

2  
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

Оренбургская область  
Гора Змеиная  
Вельмовский П.В.



2023

**УЧРЕДИТЕЛЬ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© А.Н. Сизенцов, Галактионова Л.В., 2023

УДК. 57.044, 57.047 ; 579.262

А.Н. Сизенцов, Галактионова Л.В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ШТАММОВ *BACILLUS* SP. В КАЧЕСТВЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**Цель.** Провести оценку резистентности выделенных почвенных изолятов *Bacillus cereus* в отношении различных химических соединений свинца и его влияния на антагонистические характеристики данных бактерий.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования в модельном эксперименте *in vitro* послужили почвенные изоляты *Bacillus cereus*; в качестве регулирующих рост факторов использовали химически чистые соединения  $Pb(NO_3)_2$  и  $Pb(CH_3COO)_2$ . Для оценки степени влияния свинца на антагонистическую активность использовали *P. aeruginosa* и *S. typhimurium*. Основным методическим подходом при этом являлся диффузионный метод агаровых лунок в толще агара в комбинации с методом серийных разведений.

**Результаты.** На основании культуральных, морфологических признаков и метода MALDI ToF MS нами были выделены из почвы и идентифицированы 7 штаммов *B. cereus*. Исследование уровня толерантности выделенных почвенных изолятов по отношению к свинцу свидетельствуют о высоком уровне биотоксичности как нитрата, так и ацетата свинца в дозе 1 М/л на все тестируемые штаммы, при этом минимальные показатели ингибирования роста регистрировались у *B. cereus* ОСТ22.1, *B. cereus* ОСТ22.4 и *B. cereus* ОСТ22.7 как в отношении  $Pb(NO_3)_2$  так и  $Pb(CH_3COO)_2$ . Полученные данные свидетельствуют об относительно высоком уровне устойчивости *B. cereus* к химическим соединениям свинца, при этом существенных различий между  $Pb(NO_3)_2$  и  $Pb(CH_3COO)_2$  не установлено. Минимальная ингибирующая концентрация солей для всех исследуемых штаммов составляла 0,032 М/л. Проведенный анализ влияния свинца на антагонистическую активность почвенных изолятов *B. cereus* свидетельствует о том, что шесть из семи исследуемых микроорганизмов проявляли ингибирующие характеристики в присутствии свинца, при этом только *B. cereus* ОСТ22.2 подавлял рост как *P. aeruginosa*, так и *S. typhimurium*, что позволяет судить о перспективности его дальнейшего исследования в качестве биоремедиатора и стимулятора роста сельскохозяйственных растений.

**Заключение.** Полученные данные и анализ современной литературы свидетельствуют о высоком потенциале использования штаммов *Bacillus* sp. не только в качестве биоремедиаторов, но и стимуляторов роста сельскохозяйственных растений.

**Ключевые слова:** *Bacillus*, антагонистическая активность, свинец, биотоксичность.

---

---

A.N. Sizetsov, L.V. Galaktionova

## USING BACTERIAL STRAINS OF *BACILLUS* SP. AS GROWTH PROMOTORS FOR AGRICULTURAL PLANTS

Orenburg State University, Orenburg, Russia

**Aim.** To assess the resistance of isolated soil isolates of *Bacillus cereus* to various chemical compounds of lead and its effect on antagonistic characteristics.

**Materials and methods.** Soil isolates of *Bacillus cereus* served as the material for the study in a model experiment *in vitro*. Chemically pure compounds  $Pb(NO_3)_2$  and  $Pb(CH_3COO)_2$  were used as growth-regulating factors. *P. aeruginosa* and *S. typhimurium* were used to assess the degree of influence of lead on antagonistic activity. The main methodological approach used

in the work was the diffusion method of agar wells in the thickness of agar in combination with the method of serial dilutions.

*Results.* Based on cultural, morphological features and the MALDI ToF MS method, we have identified 7 strains of *Bacillus cereus*. The study of the level of tolerance of isolated soil isolates towards lead indicates a high level of biotoxicity of both lead nitrate and acetate at a dose of 1 M/l for all tested strains, while minimal growth inhibition rates are recorded in *B. cereus* OCT22.1, *B. cereus* OCT22.4 and *B. cereus* OCT22.7 for both  $Pb(NO_3)_2$  and  $Pb(CH_3COO)_2$ . The experimental data obtained indicate a relatively high level of resistance of *B. cereus* to chemical lead compounds, while significant differences between  $Pb(NO_3)_2$  and  $Pb(CH_3COO)_2$  were not found. The minimum inhibitory concentration of salts for all the studied strains is 0,032 M/l. The analysis of the effect of lead on the antagonistic activity of *B. cereus* soil isolates indicates that six of the seven studied microorganisms exhibit inhibitory characteristics in the presence of lead, while only *B. cereus* OCT22.2 inhibits the growth of both *P. aeruginosa* and *S. typhimurium*, which makes it possible to judge the prospects of its further research as a bioremediator and growth stimulator of agricultural plants.

*Conclusion.* The experimental data obtained and the analysis of modern literature indicate a high potential for the use of *Bacillus* sp. not only as bioremediators, but as growth stimulators of agricultural plants.

*Key words:* *Bacillus*, lead, biotoxicity, antagonistic activity.

## Введение

На продуктивность сельскохозяйственных культур влияют экологические и генетические факторы. Полезные для растений бактерии используются для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и являются альтернативой химическим удобрениям и пестицидам. Представители родов *Pseudomonas* и *Bacillus* являются преобладающими бактериями, способствующими росту растений. Способность *Bacillus* к спорообразованию обеспечивает их длительное выживание в неблагоприятных условиях окружающей среды. *Bacillus* spp. выделяют несколько метаболитов, которые запускают рост растений и предотвращают заражение патогенами. Физиологические изменения растений, вызванные *Bacillus*, рассматриваются как их адаптации к абиотическим и биотическим стрессам. При нехватке воды в почве, сочетающейся с засолением и накоплением в почве тяжелых металлов, *Bacillus* spp. вырабатывают экзополисахариды и сидерофоры, которые предотвращают перемещение токсичных ионов, регулируют ионный баланс и транспорт воды в тканях растений, контролируя при этом популяцию патогенных микробов. Кроме того, клетки *Bacillus* синтезируют индол-3-уксусную кислоту, гиббереллиновую кислоту и 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АСС) деаминазу, регулируют внутриклеточный обмен фитогормонов и повышают стрессоустойчивость растений. Вещества, разрушающие клеточную стенку, такие как хитозаназа, протеаза, целлюлаза, глюканаза, липопептиды и цианистый

водород из *Bacillus* spp. наносят вред патогенным бактериям, грибам, нематодам, вирусам и вредителям, контролируют численность их популяций на растениях и сельскохозяйственных угодьях. На нормальный метаболизм растений влияют неблагоприятные раздражители окружающей среды, подавляющие рост и уменьшающие урожайность сельскохозяйственных культур. Факторы абиотического и биотического стресса, оказывающие вредное воздействие на сельскохозяйственные культуры, смягчаются физиологическими изменениями, вызванными *Bacillus*, включая регуляцию транспорта воды, поглощение питательных веществ и активацию антиоксидантных и защитных систем. Ассоциация *Bacillus* с растениями стимулирует их иммунитет против стрессов путем изменения генов, белков, фитогормонов и связанных с ними метаболитов, реагирующих на неблагоприятные факторы [1].

Рост растений усиливается PGPR за счет индукции системной устойчивости, антибиоза и конкурентного отсутствия. Таким образом, применение бактерий можно использовать для индукции системной устойчивости растений к биотическим агентам и повышения их резистентности к экологическим стрессам. *B. subtilis* демонстрирует как прямой, так и косвенный механизм биоконтроля для подавления заболеваний, вызванных патогенами. Прямой механизм включает синтез многих вторичных метаболитов, гормонов, ферментов, разрушающих клеточную стенку, и антиоксидантов, которые помогают растению защититься от атак патогенов. Косвенный механизм включает стимуляцию роста растений и индукцию приобретенной системной устойчивости. *Bacillus subtilis* может растворять фосфор в почве, усиливать фиксацию азота и вырабатывать сидерофоры, которые способствуют ее росту и подавляют рост патогенов. *B. subtilis* повышает стрессоустойчивость у растений-хозяев, индуцируя экспрессию генов реакции на стресс, фитогормонов и метаболитов, связанных со стрессом [2].

Эффективное распознавание патогенов и быстрая защитная реакция являются ключевыми факторами индуцированной устойчивости у растений. Этот феномен устойчивости относится к сложному каскаду, который включает увеличение количества защитных белков, салициловой кислоты (СК) или индукцию сигнальных путей, зависящих от растительных гормонов. Хотя информации о точном механизме устойчивости растений недостаточно, исследования, проведенные на физиологическом, биохимическом и генетическом уровнях, попытались объяснить серию защитных реакций растений, вы-

званных агентами биологического контроля, которые могут повысить защитную способность растений. Некоторые природные и рекомбинантные микроорганизмы коммерчески доступны в качестве средств биологической борьбы, и в основном это штаммы *Bacillus* spp. и *Pseudomonas* spp. Более полное понимание роли микробных агентов в биоконтроле и знание их взаимодействий с растениями на клеточном и молекулярном уровнях будет способствовать скринингу эффективных и экологически чистых биоагентов, тем самым увеличивая область их применения [3].

Ризобактерии, стимулирующие рост растений, представляют собой набор микроорганизмов, которые играют важную роль в улучшении роста растений и борьбе с фитопатогенами. S. Mehmood с соавт. [3] исследовали мультистресс-толерантный штамм ризобактерий *B. subtilis* PM32, выделенный из выращенного в поле картофеля с различными свойствами, способствующими росту растений (PGP), включая солибилизацию цинка и калия, биологическую фиксацию азота, аммиак и сидерофор, а также продукцию внеклеточных ферментов (целлюлаза, каталаза, амилаза, протеазы, пектиназа и хитиназа). Анализируемый штамм продемонстрировал явный потенциал поддержки роста растений опосредованный продукцией индол-3-уксусной кислоты, АСС-деаминазную активность и экзополисахаридов. Штамм PM32 также значительно подавлял патогенную активность *R. solani*, препятствуя размножению мицелия. Наряду с этим, выделенный изолят проявлял значительную устойчивость к соли, свинцу, жаре и засухе. Результаты экспериментов показали эффективность *B. subtilis* PM32 как потенциального агента биологической борьбы с инфекцией *R. solani*, а также активатора роста растений картофеля, что определялось накоплением биомассы, хлорофилла и содержанием каротиноидов [3].

Не маловажным фактором, снижающим эффективное растениеводство, является загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, вызванное деятельностью человека. Биоремедиация – это эффективный и экологически чистый подход, который может снизить загрязнение окружающей среды поллютантами. Агенты биоремедиации включают, среди прочих, бактерии рода *Bacillus*. Наиболее описанные виды с точки зрения биоремедиационного потенциала – *B. subtilis*, *B. cereus* и *B. thuringiensis*. Этот род бактерий имеет несколько стратегий биоремедиации, включая биосорбцию, опосредованную внеклеточными полимерными веществами, биоаккумуляцию или биопречи-

питанию. Благодаря вышеупомянутым стратегиям бактерии рода *Bacillus* могут уменьшить в окружающей среде количество таких металлов, как свинец, кадмий, ртуть, хром, мышьяк или никель. Кроме того, штаммы рода *Bacillus* также могут способствовать фиторемедиации, стимулируя рост растений и биоаккумуляцию ими тяжелых металлов из почвы. Следовательно, *Bacillus* spp. является одним из лучших устойчивых решений для снижения содержания тяжелых металлов в различных средах, особенно в почве [4].

Приведем лишь несколько примеров использования представителей рода *Bacillus* и других почвенных микроорганизмов для снижения уровня негативного влияния свинца на культурные растения (табл. 1).

Таблица 1. Бактерии, стимулирующие рост растений, применяемые для детоксикации свинца и других тяжелых металлов

Микроорганизм	Растение	Тяжелый металл	Условия эксперимента	Полученные результаты	Ссылка
<i>Bradyrhizobium</i> sp. 750	Люпин желтый	Cu, Cd, Pb	Полевой	Увеличение биомассы, содержания азота и накопления металлов (улучшение фитостабилизационного потенциала).	[5]
<i>P. aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>R. metallidurans</i>	Кукуруза	Cr, Pb	Лабораторный (в горшках)	Стимулирует рост растений, облегчает мобилизацию металлов в почве, увеличивает поглощение Cr и Pb.	[6]
<i>B. edaphicus</i>	Индийская горчица	Pb	Лабораторный (в горшках)	Стимулирует рост растений, облегчает мобилизацию Pb в почве, увеличивает накопление Pb	[7]
<i>P. putida</i> KNP9	Бобы мунг	Pb, Cd	Теплица	Стимулирует рост растений, снижает поглощение Pb и Cd.	[8]
<i>A. chroococcum</i> HKN5, <i>B. megaterium</i> НКР-1, <i>B. mucillaginosus</i> НКК-1	Горчица сарептская	Pb, Zn	Теплица	Защищает растение от токсичности металлов, стимулирует рост растений.	[9]

Опираясь на выше изложенное, нами была поставлена цель – провести оценку резистентности выделенных почвенных изолятов *Bacillus cereus* в отношении различных химических соединений свинца и его влияния на антагонистические характеристики данных бактерий.

### Материалы и методы

Для реализации поставленной цели в качестве объектов исследования в модельном эксперименте *in vitro* нами использовались выделенные и идентифицированные штаммы *Bacillus cereus*. Штаммы были выделены из почвы (чернозем южный), отобранной с территории садового товарищества «Им-

пульс» (окрестности г. Оренбурга, Оренбургская область). Отбор образцов производился в 5 точках определенного нами участка с глубины более 40 см. В эксперименте использовалась усредненная проба [10].

Нами проведена предварительная пробоподготовка почвенных образцов, для чего навески массой  $50,0 \pm 1,0$  г помещались в стерильные колбы и выдерживались на водяной бане в течение 1,5 часов при температуре 95 °С. Данная процедура позволила нам существенно снизить контаминацию проб вегетативными формами разнообразных прокариотических микроорганизмов. Высокий уровень резистентности спор исследуемых бактерий обеспечил возможность их выделения на плотных питательных средах. Идентификацию изолированных культур микроорганизмов проводили с использованием метода Матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация с времяпролётной масс-спектрометрией (MALDI ToF MS).

Оценку уровня биотоксичности свинца на тестируемые штаммы *B. cereus* осуществляли с использованием  $Pb(NO_3)_2$  и  $Pb(CH_3COO)_2$ . Выбор данных солей свинца обусловлен высоким уровнем их диссоциации в водных растворах, что позволяло за короткий промежуток времени создать высокий уровень катионной нагрузки на субстрат и провести оценку уровня толерантности тестируемых в эксперименте штаммов бактерий к свинцу.

Определение уровня резистентности *Bacillus cereus* к солям свинца проводили с использованием диффузионного метода агаровых лунок в комбинации с методом серийных разведений. Использование данного методического подхода позволило оценить не только качественные, но и количественные параметры воздействия солей металлов (от 1 М/л до 0,0156 М/л) на рост исследуемых микроорганизмов. Стоит отметить, что данная методика так же позволяет определить степень диффундирования солей химических веществ в субстрат, а так же избежать ложноположительных и ложноотрицательных результатов как в отношении взаимодействия химических веществ с субстратом, так и устойчивости спорообразующих микроорганизмов.

Оценку влияния свинца на антагонистические характеристики исследуемых штаммов осуществляли также с использованием диффузионного метода агаровых лунок. В качестве действующего вещества в стерильный ГРМ бульон вносили рабочие концентрации (РК) солей свинца (не оказывающие ингибирующего действия на тестируемые штаммы) с последующим инкубированием.

нием выделенных изолятов в данном бульоне в течение 24, 48 и 72 часов. На каждом из этапов получали супернатант (надосадочная жидкость) после центрифугирования в течение 10 минут при 3000 оборотов в минуту.

На поверхность стерильного питательного субстрата (ГРМ-агар) газонм высевали суспензию *P. aeruginosa* и *S. typhimurium*, пробочным сверлом делали равноудаленные (не менее 1,5 см от края чашки Петри и не менее 3 см между лунками) лунки диаметром 5 мм, в которые вносили полученный супернатант (после 24, 48 и 72 часов культивирования штаммов в присутствии  $Pb(CH_3COO)_2$ ) и инкубировали в термостате при 37 °С в течение 24 часов. Оценку антагонистических характеристик определяли визуально путем замера диаметра зон полного ингибирования роста вокруг лунок.

Полученные экспериментальные данные были статистически обработаны с вычислением средних значений, среднего квадратичного отклонения и средней ошибки средних значений. Достоверность различий сравниваемых показателей оценивалась на основании определения t-критерия Стьюдента и критерия Уилкоксона. Статистическая обработка данных проводилась с использованием автоматизированных программ «Биостатистика» и Microsoft Office Excel 2007. Регрессионные модели получены с помощью пакета программ «STATISTICA 10».

### **Результаты и обсуждение**

В ходе проведения первого блока экспериментов, направленного на выделение из почвенных образцов изолятов *Bacillus cereus*, нами на основании культуральных, морфологических признаков и методом MALDI ToF MS были получены и идентифицированы 7 штаммов с последующим их обозначением от ОСТ22.1 до ОСТ22.7.

Исследование уровня толерантности выделенных почвенных изолятов к свинцу свидетельствуют о высоком уровне биотоксичности как нитрата, так и ацетата свинца в концентрации 1 М/л на все тестируемые штаммы, при этом минимальные показатели ингибирования роста регистрировали у *B. cereus* ОСТ22.1, *B. cereus* ОСТ22.4 и *B. cereus* ОСТ22.7 как в отношении  $Pb(NO_3)_2$ , так и  $Pb(CH_3COO)_2$  (рис. 1 и 2).

Из представленных графиков видно, что по мере снижения концентрации исследуемых солей до 0,031 М/л снижаются и диаметры зон ингибирования роста с минимальными значениями в отношении нитрата свинца *B. cereus* ОСТ22.1 и ацетата свинца *B. cereus* ОСТ22.7.

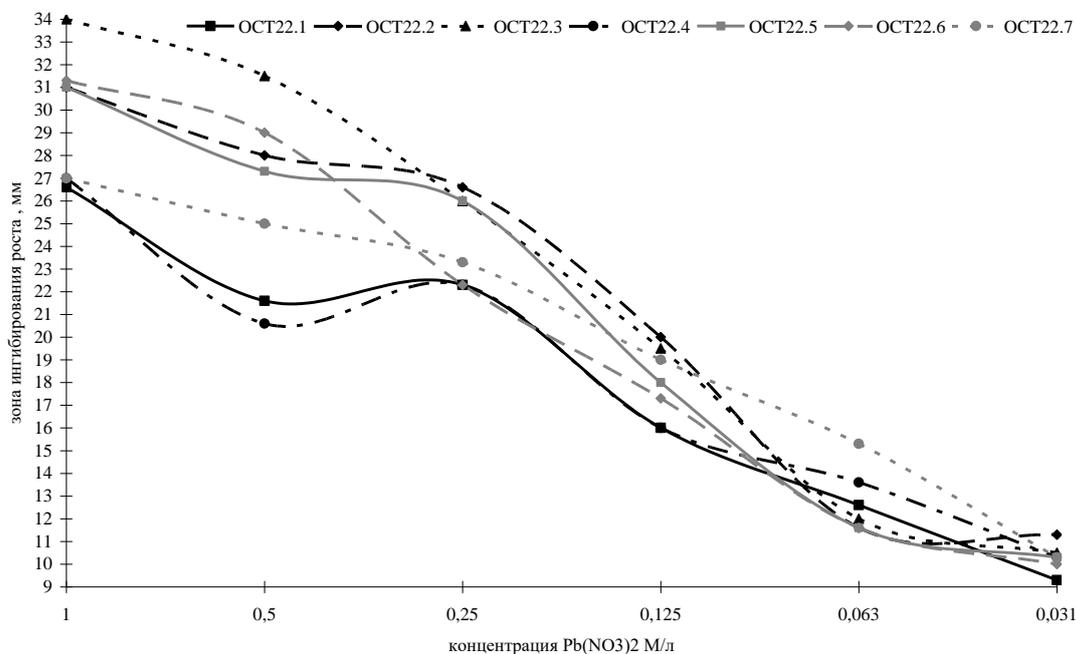


Рис. 1. Средние значения зон ингибирования роста тестируемых штаммов *B. cereus* в присутствии различных концентраций  $Pb(NO_3)_2$ .

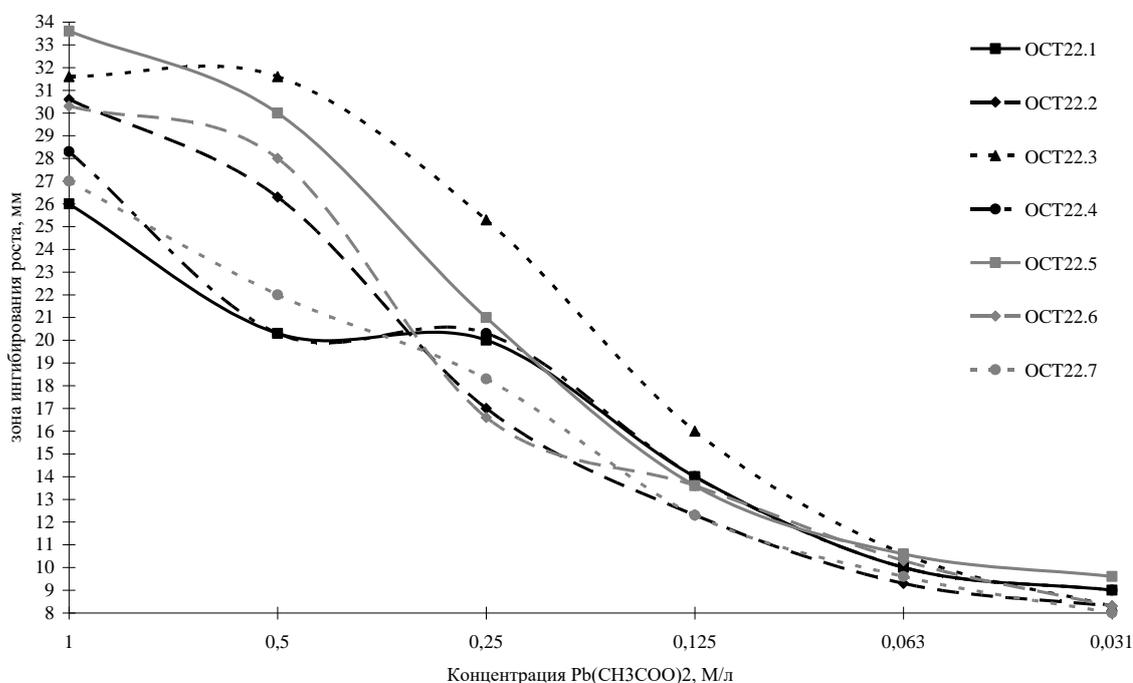


Рис. 2. Средние значения зон ингибирования роста тестируемых штаммов *B. cereus* в присутствии различных концентраций  $Pb(CH_3COO)_2$ .

Для проведения дальнейших исследований в качестве рабочей концентрации выбраны – 0,0156 М/л (5,18 мг/мл -  $Pb(NO_3)_2$  и 5,08 мг/мл -  $Pb(CH_3COO)_2$ )

Второй этап проведенных экспериментов включал оценку влияния свинца на антагонистические характеристики исследуемых микроорганизмов; в качестве тест культур в эксперименте использовали *P. aeruginosa* и *S. typhimurium* (табл. 2).

Таблица 2 . Оценка степени влияния свинца на антагонистические характеристики изолятов *B.cereus*, в отношении тест организмов (зона ингибирования роста микроорганизмов, мм)

Исследуемые штаммы	Время культивирования тестируемых штаммов в присутствии рабочих концентраций $PbCH_3(COOH)_2$		
	24 часа	48 часов	72 часа
<i>P. aeruginosa</i>			
<i>B. cereus</i> OCT22.1	9,3 ± 0,5	10,1 ± 0,8	8,6 ± 0,3
<i>B. cereus</i> OCT22.2	10,1 ± 0,5	9,3 ± 0,6	9,6 ± 0,4
<i>B. cereus</i> OCT22.3	–	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.4	–	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.5	–	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.6	–	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.7	–	–	–
контроль $PbCH_3(COOH)_2$	7,6 ± 0,3		
<i>S. typhimurium</i>			
<i>B. cereus</i> OCT22.1	–	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.2	8,6 ± 0,8	8,1 ± 0,5	9,0 ± 1,0
<i>B. cereus</i> OCT22.3	11,0 ± 0,5	11,1 ± 0,5	11,0 ± 0,7
<i>B. cereus</i> OCT22.4	10,6 ± 1,2	–	–
<i>B. cereus</i> OCT22.5	16,6 ± 2,4	17,6 ± 2,1	11,3 ± 1,0
<i>B. cereus</i> OCT22.6	8,6 ± 1,0	8,1 ± 1,0	–
<i>B. cereus</i> OCT22.7	–	–	–
контроль $PbCH_3(COOH)_2$	8,2 ± 0,3		

Представленные в таблице данные свидетельствуют о выраженной антагонистической активности большинства из исследуемых штаммов в отношении тест организмов; исключение составил *B. cereus* OCT22.7, который не проявлял активность в отношении как *P. aeruginosa*, так и *S. typhimurium*. Значимых различий во времени отбора супернатанта также не установлено; однако следует отметить, что штамм *B. cereus* OCT22.4 проявлял ингибирующую активность в отношении *S. typhimurium* только через 24 часа культи-

вирования.

*P. aeruginosa* проявляет более высокие показатели резистентности к супернатантам *B. cereus*, чем *S. typhimurium*. При этом следует отметить, что слабо выраженной антагонистической активностью в отношении данного штамма *P. aeruginosa* обладали *B. cereus* ОСТ22.1 и *B. cereus* ОСТ22.2, причем последний единственный проявлял активность в отношении обоих тестируемых организмов.

### Заключение

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об относительно высоком уровне устойчивости *B. cereus* к химическим соединениям свинца, при этом существенных различий между действием  $Pb(NO_3)_2$  и  $Pb(CH_3COO)_2$  не установлено. Минимальная ингибирующая концентрация солей для всех исследуемых штаммов составляла 0,032 М/л.

Проведенный анализ влияния свинца на антагонистическую активность почвенных изолятов *B. cereus* свидетельствует о том, что шесть из семи исследуемых микроорганизмов проявляли ингибирующие характеристики в присутствии свинца, причем только *B. cereus* ОСТ22.2 подавлял рост как *P. aeruginosa*, так и *S. typhimurium*, что позволяет судить о перспективности его дальнейшего исследования в качестве биоремедиатора и стимулятора роста сельскохозяйственных растений.

(Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, № 23-26-10079)

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Radhakrishnan R, Hashem A, Abd Allah EF. Bacillus: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. *Front Physiol.* 2017. 6 (8): 667. doi: 10.3389/fphys.2017.00667.
2. Hashem A, Tabassum B, Fathi Abd Allah E. Bacillus subtilis: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi J Biol Sci.* 2019. 26(6): 1291-1297. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004.
3. Zehra A, Raytekar NA, Meena M, Swapnil P. Efficiency of microbial bio-agents as elicitors in plant defense mechanism under biotic stress: A review. *Curr Res Microb Sci.* 2021. 8;2: 100054. doi: 10.1016/j.crmicr.2021.100054.
4. Mehmood S, Muneer MA, Tahir M, Javed MT, Mahmood T, Afridi MS, Pakar NP, Abbasi HA, Munis MFH, Chaudhary HJ. Deciphering distinct biological control and growth promoting potential of multi-stress tolerant Bacillus subtilis PM32 for potato stem canker. *Physiol Mol Biol Plants.* 2021. 27(9): 2101-2114. doi: 10.1007/s12298-021-01067-2.
5. Dary M., Chamber-Pe´rez M.A., Palomares A.J., Pajuelo E., 2010. «In situ» phytostabilisation of heavy metal polluted soils using *Lupinus luteus* inoculated with metal resistant plant-growth promoting rhizobacteria. *J. Hazard. Mater.* 177: 323–330. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.035
6. Braud A., Je´ze´quel K., Bazot S., Lebeau T. Enhanced phytoextraction of an agricultural Cr-, Hg- and Pb-contaminated soil by bioaugmentation with siderophore producing bacteria.

- Chemosphere. 2009. 74: 280–286. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.013
7. Sheng X.F., Jiang C.Y., He L.Y., 2008. Characterization of plant growth-promoting *Bacillus edaphicus* NBT and its effect on lead uptake by Indian mustard in a lead-amended soil. Can. J. Microbiol. 54: 417–422. doi.org/10.1139/W08-020
  8. Tripathi M., Munot H.P., Shouch Y., Meyer J.M., Goel R., 2005. Isolation and functional characterization of siderophore-producing lead- and cadmium-resistant *Pseudomonas putida* KNP9. Curr. Microbiol. 5: 233–237. doi.org/10.1007/s00284-004-4459-4
  9. Wu C.H., Wood T.K., Mulchandani A., Chen W., 2006. Engineering plant–microbe symbiosis for rhizoremediation of heavy metals. Appl. Environ. Microbiol. 72: 1129–1134.
  10. Сизенцов А.Н., Бибарцева Е.В., Синеок Д.М. Сравнительная оценка уровня толерантности почвенных изолятов *Bacillus subtilis* в отношении химических соединений меди. Аграрная наука. 2022. 10: 86-90. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-86-90 / Sizenov A.N., Bibartseva E.V., Sineok D.M. Comparative assessment of the level of tolerance of soil isolates of *Bacillus subtilis* in relation to chemical compounds of copper. Agrarian science. 2022. 10: 86-90. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-86-90.

Поступила 25.06.2023 г.

(Контактная информация: Сизенцов Алексей Николаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и микробиологии ФГБОУ ВО ОГУ; адрес: 460018 г. Оренбург, пр. Победы, 13; тел.: 8 (905) 8803604; E-mail: [asizen@mail.ru](mailto:asizen@mail.ru))

**Образец ссылки на статью:**

Сизенцов А.Н., Галактионова Л.В. Использование бактериальных штаммов *Bacillus* sp. в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных растений. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2023. 2. 11 с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2023-2/Articles/ANS-2023-2.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2023-12012