

Агрочоведение и агроэкология

УДК 546.562:576.851.13:582.192:633.11

DOI 10.31857/S2500262725010082 EDN CSNTTQ

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ В ЗАГРЯЗНЕННУЮ МЕДЬЮ ПОЧВУ© 2025 г. **В. П. Шабаяев**, доктор биологических наук, **В. Е. Остроумов***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2
E-mail: vpsh@rambler.ru*

*Исследования проводили с целью изучения влияния внесения ростстимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* на минеральное питание растений яровой пшеницы при выращивании на искусственно загрязненной медью в повышенной концентрации агросерой почве. Работу выполняли в вегетационном опыте. Растения выращивали до фазы выхода в трубку при загрязнении азотнокислой медью в дозе 300 мг Cu/kg почвы на фоне внесения РК-удобрений. Содержание Cu и биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и Zn в вегетативной массе и корнях после сжигания в смеси HNO_3 : $HClO_4$ (2:1) определяли методом эмиссионно-оптической спектрометрии индуктивно-связанной плазмы, калия – пламенной фотометрии, азота – феноловым методом после сжигания растительного материала в разбавленной серной кислоте с катализатором. Внесение бактерий обеспечивало увеличение устойчивости растений к повышенной концентрации меди и формирование большего количества растительной биомассы, тем самым уменьшая фитотоксичность тяжелого металла. Положительное действие бактерий было обусловлено улучшением минерального питания растений и увеличением поглощения ими биофильных элементов из загрязненной почвы. При этом бактерии в целом не влияли на содержание практически всех элементов в вегетативной массе растений и увеличивали поглощение элементов растениями вследствие стимуляции их роста, вероятно, обусловленного образованием бактериями физиологически активных соединений. Стимуляция роста загрязненных тяжелым металлом растений и увеличение его поглощения при использовании бактерий происходили без изменений реакции почвенной среды. Улучшение минерального питания растений, наряду с усилением барьерной способности корневой системы к увеличению поглощения тяжелого металла корнями, при использовании всех бактерий служит основным механизмом стимуляции роста загрязненных растений.*

MINERAL NUTRITION OF PLANTS IN APPLYING GROWTH-PROMOTING RHIZOSPHERE BACTERIA IN COPPER-CONTAMINATED SOIL**V. P. Shabayev, V. E. Ostroumov***Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science,
Russian Academy of Sciences,
142290, Moskovskaya obl., Pushchino, ul. Institutskaya, 2
E-mail: vpsh@rambler.ru*

*Impact of growth-promoting rhizobacteria of genus *Pseudomonas* application on mineral nutrition of spring wheat in growing on artificially Cu-contaminated in elevated concentration agrogray soil were studied in pot experiment. Plants were grown up to shooting stage with copper nitrate contamination at a rate of 300 mg Cu/kg of soil against background of PK fertilization. Content of Cu and other elements in shoots and roots after combustion in mixture of HNO_3 : $HClO_4$ (2:1) was determined by inductively coupled plasma emission-optical spectrometry, potassium by flame photometry. N content was determined by indophenol technique after combustion of plant material in dilute sulfuric acid with catalyst. Bacteria application increased plant resistance to elevated copper concentration and increased plant weight, thereby reducing phytotoxicity of heavy metal. Positive effect of bacteria was due to improvement in mineral nutrition of plants – increase in uptake of biophilic elements N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn and Zn from contaminated soil. At the same time, bacteria as a whole did not affect content of almost all elements in plant shoots and increased uptake of elements by plants due to the promotion of their growth, probably as a result of production of physiologically active compounds by bacteria. Growth promotion of heavy metal-contaminated plants and elevated its uptake by plants in application of bacteria occurred without changes in soil medium reaction. Improving mineral nutrition of plants, along with increasing barrier ability of root system to increase of heavy metal uptake by roots in application of all bacteria, are main mechanisms for growth promoting contaminated plants.*

Ключевые слова: *Pseudomonas*, яровая пшеница (*Triticum aestivum*, L.), агросерая почва, медь азотнокислая, химический состав растений.

Keywords: *Pseudomonas*, spring wheat (*Triticum aestivum*, L.), agro-gray soil, copper nitrate, chemical composition of plants.

Продолжающаяся индустриализация, интенсивное ведение сельского хозяйства и другая антропогенная деятельность приводят к загрязнению окружающей среды, включая почвы, тяжелыми металлами (ТМ). Поэтому ремедиация почв, загрязненных медью (Cu), приобретает особо важное значение. В повышенных концентрациях Cu вызывает физиологические и биохимические нарушения в растениях и замедляет их рост [1]. Для ремедиации загрязненных ТМ почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур исследуют стимулирующие рост растений ризосферные бактерии (plant growth-

promoting rhizobacteria – PGPR) [2]. Они преобразуют металлы в растворимые и биодоступные формы под действием сидерофоров, органических кислот, других соединений и окислительно-восстановительных процессов [3, 4]. PGPR обладают свойствами, стимулирующими рост растений, включая солубилизацию фосфора, фиксацию азота, синтез фитогормонов и другие процессы, которые улучшают рост и увеличивают биомассу растений, в свою очередь, способствуя фиторемедиации [3]. Использование стимулирующих рост растений бактерий, устойчивых к ТМ, значительно улучшает этот процесс [5].

Представители бактерий рода *Pseudomonas* привлекают особое внимание при ремедиации загрязненных ТМ почв благодаря широкой распространенности и присутствию им ряда полезных для растений свойств [6]. Известно, что *Pseudomonas* обладают устойчивостью к ТМ и характеризуются высоким биоремедиационным потенциалом, в том числе в ассоциациях с различными видами растений [7]. Установлено значительное улучшение ростовых параметров подсолнечника и рапса и увеличение потребления Си после использования соответственно ростстимулирующих ризосферных бактерий *P. lurida* штамм ЕОО26 [8] и *P. thivervalensis* [9] на загрязненной ТМ почве. Стимулирующее рост растений поглощение основных питательных элементов (Fe, P, K), опосредованное бактериями *Pseudomonas*, направлено на противодействие стрессам вследствие увеличения подвижности в почве и биодоступности макро- и микроэлементов [10]. Избыточное содержание ТМ, оказывая негативное влияние на основные физиолого-биохимические процессы в растениях, может приводить к нарушению поступления в них биофильных элементов [10]. Загрязненные ТМ почвы обычно бедны питательными элементами в доступной форме, эту проблему можно решить путем внесения полезных микроорганизмов [11].

Цель исследований – изучение влияния внесения ростстимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* на минеральное питание растений яровой пшеницы при выращивании на искусственно загрязненной медью в повышенной концентрации агросерой почве для разработки технологий биологической ремедиации.

Методика. Работу выполняли при искусственном загрязнении $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ среднесуглинистой агросерой почвы, слой 0...20 см, и выращивании яровой пшеницы (*T. aestivum* L.) сорта Злата (ФИЦ «Немчиновка») до фазы трубкования в течение 27 дней в вегетационном опыте. Азотнокислую медь вносили в почву из расчета 300 мг Си/кг, что более чем в 2 раза превышает ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) для аналогичных почв [12]. Использование меди в этой концентрации приводило к ингибированию роста растений в предшествующем рекогносцировочном вегетационном эксперименте.

Растения во всех вариантах выращивали на фоне внесения РК-удобрений в виде однозамещенного фосфорнокислого калия и сернокислого калия по 106 мг РК/сосуд. Изучали влияние внесения ростстимулирующих бактерий *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 [13] (из расчета 10^8 клеток на растение) на массу растений, содержание и накопление биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и Zn в вегетативных органах и корневой системе. Согласно схеме эксперимента, в контрольном варианте Си и бактерии не использовали, во втором – вносили Си без бактерий, в остальных трех вариантах – на фоне загрязнения почвы Си проводили инокуляцию семян каждой бактерией. В контроле вместо $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ применяли азот в виде NH_4NO_3 , в дозе 106 мг/сосуд, которая была внесена в вариантах с загрязнением ТМ для выравнивания дозы азота. Повторность опыта – 4-кратная.

Содержание зольных элементов (кроме калия) определяли методом эмиссионно-оптической спектроскопии индуктивно-связанной плазмы на спектрометре ICP-OES 5110 (Agilent, США), калия – на планетном фотометре ВВВХР (ВВВ, Великобритания), азота – феноловым методом. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Загрязнение почвы Си без внесения бактерий приводило к существенным изменениям содержания большинства питательных элементов в вегетативной массе относительно контрольного варианта (табл. 1). Это свидетельствует о влиянии повышенной концентрации Си на метаболические процессы в растениях и нарушении механизмов поглощения ими элементов. При этом значимо уменьшилось содержание N, P и Zn и, напротив, увеличилось K и Ca. В корнях загрязненных растений без инокуляции семян бактериями эти закономерности сохранялись, кроме уменьшения под влиянием бактерий в корнях содержания K, в отличие от вегетативной массы. При загрязнении почвы, вне зависимости от применения бактерий, уменьшилось содержание фосфора в вегетативной массе и корнях. Проявление антагонизма меди и фосфора в растениях, вероятно, связано со свойством избыточных концентраций Си ингибировать активность фермента фосфатазы, определяющего доступность фосфора растениям [14].

Использование всех бактерий при загрязнении почвы Си не оказывало достоверного влияния на содержание в вегетативных органах практически всех изученных элементов. В вегетативной массе и корнях отмечено только увеличение содержания K. Кроме того, в корнях наблюдали тенденцию к росту концентрации Fe и остальных микроэлементов.

При загрязнении почвы Си без использования бактерий, в сравнении с контролем, существенно уменьшалось усвоение или вынос практически всех исследованных элементов из почвы вегетативной массой и корнями (табл. 2). Усвоение Ca растениями, в отличие от других элементов, в условиях Си-стресса без применения бактерий не изменилось. Для K величина этого показателя также не была подвергнута значимым изменениям в вегетативной массе, исключение составило его более чем двукратное уменьшение в корнях. Применение бактерий в загрязненных условиях значительно увеличивало усвоение всех питательных элементов как вегетативной массой, так и корнями растений. В корнях накапливалось на порядок больше Fe, чем в надземной биомассе, что, вероятно, обусловлено биологическими особенностями яровой пшеницы.

Известно о значительном ингибировании роста яровой пшеницы в фазе выхода в трубку при загрязнении почвы Си, что проявлялось в уменьшении на 24 % массы вегетативных органов, а корней в еще большей степени – на 33 %. Применение бактерий уменьшало токсическое

Табл. 1. Содержание биофильных элементов в вегетативной массе и корнях пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	%						мг/кг	
вегетативная масса								
Без Си и внесения бактерий (контроль)	4,21	0,51	3,76	0,92	0,27	113	54	33
Си без внесения бактерий	3,90	0,40	4,49	1,23	0,26	106	57	26
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	3,99	0,40	4,94	1,19	0,27	112	57	25
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	4,21	0,42	4,99	1,24	0,28	110	58	28
Cu + <i>P. putida</i> 23	4,01	0,38	4,83	1,18	0,27	105	54	25
HCP ₀₅	0,30	0,08	0,30	0,25	0,02	5	5	4
корни								
Без Си и внесения бактерий (контроль)	2,74	0,46	1,74	1,10	0,51	0,58	187	89
Си без внесения бактерий	2,20	0,35	1,19	1,56	0,55	0,50	176	70
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	2,14	0,36	1,33	1,63	0,62	0,60	201	75
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	2,30	0,39	1,51	1,37	0,58	0,55	195	72
Cu + <i>P. putida</i> 23	2,25	0,38	1,35	1,47	0,50	0,57	189	77
HCP ₀₅	0,40	0,07	0,13	0,19	0,03	0,10	25	13

Табл. 2. Поглощение биофильных элементов вегетативной массой и корнями пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	мг/сосуд				мкг/сосуд			
вегетативная масса								
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	112	14	100	24	715	300	143	88
Cu без внесения бактерий	78	8	90	25	522	213	115	52
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	93	9	115	28	626	260	132	58
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	96	10	114	28	638	251	132	64
Cu + <i>P. putida</i> 23	94	9	113	28	629	245	126	58
HCP ₀₅	12	1	20	3	89	30	10	6
корни								
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	17	3	11	7	311	3580	114	54
Cu без внесения бактерий	9	1	5	6	226	2050	72	29
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	11	2	7	8	310	3000	101	38
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	11	2	7	7	284	2695	96	35
Cu + <i>P. putida</i> 23	12	2	7	8	255	2907	96	39
HCP ₀₅	2	1	1	1	25	512	17	7

действие ТМ на растения, увеличивая их вегетативную массу на 13...16 %, еще больше увеличивалась масса корней (на 20...24 %) [15].

При загрязнении почвы Cu в вариантах с внесением бактерий после удаления растений в фазе трубкования не установлено значимых изменений реакции почвенной среды (табл. 3), которая, как известно, оказывает значительное влияние на подвижность в почве и биодоступность химических элементов, по сравнению с контролем. Загрязнение почвы Cu без бактериальных инокуляций также не оказывало значимого влияния на величину этого показателя.

Табл. 3. Реакция почвенной среды в фазе трубкования пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями

Вариант	pH _{KCl} почвенной суспензии
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	6,17
Cu без внесения бактерий	6,19
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	6,17
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	6,14
Cu + <i>P. putida</i> 23	6,20
исходная почва	6,14
HCP ₀₅	0,40

Уменьшение токсического действия Cu и рост биомассы инокулированных бактериями растений связаны с увеличением поглощения питательных элементов из загрязненной почвы, то есть с улучшением их минерального питания. Это происходило без существенных изменений содержания практически всех элементов в вегетативной массе и корнях вследствие увеличения массы растений. В корнях содержалось и накапливалось примерно на порядок больше Fe, чем в вегетативной массе, что, вероятно, обусловлено биологическими особенностями яровой пшеницы.

Положительное действие бактерий, с одной стороны, обусловлено улучшением минерального питания растений при инокуляции, с другой – усилением барьерной способности корневой системы по отношению к поглощению ТМ [15]. То есть увеличение усвоения питательных элементов растительной биомассой из загрязненной почвы при внесении всех бактерий происходило не посредством повышения содержания элементов в вегетативной массе и корнях, а вследствие стимуляции роста растений.

Бактерии также не оказывали влияния на содержание меди в вегетативной массе [15]. Напротив, их использование способствовало увеличению концентрации и в особенности поглощению меди корнями

на 32...39 %, тем самым усиливая барьерную способность корневой системы по отношению к элементу, не влияя на величину этого показателя в вегетативных органах. Об этом также свидетельствует рост доли элемента в корнях в загрязненных условиях до 85...87 %, по сравнению с 23 % в контрольном варианте [15].

Известно, что при стимуляции роста растений вследствие биологического разведения, как правило, происходит уменьшение концентраций элементов-загрязнителей в растительной биомассе [16]. В наших исследованиях, в противоположность этому, при внесении всех бактерий на фоне загрязнения почвы Cu, несмотря на повышение массы растений, не установлено существенных изменений по содержанию изученных элементов в вегетативных органах и корнях. Уменьшение негативного влияния ТМ на растения и увеличение растительной биомассы под влиянием бактерий рода *Pseudomonas* без изменения концентрации большинства элементов в вегетативных органах и корнях обусловлено стимуляцией ростовых процессов вследствие продуцирования бактериями физиологически активных веществ – фитогормонов и других соединений [3].

Увеличение поглощения питательных элементов вегетативной массой растений под влиянием бактерий в наших исследованиях без существенных изменений реакции почвенной среды, вероятно, обусловлено повышением подвижности в почве и биодоступности элементов вследствие продуцирования бактериями органических экзометаболитов – сидерофоров, собственных флуоресцирующим видам *Pseudomonas*, и другой их метаболической активности [17].

Выводы. Внесение ростстимулирующих ризосферных бактерий *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 в искусственно загрязненную медью в форме нитрата агросерую почву в повышенном количестве значительно ослабляло токсическое действие ТМ и стимулировало рост растений в фазе трубкования. Положительный эффект был обусловлен улучшением минерального питания растений – повышенным поглощением вегетативной массой и корнями биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn из загрязненной почвы наряду с усилением барьерной способности корней вследствие увеличения накопления в них меди. Накопление питательных элементов в растительной биомассе при применении бактерий возросло в основном вследствие стимуляции роста и повышения массы растений, без существенных изменений содержания в вегетативной массе практически всех изученных элементов. Стимуляция роста растений при использовании бактерий происходила без изменений реакции почвенной среды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках государственных заданий Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН 121041500050-3 (60 % затрат), 121040500038-3 (40 % затрат).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность доктору сельскохозяйственных наук Н. В. Давыдовой (ФИЦ «Немчиновка») за предоставление высококачественных семян для проведения опыта.

Литература.

1. *Copper toxicity in plants: Nutritional, physiological and biochemical aspects* / F. J. R. Cruz, R. L. da Cruz Ferreira, S. S. Conceicao, et al. // *Advances in Plant Mechanisms*. Ed. J. N. Kimatu. 2022. 370 p. URL: <http://www.doi: 10.5772/105212/intechopen> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.5772/105212/intechopen.
2. *Recent progress on emerging technologies for trace elements-contaminated soil remediation. Review* / T. El. Rasafi, A. Haouas, A. Tallou, et al. // *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. 140121. URL: [ubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37690564](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37690564) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140121.
3. *Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review* / A. Ullah, S. Heng, M. F. H. Munis, et al. // *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 117. P. 28–40. doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.001.
4. *Mishra J., Singh R., Arora N. K. Alleviation of heavy metal stress in plants and remediation of soil by rhizosphere microorganisms. Mini review article. Sec. Microbial Symbioses* // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. URL: [www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932218](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932218) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2017.01706.
5. *Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. Review article* / J. K. Sharma, N. Kumar, N. P. Singh, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1–13. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1076876/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fpls.2023.1076876.
6. *Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. Plant growth promoting rhizobacteria Pseudomonas* // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 1335–1344. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.160.
7. *Recent developments in microbe-plant-based bioremediation for tackling heavy metal-polluted soils: Review Article* / L. Saha, J. Tiwari, K. Bauddh, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2021. 12. 723. URL: www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.731723/full (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2021.731723.
8. *Bioaugmentation with copper tolerant endophyte Pseudomonas lurida strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by Helianthus annuus* / A. Kumar, Tripti, O. Voropaeva, et al. // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. 128983. URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520331805 (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
9. *Effects of plant growth-promoting bacteria (PGPB) inoculation on the growth, antioxidant activity, Cu uptake, and bacterial community structure of rape (Brassica napus L.) grown in Cu-contaminated agricultural soil* / X. M. Ren, S. J. Guo, W. Tian, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. P. 1–12. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01455/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2019.01455.
10. *Patnaik S., Mohapatra B., Gupta A. Plant growth-promoting microbe mediated uptake of essential nutrients (Fe, P, K) for crop stress management: microbe–soil–plant continuum. Review article* // *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. P. 1–20. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2021.689972/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fagro.2021.689972.
11. *Tak H. I., Ahmad F., Babalola O. O. Advances in the application of plant growth- promoting rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals. Review* // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2013. Vol. 223. P. 33–52. doi: 10.1007/978-1-4614-5577-6-2.
12. ГН 2.1.7.2042-06. Гигиенические нормативы. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.
13. *Шабает В. П. Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений* // *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. М.: Наука, 2006. С. 195–211.
14. *Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants*. CRS Press. 2010. 548 p. doi: 10.1201/b10158.
15. *Шабает В. П., Волокитин М. П., Остроумов В. Е. Фракционный состав соединений меди в загрязненной металлом почве и его накопление в растениях при внесении ростстимулирующих ризосферных бактерий* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. № 3. С. 62–65. doi: 10.31857/S2500262724030121.
16. *Алексеев Ю. В. Качество растениеводческой продукции*. Л.: Колос. 1978. 256 с.
17. *Сидорова Т. М., Аллахвердян В. В, Асатурова А. М. Роль бактерий рода Pseudomonas и их метаболитов в биоконтроле фитопатогенных микроорганизмов* // *Агрохимия*. 2023. № 5. С. 83–93. doi: 10.31857/S0002188123050071.

Поступила в редакцию 10.08.2024
После доработки 03.02.2025
Принята к публикации 25.02.2025