

Ирина Нагимовна Аллаярова¹, Антонина Анатольевна Реут^{2✉},
Оксана Владимировна Ласточкина³

^{1,2}Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского ФИЦ РАН, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

³Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского ФИЦ РАН, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

¹Allayarowalrina@yandex.ru

²cvetok.79@mail.ru

³oksanaibg@gmail.com

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ *CAMPANULA ALLIARIIFOLIA* WILLD. ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

Цель исследования – определить влияние салициловой кислоты в сочетании с *Bacillus subtilis* ВКПМ и в отдельности на семенную продуктивность *Campanula alliariifolia* при выращивании в культуре в Башкирском Предуралье. Эксперимент проходил в 2021–2022 гг. на территории Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН. Схема опыта состояла из следующих вариантов: 1 – контрольный вариант; 2 – бактеризация с *B. subtilis*; 3 – бактеризация с *B. subtilis* в композиции с салициловой кислотой. Инокуляция *B. subtilis* положительно повлияла на такие значения, как коэффициент плодообразования, количество генеративных побегов и семян в одной коробочке, семенная продуктивность побега и растения, высота и ширина коробочки, длина и ширина семян. При обработке вегетирующих растений *B. subtilis* в комбинации с салициловой кислотой отмечено увеличение массы 1000 шт. семян. Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости морфометрических параметров показал, что воздействие фактора «сезонная изменчивость» значимо для всех исследованных признаков (4,2–78,2 %). Исключение составили ширина коробочки и длина семян. Влияние фактора «разные группы эксперимента» статистически значимо для плодообразования на побег, ширины коробочки, длины и ширины семян (7,2–21,7 %). Суммарное действие факторов статистически значимо для длины семян (8 %) и высоты коробочки (6,5 %). При оценке существенности различий показателей между экспериментальными группами по тесту Фишера выявлены однородные кластеры со статистически значимыми различиями у срока созревания семян, количества генеративных побегов, длины и ширины семян, массы 1000 шт. семян, семенной продуктивности на один побег и на одно растение. Установлена средняя корреляционная связь между числом цветков на одном соцветии и числом коробочек на побег, слабая – между длиной и шириной семян. Для улучшения показателей семенной продуктивности исследованной культуры рекомендуется инокуляция растений изученной бактерией.

Ключевые слова: коэффициент плодообразования, *Campanula alliariifolia*, *Bacillus subtilis*, салициловая кислота, семенная продуктивность

Для цитирования: Аллаярова И.Н., Реут А.А., Ласточкина О.В. Семенная продуктивность *Campanula alliariifolia* Willd. при применении регуляторов роста растений // Вестник КрасГАУ. 2026. № 8. С. 25–37. DOI: 10.36718/1819-4036-8-25-37.

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» № 122033100041-9.

Irina Nagimovna Allayarova¹, Antonina Anatolyevna Reut²✉, Oksana Vladimirovna Lastochkina³

^{1,2}South Ural Botanical Garden-Institute – is a separate structural division of the Ufa FRC of the RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

³The Institute of Biochemistry and Genetics – is a separate structural division of the Ufa FRC of the RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

¹Allayarowalrina@yandex.ru

²cvetok.79@mail.ru

³oksanaibg@gmail.com

SEED PRODUCTIVITY OF *CAMPANULA ALLIARIIFOLIA* WILLD. WHEN APPLYING PLANT GROWTH REGULATORS

The aim of the study is to determine the effect of salicylic acid in combination with *Bacillus subtilis* VKPM and separately on the seed productivity of *Campanula alliariifolia* grown in cultivation in the Bashkir Cis-Urals. The experiment was conducted in 2021–2022 at the South Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. The experimental design consisted of the following variants: 1 – control variant; 2 – inoculation with *B. subtilis*; 3 – inoculation with *B. subtilis* in combination with salicylic acid. Inoculation with *B. subtilis* positively affected the following parameters: fruiting coefficient, the number of generative shoots and seeds per capsule, seed productivity of shoots and plants, capsule height and width, and seed length and width. When treating vegetative *B. subtilis* plants in combination with salicylic acid, an increase in the thousand-seed weight was observed. A two-way analysis of variance for morphometric parameters revealed that the effect of the "seasonal variability" factor was significant for all studied traits (4.2–78.2 %). The exceptions were capsule width and seed length. The effect of the "different experimental groups" factor was statistically significant for fruiting per shoot, capsule width, and seed length and width (7.2–21.7 %). The combined effect of these factors was statistically significant for seed length (8 %) and capsule height (6.5 %). When assessing the significance of differences between experimental groups using Fisher's exact test, homogeneous clusters were identified with statistically significant differences in seed ripening time, number of generative shoots, seed length and width, thousand-seed weight, seed productivity per shoot, and per plant. A moderate correlation was found between the number of flowers per inflorescence and the number of capsules per shoot, while a weak correlation was found between seed length and width. To improve seed productivity in the studied crop, inoculation of plants with the studied bacterium is recommended.

Keywords: fruit formation coefficient, *Campanula alliariifolia*, *Bacillus subtilis*, salicylic acid, seed productivity

For citation: Allayarova IN, Reut AA, Lastochkina OV. Seed productivity of *Campanula alliariifolia* Willd. when applying plant growth regulators. *Bulletin of KSAU*. 2026;(8):25-37. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-8-25-37.

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment of the SUBGI UFRC RAS "Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: assessment of the state and monitoring of dynamics, problems of conservation, reproduction, increase and rational use" № 122033100041-9.

Введение. Одним из способов определения уровня жизнеспособности вида к экологическим условиям обитания является семенная продуктивность [1]. Численность популяции и репродуктивный потенциал вида в значительной степени зависят от величины, стабильности и качественных характеристик семенной продуктивности. Данный показатель определяется, с одной стороны, генетическими особенностями вида, с другой – совокупностью факторов окружающей среды, воздействующих на растения в период

формирования и созревания плодов. Совокупное влияние наследственных факторов и условий окружающей среды определяет общее состояние популяции и ее способность к адаптации к изменяющимся условиям [2]. Опубликованные результаты исследований, продемонстрировавшие повышенный коэффициент плодообразования, указывают на способность растений приспосабливаться к условиям внешней среды, как в дикой природе, так и в условиях культивации [3].

В последнее время отмечается повышенное внимание к применению бактериальных составов для обработки растений, обусловленное их потенциалом существенно повышать урожайность семян [4]. Одним из главных преимуществ бактериальных препаратов является их безопасность для окружающей среды. В отличие от химических удобрений, которые могут негативно сказываться на здоровье людей, животных и экосистем, биологические препараты не представляют опасности. Они не токсичны для теплокровных животных, рыб и полезных насекомых, таких как пчелы и энтомофаги. Это делает их идеальным выбором для экологически чистого земледелия. Кроме того, бактериальные препараты не накапливаются в почве, что предотвращает загрязнение окружающей среды вредными химическими соединениями. Это способствует сохранению экологической чистоты и устойчивости агроэкосистем. У патогенных микроорганизмов не развивается устойчивость к воздействию биопрепаратов, что повышает эффективность их применения. Возможность использования биопрепаратов в течение всего периода вегетации растений обеспечивает гибкость в применении [5]. Ученые, изучающие эндофитные бактерии, утверждают о выявлении комплексного биологического действия, а именно предполагаемой антивирусной и фунгицидной активности [6].

Bacillus subtilis (далее Bs) – стимулирующие рост бактерии, рассматриваются как экологически безопасный и биоактивный подход к защите растений от стрессов, что способствует повышению их продуктивности [7]. Исследования показывают, что использование Bs может быть эффективной стратегией в сельском хозяйстве для улучшения здоровья растений и увеличения урожайности [8, 9].

К перспективным средствам относятся и стимуляторы роста, созданные на основе натуральных компонентов. Салициловая кислота (далее СК), являясь одним из фитогормонов, играет важную роль в обеспечении устойчивости растений к поражению разнообразными болезнетворными организмами [10]. В растениях СК выступает в роли природного фенольного соединения, контролирующего процессы роста, развития, функционирования антиоксидантной защиты, а также этапы прорастания семян, фотосинтетической активности и созревания плодов. Внешнее воздействие СК способствует

снижению негативного влияния стрессовых факторов на растения за счет модуляции уровня активных форм кислорода (АФК). Это достигается через влияние на НАДФ-Н-оксидазу, отвечающую за образование перекиси водорода (H_2O_2), что, в свою очередь, активизирует производство и каталитическую активность антиоксидантных ферментов [11].

Совместное воздействие эндофитных бактерий и сигнальных молекул, таких как СК, запускает у растений многогранные ответные реакции, в которых задействовано большое количество протеинов, участвующих в механизмах защиты [12].

Одним из актуальных направлений в области рационального использования природных ресурсов является интеграция дикорастущих растений в ландшафтный дизайн. Это не только обогащает ассортимент декоративных травянистых растений, но и способствует сохранению биологического разнообразия. В этом контексте особое внимание заслуживает *Campanula alliariifolia* Willd., известный как Колокольчик чесночницелистный, который относится к семейству Колокольчиковых (*Campanulaceae*). Данное растение является коренным для Кавказа и Малой Азии и занесено в Красную книгу Волгоградской области [13], что подчеркивает его ценность и необходимость охраны. Колокольчик чесночницелистный ценится в садоводстве за его привлекательный внешний вид. В естественной среде обитания это многолетнее растение, произрастающее на каменистых известняковых участках, главным образом в среднегорном лесном поясе. Этот вид встречается не только в России, но и в соседних государствах, включая Балканский полуостров и Малую Азию [14].

Растение характеризуется симподиальным ростом и образует стержне-кистекорневую систему со шнуровидными придаточными корнями. Высота колокольчика чесночницелистного может достигать 80 см, что делает его заметным элементом в ландшафтном дизайне. Куст имеет цилиндрическую форму, а его побеги прямостоячие и густоопушенные, что придает растению дополнительную текстуру и визуальную привлекательность. Форма листовых пластинок у *C. alliariifolia* демонстрирует заметное разнообразие: базальные листья отличаются удлиненными черешками и треугольно-сердцевидной конфигурацией, в то время как листья, расположенные на стебле, характеризуются мень-

шими размерами и укороченными черешками. Самые верхние листья обычно лишены черешков и значительно упрощены. Цветки этого растения формируют вытянутые односторонние кисти или метельчатые соцветия, что добавляет ему особенное очарование в период цветения. Венчик бокальчато-колокольчатый белого или палевого цвета до 2,5 см высотой. Цветение продолжительное, до 70 сут (июнь – август). Светолюбив, но выносит легкую полутень. Высокоморозостойкий и может выживать даже при

низких температурах. Хорошо растет на слабощелочных грунтах. *C. alliariifolia* зацветает на второй год после посадки. В период цветения растение выглядит очень эффектно благодаря своим ярким цветам (рис. 1). Неприхотлив в уходе и требует только умеренного полива. Для получения высококачественных семян для сохранения биологического разнообразия редких растений необходимы разработки эффективных технологий по производству семян.



Рис. 1. *Campanula alliariifolia* на коллекционном участке Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН (фото И.Н. Аллаяровой)
Campanula alliariifolia at the collection site of the South-Ural Botanical Garden-Institute UFRC RAS
 (photo by I.N. Allayarova)

Цель исследования – определить воздействие штамма *B. subtilis* ВКПМ, как изолированно (самостоятельно), так и в сочетании с естественным сигнальным веществом СК, на семенную продуктивность *Campanula alliariifolia* в Башкирском Предуралье.

Задачи: определить влияния регуляторов роста растений на морфометрические показатели семенной продуктивности; выявить корреляционную зависимость между изученными параметрами.

Объекты и методы. С целью оценки влияния Bs (10^5 КОЕ/мл, где КОЕ – колониеобразующая единица) и ее синергии с СК (0,05 ммоль) на се-

менную продуктивность *C. alliariifolia* было проведено исследование на коллекционных участках Южно-Уральского ботанического сада-института (ЮУБСИ), расположенного в Уфе (Республика Башкортостан). Эксперименты осуществляли на территории с преобладанием серых лесных почв. Характерными чертами плодородия почвы являются: нейтральная кислотность (рН 6,5); небольшое содержание общего гумуса (6,1 %); адекватная концентрация нитратного азота (6,0 мг/кг), высокое количество подвижного фосфора (176,0 мг/кг) и повышенное содержание подвижного калия (145,0 мг/кг).

Объект исследования выращен из семян в 2003 г. на открытом грунте площадью 10 м². Семена получены по международному обмену фонду из Германии. Учеты и наблюдения в опытах проводили согласно методике изучения ценопопуляций цветковых растений за вегетационный период 2021–2022 г. [14]. Объем выборки растений при определении параметров семенной продуктивности составил от 30 шт. Микроскопическое исследование и фотографирование семян *C. alliariifolia* проводили под микроскопом «Микмед-5» при увеличении 4×10. Массу 1000 шт. семян определяли с помощью электронных лабораторных весов «Госметр ВЛТЭ-1100».

В Башкирском Предуралье, а именно в Уфе, среднегодовая температура приземного воздуха фиксируется на отметке 3,7 °С. Годовая норма выпадения осадков достигает 600 мм. Около пяти месяцев в году отмечается отрицательная температура почвы. Самым холодным месяцем является январь со средней температурой –13 °С, при этом абсолютный минимум может достигать экстремальных –55 °С. В летний период, в июле, средний показатель температуры повышается до 20 °С, а максимальные значения могут достигать до 40 °С. Уфимский период без заморозков характеризуется продолжительностью около 135 дней. Географически Уфа расположена в умеренном поясе, в зоне лесостепи. Наибольшее количество осадков наблюдается в начале июля, а наименьшее – преи-

мущественно в марте. Устойчивый снежный покров формируется в ноябре и сохраняется приблизительно 154 дня в году [15].

При сравнении метеорологических характеристик за изученный период со средними многолетними значениями выявлено, что сумма осадков в 2021 г. была меньше нормы от 5,2 (июль) до 180 раз (август), в 2022 г. – от 0,9 (июнь) до 10,9 раз (июль) (табл. 1). Среднесуточная температура воздуха в 2021 г. превышала норму от 2 (июнь) до 3,6 °С (май), за исключением июля (практически близка к норме); в 2022 г. была меньше нормы: от 0,3 (июль) до 2,1 °С (июнь), за исключением августа, где температура выше нормы на 1 °С.

В 2021 г. среднегодовая температура была выше на 1 °С по сравнению с 2022 г. Количество дней с ясной погодой в 2021 г. превысило показатель 2022 г. на 19, в то время как количество дней с преобладающей облачностью выросло на 9. Дней с выпадением осадков стало меньше на 28. Особенно заметна разница в температуре в мае 2021 г.: дневная температура была выше на 11 °С, а ночная – на 5 °С, если сравнивать с маем 2022 г. В июне эта разница составила 6 °С днем и 2 °С ночью, а в августе – 3 °С днем и 2 °С ночью. В мае и июне 2021 г. зафиксировано уменьшение влажности воздуха на 16 %; в июле – на 7; и в августе – на 15 % по сравнению с теми же месяцами 2022 г. [16, 17].

Таблица 1

Метеорологические условия периодов исследования в Уфе
Meteorological conditions during the study periods in Ufa

Год	Месяц	Осадки, мм	Норма осадков	t воздуха за сутки, °С			t норма, °С	t за год, °С
				Средняя	Max	Min		
2021	Май	4,5	51	17,3	35,2	–0,5	13,7	5,5
	Июнь	9,8	63	19,9	35,6	4,4	17,9	
	Июль	9,8	51	19,7	34,3	5,9	19,8	
	Август	0,3	54	20,2	38,1	4,2	17,6	
2022	Май	23,6	51	13,0	20,5	2,7	13,7	4,5
	Июнь	66,2	63	15,8	27,2	5,2	17,9	
	Июль	4,7	51	19,5	31,1	8,5	19,8	
	Август	6,6	54	18,6	31,1	5,4	17,6	

Штамм *Bacillus subtilis*, выделенный из почв сельскохозяйственного назначения Республики Башкортостан Башкирским НИИСХ УФИЦ РАН (г. Уфа) и включенный во Всероссийскую коллекцию промышленных микроорганизмов (ВКПМ), подвергся детальному исследованию, включая

анализ нуклеотидной последовательности 16S рРНК [18]. Этот штамм впоследствии был депонирован в ресурсную коллекцию ВКПМ под идентификационным номером В-12988 (дата регистрации 23.06.2019).

Для подготовки инокулюма клетки штамма ВКПМ культивировали на среде LB при постоянном перемешивании (180 об/мин) и температуре 37 °С в течение суток, пока их концентрация не достигала 10^9 КОЕ/мл. Этот полученный культуральный раствор разбавляли стерильной водой до финальной концентрации 10^5 КОЕ/мл. Как показали предыдущие исследования [18], эта концентрация является оптимальной для стимулирования роста растений и увеличения их устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды. Подсчет количества клеток производился спектрофотометрическим методом при длине волны 600 нм (OD600) с помощью спектрофотометра SmartSpec™ Plus, произведенного компанией Bio-Rad (США).

Однократное внекорневое опрыскивание опытных вариантов *C. alliariifolia*, площадью 10 м², из расчета 1 л бактериальной суспензии (10^5 КОЕ/мл) на 1 м², проводили в стадии розетки листьев в период отрастания (21.05.2021 и 23.05.2022). Опыт заложен в трехкратных повторностях.

Для проведения статистической обработки данных применялись программные средства MS Excel с интегрированными модулями AgCStat и Statistics 10.0. Оценка различий между средними величинами осуществлялась посредством критерия Фишера. Уровень статистической значимости различий был установлен при $p \leq 0,05$. Коэффициент плодообразования рассчитывался как отношение числа сформировавшихся плодов к общему числу цветков, выраженных в процентах.

Результаты и их обсуждение. У *C. alliariifolia* плод является собой сухую, синкарпную, пенталокулярную коробочку шаровидной конфигурации, вмещающую большое количество семян. Образуясь из завязи нижнего расположения, он раскрывается в базальной области подобно подкове, склоняясь книзу. Диссеминация семян осуществляется посредством их рассеивания при колебании растений под воздействием ветра или животных. Семена *C. alliariifolia* отличаются глянцевитостью, наличием придатков в виде «крыльев» и «носика» (рис. 2); цвет – серовато-коричневый, с удлинненно-сетчатым строением поверхности; очертания – узко-овальные [2].

В 2021 г. первые плоды появились в начале сентября, тогда как в 2022 г. это произошло в середине августа. Полная зрелость семян наступала к середине месяца. Минимальный период созревания семян составил 42 дня в варианте Bs в 2022 г. В прочих вариантах в течение всего периода наблюдений данный показатель колебался от 44 (Bs + СК в 2022 г.) до 64 дней (контрольная группа (далее КГ) в 2021 г.).

Обработка бактериями положительно сказалась на семенной продуктивности *C. alliariifolia*. Максимальные показатели коэффициента плодообразования, числа генеративных побегов и семян в коробочке; семенная продуктивность одного побега и растения, высоты и ширины коробочки, длины и ширины семян отмечены в опыте с Bs (табл. 2). Наибольшее значение массы 1000 шт. семян наблюдали в варианте Bs + СК. Выявлено, что самое большое количество цветков в соцветии и коробочек на побег наблюдали в контрольном варианте.

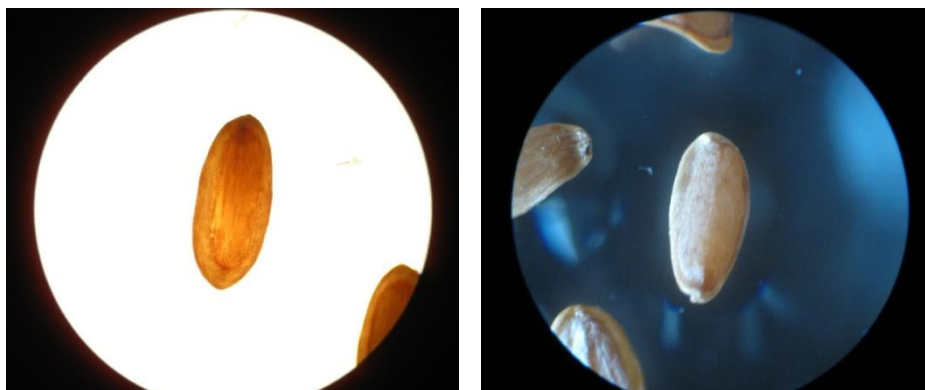


Рис. 2. Семена *Campanula alliariifolia* в проходящем (слева) и в отраженном свете (справа) (фото И.Н. Аллаяровой)

Campanula alliariifolia seeds in transmitted light (left) and in reflected light (right) (photo by I.N. Allayarova)

Влияние регуляторов роста растений на семенную продуктивность *Campanula alliariifolia*
(средние значения за 2021–2022 гг.)

The effect of plant growth regulators on seed productivity of *Campanula alliariifolia*
(average values for 2021–2022)

Показатели	Вариант опыта					
	KB	C _v , %	Bs	C _v , %	Bs + СК	C _v , %
Число цветков в соцветии, шт.	78,17±12,49	39,13	65,00±6,75	25,40	78,00±10,96	34,40
Среднее количество коробочек на побег, шт.	64,17±11,00	41,98	56,00±4,06	17,70	56,17±7,66	33,40
Коэффициент плодородия, %	82,20±4,13	12,31	88,24±4,97	13,80	73,59±6,04	20,10
Число семян в коробочке, шт.	71,83±9,99	34,06	87,67±7,32	20,50	85,50±6,40	18,30
Семенная продуктивность генеративного побега, тыс. шт.	4,84±1,27	64,39	5,01±0,71	35,00	4,92±0,86	42,90
Количество генеративных побегов, шт.	15,00±4,90	80,00	20,67±6,55	77,60	11,67±3,54	74,30
Семенная продуктивность растения, тыс. шт.	100,66±34,65	84,31	122,98±41,23	82,10	68,57±21,91	78,30
Высота коробочки, мм	6,89±0,16	8,82	7,49±0,19	10,71	7,33±0,19	12,58
Ширина коробочки, мм	7,21±0,19	10,04	7,49±0,09	4,85	7,29±0,19	10,40
Длина семени, мм	1,50±0,06	15,42	1,81±0,04	6,46	1,66±0,03	6,6
Ширина семени, мм	0,75±0,03	13,22	0,93±0,03	12,42	0,81±0,02	11,03
Масса 1000 шт. семян, г	0,225±0,011	8,32	0,208±0,004	3,61	0,270±0,008	3,57
Период созревания семян, сут.	54,50±5,12	22,99	50,50±4,39	21,30	52,50±4,39	21,00

Примечание: KB – контрольная группа; Bs – группа с инокуляцией; Bs + СК – группа с инокуляцией в сочетании с салициловой кислотой.

Уровень индивидуальной изменчивости изученных параметров имеют существенные различия: очень высокий уровень вариабельности отмечен для количества коробочек на побег в KB, семенной продуктивности побега в KB и Bs + СК, а также для числа генеративных побегов и семенной продуктивности *C. alliariifolia* во всех группах эксперимента (41,6–84,3 %). Высокая изменчивость наблюдалась у количества цветков в соцветии и семян в коробочке в KB, у количества цветков в соцветии и коробочек на один побег при Bs + СК, а также у семенной продуктивности одного побега при Bs (33,4–39,1 %). Повышенная изменчивость отмечена для количества коробочек на один побег при Bs и для срока созревания семян во всех исследованных группах (21–26,6 %). Средняя вариабельность наблюдается у количества коробочек на один побег при Bs, у коэффициента плодородия и количества семян в коробочке при Bs и Bs + СК, а также у длины и ширины семян в KB (13,2–20,5 %). Низкий уровень установлен для коэффициента плодородия и массы 1000 шт. семян в KB, для ширины коробочки в KB и Bs + СК, для ширины семян при Bs и Bs +

СК, для высоты коробочки во всех изученных группах (8,3–12,6 %); очень низкий – для длины семян и массы 1000 семян при Bs и Bs + СК, а также для ширины коробочки при Bs (3,6–6,6 %).

С помощью двухфакторного дисперсионного метода проанализирована микробиогенная и сезонная вариабельность параметров продуктивности семян. Установлено, что фактор А (погодные условия вегетационного сезона (2021–2022 гг.) оказывает значительное влияние на большинство исследованных показателей, исключением является длина семян и ширина коробочки. Доля дисперсии признаков составила 4,2–78,2 %. Влияние фактора В (разные группы эксперимента (KB, Bs и Bs + СК)) статистически значимо для длины и ширины семян, плодородия на один побег, ширины коробочки. Доля дисперсии параметров составила 7,2–21,7 %. Воздействие данного фактора на вариабельность других исследованных показателей статистически не значимо. Комбинирование факторов (А×В) оказывает существенное влияние на длину семян (8 %) и высоту коробочки (6,5 %) (табл. 3).

**Двухфакторной дисперсионный анализ для оценки семенной продуктивности
Campanula alliariifolia
 Two-way analysis of variance for assessing seed productivity of *Campanula alliariifolia***

Показатель	Год (А), %	Варианты (В), %	Взаимодействие (А×В), %
Число цветков в соцветии	57,5*	6,6	2,4
Число коробочек на побег	55,6*	4,3	9,5
Плодообразование на побег	52,6*	21,7*	1,8
Число семян в коробочке	52,5*	13,2	1,5
Семенная продуктивность на побег	78,2*	0,1	6,1
Число генеративных побегов	55,6*	4,2	9,5
Семенная продуктивность растения	72,1*	5,4	3,9
Высота коробочки	4,2*	3,6	6,5*
Ширина коробочки	0,7	7,2*	6,2
Длина семян	2,0	26,9*	8,0*
Ширина семян	7,4*	12,9*	4,0
Период созревания семян	64,6*	2,4	0,4

Примечание: * – статистически значимое влияние фактора.

Анализ с применением двухфакторного дисперсионного метода, направленный на сопоставительную оценку воздействия погодных условий вегетационного периода, различных экспериментальных условий и их комбинированного воздействия, выявил преобладающее значение сезонной изменчивости для большинства исследуемых параметров. Доминирующее влияние данного фактора было зафиксировано в отношении семенной продуктивности на один побег (78,2 %), семенной продуктивности на растение (72,1 %) и продолжительности периода созревания семян (64,6 %).

При оценке существенности различий между изучаемыми группами на основании теста Фишера у таких показателей, как длина и ширина семян, выявлены 2 кластера со статистически значимыми различиями. В первую группу вошел вариант Bs (2021 г.); во вторую – остальные экспериментальные варианты (рис. 3, А).

У показателей число генеративных побегов, период созревания семян, семенная продуктивность на побег и на растение: 1 – все варианты опыта в 2021 г., 2 – все варианты опыта в 2022 г. (рис. 3, Б);

У показателя масса 1000 шт. семян выделены четыре однородные группы: к 1 относятся – КВ в 2021 г. и вариант с Bs в 2021–2022 гг.; остальные варианты распределены по 3 разным группам (рис. 3, В).

Следует отметить, что положительное влияние стимуляторов роста на семенную продук-

тивность побега зафиксировано лишь в 2021 г. Вероятной причиной такого результата могли стать аномально сухие погодные условия, отмеченные в течение этого периода. На основании полученных данных можно предварительно заключить, что применение бактерий способствовало увеличению устойчивости исследуемой культуры к засухе в условиях стресса. Эти результаты согласуются с выводами, представленными в других научных публикациях [20]. Однако для выявления стабильности данного эффекта необходимо продолжить исследования в этом направлении.

Анализ показал, что разница между экспериментальными группами по таким показателям, как число цветков в соцветии, количество коробочек на побег, коэффициент завязываемости плодов на побег, а также высота и ширина коробочек, статистически не является важной.

Среди изученных параметров установлена непосредственная взаимосвязь между количеством цветков в одном соцветии и числом коробочек на побег, а также между размерами семян (длиной и шириной) с высокой степенью достоверности (95 % при $p < 0,05$).

Влияние ширины семян объясняет 22 % изменчивости в параметрах длины семян ($R^2 = 0,22$), как показано на рисунке 4. В свою очередь, количество цветков в соцветии обуславливает 59 % вариаций в числе коробочек на побег ($R^2 = 0,59$).

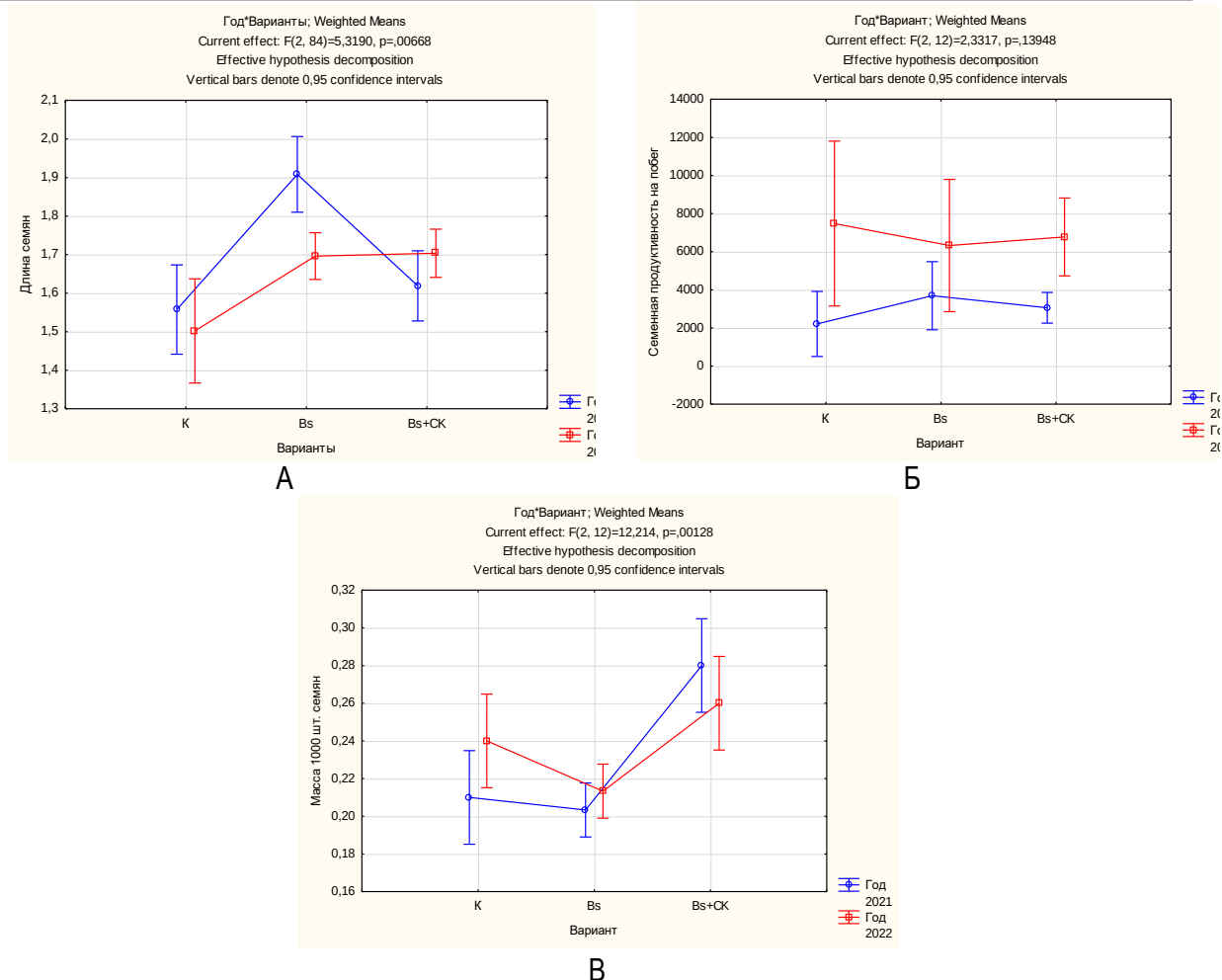


Рис. 3. График некоторых параметров *Campanula alliariifolia* (средние значения):
 А – длина семян; Б – семенная продуктивность на побег; В – масса 1000 шт. семян;
 К – контрольная группа; Bs – группа с инокуляцией; Bs + СК – группа с инокуляцией
 в сочетании с салициловой кислотой

Graph of some parameters of *Campanula alliariifolia* (average values):
 А – seed length; Б – seed productivity per shoot; В – weight of 1000 seeds; К – control group;
 Bs – group with inoculation; Bs + SK – group with inoculation in combination with salicylic acid

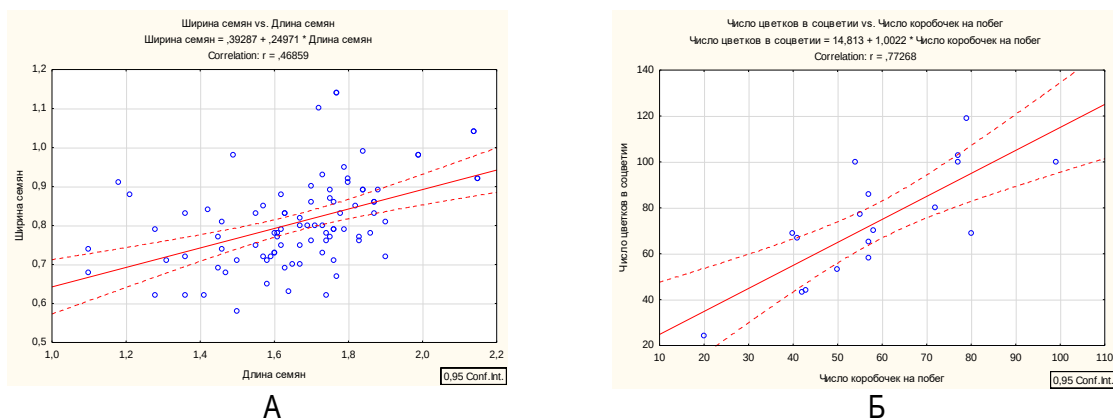


Рис. 4. Корреляционное поле и линия регрессии некоторых параметров *Campanula alliariifolia*:
 А – ширина и длина семян; Б – количество коробочек на побег
 и количество цветков на одно соцветие

Correlation field and regression line for some *Campanula alliariifolia* parameters:
 А – seed width and length; Б – number of capsules per shoot and number of flowers per inflorescence

Поскольку отклонения точек от прямой не существенны, построенная вероятностная диаграмма остатков наглядно демонстрирует, что методы оценки коэффициентов корреляции и регрессии, а также вычисленное уравнение в

совокупности адекватно отражают взаимосвязь как между шириной и длиной семян, так и между числом коробочек на один побег и количеством цветков на одно соцветие (рис. 5).

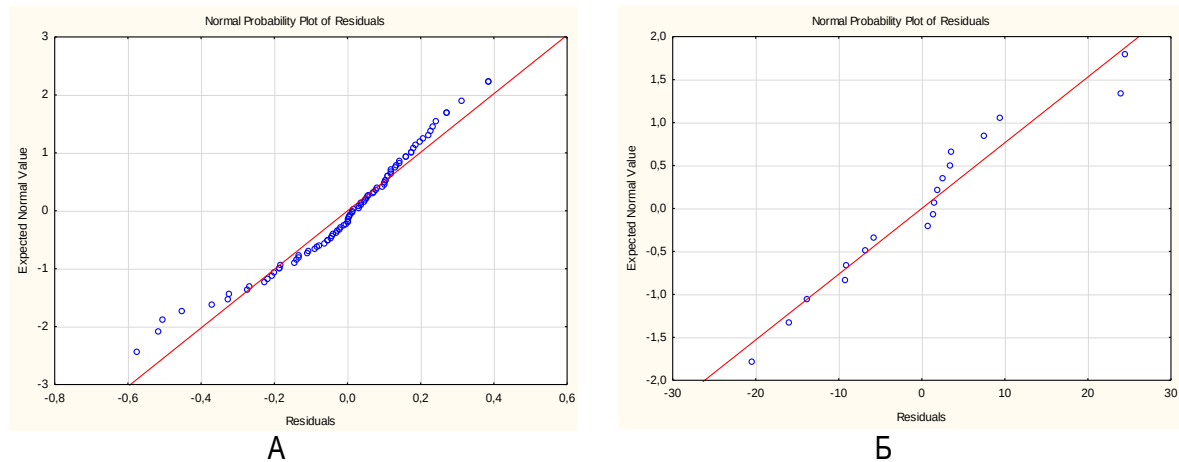


Рис. 5. График нормальной вероятности некоторых показателей *Campanula alliariifolia*:

А – длины и ширины семян; Б – числа цветков на одно соцветие
и количества коробочек на один побег

Normal probability plot of some *Campanula alliariifolia* parameters:

A – seed length and width; Б – number of flowers per inflorescence and number of capsules per shoot

Заключение. Таким образом, показано, что в условиях открытого грунта в Башкирском Предуралье *Campanula alliariifolia* характеризуется высокой семенной продуктивностью (69–123 тыс. шт. семян на растение), что обусловлено высокой жизненностью данного вида и его перспективностью в озеленении.

Инокуляция *Bacillus subtilis* способствовала повышению таких параметров, как коэффициент плодообразования, ширина коробочки, длина и ширина семян. Также было отмечено увеличение массы 1000 шт. семян при обработке вегетирующих растений *B. subtilis* в комбинации с салициловой кислотой.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа влияния погодных условий вегетационного периода, различных экспериментальных условий и их комбинированного воздействия на изученные показатели семенной продуктивности *Campanula alliariifolia* установлено преобладающее значение сезонной изменчивости для большинства параметров. Доминирующее влияние данного фактора было зафиксировано в отношении семенной продуктивности на один побег (78,2 %), семенной продуктивности на растение (72,1 %) и продолжительности сроков созревания семян (64,6 %).

Влияние фактора «разные группы эксперимента» статистически значимо для плодообразования на побег, ширины коробочки, длины и ширины семян (7,2–21,7 %). Суммарное действие факторов статистически значимо для длины семян (8 %) и высоты коробочки (6,5 %).

При оценке существенности различий признаков между экспериментальными группами по тесту Фишера выявлены однородные кластеры со статистически значимыми различиями у сроков созревания семян, длины и ширины семян, массы 1000 шт. семян, количества генеративных побегов, семенной продуктивности на один побег и на одно растение. Средняя корреляционная связь выявлена между числом коробочек на побег и числом цветков на одно соцветие, слабая – между длиной и шириной семян. Для улучшения показателей семенной продуктивности исследованной культуры рекомендуется инокуляция растений *B. subtilis*.

Результаты исследования могут предоставить информацию о роли различных экологических или биологических факторов в формировании семенного банка *C. alliariifolia*. Полученные данные могут быть использованы для разработки стратегий сохранения и управления популяциями этого растения.

Список источников

1. Аллаярова И.Н., Реут А.А., Биглова А.Р., и др. Влияние регуляторов роста растений на семенную продуктивность хосты // Агрохимический вестник. 2025. № 4. С. 60–64. DOI: 10.24412/1029-2551-2025-4-011. EDN: ODZCOI.
2. Миронова Л.Н., Аллаярова И.Н. Морфология и посевные качества семян колокольчиков // Аграрная Россия. 2017. № 11. С. 12–18. EDN: ZUCFQL.
3. Дибиров М.Д., Муртазалиев Р.А. Анализ семенной продуктивности *Allium gunibicum* в условиях интродукции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 151. С. 73–84. DOI: 10.21515/1990-4665-151-008. EDN: LDKNGU.
4. Елисеева Л.В., Елисеев И.П., Михайлова Н.Н. Значение бактериальных удобрений в формировании урожая зерновых бобовых культур // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 6. С. 722–731. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-722-731.
5. Гончарова Н.М., Белокобыльская Е.Д. Влияние биопрепаратов на семенную продуктивность тыквы крупноплодной // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1 (29). С. 93–99. EDN: HXBVGR.
6. Хайруллин Р.М., Бурханова Г.Ф., Сорокань А.В., и др. К механизмам антивирусной активности бактерий рода *Bacillus* на растениях картофеля // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 130–135. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135. EDN: BMHXVQ.
7. Kaushal M. Portraying Rhizobacterial Mechanisms in Drought Tolerance: A Way Forward Toward Sustainable Agriculture. In: Singh A.K., Rumar A., Singh P.K., editors. PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture Food Security and Environmental Management; 18 October 2019; Elsevier Inc.; 2019. P. 195–216. DOI: 10.1016/B978-0-12-815879-1.00010-0.
8. Ибрагимов А.Э., Гаршина Д.Ю., Баймиев Ан.Х., и др. Модуляция эндофитными ростстимулирующими бактериями *Bacillus subtilis* устойчивости *Triticum aestivum* L. (пшеницы) к комбинированным абиотическим/биотическим стрессам. В сб.: Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование природных ресурсов в агроценозах», 12–13 октября 2020 г. Симферополь, 2020. С. 22–23. DOI: 10.33952/2542-0720-15.05.2020.11. EDN: ААННWO.
9. Рассохина И.И., Платонов А.В., Лаптев Г.Ю., и др. Продуктивность клеверотимофеечной травосмеси при использовании микробиологических препаратов // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 41–47. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp41-47. EDN: ZPTXOY.
10. Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О., Поляков А.К., и др. Салициловая кислота и формирование адаптивных реакций растений на абиотические стрессоры: роль компонентов сигнальной сети // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 55. С. 135–165. DOI: 10.17223/19988591/55/8. EDN: TCNQQR.
11. Wu Q., Jing H.-K., Feng Z.-H., et al. Salicylic acid acts upstream of auxin and nitric oxide (NO) in cell wall phosphorus remobilization in phosphorus deficient rice // Rice. 2022. Vol. 15, N 1. P. 42. DOI: 10.1186/s12284-022-00588-y.
12. Яруллина Л.Г., Цветков В.О., Бурханова Г.Ф., и др. Влияние бактерий *Bacillus subtilis* и сигнальных молекул на состояние про-/антиоксидантной системы и экспрессию генов защитных белков у растений картофеля при инфицировании возбудителем фитофтороза и недостатке влаги // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57, № 6. С. 594–604. DOI: 10.31857/S0555109921060131. EDN: PRUXYD.
13. Баранова О.Г., Васюков В.М., Веденеев А.М., и др. Красная книга Волгоградской области. Т. 2. 2-е издание, переработанное и дополненное. Волгоград: Издат-Принт, 2017. 268 с.
14. Ласточкина О.В., Реут А.А., Биглова А.Р., и др. Влияние бактерий и салициловой кислоты на декоративность *Campanula alliariifolia* в Башкирском Предуралье // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 139–150. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-2-139-150.
15. Абрамова Л.М., ред. Коллекционный фонд Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН. Уфа: Мир печати, 2025. 378 с.

16. Погода в Уфе по месяцам в 2021 году. Башкортостан – температура воздуха, скорость ветра, влажность. Доступно по: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/ufa/2021/>. Ссылка активна на 15.01.2024.
17. Погода в Уфе по месяцам в 2022 году. Башкортостан – температура воздуха, скорость ветра, влажность. Доступно по: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/ufa/2022/>. Ссылка активна на 16.01.2024.
18. Реут А.А., Аллаярова И.Н., Биглова А.Р., и др. Изменение декоративных признаков растений в результате влияния *Bacillus subtilis* 10-4 // Вестник КрасГАУ. 2024. № 10 (211). С. 23–30. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-23-30. EDN: EGIZTP.
19. Реут А.А., Аллаярова И.Н., Биглова А.Р. Влияние стимулятора роста на биолого- морфологические параметры многолетних травянистых растений // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6 (235). С. 87–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97. EDN: GPRRVB.
20. Пусенкова Л.И., Ласточкина О.В. Повышение урожайности и качества клубней картофеля путем предпосадочной инокуляции оздоровленных гидропонных миниклубней эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025 Т. 15, № 1. С. 6–16. DOI: 10.21285/achb.963. EDN: DROPGY.

References

1. Allayarova IN, Reut AA, Biglova AR, et al. Influence of Plant Growth Regulators on Seed Productivity of Hosta. *Agrochemical Herald*. 2025;4:60-64 (In Russ.). DOI: 10.24412/1029-2551-2025-4-011. EDN: ODZCOI.
2. Mironova LN, Allajarova IN. Morphology and sowing qualities of seeds of *Campanula* species. *Agrarian Russia*. 2017;11:12-18. (In Russ.). EDN: ZUCFQL.
3. Dibirov MD, Murtazaliev RA. Analysis of seed productivity of *Allium gunibicum* in the conditions of introduction. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;151:73-84. (In Russ.). DOI: 10.21515/1990-4665-151-008. EDN: LDKNGU.
4. Eliseeva LV, Eliseev IP, Mikhailova NN. The importance of bacterial fertilizers in yield formation of grain legumes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(6):722-731. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-722-731
5. Goncharova NM, Belokobyl'skaya ED. The influence of biological products on the seed productivity of large-fruited pumpkin. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2021;(1):93-99. (In Russ.). EDN: HXBVGR.
6. Khairullin RM, Burkhanova GF, Sorokan AV, et al. To the mechanisms of antiviral activity of *Bacillus bacteria* on potato plants. *Theoretical and applied ecology*. 2019;4:130-135. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135. EDN: BMHXVQ.
7. Kaushal M. Portraying Rhizobacterial Mechanisms in Drought Tolerance: A Way Forward Toward Sustainable Agriculture. In: Singh AK, Rumar A, Singh P.K, editors. *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture Food Security and Environmental Management*; 18 October 2019; Elsevier Inc.; 2019. P. 195-216. DOI: 10.1016/B978-0-12-815879-1.00010-0.
8. Ibragimov AE, Garshina DYU, Baymiev AnKh, et al. Modulation of *Triticum aestivum* L. tolerance to combined abiotic/biotic stresses by endophytic plant growth promoting bacteria *Bacillus subtilis*. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Racional'noe ispol'zovanie prirodnih resursov v agrocenozah", 12-13 oktyabrya 2020 g.* Simferopol; 2020. P. 22–23. (In Russ.). DOI: 10.33952/2542-0720-15.05.2020.11. EDN: AAHHWO.
9. Rassokhina II, Platonov AV, Laptev G Yu, et al. Productivity of the clover and timothy mixture when applying microbiological preparations. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;1:41–47. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp41-47. EDN: ZPTXOY.
10. Kolupayev YuE, Yastreb TO, Polyakov AK, et al. Salicylic acid and the formation of adaptive plant responses to abiotic stressors: the role of signaling network components. *Tomsk State University journal. Biology*. 2021;55:135-165. (In Russ.). DOI: 10.17223/19988591/55/8. EDN: TCNQQR.

11. Wu Q, Jing H-K, Feng Z-H, et al. Salicylic acid acts upstream of auxin and nitric oxide (NO) in cell wall phosphorus remobilization in phosphorus deficient rice. *Rice*. 2022;15. DOI: 10.1186/s12284-022-00588-y.
12. Yarullina LG, Burkhanova GF, Cherepanova EA, et al. Effect of *Bacillus subtilis* and signaling molecules on the state of the pro/antioxidant system and the expression of protective protein genes in potato plants upon phytophthorosis and a moisture deficit. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021;57(6):760-769. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0555109921060131. EDN: PRUXYD.
13. Baranova OG, Vasyukov VM, Vedeneev AM, et al. *Krasnaya kniga Volgogradskoj oblasti. T. 2. 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe*. Volgograd: Izdat-Print; 2017. 268 p. (In Russ.). EDN: YQFEFE.
14. Lastochkina OV, Reut AA, Biglova AR, et al. Effect of Bacteria and Salicylic Acid on the Ornamentality of *Campanula alliariifolia* in the Bashkir Cis-Ural Region. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;2:139-150. (In Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2024-2-139-150.
15. Abramova LM, editor. *Kollekcionny'j fond Yuzhno-Ural'skogo botanicheskogo sada-instituta UFICz RAN*. Ufa: Mir pechati, 2025. 378 p. (In Russ.). EDN: SWJQRB.
16. Pogoda v Ufe po mesyacam v 2021 godu. Bashkortostan – temperatura vozduha, skorost' vetra, vlazhnost'. Available at: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/ufa/2021>. Accessed: 15.01.2024. (In Russ.).
17. Pogoda v Ufe po mesyacam v 2022 godu. Bashkortostan – temperatura vozduha, skorost' vetra, vlazhnost'. Available at: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/ufa/2022/>. Accessed: 16.01.2024. (In Russ.).
18. Reut AA, Allayarova IN, Biglova AR, et al. Changes in decorative characteristics of plants as a result of the influence of *Bacillus subtilis* 10-4. *Bulliten of KSAU*. 2024;(10):23-30 (In Russ.). DOI: 10.36718/18194036-2024-10-23-30. EDN: EGIZTP.
19. Reut AA, Allayarova IN, Biglova AR. Influence of a growth stimulator on the biological and morphological parameters of perennial herbaceous plants. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;(6):87-97. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97. EDN: GPRRVB.
20. Pusenkov LI, Lastochkina OV. Improving the yield and quality of potato tubers through preplant inoculation of healthy hydroponic minitubers with *Bacillus subtilis* endophytic bacteria. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2025;15(1):6-16. (In Russ.). DOI: 10.21285/achb.963. EDN: DROPGY.

Статья принята к публикации 29.05.2026 / The article accepted for publication 29.05.2026

Информация об авторах:

Ирина Нагимовна Аллаярова, научный сотрудник лаборатории цветоводства и селекции, кандидат биологических наук

Антонина Анатольевна Реут, ведущий научный сотрудник лаборатории цветоводства и селекции, кандидат биологических наук

Оксана Владимировна Ласточкина, старший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Irina Nagimovna Allayarova, Researcher at the Laboratory of Floriculture and Selection, Candidate of Biological Sciences

Antonina Anatolyevna Reut, Leading Researcher at the Laboratory of Floriculture and Selection, Candidate of Biological Sciences

Oksana Vladimirovna Lastochkina, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Molecular Mechanisms of Plant Stress Resistance, Candidate of Biological Sciences