ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru
УДК 579.6

CC BY

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ | RESEARCH ARTICLE

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЛОТОЛЕРАНТНОГО ШТАММА БИОПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ЗАСОЛЕНИЮ ПОЧВЫ

Кузина Е.В., Мухаматдьярова С.Р., Искужина М.Г., Рафикова Г.Ф., Кульбаева Л.А., Шарипова Ю.Ю., Коршунова Т.Ю.*

Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия
*E-mail lab.biotech@yandex.ru

Аннотация

Выделен и идентифицирован новый галотолерантный штамм бактерий *Bacillus atrophaeus* ANT22, обладающий ростстимулирующими свойствами (продукция индолил-3-уксусной кислоты, фосфатмобилизация, антагонистическая активность) и способностью к образованию биопленки. Изучено воздействие солей (сульфата магния, хлорида натрия) на эти свойства. В модельном эксперименте оценено влияние обработки семян люпина этим штаммом на морфологические и биохимические показатели растений при нормальных условиях и при наличии в почве хлорида натрия (0.25% масс.). Показано, что *B. atrophaeus* ANT22 усиливал рост растений, особенно при засолении. В присутствии NaCl инокуляция увеличивала длину и массу корней на 46.5 и 48.3% соответственно, приводила к удлинению побега на 12.0% и повышению его массы на 27.9%, а также способствовала возрастанию количества листьев и их массы (на 36.8 и 30.9% соответственно) относительно неинокулированных растений в засоленной почве. Кроме того, бактеризация усиливала на 21.3% выработку хлорофилла в растениях, посаженных в почву с NaCl, и снижала в них содержание малонового диальдегида в 1.4 раза по сравнению с необработанными вариантами. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования галотолерантного пленкообразующего штамма *B. atrophaeus* ANT22 для стимулирования роста растений в засоленной почве.

Ключевые слова:

Bacillus atrophaeus ANT22, галотолерантность, ростстимулирующая активность, биопленка, хлорид натрия, сульфат магния, люпин

PROSPECTS FOR USING A HALOTOLERANT STRAIN OF BIOFILM-FORMING BACTERIA TO INCREASE PLANT RESISTANCE TO SOIL SALINITY

Kuzina E.V., Mukhamatdyarova S.R., Iskuzhina M.G., Rafikova G.F., Kulbaeva L.A., Sharipova Yu.Yu., Korshunova T.Yu.*

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia
*E-mail lab.biotech@yandex.ru

Abstract

A new halotolerant bacterial strain, *Bacillus atrophaeus* ANT22, was isolated and identified. It possesses growth-promoting properties (i.e., indole-3-acetic acid production, phosphate mobilization, and antagonistic activity) and biofilm-forming capacity. The effects of magnesium sulphate and sodium chloride salts on these properties were studied. A model experiment was conducted to assess the effect of treating lupine seeds with this strain on the morphological and biochemical parameters of plants under normal conditions and in the presence of 0.25% sodium chloride in the soil. *B. atrophaeus* ANT22 enhanced plant growth, especially under saline conditions. In the presence of NaCl, inoculation increased root length and weight by 46.5% and 48.3%, respectively, led to shoot elongation by 12.0% and an increase in shoot weight by 27.9%, and also contributed to an increase in the number of leaves and their weight (by 36.8% and 30.9%, respectively) relative to uninoculated plants in saline soil. Furthermore, bacterization increased chlorophyll production by 21.3% in plants planted in soil with NaCl and reduced malondialdehyde levels by 1.4 times compared with untreated samples. These results demonstrate the potential of using the halotolerant film-forming strain *B. atrophaeus* ANT22 to stimulate plant growth in saline soil.

Keywords:

Bacillus, halotolerance, growth-promoting activity, biofilm, sodium chloride, magnesium sulfate, lupine

Поступила в редакцию: 03.06.2026
Принято в печать: 18.06.2026

Received: 03.06.2026
Accepted: 18.06.2026

Цитировать | Cite as

DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-18 EDN: https://www.elibrary.ru/nsxnux

ВВЕДЕНИЕ

Засоление почв, связанное, в первую очередь, с нерациональной деятельностью человека, приводит к ухудшению или даже потере почвенных функций [Pan *et al.* 2024]. Из-за высокого содержания растворимых солей ограничивается поглощение воды и питательных веществ корнями растений, что вызывает замедление роста и развития, а также снижение урожайности агрономически ценных культур [Tomaz *et al.* 2026]. При этом площадь засоленных земель во всем мире продолжает увеличиваться и это становится основным экологическим фактором, препятствующим эффективному развитию сельского хозяйства и создающим угрозу для продовольственной безопасности и устойчивого социально-экономического развития [Shokri *et al.* 2024].

Существующие агрохимические и технические приемы борьбы с засоленностью почв не способны полностью решить эту проблему из-за низкой эффективности, дороговизны и негативного влияния на окружающую среду [Wang *et al.* 2021]. Использование биологических методов, в частности, галотолерантных ростстимулирующих (PGP) бактерий может повысить устойчивость растений к солям и улучшить их продуктивность при избыточном содержании токсичных ионов. По сравнению с традиционными мерами, применение микробных агентов требует меньших материальных и финансовых затрат и является экологически чистым [Pan *et al.* 2022]. Помимо свойств, усиливающих рост и развитие растений (азотфиксация, фосфатмобилизация, антагонизм в отношении фитопатогенов, продукция различных метаболитов, индукция системной устойчивости и пр.) многие бактерии обладают широкими адаптивными возможностями, связанными, в первую очередь, с их способностью к формированию биопленок. Последние представляют собою сложные сообщества микроорганизмов, инкапсулированных в матрицу, состоящую из полисахаридов, нуклеиновых кислот, белков и липидов. Находясь внутри биопленки и взаимодействуя друг с другом посредством внутриклеточной коммуникации, микроорганизмы могут прикрепляться к любым поверхностям (в том числе, корням), сохраняя, тем самым, свою жизнеспособность при наличии многообразных стрессовых факторов внешней среды, а также способствуя защите растений от токсического действия солей [Ramasamy, Mahawar 2023; Brokate *et al.* 2024].

Люпин является ценной зернобобовой культурой, которая содержит большое количество белка, витаминов и минералов и идет на производство кормов для животноводства – зерна и зеленой массы. Также он широко используется в качестве сидерата – его посевы обогащают почву азотом и, благодаря мощной корневой системе, улучшают ее структуру. Продукты переработки люпина – мука, масло, белковые изоляты и гидролизаты используются в пищевой промышленности для изготовления функциональных продуктов питания и биологически активных добавок [Shaaban *et al.* 2022]. Люпин умеренно терпим к засухе, но очень чувствителен к солености среды [Hashem *et al.* 2023; Ihsan *et al.* 2024]. Инокуляция галотолерантными PGP бактериями могла бы способствовать повышению урожайности этой важной сельскохозяйственной культуры при выращивании в условиях засоления.

Целью данной работы было выделение нового галотолерантного штамма бактерий и изучение его ростстимулирующих свойств и способности к образованию биопленки, в том числе в присутствии солей, а также оценка его влияния на биохимические и морфологические показатели растений люпина при засолении почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Штамм бактерий ANT22 был выделен из образца пахотной почвы с территории Республики Башкортостан (Россия) методом накопительных культур путем посева почвенной суспензии на среду МПА (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия) с 5% NaCl. Вид микроорганизмов устанавливали

секвенированием фрагмента гена 16S рРНК. Тотальную ДНК из бактериальных клеток выделяли с помощью набора реактивов «diaGene» («Диаэм», Россия). Амплификацию проводили с универсальными праймерами 27F и 1492R [Lane 1991]. Секвенирование выполняли на автоматическом секвенаторе Нанофор 05 («Синтол», Россия) с применением набора реактивов «GenSeq-100» («Синтол», Россия). Поиск гомологичных нуклеотидных последовательностей проводили в базе данных EzBioCloud (http://www.ezbiocloud.net/taxonomy).

Устойчивость штамма к засолению проверяли по визуальным параметрам роста по штриху на МПА с добавлением NaCl до конечной концентрации 1–15%.

Фосфатмобилизирующую активность оценивали на среде Пиковской с ортофосфатом кальция [Пиковская 1948], через расчет индекса солюбилизации, т.е. отношения диаметра зоны просветления вокруг колонии бактерий к диаметру колонии.

Для анализа количества индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) в ультрафильтрате культуральной жидкости штамма его культивировали на среде следующего состава (г/л): пептон – 10.0, дрожжевой экстракт – 3.0, глюкоза – 1.0, NaCl – 5.0. Содержание ИУК устанавливали с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии в системе LC-20 Prominence с диодно-матричным детектором SPD-M20A («Shimadzu», Япония) [Стариков, Четвериков 2020].

О наличии у штамма антагонизма в отношении фитопатогенных микромицетов судили по величине диаметра (мм) зоны ингибирования роста гриба вокруг колонии бактерии, выращенной на картофельно-глюкозном агаре (HiMedia Laboratories, Индия). В качестве тест-объектов использовали *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (UIB F-9), *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc. (ВКМ 844), *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (ВКМ F-3047).

Влияние хлорида натрия и сульфата магния на ростстимулирующие свойства штамма оценивали путем их добавления в среды для культивирования (3% масс.).

Для количественного выявления способности бактерий к образованию биопленок, в том числе в присутствии хлорида натрия или сульфата магния (1–6% масс.), их выращивали на среде LB в модификации Lennox [Юшин *и др.* 2019] в полистироловых планшетах (Corning, США) в течении 3 или 6 сут. Биопленки окрашивали кристаллическим фиолетовым [Coffey, Anderson 2014], после чего оценивали уровень его абсорбции по величине оптической плотности (OD) на планшетном ридере «Feyond-A300» с функциями спектрофотометра, люминометра и флуориметра («Allsheng», КНР) при длине волны 570 нм.

Способность микроорганизмов к усилению роста растений люпина белого (*Lupinus albus* L., сем. *Fabaceae*) сорта Дега при засолении NaCl проверяли в лабораторном опыте в условиях светоплощадки (плотность потока фотонов ФАР 240 мкмоль/м^2/с, фотопериод 14 ч). Трехсуточные проростки люпина замачивали на 20 мин в культуральной жидкости штамма (титр 10^5 КОЕ/мл), полученной на модифицированной среде LB. Контрольные проростки обрабатывали дистиллированной водой. Далее проростки по 5 шт. помещали в пластиковые сосуды с 400 г почвенно-песчаной смеси (9:1), содержащей NaCl (0.25% масс.). Продолжительность эксперимента 14 сут. Влажность почвы поддерживали на уровне 60% от полной влагоемкости.

На 10 сут опыта анализировали биохимические показатели растений. Содержание малонового диальдегида (МДА) устанавливали спектрофотометрическим методом путем реакции экстракта из листьев (экстрагент 10% трихлоруксусная кислота) с тиобарбитуровой кислотой [Uchiyama, Mihara 1978].

Количество хлорофилла (*a+b*) и индекс азотного баланса (NBI) определяли с помощью портативного оптического анализатора DUALEX Scientific + (FORCE-A, Франция).

После завершения эксперимента измеряли длину и сырую массу корней и побегов, а также сырую массу и количество листьев.

Эксперименты выполняли в трехкратной повторности. Статистическую обработку проводили с применением программ MS Excel 2010. Данные представлены как среднее ± стандартная ошибка. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($p < 0.05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день во всем мире засоленность почвы является одним из основных препятствий для производства продуктов питания. Для минимизации негативных последствий этого явления были разработаны многочисленные стратегии, такие как селекция и генная инженерия растений, агрохимические мероприятия, а также применение галотолерантных бактерий, способствующих росту растений [Ha-Tran *et al.* 2021]. Так, при солевом стрессе показано стимулирующее влияние солеустойчивых штаммов *Pseudomonas paraalactis*, *Bacillus cereus*, *Sinorhizobium meliloti* и *Acinetobacter radioressistens* на растения огурца [Pérez-García *et al.* 2025], а штамма *Kocuria rhizophila* Y1 – на растения кукурузы [Li *et al.* 2020].

В настоящей работе в результате секвенирования фрагмента гена, кодирующего 16S рРНК (номер нуклеотидной последовательности в GenBank PZ142597), установлено, что изолят ANT22, выделенный на среде с 5% NaCl, имеет 100% сходства со типовым штаммом Bacillus atrophaeus JCM 9070. Микроорганизм может расти в присутствии хлорида натрия в количестве 1–14% и является галотолерантным штаммом, что свидетельствует о возможности его интродукции в почву с повышенным содержанием солей.

Однако для оценки перспективы применения в сельском хозяйстве следовало изучить, относится ли выделенный штамм к группе PGP микроорганизмов. Обычно обращают внимание на такие характеристики бактерий, как способность к улучшению минерального питания растений и синтезу веществ, непосредственно усиливающих их рост и развитие, а также к подавлению жизнедеятельности фитопатогенных микроорганизмов, микромицетов, в частности [Gómez-Godínez *et al.* 2023; Hasan *et al.* 2024]. *У B. atrophaeus* ANT22 выявлен ряд свойств, положительно влияющих на растения, таких как: продукция ИУК, растворение неорганического фосфата, антагонизм в отношении фитопатогенных микромицетов разных родов. Кроме того, штамм способен к пленкообразованию (таблица 1).

Таблица 1. Свойства штамма *B. atrophaeus* ANT22 и влияние на них солей

Table 1. Properties of strain *B. atrophaeus* ANT22 and the effect of salts on them

Свойство		Среда LB	Среда LB с NaCl (3% масс.)	Среда LB с $MgSO_4$ (3% масс.)
Индекс солюбилизации		1.5±0.1	1.5±0.1	1.1±0.1
Продукция ИУК, нг/мл		586.3±32.4	не обнаружена	не обнаружена
Диаметр зоны задержки роста, мм	*B. sorokiniana*	25.2±1.3	15.1±0.9	10.5±0,7
	F. culmorum	10.4±0.8	10.6±0.9	7.5±0,5
	A. alternata	10.4±0.7	10.2±0.8	8.1±0,4
Плотность биопленки при OD_{570}		0.463±0.025	0.468±0.029	0.373±0.021

Так как предполагается, что штамм может быть использован для стимуляции роста растений при засолении, то было интересно изучить как проявляются его PGP свойства в этих условиях. Наличие в среде хлорида натрия резко снижало синтез ИУК до полного отсутствия при детекции используемым методом, но не оказывало какого-либо эффекта на способность к растворению фосфата (индекс солюбилизации оставался равным 1.5) (таблица 1). Ранее показано, что присутствие NaCl может по-разному влиять на ростимулирующие свойства галотолерантных микроорганизмов, в том числе как усиливать, так и подавлять фосфатмобилизацию и продукцию

ИУК [Saleem *et al.* 2021; Kapadia *et al.* 2022; Radhakrishnan, Krishnasamy 2024; Loganathan *et al.* 2026]. Воздействие соли на антагонистическую активность штамма было неоднозначным – диаметр зоны задержки роста *F. culmorum* и *A. alternata* не изменился, однако в случае с *B. sorokiniana* произошло уменьшение этого показателя на 60%. Внесение NaCl не влияло на образование биопленки (OD_{570} составляла 0.468 и 0.463 соответственно) (таблица 1).

Что касается сульфата магния, то он оказывал более выраженный отрицательный эффект на все изученные свойства ANT22 (таблица 1). Его добавление в среду приводило к полному ингибированию выработки ИУК, снижению индекса солюбилизации, уменьшению антагонистической активности, а также плотности биопленки.

При более подробном исследовании процесса пленкообразования в присутствии различных концентраций хлорида натрия и сульфата магния показано, что независимо от длительности культивирования наличие 1–2% NaCl или $MgSO_4$ увеличивало интенсивность пленкообразования по сравнению с исходной средой (таблица 2). Более значительное засоление (4–6%) ингибировало образование биопленки, однако при данных концентрациях хлорида натрия она была более стабильной.

Таблица 2. Влияние концентрации NaCl и $MgSO_4$ и времени культивирования на образование биопленки ($OD_{опыт}/OD_{контроль}$)*

Table 2. Effect of NaCl and $MgSO_4$ concentrations and cultivation time on biofilm formation ($OD_{test}/OD_{control}$)*

Вариант	Время культивирования, сут			
	3		6	
Среда LB	5.79±0.31		2.75±0.16	
Содержание соли в среде, %	NaCl	$MgSO_4$	NaCl	$MgSO_4$
1	7.44±0.35	9.16±0.67	4.81±0.29	4.00±0.24
2	7.33±0.40	6.51±0.43	3.95±0.20	3.88±0.22
3	5.85±0.31	4.66±0.24	2.93±0.18	3.33±0.19
4	2.53±0.12	2.81±0.18	2.90±0.17	2.12±0.15
5	2.33±0.15	2.04±0.15	2.94±0.20	1.75±0.14
6	1.40±0.09	1.66±0.11	2.91±0.16	1.26±0.08

Примечание. * – отношение OD, измеренной в вариантах с инокуляцией, к OD контрольного варианта (без инокуляции).

Note. * is the ratio of the OD measured in variants with inoculation to the OD of the control variant (without inoculation).

Оценку влияния бактеризации на рост и развитие люпина проводили при его выращивании в сосудах с хлоридно-натриевым типом засоления почвы. NaCl негативно влиял на морфологические параметры растения – наблюдалось подавление роста корней (на 29.9%) и уменьшение их массы (на 23.6%) (таблица 3). Как уже писалось выше, люпин не является солеустойчивой культурой и в условиях засоления его рост угнетается [Hussien 2022; Hashem *et al.* 2023; Ihsan *et al.* 2024]. Наиболее вероятной причиной этого может быть, как уменьшение доступности влаги за счет снижения водного потенциала почвенного раствора, что вызывает дегидратацию клеток растений, так и непосредственное токсическое действие повышенного содержания ионов натрия и хлора. Последнее проявляется в подавлении активности ферментов, возрастании количества активных форм кислорода, развитии окислительного стресса и уменьшении поглощения необходимых питательных элементов, таких как кальций и калий. Считается что, в общем, угнетающее действие хлорида натрия на растения связано с нарушением водного баланса и ионного гомеостаза [Saddiq *et al.* 2021; Balasubramaniam *et al.* 2023].

Сравнение ростовых характеристик бактеризованнных и не бактеризованных растений люпина свидетельствует о том, что ANT22 усиливал их рост, что наиболее заметно проявилось

при засолении (таблица 3). Так, не оказывая значимого эффекта на длину и массу корней при нормальных условиях, инокуляция увеличивала эти показатели в присутствии NaCl на 46.5 и 48.3% соответственно (по сравнению с аналогичным вариантом с засолением, но без внесения бактерий), доводя их до контрольных значений и выше. Возможной причиной этого может быть способность изучаемого микроорганизма к образованию биопленки на корнях, которая защищает их от токсического действия хлорида натрия [Çam *et al.* 2023; Thakur, Yadav 2024]. В дальнейшем хорошо развитая корневая система будет содействовать успешному росту растений за счет обеспечения им доступа к воде и питательным веществам, залегающим в более глубоких слоях почвы.

Таблица 3. Морфологические и биохимические параметры растений

Table 3. Morphological and biochemical parameters of plants

Параметр		Контроль	ANT22	NaCl	NaCl + ANT22
Длина, см	корень	19.17±1.23^{b}	19.13±1.31^{b}	13.43±0.91^{a}	19.67±1.22^{b}
	побег	11.25±0.70^{a}	13.67±0.89^{b}	11.47±0.55^{a}	12.85±0.67^{b}
Масса, г	корень	0.72±0.05^{b}	0.71±0.05^{b}	0.60±0.03^{a}	0.89±0.07^{c}
	побег	2.12±0.12^{a}	2.58±0.13^{b}	2.29±0.14^{a}	2.93±0.18^{c}
Количество листьев, шт.		4.02±0.26^{a}	4.01±0.23^{a}	3.70±0.18^{a}	5.06±0.34^{b}
Масса листьев, г		1.06±0.06^{b}	1.53±0.09^{c}	0.81±0.05^{a}	1.06±0.07^{b}
Хлорофилл, мкг/см^2		35.98±2.61^{b}	37.49±2.85^{b}	31.21±2.10^{a}	37.87±2.90^{b}
NBI, у.е.		90.03±4.06^{a}	89.39±5.43^{a}	87.05±5.10^{a}	90.65±5.89^{a}
МДА, мкмоль/г		29.11±1.71^{a}	36.23±2.12^{b}	47.85±3.05^{c}	34.68±2.34^{b}

Примечание. Статистически значимые различия средних значений для каждого показателя отмечены разными буквами ($p \leqslant 0.05$). Сравниваются значения в строках.

Note. Statistically significant differences in the average values for each indicator are marked with different letters ($p < 0.05$). The values are compared in rows.

Так как люпин является важной кормовой культурой, то значимым критерием эффективности бактериальной обработки является величина его наземной биомассы. В варианте без солевой нагрузки инокуляция штаммом ANT22 увеличивала длину и массу побега (на 21.5 и 21.7%), а также массу листьев (на 44.3%) по сравнению с контролем (таблица 3). При засолении интродукция микроорганизмов приводила к удлинению побега на 12.0% и возрастанию его массы на 27.9%, а также положительно влияла на количество листьев и их массу. Прибавка этих показателей относительно неинокулированных растений в почве с NaCl составила 36.8 и 30.9% соответственно.

Угнетающее действие хлоридного засоления на ассимиляционный аппарат растений наиболее заметно проявляется в ингибировании синтеза фотосинтетических пигментов. Снижение уровня хлорофилла вызвано увеличением активности фермента хлорофиллазы, что, в свою очередь, приводит к нарушению структуры хлоропласта и дестабилизации пигмент-белкового комплекса. Окисление фотосинтетических пигментов является дополнительной причиной образования активных форм кислорода и способствует развитию окислительного стресса у растений [Wungrampha *et al.* 2018; Hannachi *et al.* 2022]. Имеется много сообщений, в которых подчеркивается важность определения содержания хлорофилла в оценке реакции растений на экологические стрессы и, в частности, стресса, связанного с засолением [Agha *et al.* 2023; Koźmińska *et al.* 2024]. В настоящем исследовании присутствие соли подавляло образование хлорофилла на 13.3% по сравнению с контролем. При этом отмечена тенденция усиления его выработки у инокулированных штаммом ANT22 растений в почве без NaCl, но достоверное увеличение

синтеза пигмента на 21.3% наблюдалось только у бактеризованнных растений, которые росли в засоленной почве (таблица 3).

Соотношение между количеством хлорофилла и флавоноидов описывается индексом азотного баланса растений, который является показателем изменения соотношения N : C в листьях и напрямую коррелирует с содержанием азота в зеленой массе. Его считают индикатором азотного статуса растений – чем выше значения NBI, тем значительнее содержание азота [Fan *et al.* 2022]. В данной работе не было обнаружено достоверных отличий между этим показателем в различных вариантах опыта.

Вызванный соленостью окислительный стресс часто измеряется с помощью малонового диальдегида, который является конечным продуктом перекисного окисления липидов. При избыточных количествах NaCl происходит образование свободных радикалов, которые индуцируют распад полиненасыщенных жирных кислот клеточной мембраны и накопление МДА в растительных тканях увеличивается [Villalobos-López *et al.* 2022]. В описываемом эксперименте засоление привело к росту содержания этого соединения в листьях люпина в 1.6 раза, что указывает на наличие сильного окислительного стресса (таблица 3). Несмотря на то, что у растений в почве без соли бактеризация штаммом ANT22 вызвала повышение количества МДА, использование микроорганизмов на растениях, посаженных в почву с NaCl, снижало в них его уровень в 1.4 раза по сравнению с необработанными вариантами. Вероятно, это происходило за счет сокращения накопления активных форм кислорода и ослабления окислительного повреждения клеток. Аналогичное уменьшение накопления МДА при солевом стрессе в результате бактеризации также зафиксировано у других растений [Khan *et al.* 2021; Neshat *et al.* 2022].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выделен штамм галотолерантных бактерий *Bacillus atrophaeus* ANT22, обладающий антагонистической активностью в отношении фитопатогенных микромицетов (*B. Sorokiniana, F. culmorum, A. alternata)*, способностью к растворению фосфата (индекс солюбилизации 1.5), продукции ИУК (586.3 нг/мл) и образованию биопленки. В модельном эксперименте с засолением почвы хлоридом натрия (0.25% масс.) показано, что инокуляция семян люпина этим штаммом приводила к улучшению морфологических показателей растений (возрастанию массы и длины корней (на 48.3 и 46.5% соответственно) и побегов (на 27.9 и 36.8% соответственно), увеличению числа листьев на 36.8% и их массы на 30.9%), а также к снижению окислительного стресса за счет активизации образования хлорофилла (его содержание повысилось на 21.3%) и уменьшения уровня МДА в 1.4 раза.

Таким образом, галотолерантный пленкообразующий PGP штамм *B. atrophaeus* ANT22 имеет определенные перспективы для применения в качестве средства для повышения устойчивости чувствительных растений к солевому стрессу и стимулирования их роста в условиях засоления почв.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00879, https://rscf.ru/project/25-24-00879/.

Конфликт интересов | Conflicts of Interest

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи (The authors declare no actual or potential conflicts of interest related to the publication of this article).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пиковская С.И. (**1948**) Мобилизация фосфора в почве в связи с жизнедеятельностью некоторых видов микробов. *Микробиология*. **17**(5): 362–370.

Стариков С.Н., Четвериков С.П. (**2020**) Штамм *Enterobacter* sp. UOM-3 способен к синхронной деструкции галогенсодержащих гербицидов и синтезу индол-3-уксусной кислоты. *Экобиотех*. **3**(4): 716–721. https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-4-716-721 EDN: SJBVGB

Юшин Ю.В., Подкопайло Р.В., Петрова Д.А., Егоров К.А., Трухин В.П. (**2019**) Обзор питательных сред, используемых для культивации рекомбинантной *Escherichia coli*. *Медицина экстремальных ситуаций*. **21**(3): 444–453.

Agha M.S., Haroun S.A., Abbas M.A., Sofy M.R., Mowafy A.M. (**2023**) Growth and metabolic response of *Glycine max* to the plant growth-promoting *Enterobacter* delta PSK and *Bradyrhizobium japonicum* under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. **42**(9): 5816–5830. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10967-4 EDN: AARQXP

Balasubramaniam T., Shen G., Esmaeili N., Zhang H. (**2023**) Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*. **12**(12): 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253 EDN: MWRZWW

Brokate O., Papenbrock J., Turcios A.E. (**2024**) Biofilm-forming microorganisms in the rhizosphere to improve plant growth: Coping with abiotic stress and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*. **202**: 105591. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105591 EDN: EPCPLD

Çam S., Küçük Ç., Almaca A. (**2023**) Bacillus strains exhibit various plant growth promoting traits and their biofilm-forming capability correlates to their salt stress alleviation effect on maize seedlings. *Journal of Biotechnology*. **369**: 35–42. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.05.004 EDN: XXVLKN

Coffey B.M., Anderson G.G. (**2014**) Biofilm formation in the 96-well microtiter plate. *In: Filloux A., Ramos J.L. (eds.) Pseudomonas Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology, vol 1149*. Humana. New York, NY: 631–641. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0473-0_48

Fan K., Li F., Chen X., Li Z., Mulla D. (**2022**) Nitrogen balance index prediction of winter wheat by canopy hyperspectral transformation and machine learning. *Remote Sensing*. **14**(14): 3504. https://doi.org/10.3390/rs14143504 EDN: UUCRAN

Gómez-Godínez L.J., Aguirre-Noyola J.L., Martínez-Romero E., Arteaga-Garibay R.I., Ireta-Moreno J., Ruvalcaba-Gómez J.M. (**2023**) A look at plant-growth-promoting bacteria. *Plants*. **12**(8): 1668. https://doi.org/10.3390/plants12081668 EDN: FQXZEY

Hannachi S., Steppe K., Eloudi M., Mechi L., Bahrini I., Van Labeke M.-C. (**2022**) Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*. **11**(5): 590. https://doi.org/10.3390/plants11050590 EDN: DDCILS

Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. (**2024**) Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: A review. *Bacteria*. **3**(2): 59–75. https://doi.org/10.3390/bacteria3020005 EDN: LPIIIX

Hashem H.A., Esmail N.Y., Hassanein A.A. (**2023**) Physiological changes in lupine plants in response to salt stress and nitric oxide signal. *Plant Physiology Reports*. **28**(2): 299–311. https://doi.org/10.1007/s40502-023-00720-0 EDN: QXKCPP

Ha-Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.-H., Huang E., Huang C.-C. (**2021**) Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. **22**(6): 3154. https://doi.org/10.3390/ijms22063154

Hussien E.T. (**2022**) Salinity stress affecting viability and genetic stability of *Lupinus albus* L. *Vegetos*. **35**(3): 674–680. https://doi.org/10.1007/s42535-022-00344-z EDN: XVEFZP

Ihsan M.Z., Kanwal S., Fahad S., Chattha W.S., Hashem A., Abd-Allah E.F., Hussain M., Bajwa A.A. (**2024**) Plant growth regulators improve the yield of white lupin (*Lupinus albus*) by enhancing the plant morpho-physiological functions and photosynthesis under salt stress. *BMC Plant Biology*. **24**(1): 1020. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05676-3 EDN: KLTLJL

Kapadia C., Patel N., Rana A., Vaidya H., Alfarraj S., Ansari M.J., Gafur A., Poczai P., Sayyed R.Z. (**2022**) Evaluation of plant growth-promoting and salinity ameliorating potential of halophilic bacteria isolated from saline soil. *Frontiers in Plant Science*. **13** https://doi.org/10.3389/fpls.2022.946217 EDN: PYNZRC

Khan M.A., Sahile A.A., Jan R., Asaf S., Hamayun M., Imran M., Adhikari A., Kang S.-M., Kim K.-M., Lee I.-J. (**2021**) Halotolerant bacteria mitigate the effects of salinity stress on soybean growth by regulating secondary metabolites and molecular responses. *BMC Plant Biology*. **21**(1): 176. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02937-3 EDN: FPGZDH

Koźmińska A., Hassan M. Al, Halecki W., Kruszyna C., Hanus-Fajerska E. (**2024**) Beneficial microorganisms: sulfur-oxidizing bacteria modulate salt and drought stress responses in the halophyte *Plantago coronopus* L. *Sustainability*. **16**(24): 10866. https://doi.org/10.3390/su162410866 EDN: IURXCQ

Lane D.J. (**1991**) 16S/23S rRNA sequencing. *In: Stackebrandt E., Goodfellow M. (eds.) Nucleic acid techniques in bacterial systematics*. John Wiley & Sons. Chichester: 115–175.

Li X., Sun P., Zhang Y., Jin C., Guan C. (**2020**) A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. *Environmental and Experimental Botany*. **174**: 104023. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104023 EDN: FXADVW

Loganathan P., Meivelu M., Narenkumar J., Sathishkumar R., Seralathan K.-K. (**2026**) Biological mitigation of salt stress: Role of halophilic bacteria in exopolysaccharides (EPS) and indole-3-acetic acid (IAA) biosynthesis. *International Microbiology*. **29**(1): 61–73. https://doi.org/10.1007/s10123-025-00768-y EDN: UFSGYK

Neshat M., Abbasi A., Hosseinzadeh A., Sarikhani M.R., Dadashi Chavan D., Rasoulnia A. (**2022**) Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. **28**(2): 347–361. https://doi.org/10.1007/s12298-022-01128-0 EDN: TDZOTC

Pan J., Huang C., Peng F., Wang T., Liao J., Ma S., You Q., Xue X. (**2022**) Synergistic combination of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria modulates morpho-physiological characteristics and soil structure in *Nitraria tangutorum* bobr. Under saline soil conditions. *Research in Cold and Arid Regions*. **14**(6): 393–402. https://doi.org/10.1016/j.rcar.2023.02.002 EDN: WFRTRH

Pan J., Xue X., Huang C., You Q., Guo P., Yang R., Da F., Duan Z., Peng F. (**2024**) Effect of salinization on soil properties and mechanisms beneficial to microorganisms in salinized soil remediation–a review. *Research in Cold and Arid Regions*. **16**(3): 121–128. https://doi.org/10.1016/j.rcar.2024.07.001 EDN: NUJRRL

Pérez-García L.A., Sáenz-Mata J., Palacio-Rodríguez R., Rueda-Puente E.O., Torres-Rodriguez J.A., Preciado-Rangel P. (**2025**) Plant growth promoting rhizobacteria enhances germination and bioactive compound in cucumber seedlings under saline stress. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. **12**(2): e4276. https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4276

Radhakrishnan N., Krishnasamy C. (**2024**) Isolation and characterization of salt-stress-tolerant rhizosphere soil bacteria and their effects on plant growth-promoting properties. *Scientific Reports*. **14**(1): 24909. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75022-y EDN: CLZKFU

Ramasamy K.P., Mahawar L. (**2023**) Coping with salt stress-interaction of halotolerant bacteria in crop plants: A mini review. *Frontiers in Microbiology*. **14**: 1077561. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1077561 EDN: RLDIBU

Saddiq M.S., Iqbal S., Hafeez M.B., Ibrahim A.M.H., Raza A., Fatima E.M., Baloch H., Jahanzaib, Woodrow P., Ciarmiello L.F. (**2021**) Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*. **11**(6): 1193. https://doi.org/10.3390/agronomy11061193 EDN: HFVXPK

Saleem S., Iqbal A., Ahmed F., Ahmad M. (**2021**) Phytobeneficial and salt stress mitigating efficacy of IAA producing salt tolerant strains in *Gossypium hirsutum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. **28**(9): 5317–5324. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.056 EDN: OYZHXF

Shaaban A., Al-Elwany O.A.A.I., Abdou N.M., Hemida K.A., El-Sherif A.M.A., Abdel-Razek M.A., Semida W.M., Mohamed G.F., Abd El-Mageed T.A. (**2022**) Filter mud enhanced yield and soil properties of water-stressed *Lupinus termis* L. in saline calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. **22**(2): 1572–1588. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00755-y EDN: PZVIJN

Shokri N., Hassani A., Sahimi M. (**2024**) Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*. **62**(4): e2023RG000804. https://doi.org/10.1029/2023RG000804 EDN: QUGGKH

Thakur R., Yadav S. (**2024**) Biofilm forming, exopolysaccharide producing and halotolerant, bacterial consortium mitigates salinity stress in *Triticum aestivum*. *International Journal of Biological Macromolecules*. **262**: 130049. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130049 EDN: JGAFZC

Tomaz A., Palma P., Alvarenga P., Gonçalves M.C. (**2026**) Chapter 10 - Soil salinization risk under climate change and its effects on soil health and crop yield. *In: Vara Prasad M.N., Pietrzykowski M., Nunes F.C. (eds.) Climate Change and Soil Interactions (Second Edition)*. Elsevier.: 235–272. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-40292-0.00014-5

Uchiyama M., Mihara M. (**1978**) Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Analytical Biochemistry*. **86**(1): 271–278. https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90342-1

Villalobos-López M.A., Arroyo-Becerra A., Quintero-Jiménez A., Iturriaga G. (**2022**) Biotechnological advances to improve abiotic stress tolerance in crops. *International Journal of Molecular Sciences*. **23**(19): 12053. https://doi.org/10.3390/ijms231912053 EDN: BOOKAJ

Wang Z., Tan W., Yang D., Zhang K., Zhao L., Xie Z., Xu T., Zhao Y., Wang X., Pan X. *et al.* (**2021**) Mitigation of soil salinization and alkalization by bacterium-induced inhibition of evaporation and salt crystallization. *Science of The Total Environment*. **755**: 142511. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142511 EDN: PCGTMH

Wungrampha S., Joshi R., Singla-Pareek S.L., Pareek A. (**2018**) Photosynthesis and salinity: are these mutually exclusive? *Photosynthetica*. **56**(SPECIAL ISSUE): 366–381. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0763-7 EDN: YETFUL

REFERENCES

Pikovskaya S.I. (**1948**) Mobilization of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species [Mobilizatsiya fosfora v pochve v svyazi s zhiznedeyatelnostyu nekotorykh vidov mikrobov]. *Microbiology* [*Mikrobiologiya*]. **17**(5): 362–370. (in Russian)

Starikov S.N., Chetverikov S.P. (**2020**) Strain *Enterobacter* sp. UOM-3 is able to synchronous destruction of halogen-containing herbicides and synthesis of indol-3-acetic acid. *Ecobiotech*. **3**(4): 716–721. https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-4-716-721 EDN: SJBVGB (in Russian)

Yushin Yu.V., Podkopailo R.V., Petrova D.A., Egorov K.A., Trukhin V.P. (**2019**) Review of nutrient media used for cultivation of recombinant *Escherichia coli*. *Medicine of Extreme Situations* [*Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*]. **21**(3): 444–453. (in Russian)

Agha M.S., Haroun S.A., Abbas M.A., Sofy M.R., Mowafy A.M. (**2023**) Growth and metabolic response of *Glycine max* to the plant growth-promoting *Enterobacter* delta PSK and *Bradyrhizobium japonicum* under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. **42**(9): 5816–5830. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10967-4 EDN: AARQXP

Balasubramaniam T., Shen G., Esmaeili N., Zhang H. (**2023**) Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*. **12**(12): 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253 EDN: MWRZWW

Brokate O., Papenbrock J., Turcios A.E. (**2024**) Biofilm-forming microorganisms in the rhizosphere to improve plant growth: Coping with abiotic stress and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*. **202**: 105591. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105591 EDN: EPCPLD

Çam S., Küçük Ç., Almaca A. (**2023**) Bacillus strains exhibit various plant growth promoting traits and their biofilm-forming capability correlates to their salt stress alleviation effect on maize seedlings. *Journal of Biotechnology*. **369**: 35–42. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.05.004 EDN: XXVLKN

Coffey B.M., Anderson G.G. (**2014**) Biofilm formation in the 96-well microtiter plate. *In: Filloux A., Ramos J.L. (eds.) Pseudomonas Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology, vol 1149*. Humana. New York, NY: 631–641. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0473-0_48

Fan K., Li F., Chen X., Li Z., Mulla D. (**2022**) Nitrogen balance index prediction of winter wheat by canopy hyperspectral transformation and machine learning. *Remote Sensing*. **14**(14): 3504. https://doi.org/10.3390/rs14143504 EDN: UUCRAN

Gómez-Godínez L.J., Aguirre-Noyola J.L., Martínez-Romero E., Arteaga-Garibay R.I., Ireta-Moreno J., Ruvalcaba-Gómez J.M. (**2023**) A look at plant-growth-promoting bacteria. *Plants*. **12**(8): 1668. https://doi.org/10.3390/plants12081668 EDN: FQXZEY

Hannachi S., Steppe K., Eloudi M., Mechi L., Bahrini I., Van Labeke M.-C. (**2022**) Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*. **11**(5): 590. https://doi.org/10.3390/plants11050590 EDN: DDCILS

Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. (**2024**) Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: A review. *Bacteria*. **3**(2): 59–75. https://doi.org/10.3390/bacteria3020005 EDN: LPIIIX

Hashem H.A., Esmail N.Y., Hassanein A.A. (**2023**) Physiological changes in lupine plants in response to salt stress and nitric oxide signal. *Plant Physiology Reports*. **28**(2): 299–311. https://doi.org/10.1007/s40502-023-00720-0 EDN: QXKCPP

Ha-Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.-H., Huang E., Huang C.-C. (**2021**) Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. **22**(6): 3154. https://doi.org/10.3390/ijms22063154

Hussien E.T. (**2022**) Salinity stress affecting viability and genetic stability of *Lupinus albus* L. *Vegetos*. **35**(3): 674–680. https://doi.org/10.1007/s42535-022-00344-z EDN: XVEFZP

Ihsan M.Z., Kanwal S., Fahad S., Chattha W.S., Hashem A., Abd-Allah E.F., Hussain M., Bajwa A.A. (**2024**) Plant growth regulators improve the yield of white lupin (*Lupinus albus*) by enhancing the plant morpho-physiological functions and photosynthesis under salt stress. *BMC Plant Biology*. **24**(1): 1020. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05676-3 EDN: KLTLJL

Kapadia C., Patel N., Rana A., Vaidya H., Alfarraj S., Ansari M.J., Gafur A., Poczai P., Sayyed R.Z. (**2022**) Evaluation of plant growth-promoting and salinity ameliorating potential of halophilic bacteria isolated from saline soil. *Frontiers in Plant Science*. **13** https://doi.org/10.3389/fpls.2022.946217 EDN: PYNZRC

Khan M.A., Sahile A.A., Jan R., Asaf S., Hamayun M., Imran M., Adhikari A., Kang S.-M., Kim K.-M., Lee I.-J. (**2021**) Halotolerant bacteria mitigate the effects of salinity stress on soybean growth by regulating secondary metabolites and molecular responses. *BMC Plant Biology*. **21**(1): 176. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02937-3 EDN: FPGZDH

Koźmińska A., Hassan M. Al, Halecki W., Kruszyna C., Hanus-Fajerska E. (**2024**) Beneficial microorganisms: sulfur-oxidizing bacteria modulate salt and drought stress responses in the halophyte *Plantago coronopus* L. *Sustainability*. **16**(24): 10866. https://doi.org/10.3390/su162410866 EDN: IURXCQ

Lane D.J. (**1991**) 16S/23S rRNA sequencing. *In: Stackebrandt E., Goodfellow M. (eds.) Nucleic acid techniques in bacterial systematics*. John Wiley & Sons. Chichester: 115–175.

Li X., Sun P., Zhang Y., Jin C., Guan C. (**2020**) A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. *Environmental and Experimental Botany*. **174**: 104023. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104023 EDN: FXADVW

Loganathan P., Meivelu M., Narenkumar J., Sathishkumar R., Seralathan K.-K. (**2026**) Biological mitigation of salt stress: Role of halophilic bacteria in exopolysaccharides (EPS) and indole-3-acetic acid (IAA) biosynthesis. *International Microbiology*. **29**(1): 61–73. https://doi.org/10.1007/s10123-025-00768-y EDN: UFSGYK

Neshat M., Abbasi A., Hosseinzadeh A., Sarikhani M.R., Dadashi Chavan D., Rasoulnia A. (**2022**) Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. **28**(2): 347–361. https://doi.org/10.1007/s12298-022-01128-0 EDN: TDZOTC

Pan J., Huang C., Peng F., Wang T., Liao J., Ma S., You Q., Xue X. (**2022**) Synergistic combination of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria modulates morpho-physiological characteristics and soil structure in *Nitraria tangutorum* bobr. Under saline soil conditions. *Research in Cold and Arid Regions*. **14**(6): 393–402. https://doi.org/10.1016/j.rcar.2023.02.002 EDN: WFRTRH

Pan J., Xue X., Huang C., You Q., Guo P., Yang R., Da F., Duan Z., Peng F. (**2024**) Effect of salinization on soil properties and mechanisms beneficial to microorganisms in salinized soil remediation–a review. *Research in Cold and Arid Regions*. **16**(3): 121–128. https://doi.org/10.1016/j.rcar.2024.07.001 EDN: NUJRRL

Pérez-García L.A., Sáenz-Mata J., Palacio-Rodríguez R., Rueda-Puente E.O., Torres-Rodriguez J.A., Preciado-Rangel P. (**2025**) Plant growth promoting rhizobacteria enhances germination and bioactive compound in cucumber seedlings under saline stress. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. **12**(2): e4276. https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4276

Radhakrishnan N., Krishnasamy C. (**2024**) Isolation and characterization of salt-stress-tolerant rhizosphere soil bacteria and their effects on plant growth-promoting properties. *Scientific Reports*. **14**(1): 24909. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75022-y EDN: CLZKFU

Ramasamy K.P., Mahawar L. (**2023**) Coping with salt stress-interaction of halotolerant bacteria in crop plants: A mini review. *Frontiers in Microbiology*. **14**: 1077561. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1077561 EDN: RLDIBU

Saddiq M.S., Iqbal S., Hafeez M.B., Ibrahim A.M.H., Raza A., Fatima E.M., Baloch H., Jahanzaib, Woodrow P., Ciarmiello L.F. (**2021**) Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*. **11**(6): 1193. https://doi.org/10.3390/agronomy11061193 EDN: HFVXPK

Saleem S., Iqbal A., Ahmed F., Ahmad M. (**2021**) Phytobeneficial and salt stress mitigating efficacy of IAA producing salt tolerant strains in *Gossypium hirsutum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. **28**(9): 5317–5324. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.056 EDN: OYZHXF

Shaaban A., Al-Elwany O.A.A.I., Abdou N.M., Hemida K.A., El-Sherif A.M.A., Abdel-Razek M.A., Semida W.M., Mohamed G.F., Abd El-Mageed T.A. (**2022**) Filter mud enhanced yield and soil properties

of water-stressed *Lupinus termis* L. in saline calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. **22**(2): 1572–1588. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00755-y EDN: PZVIJN

Shokri N., Hassani A., Sahimi M. (**2024**) Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*. **62**(4): e2023RG000804. https://doi.org/10.1029/2023RG000804 EDN: QUGGKH

Thakur R., Yadav S. (**2024**) Biofilm forming, exopolysaccharide producing and halotolerant, bacterial consortium mitigates salinity stress in *Triticum aestivum*. *International Journal of Biological Macromolecules*. **262**: 130049. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130049 EDN: JGAFZC

Tomaz A., Palma P., Alvarenga P., Gonçalves M.C. (**2026**) Chapter 10 - Soil salinization risk under climate change and its effects on soil health and crop yield. *In: Vara Prasad M.N., Pietrzykowski M., Nunes F.C. (eds.) Climate Change and Soil Interactions (Second Edition)*. Elsevier.: 235–272. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-40292-0.00014-5

Uchiyama M., Mihara M. (**1978**) Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Analytical Biochemistry*. **86**(1): 271–278. https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90342-1

Villalobos-López M.A., Arroyo-Becerra A., Quintero-Jiménez A., Iturriaga G. (**2022**) Biotechnological advances to improve abiotic stress tolerance in crops. *International Journal of Molecular Sciences*. **23**(19): 12053. https://doi.org/10.3390/ijms231912053 EDN: BOOKAJ

Wang Z., Tan W., Yang D., Zhang K., Zhao L., Xie Z., Xu T., Zhao Y., Wang X., Pan X. *et al.* (**2021**) Mitigation of soil salinization and alkalization by bacterium-induced inhibition of evaporation and salt crystallization. *Science of The Total Environment*. **755**: 142511. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142511 EDN: PCGTMH

Wungrampha S., Joshi R., Singla-Pareek S.L., Pareek A. (**2018**) Photosynthesis and salinity: are these mutually exclusive? *Photosynthetica*. **56**(SPECIAL ISSUE): 366–381. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0763-7 EDN: YETFUL

Цитировать как

Кузина Е.В., Мухаматдьярова С.Р., Искужина М.Г., Рафикова Г.Ф., Кульбаева Л.А., Шарипова Ю.Ю., Коршунова Т.Ю. (**2026**) Перспективы применения галотолерантного штамма биопленкообразующих бактерий для повышения устойчивости растений к засолению почвы. *Экобиотех*. **9**(2): 220-232. DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-18
EDN: https://www.elibrary.ru/nsxnux

Cited as

Kuzina E.V., Mukhamatdyarova S.R., Iskuzhina M.G., Rafikova G.F., Kulbaeva L.A., Sharipova Yu.Yu., Korshunova T.Yu. (**2026**) Prospects for using a halotolerant strain of biofilm-forming bacteria to increase plant resistance to soil salinity. *Ecobiotech*. **9**(2): 220-232. DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-18
EDN: https://www.elibrary.ru/nsxnux (In Rus.)

Сведения об авторе/ах

Елена Витальевна Кузина, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: misshalen@mail.ru, SPIN: 3907-0876, ORCID: 0000-0002-6905-0108, Scopus: 56989541300.

Светлана Ринатовна Мухаматдьярова, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: svetrm83@gmail.com, SPIN: 9278-3684, ORCID: 0000-0001-7641-7943, Scopus: 56663179000.

Миляуша Галимьяновна Искужина, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: ishmurzina82@mail.ru, SPIN: 7846-6009, ORCID: 0000-0003-0196-9596, Scopus: 58418495500.

Information About the Author(s)

Elena Vitalievna Kuzina, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: misshalen@mail.ru, SPIN: 3907-0876, ORCID: 0000-0002-6905-0108, Scopus: 56989541300.

Svetlana Rinatovna Mukhamatdyarova, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: svetrm83@gmail.com, SPIN: 9278-3684, ORCID: 0000-0001-7641-7943, Scopus: 56663179000.

Milyausha Galim'yanovna Iskuzhina, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: ishmurzina82@mail.ru, SPIN: 7846-6009, ORCID: 0000-0003-0196-9596, Scopus: 58418495500.

Гульназ Фаилевна Рафикова к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: rgf07@mail.ru, SPIN: 3610-3588, ORCID: 0000-0001-7655-5588, Scopus: 23996192800.

Лилия Ахметовна Кульбаева, Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: l.kulbaeva78@mail.ru, SPIN: 7213-8044, ORCID: 0009-0007-0999-7125, Scopus: 59491417600.

Юлияна Юпитеровна Шарипова, Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: gerda.666_09@mail.ru, SPIN: 5186-9759, ORCID: 0000-0002-1794-5137, Scopus: 57998372700.

Татьяна Юрьевна Коршунова, д.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: korshunovaty@mail.ru, SPIN: 9960-5134, ORCID: 0000-0002-6186-0827, Scopus: 7004148582.

Gulnaz Failevna Rafikova, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: rgf07@mail.ru, SPIN: 3610-3588, ORCID: 0000-0001-7655-5588, Scopus: 23996192800.

Liliya Akhmetovna Kulbaeva, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: l.kulbaeva78@mail.ru, SPIN: 7213-8044, ORCID: 0009-0007-0999-7125, Scopus: 59491417600.

Yuliyana Yupiterovna Sharipova, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: gerda.666_09@mail.ru, SPIN: 5186-9759, ORCID: 0000-0002-1794-5137, Scopus: 57998372700.

Tatyana Yurievna Korshunova, Doctor in Biology, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: korshunovaty@mail.ru, SPIN: 9960-5134, ORCID: 0000-0002-6186-0827, Scopus: 7004148582.