cherry Cola' — $4,6 \pm 0,8$ шт., у 'Plume Cascade' — $4,2 \pm 0,7$ шт., у 'Grape Soda' — $3,8 \pm 0,5$ шт. на питательных средах без добавления ТУР. На зеленолиственный сорт 'Pistache' освещенность 500 лк оказывает обратное воздействие, активизируя процесс образования новых листьев. У него в этом режиме облиственность микророзеток ($6,1 \pm 1,2$ шт.) достоверно превышает идентичный показатель в других вариантах опыта, между которыми статистически достоверных различий не установлено.

Таким образом, после 6 мес. хранения для всех изученных в эксперименте сортов гейхеры и гейхереллы оптимальной является питательная среда Murashige and Skoog с половиной кон-

Таблица 3

Морфометрические характеристики регенерантов гейхеры и гейхереллы после краткосрочного хранения при разном уровне освещенности на средах разного состава

Morphometric characteristics of *Heuchera* and *×Heucherella* regenerants after short-term deposition under varying light intensities on media of different compositions

Условия хранения		Высота микророзеток, мм	Число микророзеток на эксплант, шт.	Доля наиболее развитых микророзеток, %	Число листьев у наиболее развитых микророзеток, шт.
1	500 лк	10,7 ± 0,1 а	6,0 ± 1,4 а	26,8 а	11,1 ± 0,5 а
2		10,5 ± 0,1 а	6,8 ± 1,0 а	22,4 а	10,8 ± 0,3 а
1	40-50 лк	10,6 ± 0,1 а	8,5 ± 1,3 а	19,4 ab	10,7 ± 0,5 а
2		10,6 ± 0,1 а	8,1 ± 0,9 а	15,7 b	10,5 ± 0,3 а

Примечание: 1 — питательная среда Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов без добавления ТУР. 2 — питательная среда Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов, дополненная 0,2 г/л ТУР. Идентичными буквами отмечены значения морфометрических показателей без достоверных статистических различий, разными буквами — значения морфометрических показателей с наличием достоверных статистических различий.

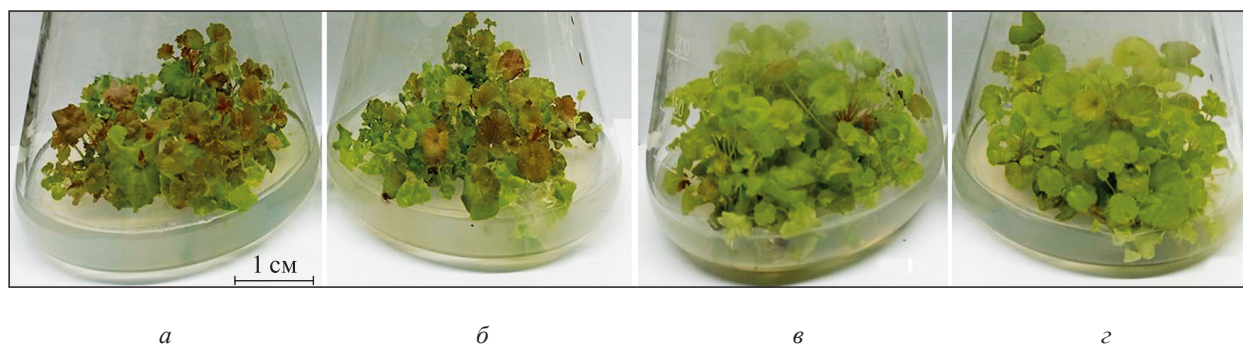


Рис. 5. Развитие регенерантов *Heuchera villosa* сорта 'Pistache' после краткосрочного депонирования *in vitro* при различных режимах и на питательных средах разного состава: *а* — освещенность 40...50 лк с добавлением ТУР, *б* — 40...50 лк без ТУР, *в* — освещенность 500 лк с ТУР, *г* — 500 лк без ТУР

Fig. 5. Development of *Heuchera villosa* 'Pistache' regenerants after short-term *in vitro* deposition under different conditions and on nutrient media of different compositions: *a* — 40...50 lx illumination with the addition of CCC, *б* — 40...50 lx without CCC, *в* — 500 lx illumination with CCC, *г* — 500 lx without CCC

центрацией компонентов, дополненная 6-БАП (0,3 мг/л) без добавления ТУР при температуре 8 ± 1 °C и освещенности 40...50 лк. Это снижает кинетику роста регенерантов без уменьшения их жизнеспособности и наличия аномалий развития. Число микророзеток составляет $5,5 \pm 0,8$ шт., высота микророзеток — $16,7 \pm 0,4$ мм, облиственность — $5,5 \pm 1,6$ шт. (см. рис. 3).

После завершения краткосрочного хранения сортов гейхеры и гейхереллы установлено, что у всех изученных генотипов во всех вариантах эксперимента способность к регенерации составила 100 %. У эксплантов не были выявлены морфологические изменения, отсутствовали каллус и обводненные микророзетки и др. Между морфометрическими показателями регенеран-

тов, депонированных в течение 6 мес. при разных условиях, установлено отсутствие статистически значимых различий (табл. 3, рис. 5).

Исключение составляет количество наиболее развитых микророзеток. Значения этого показателя существенно снижаются (15,7 %) после хранения регенерантов на питательной среде с добавлением ТУР в условии пониженной освещенности (40...50 лк), по сравнению с применением режима освещенности 500 лк вне зависимости от состава питательной среды (без ретарданта — 26,8 %, с ТУР — 22,4 %). Таким образом, после краткосрочного депонирования влияние созданных в эксперименте физических и химических факторов на регенерационную активность растений незначительное. На мор-

Т а б л и ц а 4

Морфометрические характеристики некоторых сортов гейхеры и гейхереллы после депонирования в течение 6 мес.

Morphometric characteristics of *Heuchera* and *×Heucherella* cultivars after 6 months of deposition

Сорт	Высота микророзеток, мм	Число микророзеток на эксплант, шт.	Доля наиболее развитых микророзеток, %	Число листьев у наиболее развитых микророзеток, шт.
'Cherry Cola'	10,6 ± 0,1 a	6,6 ± 0,6 b	25,2 a	10,0 ± 0,1 b
'Grape Soda'	10,7 ± 0,1 a	6,5 ± 1,0 b	20,6 a	10,6 ± 0,4 ab
'Pistache'	10,5 ± 0,1 a	10,4 ± 0,7 a	15,3 a	11,2 ± 0,3 a
'Plum Cascade'	10,6 ± 0,1 a	5,8 ± 0,8 b	23,2 a	11,4 ± 0,2 a

Примечание: идентичными буквами отмечены значения морфометрических показателей без достоверных статистических различий, разными буквами — значения морфометрических показателей с наличием достоверных статистических различий.

фометрические показатели регенератов, характеризующие регенерационную активность, их генетические особенности оказывают в целом несущественное влияние (табл. 4).

По числу микророзеток достоверно отличается от других сортов, использованных в эксперименте сорт 'Pistache' (10,4 ± 0,7 шт.), а число листьев у полностью сформированных микророзеток существенно выше у двух сортов — 'Pistache' (11,2 ± 0,3 шт.) и 'Plum Cascade' (11,4 ± 0,2 шт.). При этом абсолютные показатели облиственности микророзеток, несмотря на выявленные статистически значимые различия, мало отличаются.

Таким образом, при среднесрочном депонировании изученных сортов гейхеры и гейхереллы условия хранения и состав питательных сред оказывают существенное влияние на рост и развитие регенерантов, а при краткосрочном депонировании такая зависимость не выявлена. На восстановительную способность регенератов после депонирования (как среднесрочного, так и краткосрочного) также оказывают влияние генетические особенности растений, однако оно не доминирует. Полученные экспериментальные данные позволяют рассматривать депонирование *in vitro* как эффективную составляющую системы поддержания биоразнообразия представителей растительного мира *ex situ* с применением методов биотехнологии.

Выводы

1. Установлено, что питательная среда Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов, дополненная 40 г/л сахарозы и 0,1 мг/л 6-БАП при температуре 15 ± 2 °С и интенсивности света 650 лк является оптимальной при хранении регенерантов изученных сортов гейхеры в течение 10 мес.;

2. Выявлено, что по завершении среднесрочного депонирования жизнеспособность регенерантов гейхеры составила 54,4 % (в среднем по всем изученным сортам), а способность к регенерации сохранилась у 80,0 % эксплантов;

3. Установлено, что применение питательной среды Murashige and Skoog с половиной концентрацией компонентов, дополненной 40 г/л сахарозы и 0,3 мг/л 6-БАП при температуре 8 ± 1 °С и освещенности 40...50 лк оптимально при хранении регенерантов изученных сортов гейхеры и гейхереллы в течение 6 мес.;

4. Показано, что жизнеспособность регенерантов всех изученных сортов гейхеры и гейхереллы после 6 мес. хранения составила 100 % при следующих морфометрических показателях: число микророзеток 5,5 ± 0,8 шт., высота микророзеток — 16,7 ± 0,4 мм, облиственность микророзеток — 5,5 ± 1,6 шт. (в среднем по изученным сортам);

5. Выявлено, что добавление в состав питательной среды ретарданта ТУР в концентрации 0,2 г/л как при среднесрочном, так и при краткосрочном депонировании изученных сортов гейхеры и гейхереллы оказалось неэффективным;

6. Установлено, что после среднесрочного хранения на регенерационную активность эксплантов изученных сортов гейхеры доминирующее влияние оказывают генетические особенности;

7. Показано, что по завершении краткосрочного хранения изученных сортов гейхеры и гейхереллы их генетические особенности не оказывают существенного влияния на регенерационную активность эксплантов.


Работа выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН (№ 126020916823-0).

Список литературы

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (дата обращения 30.06.2025).
- [2] *Heuchera* L. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (дата обращения 30.06.2025).
- [3] Heims D., Ware G. *Heucheras and Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [4] Исачкин А.В., Крючкова В.А., Шарафутдинов Х.В., Скакова А.Г. Декоративное садоводство с основами ландшафтного проектирования. М.: Инфра-М, 2016. 525 с.
- [5] Шутова А.Г., Шиш С.Н., Гетко Н.В., Шамшур Г.Р., Спиридович Е.В. Вертикальное озеленение — инновационное будущее экологической биотехнологии // Наука и инновации, 2021. № 5 (219). С. 69–74.
- [6] Бурганская Т.М., Макозник Н.А., Берёзко О.М., Волченкова Г.А. Проектирование модульных цветников природно-ландшафтного типа. Минск: Изд-во БГТУ, 2023. 136 с.
- [7] Кузнецова Т.Н. Астильбы, гейхеры, хосты. Нижний Новгород: Слог, 2012. 110 с.
- [8] Беляева Т.Н. Биологические особенности декоративных двудольных многолетних растений при интродукции в условиях южной тайги Западной Сибири: дис. ... д-ра биол. наук, 03.02.01. Томск, 2021, 959 с.
- [9] Баранова О.Г. Представители семейства *Saxifragaceae* в коллекции «Альпийские горки» Ботанического сада Петра Великого БИН РАН // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2023. Т. 22. № 1. С. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [10] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro* // In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 2003, v. 39, pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP.2002363
- [11] Гусева М.В., Крахмалева И.Л. Особенности регенерации разных сортов *Heuchera* и *Heucherella* в культуре *in vitro* // Integral, 2021. № 4. С. 423–434. DOI: 10.24412/2658-3569-2021-10077
- [12] Xu C., Guo H., Wang Z., Chen Y. Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings // Scientific Reports, 2023, v. 13, no. 1, p. 14785. DOI: 10.1038/s41598-023-42001-8
- [13] Rajasekharan P.E., Sahijram L. *In vitro* conservation of plant germplasm. Plant Biology and Biotechnology Volume II: Plant Genomics and Biotechnology. Chapter: Conservation of Plant Germplasm, 2015, pp. 418–443. DOI: 10.1007/978-81-322-2283
- [14] Митрофанова И.В., Митрофанова О.В., Иванова Н.Н., Браилко В.А., Лесникова-Седошенко Н.П. Моделирование контролируемых условий, необходимых для адаптации и длительного хранения растительного материала декоративных, ароматических и плодовых культур в генобанке *in vitro* / под ред. И.В. Митрофановой. Симферополь: Ариа, 2018. 72 с. DOI: 10.32514/978-5 907118-88-1
- [15] Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // Ботанический журнал, 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072
- [16] Решетников В.Н., Спиридович Е.В., Носов А.М. Биотехнология растений и перспективы ее развития // Физиология растений и генетика, 2014. Т. 46. № 1. С. 3–18.
- [17] Черевченко Т.М., Буян Л.И., Иванников Р.В., Ковальская Л.А., Хоанг Нгия Шон. Сохранение тропических и субтропических орхидных в НБС им. Н.Н. Гришко НАН Украины: теоретические и практические аспекты // Фундаментальні та прикладні аспекти сучасної орхідології, 2014. Вып. 1. С. 135–146.
- [18] Мурсалиева В.К., Сәрсенбек Б.Т., Алғазы А.Т., Турашева С.К., Муханов Т.М., Мурзатаева Т.Ш., Ситпаева Г.Т. Введение *in vitro* и регенерационная способность реликтового эндемика Недзвецкия семиреченская *Niedzwiedzka semiretschenskia* В. Fedtsch // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». 2023. № 3 (111). С. 115–124. DOI: 10.31489/2023BMG3/115-124
- [19] Константинов А.В., Кулагин Д.В., Пантелеев С.В. Разработка унифицированной технологии микро-размножения и поддержания коллекции перевиваемых культур тканей берез секции *Albae* Regel // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 85-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, 06–08 июня. Минск: Медисонт, 2017. С. 245–248.
- [20] Дорошенко Н.П., Пузырнова В.Г. Способ создания коллекции генофонда винограда *in vitro* // Международный научно-исследовательский журнал, 2022. № 5 (119). С. 44–50. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.007
- [21] Киркач В.В. Совершенствование технологии размножения растений рода *Rubus* L. *in vitro* с применением физиологически активных веществ в малых и сверхмалых дозах: дис. ... канд. биол. наук, 06.01.08. Москва, 2019, 244 с.
- [22] Креславский В.Д., Карпентьер Р., Климов В.В., Мурата Н., Аллахвердиев С.И. Молекулярные механизмы устойчивости фотосинтетического аппарата к стрессу // Биологические мембраны, 2007. Т. 24. № 3. С. 195–217.
- [23] Rodica C., Mitoi M.E., Helepciuc F., Holobiuc I. *In vitro* conservation under slow growth conditions of two rare plant species from Caryophyllaceae family // Electronic J. of Biology, 2010, v. 6 (4), pp. 86–91.
- [24] Соболев А.А. Обоснование приемов световой биотехнологии при клональном микро-размножении винограда: дис. ... канд. биол. наук, 06.01.07. Краснодар, 2004, 25 с.
- [25] Белокурова В.Б. Методы биотехнологии в системе мероприятий по сохранению биоразнообразия растений // Цитология и генетика, 2010. Т. 44. № 3. С. 58–72.
- [26] Mitrofanova I., Molkanova O. Biotechnology ways of plant biodiversity conservation in botanical gardens of Russia // The First Int. Symp. on Botanical Gardens and Landscapes: Program and Abstracts, Bangkok, December 02–04, Bangkok, 2019. p. 5. URL: <http://plantscience.sc.mahidol.ac.th/bgl2019> (дата обращения 02.07.2025).

- [27] Орлова Н.Д., Раева-Богословская Е.Н., Молканова О.И., Мирошниченко А.С., Гусева М.В. Особенности депонирования некоторых сортов *Lonicera caerulea* L. в культуре *in vitro* // АгроЭкоИнфо, 2022. № 2. С. 11–15. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_210.pdf (дата обращения: 2.07.2025). DOI: 10.51419/202122210
- [28] Митрофанова И.В., Иванова Н.Н., Митрофанова О.В., Лесникова-Седошенко Н.П. Особенности депонирования хризантемы садовой в условиях *in vitro* // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2019. Вып. 131. С. 110–117. DOI: 10.25684/NBG.boolt.131.2019.15
- [29] Крицкая Т.А., Кашин А.С. Особенности длительного депонирования культуры *in vitro* некоторых редких и исчезающих видов растений Самарской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология, 2016. №16 (1). С. 74–80. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-1-74-80
- [30] Анципович В.В. Депонирование национальной коллекции картофеля // Наука и инновации, 2019. № 6 (196). С. 12–16.
- [31] Shivayogerra G., Adiga J., Prabhuling G., Reddy B.S., Sathyanarayana B.N. *In vitro* approaches for conservation *Dahlia* (*Dahlia variabilis* L.) // Acta Horticulturae, 2010, v. 865, pp. 387–391. DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.865.57
- [32] Ковалева И.С., Мацнева А.Е., Ханбабаева О.Е., Мазаева А.С., Сорокопудов В.Н. Разработка оптимальных условий длительного депонирования коллекции оздоровленных клонов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2019. № 8 (149). С. 47–51.
- [33] Жданова И.В. Длительное хранение эксплантов лаванды и лавандина *in vitro* // Устойчивость растений и микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды: Тезисы докл. VI Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Иркутск, Большое Голоустное, 3–7 июля. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2023. С. 172.
- [34] Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
- [35] Молканова О.И., Королева О.В., Стахеева Т.С., Крахмалева И.Л., Мелешук Е.А. Совершенствование технологии клонального микроразмножения ценных плодовых и ягодных культур для производственных условий // Достижения науки и техники АПК, 2018. Т. 32. № 9. С. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915
- [36] Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant*, 1962, v. 15, no. 43, pp. 473–497.
- [37] Егорова Н.А., Загорская М.С., Абдурашитов С.Ф. Особенности длительного сохранения мяты сортов 'Ажурная' и 'Бергамотная' в коллекции *in vitro* // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2022. Т. 12. № 1. С. 64–75. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-1-64-75
- [38] Пронина И.Н. Влияние депонирования на ризогенез *in vitro* и адаптацию *ex vitro* сортов яблони // Агрэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы XVI Междунар. науч. конф. Брянск, 21 марта. Брянск: Изд-во Брянского государственного аграрного университета, 2019. С. 273–277.

Сведения об авторах

Мамаева Наталья Анатольевна  — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Лаборатории биотехнологии растений ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), namaeva_n@list.ru

Крахмалева Ирина Леонидовна — науч. сотр. Лаборатории биотехнологии растений ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), seglogry@bk.ru

Молканова Ольга Ивановна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., зав. Лабораторией биотехнологии растений ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), molkanova@mail.ru

Поступила в редакцию 02.09.2025.

Одобрено после рецензирования 19.09.2025.

Принята к публикации 26.03.2026.

IN VITRO DEPOSITION IN SELECTED *HEUCHERA* L. AND *×HEUCHERELLA* H.R. WEHRH. CULTIVARS CHALLENGING FOR LANDSCAPE DESIGN

N.A. Mamaeva✉, I.L. Krakhmaleva, O.I. Molkanova

The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

mamaeva_n@list.ru

The article presents findings on the effectiveness of low temperature, reduced illumination, and the use of the growth retardant chlorocholine chloride (CCC) for *in vitro* deposition of *Heuchera* and *×Heucherella* cultivars considered promising for landscape design. Six cultivars were examined: ‘Cherry Cola’, ‘Dew Drops’, ‘Midnight Rose Select’, ‘Pistache’, ‘Grape Soda’ and ‘Plume Cascade’. Two storage experiments were conducted: medium-term (10 months) and short-term (6 months). For medium-term storage of *Heuchera* cultivars over 10 months, the optimal conditions were 1/2 Murashige and Skoog medium supplemented with 40 g/L sucrose and 0,1 mg/L 6-benzylaminopurine, maintained at 15 ± 2 °C under a light intensity of 65 lux. Under these conditions, the viability of regenerants reached 54,4 %. After storage, 73,3...95,0 % of the plants retained the ability to regenerate, depending on the cultivar and storage conditions. The results indicate that cultivar-specific characteristics significantly influenced regeneration success following medium-term deposition. For short-term deposition of *Heuchera* and *×Heucherella* cultivars, the most effective conditions were 1/2 Murashige and Skoog medium supplemented with 40 g/L sucrose and 0,3 mg/L 6-benzylaminopurine, at 8 ± 1 °C with a light intensity of 40...50 lux. Under these conditions, regenerant viability was 100 % across all cultivars and experimental variants. Furthermore, regenerative activity after short-term deposition remained at 100 % and was not affected by the genetic background of the cultivars.

Keywords: *Heuchera*, *×Heucherella*, *in vitro* deposition, low temperature and light, chlorocholine chloride, greening

Suggested citation: Mamaeva N.A., Krakhmaleva I.L., Molkanova O.I. *Osobennosti deponirovaniya v kul'ture in vitro nekotorykh perspektivnykh dlya ispol'zovaniya v landshaftnom dizayne sortov geykhery (Heuchera L.) i geykherelly (×Heucherella H.R.Wehrh.) [In vitro deposition in selected Heuchera L. and ×Heucherella H.R. Wehrh. cultivars challenging for landscape design]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2026, vol. 30, no. 3, pp. 55–69. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-3-55-69*

References

- [1] The world flora online, *Heuchera* L. Available at: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000017800> (accessed 30.06.2025).
- [2] *Heuchera* L. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30001424-2> (accessed 30.06.2025).
- [3] Heims D., Ware G. *Heucheras and Heucherellas*. Portland, Cambridge: Timber Press, 2005, 208 p.
- [4] Isachkin A.V., Kryuchkova V.A., Sharafutdinov H.V., Skakova A.G. *Dekorativnoe sadovodstvo s osnovami landshaftnogo proektirovaniya* [Ornamental gardening with the basics of landscape design]. Moscow: Infra-M, 2016, 525 p.
- [5] Shutova A.G., Shish S.N., Getko N.V., Shamshur G.R., Spiridovich Ye.V. *Vertikal'noye ozeleneniye-innovatsionnoye budushcheye ekologicheskoy biotekhnologii* [Vertical gardening — an innovative future of ecological biotechnology]. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 2021, no. 5 (219), pp. 69–74.
- [6] Burganskaya T.M., Makoznak N.A., Berozko O.M., Volchenkova G.A. *Proyektirovaniye modul'nykh tsvetnikov prirodno-landshaftnogo tipa* [Design of modular flower beds of natural landscape type]. Minsk: BSTU, 2023, 136 p.
- [7] Kuznetsova T.N. *Astil'by, geykhery, khosty* [Astilbes, geicheras, hostas]. Nizhny Novgorod: Slog, 2012, 110 p.
- [8] Belyayeva T.N. *Biologicheskiye osobennosti dekorativnykh dvudol'nykh mnogoletnikh rasteniy pri introduktsii v usloviyakh yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri* [Biological features of ornamental dicotyledonous perennial plants during introduction in the conditions of the southern taiga of Western Siberia]. Diss. Dr. Sci. (Biol.), 03.02.01. Tomsk, 2021, 959 p.
- [9] Baranova O.G. *Predstaviteli semeystva Saxifragaceae v kolleksii «Al'piyskiye gorki» Botanicheskogo sada Petra Velikogo BIN RAN* [The representatives of the family Saxifragaceae in the collection «Alpine Slides» of the Peter the Great Botanical Garden of Komarov Botanical Institute of RAS]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia], 2023, v. 22, no. 1, pp. 26–30. DOI: 10.14258/pbssm.2023005
- [10] Hosoki T., Kajino E. Shoot regeneration from petioles of coral bells (*Heuchera sanguinea* Engelm.) cultured *in vitro*, and subsequent planting and flowering *ex vitro*. *In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2003, v. 39, pp. 135–138. DOI: 10.1079/IVP2002363