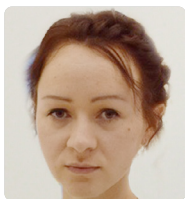


## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

© Рассохина И.И.



**Ирина Игоревна Рассохина**

Вологодский научный центр Российской академии наук

г. Вологда, Российская Федерация

e-mail: rasskhinairina@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6129-6912; ResearcherID: C-8173-2019

Растениеводство – одна из важнейших отраслей сельского хозяйства, которая, в свою очередь, обуславливает развитие животноводства, так как успех животноводства на 50–60% зависит от качества кормов. В настоящее время в мире использование биологических препаратов вместо или совместно с химическими средствами защиты растений и минеральными удобрениями становится все более популярным и востребованным. Широкое применение биопрепаратов характерно для многих стран Европы, США, Китая, Японии и др. В Российской Федерации, к сожалению, объем биологических средств, используемых в растениеводческой отрасли, существенно уступает количеству химических препаратов. При этом микробные препараты способны повысить биологическую и хозяйственную продуктивность растений путем синтеза микроорганизмами ряда биологически активных соединений (аминокислот, веществ фитогормонального действия и пр.), перевода недоступных форм элементов питания (главным образом азота и фосфора) в формы, доступные растениям, а также выполняя защитную роль в борьбе с патогенными грибами и бактериями. Кроме того, использование биопрепаратов является необходимым условием получения органической продукции. Наибольшую ценность для реального сектора экономики представляют подобранные научно обоснованные пары «штамм микроорганизма и сорт растения», которые позволят достичь наибольшей урожайности и устойчивости растений в конкретных экологических условиях, на конкретном минеральном почвенном фоне. В статье представлен обзор российских и зарубежных исследований относительно действия различных микробных препаратов и штаммов микроорганизмов на рост и продуктивность сельскохозяйственных культур. По мнению ряда авторов, из свободноживущих микроорганизмов наиболее перспективными для использования в практике растениеводства являются микроорганизмы родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, представители которых способны оказывать на растения как ростостимулирующий, так и протекторный эффекты, что в конечном счете сказывается на продуктивности культур.

*Биопрепараты, микроорганизмы, Bacillus, Pseudomonas, сельскохозяйственные культуры, рост, продуктивность.*

Растениеводство – одна из важнейших отраслей сельского хозяйства, которая во многом определяет успех в животноводстве. По мнению некоторых исследователей, молочное животноводство на 50–60% зависит от качества кормов [1]. Один из возможных в настоящее время путей повышения продуктивности сельскохозяйственных культур – активизация микробно-растительного взаимодействия [2].

Во многих странах Европы, а также в США, Китае, Японии и пр. в сельскохозяйственном производстве широко применяются различные биопрепараты. Так, некоторые хозяйства в Западной Европе на данный момент полностью отказались от минеральных азотных удобрений в пользу биологического азота [3–5].

К сожалению, опыт и достижения мировых ученых существенно опережают российскую науку, в нашей стране очевиден ощутимый дефицит разнообразия биопрепаратов, причем колоссальные различия природных и климатических условий территорий требуют более широкого их ассортимента. Так, О.В. Рябова отмечает, что спектр микробиологических препаратов на рынке РФ довольно узок. Анализируя рынок, автор приводит данные о том, что в Российской Федерации по состоянию на 2015 год официально было зарегистрировано порядка трех десятков микробиологических удобрений и двух десятков биопестицидов (на основе 26 штаммов, относящихся к 11 видам микроорганизмов) против сотен наименований химических удобрений и средств защиты растений [6]. По состоянию на 2020 год ситуация значительно не изменилась: официально зарегистрированы и допущены к использованию 57 биопестицидов и 25 регуляторов роста растений [7]. При этом в США по состоянию на 2010 год количество торговых марок одних только биопестицидов без учета микробных удобрений превышало несколько сотен наименований, а в каче-

стве активных агентов зарегистрировано порядка 72 микроорганизмов [6]. О недостаточном уровне биологизации в растениеводческой отрасли говорится в работах В.А. Захаренко. Так, по расчетам автора, и в мире, и в России этот показатель находится на уровне 2% (уровень биологизации В.А. Захаренко рассчитывает как отношение использования биопрепаратов к их сумме с химическими пестицидами). Одной из причин такого незначительного распространения биологических препаратов автор называет их малую пропаганду и недостаточный ассортимент в сравнении с химическими пестицидами [8].

О низком уровне использования микробных препаратов в практике растениеводства свидетельствуют работы многих исследователей. Так, Г.А. Воробейников и др. (2011) отмечают, что для наибольшего успеха агробiotехнологий необходимо подробно изучить микробно-растительные взаимодействия, выделить «пары» сортов растений и штаммов бактерий, которые при определенных условиях и конкретном минеральном почвенном фоне будут наиболее эффективны. Авторы в течение более чем 18 лет исследовали взаимодействие разных сортов растений и микропрепаратов, учитывая различные условия и формируя определенные рекомендации [9]. Е.В. Бирюков (2008) помимо прочего отмечает, что местная микрофлора почв лучше адаптирована к экологическим условиям (влажность, температура, конкуренция), чем организмы, вносимые извне [10], а О.В. Рябова подчеркивает, что микробные препараты с наибольшей эффективностью можно получить, лишь отбирая штаммы из местной почвы [6].

Цель данной работы – оценить разнообразие, а также эффективность действия биологических препаратов и штаммов микроорганизмов на ростовые и продуктивные качества сельскохозяйственных культур.

Использование бактериальных препаратов способно обеспечить высокую концентрацию полезных форм микроорганизмов в нужном месте и в нужное время. Взаимодействие растительных и микробных организмов способно улучшать азотное и оптимизировать фосфорное питание растений, повышать коэффициенты использования макро- и микроэлементов из удобрений и почвы, стимулировать рост и развитие растений, подавлять фитопатогенные организмы, а также увеличивать устойчивость растений к стрессовым условиям и пр. Известны случаи положительного влияния биологических препаратов на всхожесть семян и ризогенез растений, что происходит, главным образом, за счет снижения развития гнилей. При этом характер действия определяется штаммом микроорганизма и сортовыми особенностями растений [5; 11–17].

Важнейшим преимуществом биологических препаратов является то, что микроорганизмы, используемые для их создания, – представители естественной среды, следовательно, безвредны для сообществ. При этом возможно применение препаратов, созданных как на основе ризосферных, так и эндогенных бактерий [18]. По образу жизни микроорганизмов препараты на их основе можно отнести к трем группам:

1) препараты, созданные на основе микроорганизмов-азотфиксаторов, вступающие в симбиотические отношения с высшими растениями (роды бактерий *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mezorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* и др.);

2) препараты, созданные на основе свободноживущих азотфиксаторов (*Clostridium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* и др.);

3) препараты, созданные на основе свободноживущих микроорганизмов, основная роль которых не ограничивается фиксацией атмосферного азота или не связана

с ней (роды бактерий *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Enterobacter* и др.).

Д.М. Сытников (2012) особую важность для сельскохозяйственной практики придает препаратам первых двух групп [19]. Препараты первой группы очень широко применяются при возделывании бобовых культур. Широко распространенным представителем второй группы являются штаммы рода *Azotobacter*, представители которого характеризуются как способностью к фиксации молекулярного азота атмосферы, так и синтезу веществ гормональной природы, в частности ауксиновой, гиббереллиновой, цитокининовой, аминокислот, а также витаминов и веществ антибиотической природы. Азотобактерин (культура клеток *Azotobacter*) является одним из классических микробных препаратов, однако представители данного рода успешно развиваются лишь в хорошо окультуренных почвах и погибают при низком плодородии [20]. Е.В. Кириченко и С.Я. Коць в своих исследованиях показывают, что бактеризация семян яровой пшеницы штаммом *A. chroococcum* T79 и комплексными композициями положительно влияла на развитие и функциональную активность олигоазототрофных микроорганизмов в ризосфере растений. При этом стимулирующее влияние инокуляции семян азотобактером проявлялось в увеличении урожая зерна на 9,2% по сравнению с контролем. Растения варианта с инокуляцией семян бактериальной композицией показали урожай зерна, который на 17,8% превышал контроль [21].

В рамках выполняемого обзора большее внимание было уделено препаратам третьей группы, что связано с универсальностью данных микроорганизмов, с одной стороны, и их комплексным влиянием на растительные объекты – с другой. При всем многообразии свободноживущих микроорганизмов некоторые штаммы и препараты на их основе на настоящий

момент изучены особенно хорошо. Одним из таких препаратов является, например, Флавобактерин, созданный на основе штамма *Flavobacterium sp.* Л30, обладающий способностью фиксировать молекулярный азот, стимулировать рост, продуцировать фитогормоны, улучшать минеральное питание, водный обмен и активизировать другие физиологические процессы растений, а также обладающий сильным защитным действием против болезней растений [20]. Результаты многолетних исследований подтверждают, что Флавобактерин способен обеспечить прибавку зерна ржи на 17%, картофеля на 21% [22]. З.П. Котова и С.Н. Дроздов (2006) отмечают высокую эффективность данного микробиологического препарата при возделывании картофеля на дерново-подзолистой хорошо окультуренной почве в условиях Республики Карелии даже на фоне органоминеральных удобрений. Прибавка от бактеризации клубней препаратом достигает 6,1–7,4 т/га в зависимости от сорта [23]. Другие авторы отмечают положительный эффект Флавобактерина совместно с Ризоагрином при обработке ими семян озимой пшеницы и озимой тритикале. При этом на озимой тритикале указанные биопрепараты снижали развитие заболеваний в 1,2–1,3 раза, а распространенность – в 1,3–1,7 раза. Пораженность озимой ржи корневыми гнилями при использовании биопрепаратов снижалась в 1,5 раза. Ризоагрин и Флавобактерин как при отдельной, так и при бинарной инокуляции семян повышали перезимовку озимых культур [2]. В условиях Ярославской области исследовано действие биопрепаратов Флавобактерин и Ризоагрин на следующие зерновые культуры: овес сорта Скакун, яровая пшеница сорта Мисс, яровая ячмень сорта Аннабель. В ходе исследования выявлено, что на вариантах, где проводилась инокуляция семян, всхожесть у ячменя была выше

на 8,0–11,6%, у овса – на 8,2–8,6%, у яровой пшеницы – на 5,2% по сравнению с контролем. Инокуляция семян перед посевом повлияла и на высоту растений, увеличив ее у овса на 2,5–9,0 см, яровой пшеницы – на 8,5–11,6 см, ячменя – на 2,0–6,7 см. Все это сказалось на урожайности культур. Так, урожайность зерна яровой пшеницы при обработке семян Флавобактерином превзошла контроль на 4,1 ц/га, овса – на 10 ц/га [16]. Исследованиями влияния Флавобактерина занимались и в Вологодской области. Так, применение Флавобактерина достоверно увеличивало содержание сырого протеина в зерне озимой ржи (на 0,23–0,77%), клубнях картофеля (на 0,14–1,07%) и зерне ячменя (на 0,23–1,31%). Инокуляция семян овса данным препаратом обеспечила достоверную прибавку урожайности зеленой массы, которая составила 0,7–1,4 т/га. Инокуляция семян озимой ржи, клубней картофеля и семян ячменя повышала урожайность культур на 0,1–0,6, 0,6–1,3, 0,2–0,4 т/га соответственно. Эффект сохранялся и при внесении минеральных удобрений [24; 25].

Многие авторы к одним из наиболее перспективных для микробиологических препаратов относят представителей рода *Bacillus*, которые способны как стимулировать рост и развитие растений, так и повышать иммунитет растений за счет синтеза липопротеидов, этилена, полиаминов и веществ гормонального происхождения [15; 18; 26–30]. Например, В.Б. Петров и В.К. Чеботарь (2011) говорят о положительном влиянии препаратов, созданных на основе представителей рода *Bacillus* – *B. subtilis* (Экстрасол), который показал себя эффективным против всех видов парши, ризоктониоза и раковых болезней картофеля. *B. subtilis* обладают высокой конкурентной способностью в процессе колонизации надземного и корневого опада растений, при внесении их в почву освобождаются экологи-



ческие ниши для развития микрофлоры, в том числе функциональных групп, ответственных за трансформацию органического вещества, ассоциативную азотфиксацию, целлюлозолитические, лигниндеструктивные и гумификационные процессы в почве. Также авторы отмечают повышение коэффициентов усвоения минеральных удобрений растениями при внесении препарата БисолибФит, созданного на основе штамма *B. subtilis* Ч-13. Этот препарат обеспечивал прибавку урожайности сельскохозяйственных культур на 5–10% по сравнению с минеральными удобрениями [4; 18; 25]. Так, при инокуляции семян кукурузы и бобовых наблюдалась прибавка урожая зеленой массы кукурузы на 19–22%, кормовых бобов – на 12–22% [31]. Положительные эффекты достигаются и при использовании эндогенного штамма *B. subtilis* НС8, полученного из тканей борщевика [4; 18; 25].

Положительное действие препаратов Натурост (на основе бактерий *Bacillus subtilis*) и Натурост-М (на основе бактерий *Bacillus megaterium*) на ростовые и продуктивные качества ячменя и овса, а также продуктивные и качественные показатели биомассы клеверотимофеечной травосмеси и райграса показано в исследованиях, проводимых в Вологодской области. Так, под влиянием обработки данными биопрепаратами выход зеленой массы райграса возрастал на 36–37% в зависимости от опытного варианта, а травосмеси клевера и тимофеевки – на 19–36% [32]. На зерновых культурах установлено, что внесение биопрепаратов приводит к значительному увеличению листовой поверхности у опытных растений (до 64,5%), возрастанию среднесуточных приростов (до 8,9%) и накоплению биомассы (до 73,1%), при этом зерновая продуктивность ячменя увеличивается до 13%, у овса – до 15,0% [33]. Вероятное действие *B. megaterium* на растения связано с синтезом цитокининов,

что в первую очередь приводит к более активному развитию корневой системы растений, особенно боковых корней [34; 35]. Имеются данные о том, что *B. megaterium* ХТВГ34 стимулирует рост растений за счет синтеза 2-пентилфурана [36].

Вещества фитогормональной природы, в частности ИУК, способны синтезировать не только представители родов *Bacillus* и *Azotobacter*, но и другие гетеротрофные и фототрофные бактерии, например *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Serratia*, *Sphingomonas*, стрептомицеты и метиловобактерии [37–40]. При этом в работах многих авторов отмечается ростстимулирующее действие экзогенных фитогормонов на растения [30; 41–42]. Например, установлена способность ассоциативных бактерий орхидных к продуцированию экзометаболитов, в том числе ауксинов, при этом показано, что культуральная жидкость этих бактерий, содержащая ИУК, активизировала корнеобразование у черенков фасоли и стимулировала прорастание орхидных [43; 44]. Способность ассоциативных микроорганизмов орхидных синтезировать ауксины подтверждают и исследования ученых Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. Н.В. Шеховцова и др. (2011) на основании собственных данных утверждают, что наибольшее разнообразие эндофитных бактерий с высокой продукционной активностью в отношении ИУК обнаружено в молодых подземных органах – придаточных корнях и окончаниях стеблекорневых тубероидов *Dactylorhiza maculata* в фазы цветения и покоя. При этом авторы находят непосредственную связь синтеза ИУК микроорганизмами с содержанием триптофана в органах *D. maculata*. В частности, ранее исследователями был установлен низкий уровень этой аминокислоты в старых тубероидах и способность к ее накоплению

в молодых запасающих органах [45; 46]. Инокуляция семян ячменя и овса штаммом *Pseudomonas sp.* GEOT18, который был выделен исследователями ЯрГУ им. П.Г. Демидова, способствовала увеличению площади листьев, сырой и сухой массы растений, содержанию пигментов на единицу массы листа, что отразилось на зерновой продуктивности опытных культур (выше контроля на 6% у ячменя, на 16% у овса) [47].

Помимо данного штамма известно немало представителей рода *Pseudomonas*, способных оказывать благоприятное влияние на рост и развитие растений, их биологическую и хозяйственную продуктивность. Так, например, комплексное действие от применения штамма бактерий рода *Pseudomonas* показано в исследованиях D. Rojas-Solís и др. (2018). Установлено, что штамм *P. stutzeri* E25 ингибирует развитие гриба *Botrytis cinerea*, выделяя летучие соединения, содержащие серу, и стимулирует ростовые процессы растений томата [48]. Схожий эффект показан в работе M. Andreolli и др. (2017), где приводятся данные о генах *P. protegens* MP12, ответственных за синтез противогрибковых соединений (2,4-диацетилфлороглюцинол, пиолюторин и пирролнитрин), а также о способности микроорганизмов к растворению фосфатов, продуцированию аммиака и индол-3-уксусной кислоты [49]. Данные о положительном влиянии штаммов *P. fluorescens* L111, L228 и L321 на растения через мобилизацию фосфора приводят N. Oteino и др. (2015) [50]. Отмечена способность штамма *P. nitroreducens* INB В 13561 повышать поглощение нитратов и стимулировать развитие клеток растений [51]. Возможность *P. putida* и *P. fluorescens* влиять на корневую систему, активизируя образование боковых корней и корневых волосков, показана в работе R. Ortiz-Castro и др. (2020). При этом авторы обращают внимание, что данный эффект коррели-

рует с индукцией ауксина [52]. В исследованиях О.М. Минаевой и Е.Е. Акимовой (2013) выявлено снижение общей зараженности зерновых культур возбудителями на 12–36% при обработке семян штаммом *Pseudomonas sp.* В-6798, а также повышение продуктивности картофеля на 10–40% при бактериализации его клубней [53].

И.Н. Феклистова и др. (2018) также отмечают у ряда препаратов – Аурин, Гулливер, Стимул и Немацид – комплексное действие. Биопрепарат Аурин создан на основе бактерий *P. aurantiaca* В-162/498, являющихся сверхпродуцентами антибиотиков феназинового ряда. Данный биопрепарат предназначен для борьбы с возбудителями бактериальных и грибковых заболеваний, обладает стимулирующим действием на рост сельскохозяйственных культур. Так, применение Аурина позволяет увеличить урожайность томатов и огурцов на 26,6%. Комплексный препарат Гулливер создан на основе клеток бактерий *P. aureofaciens* А 8-6 и гидрогумата торфа. Препарат эффективен в отношении серой гнили огурца и томата, защищает капусту от поражения черной ножкой, альтернариозом и бактериозами, а также в 2,2 раза снижает потери урожая картофеля от фитофторозно-бактериальных гнилей. При этом Гулливер увеличил урожайность картофеля на 6,5%, капусты – на 12,4%, томатов – на 15,5%, огурцов – на 10,7%. Биопрепарат Стимул на основе ризосферных бактерий *P. fluorescens* S-32 обеспечивает прибавку урожайности томатов на 27,4%, огурцов – на 16,1%. Использование препарата Стимул способствует повышению мыклости льна-долгунца на 8%, что увеличивает выход длинного волокна; также отмечена достоверная прибавка урожайности льносоломы на 16,5% и семян на 59,7%. Уникальный препарат Немацид на основе бактерий *P. putida* U предназначен для подавления галловых нематод томатов и огурцов в защищен-

ном грунте, что позволяет получить дополнительно 43,8% продукции томатов и 41,5% огурцов [54].

Данные о возможности заменить минеральные азотные удобрения в дозах  $N_{20-60}$  при возделывании разных небобовых культур с использованием препаратов diaзотрофных бактерий приводит В.Н. Золотарев (2015), отмечая возможность получения прибавки урожая кормовых злаков на 11–29% [55]. Е.А. Блинков и др. (2014) говорят о повышении урожайности сельскохозяйственных растений на 20–25% при действии на них штаммом *Klebsiella planticola* ТСХА-91, выделенным из ризопланы огурца. Авторы отмечают, что достижение такого эффекта происходит за счет как нивелирования негативных последствий дефицита влаги, так и синтеза ауксинов [37]. В работе В.В. Куницыной и Л.А. Ступиной (2018) показана эффективность использования биопрепаратов на основе *Klebsiella mobilis* и *Corynebacterium freneyi*, которые повышают урожайность ячменя на 18,5 и 27,0%, а массу 1000 зерновок – на 8,8 и 11,7% соответственно [56].

Перспективной группой микроорганизмов для применения в практике растениеводства являются молочнокислые бактерии. Стоит отметить, что данная группа бактерий относительно мало изучена с точки зрения повышения продуктивности растений, как правило, направление изучения кисломолочных бактерий связано с их ролью в заготовке сочных кормов [57]. Однако данные микроорганизмы довольно конкурентоспособны, что позволяет им успешно существовать в почве и эффективно взаимодействовать в системе с растениями. Так, представители рода *Lactobacillus* способны повышать устойчивость растений к стрессорам, патогенам [58; 59], приводят к активации роста и развития растений [58].

Установлено, что антимикробная и ростостимулирующая активность молочнокислых бактерий связана с продуцированием ими различных метаболитов [59], в частности валериановой и масляной кислот [60]. Также эти бактерии способны к синтезу фитогормонов группы ауксина [61]. Зафиксированы положительные результаты действия *Lactobacillus buchneri* (препарат Натурост-Актив) на продуктивность ячменя (зерновая продуктивность выше контроля на 15%), клеверотимофеечной травосмеси (зеленая масса выше контроля на 33%) и райграса (масса выше контроля на 41%) в условиях Вологодской области [32; 33].

Таким образом, в настоящий момент имеется значительное количество данных о возможностях использования микробных препаратов при возделывании культурных растений. Однако запросы растениеводства имеющиеся препараты полностью не удовлетворяют. Основная проблема широкого использования биологических средств – слабо развитый механизм перехода научных разработок в реальный сектор производства. Несмотря на разнообразие штаммов и разработок, существует необходимость формирования конкретных научно обоснованных пар «сорт – штамм», которые будут отвечать конкретным экологическим требованиям агроценозов и запросам производства. К наиболее перспективным для создания биопрепаратов, в первую очередь, можно отнести представителей родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, которые являются свободноживущими, а также способны выполнять сразу множество полезных функций: синтез биологически активных соединений, защита от патогенов, мобилизация многих элементов питания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буряков Н.П. Кормление стельных сухостойных и дойных коров // Молочная промышленность. 2008. № 4. С. 37–40.
2. Никитин С.Н., Захаров С.А. Влияние микробиологических, биопрепаратов и последствий навоза на биологические свойства почвы и урожайность яровой пшеницы // Вестн. Ульянов. гос. с.-х. акад. 2016. С. 37–42.
3. Montesinos E., Bonaterra A., Badosa E., Frances J., Alemany J., Llorente I., Moragrega C. Plant-microbe interactions and the new biotechnological methods of plant disease control. *International Microbiology*, 2002, no. 5, pp. 169–175. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0085-9>
4. Петров В.Б., Чеботарь В.К. Микробиологические препараты – базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 11–15.
5. Коломиец Э. Вклад микробиологической науки в развитие агротехнологий // Наука и инновации. 2016. № 6 (160). С. 23–25.
6. Рябова О.В. К вопросу разработки микробиологических препаратов (фунгицидов и удобрений) для условий Северо-Востока европейской части Российской Федерации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 1 (50). С. 31–40.
7. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации / Мин-во сельск. хоз-ва Российской Федерации. 2020. Т. 1.
8. Захаренко В.А. Биотехнологии и защита растений // Защита и карантин растений. 2015. № 11. С. 3–6.
9. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений / Г.А. Воробейков [и др.] // Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена. 2011. С. 114–123.
10. Бирюков Е.В. Возможность применения биопрепарата триходермин в качестве микробиологического удобрения в условиях Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики. 2008. № 1 (11). Т. 1. С. 84–92.
11. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 104–152. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
12. Sabaté D.C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M.C., Pérez Brandan C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
13. Эндوفитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве / Е.Н. Васильева [и др.] // Экологическая генетика. 2019. № 17 (1). С. 19–32. URL: <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32>



14. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой бактерии *Schizaphis graminum* Rond. / С.В. Веселова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. № 1 (55). С. 56–63. URL: <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185>
15. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) / И.В. Максимов [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. № 56 (1). С. 19–34. URL: <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134>
16. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович [и др.] // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
17. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя / Н.Н. Шулико [и др.] // Агробиология. 2019. № 2. С. 13–20. URL: <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
18. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий, которые перспективны для повышения продуктивности и эффективности использования минеральных удобрений у ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овощных культур / В.К. Чеботарь [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 3. С. 335–342.
19. Сытников Д.М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // Біотехнологія. 2012. Т. 5. № 4. С. 34–45.
20. Фатина П.Н. Применение микробиологических удобрений в сельском хозяйстве // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2007. № 4 (39). С. 133–137.
21. Кириченко Е.В., Коць С.Я. Использование *Azotobacter chroococcum* для создания комплексных биологических препаратов // Біотехнологія. 2011. Т. 4. № 3. С. 74–81.
22. Кожемяков А.П., Тимофеева С.В. Биопрепараты комплексного действия защищают растения от болезней // Аграрный эксперт. 2007. № 2. С. 26–29.
23. Котова З.П., Дроздов С.Н. Влияние биопрепаратов на продуктивность картофеля в Карелии // Аграрная наука. 2006. № 7. С. 13–14.
24. Качество и урожайность культур звена севооборота при применении удобрений и микробиологических препаратов в Вологодской области / О.В. Чухина [и др.] // Плодородие. 2015. № 1. С. 25–29.
25. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования / А.А. Завалин [и др.] // Достижение науки и техники АПК. 2012. № 9. С. 45–47.
26. Avdeenko A., Avdeenko S., Domatskiy V., Platonov, A. *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals. *Research on Crops*, 2020, no. 21 (1), pp. 156–159. Available at: <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2020.026>
27. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T.J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* Lipopeptides on Plant Pathogens. *Journal of Chemical Ecology*, 2013, no. 39, pp. 869–878. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>

28. Porcel R., Zamarreño Á.M., García-Mina J.M., Aroca R. Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. *BMC Plant Biology*, 2014, no. 14 (36), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-36>
29. Xie S.-S., Wu H.-J., Zang H.-Yu, Wu Li-M., Zhu Q.-Q., Gao X.-W. Plant growth promotion by Spermidine-Producing *Bacillus subtilis* OKB105. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2014, vol. 7, no. 27, pp. 655–663. Available at: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-14-0010-R>
30. Пробиотические препараты на основе микроорганизмов рода *Bacillus* / О.В. Федорова [и др.] // Вестн. технол. ун-та. 2016. № 15. Т. 19. С. 170–174.
31. Титова В.И., Дабахова Е.В., Сметов Д.Б. Изучение микробиологических и ростстимулирующих препаратов на кормовых культурах // Агрехим. вестн. 2011. № 2. С. 31–33.
32. Продуктивность кормовых трав при использовании микробиологических препаратов в условиях Вологодской области / А.В. Платонов [и др.] // Кормопроизводство. 2021. № 1. С. 21–25. URL: <https://doi.org/10.25685/KRM.2021.1.2021.001>
33. Rassokhina I.I., Platonov A.V., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Morphophysical reaction of *Hordeum vulgare* to the influence of microbial preparations. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2020, no. 11 (2), pp. 220–225. Available at: <https://doi.org/10.15421/022032>
34. Castro R.O., Cantero E.V., Bucio J.L. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. *Plant Signaling and Behavior*, 2008, no. 3 (4), pp. 263–265. Available at: <https://doi.org/10.4161/psb.3.4.5204>
35. López-Bucio J., Campos-Cuevas J.C., Hernández-Calderón E., Velásquez-Becerra C., Farías-Rodríguez R., Macías-Rodríguez L.I., Valencia-Cantero E. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2007, no. 20 (2), pp. 207–217. Available at: <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-2-0207>
36. Zou C., Li Z., Yu D. *Bacillus megaterium* strain XTBG34 promotes plant growth by producing 2-pentylfuran. *The Journal of Microbiology*, 2010, no. 48, pp. 460–466. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12275-010-0068-z>
37. Блинков Е.А., Цавкелова Е.А., Селицкая О.В. Образование ауксина штаммом *Klebsiella planticola* ТСХА-91 и его влияние на развитие семян огурца посевного (*Cucumis sativus* L.) // Микробиология. 2014. № 5. Т. 83. С. 543–551.
38. Tsavkelova E.A., Klimova S.Y., Cherdyntseva T.A., Netrusov A.I. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2006, no. 42 (2), pp. 117–126. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0003683806020013>
39. Pérez-Montaño F., Alías-Villegas C., Bellogín R.A., Del Cerro P., Espuny M.R., Jiménez-Guerrero I., López-Baena F.J., Ollero F.J., Cubo T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, 2014, no. 169 (5-6), pp. 325–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011>
40. Chernyad'ev I.I. The protective action of cytokinins on the photosynthetic machinery and productivity of plants under stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2009, no. 45 (4), pp. 351–362. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0003683809040012>

41. Особенности гормонального баланса сортов овса посевного в связи с фотосинтезом и продуктивностью / Э. Смирнова [и др.] // *Международ. с.-х. журн.* 2013. № 2. С. 61–64.
42. Бахтенко Е.Ю., Платонов А.В. Влияние 6-бензиламинопурина на устойчивость пшеницы к почвенному затоплению // *Агрохимия.* 2004. № 7. С. 41–46.
43. Tsavkelova E.A., Cherdyntseva T.A., Klimova S.Yu. [et al.]. Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Archives of Microbiology*, 2007, vol. 188, no. 6, pp. 655–664. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00203-007-0286-x>
44. Wilkinson K.G., Dixon K.W., Sivasithamparam K. Effect of IAA on symbiotic germination of an Australian orchid and its production by orchid-associated bacteria. *Plant Soil*, 1994, vol. 159, pp. 291–295. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00009292>
45. Маракеев О.А., Титова О.В. О возможном участии аминокислот в биосинтезе ауксинов у *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo (Orchidaceae) // *Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях: тезисы VI Международ. конф. М., 2000.* С. 49.
46. Образование ауксинов эндофитными бактериями подземных органов *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo (Orchidaceae) / Н.В. Шеховцова [и др.] // *Вестн. ОГУ.* 2011. № 12 (131). С. 366–368.
47. Эффективность инокуляции семян овса посевного штаммом *Pseudomonas* sp. GEOT18, перспективным для создания биопрепарата / И.И. Рассохина [и др.] // *Международ. с.-х. журн.* 2020. № 5 (377). С. 52–55. URL: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-15093>
48. Rojas-Solís D., Zetter-Salmón E., Contreras-Pérez M., del Carmen Rocha-Granados M., Macías-Rodríguez L., Santoyo G. *Pseudomonas stutzeri* E25 and *Stenotrophomonas maltophilia* CR71 endophytes produce antifungal volatile organic compounds and exhibit additive plant growth-promoting effects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2018, no. 13, pp. 46–52. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.007>
49. Andreolli M., Zapparoli G., Angelini E., Lucchetta G., Lampis S., Vallini G. *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens. *Microbiological research*, 2019, no. 219, pp. 123–131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.003>
50. Oteino N., Lally R.D., Kiwanuka S., Lloyd A., Ryan D., Germaine K.J., Dowling D.N. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 2015, no. 6, pp. 745. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
51. Trinh C.S., Lee H., Lee W.J., Lee S.J., Chung N., Han J., Kim J., Hong S.-W., Lee H. Evaluation of the plant growth-promoting activity of *Pseudomonas nitroreducens* in *Arabidopsis thaliana* and *Lactuca sativa*. *Plant Cell Reports*, 2018, no. 37, pp. 873–885. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2275-8>
52. Ortiz-Castro R., Campos-García J., López-Bucio J. *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* influence *Arabidopsis* root system architecture through an auxin response mediated by bioactive cyclodipeptides. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, no. 39, pp. 254–265. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09979-w>

53. Minaeva O.M., Akimova E.E. Effectiveness of applying bacteria *Pseudomonas* sp., strain b-6798, for anti-phytopathogenic protection of crops in Western Siberia. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2013, no. 3 (23), pp. 19–37.
54. Биологические препараты для защиты и повышения урожая сельскохозяйственных культур / И.Н. Феклистова [и др.] // Биологически активные препараты для растениеводства: мат-лы конф. Минск, 2018. С. 196–198.
55. Золотарев В.Н. Эффективность применения бактериальных биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов и азотного удобрения в семенных посевах райграса однолетнего // *Агрохимия*. 2015. № 7. С. 11–16.
56. Куницына В.В., Ступина Л.А. Влияние препаратов ассоциативных азотфиксирующих бактерий на формирование продуктивности ярового ячменя в Приобской зоне // От биопродуктов к биоэкономике: мат-лы II межрегион. науч.-практ. конф. (с междунар. участием) / под. ред. А.Н. Лукьянова; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. С. 139.
57. Taylor C.C., Ranjit N.J., Mills J.A., Neylon J.M., Kung Jr.L. The effect of treating whole-plant barley with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2002, no. 85 (7), pp. 1793–1800. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74253-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74253-7)
58. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O., Krylova K., Biscola V., Chobert J.-M., Ivanytsia V.O., Haertle T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, no. 35 (5), pp. 1587–1595. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1200-y>
59. Kuwaki S., Ohhira I., Takahata M., Hirota A., Murata Y., Tada M. Effects of the fermentation product of herbs by lactic acid bacteria against phytopathogenic filamentous fungi and on the growth of host plants. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2004, no. 98 (3), pp. 187–192. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(04\)00264-6](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(04)00264-6)
60. Препарат «Биотроф-600» – стимулятор роста томатов / Е.А. Лапицкая [и др.] // *Аграрн. вестн. Урала*. 2008. № 5. С. 42–44.
61. Gummalla S., Broadbent J.R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts. *Journal of Dairy Science*, 1999, no. 82 (10), pp. 2070–2077. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75448-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2)

### **Сведения об авторе**

Ирина Игоревна Рассохина – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: rasskhinairina@mail.ru

## THE USE OF MICROORGANISMS AS A MEANS TO INCREASE PRODUCTIVITY AND SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL CROPS

Rassokhina I.I.

*Crop farming is one of the most important branches of agriculture which, in turn, determines the development of animal husbandry, as the success of animal husbandry depends on the feed quality by 50–60%. Currently, in the world, the use of biological preparations instead of or in conjunction with chemical plant protection products and mineral fertilizers is becoming increasingly popular and in demand. The widespread use of biological products is typical of many countries in Europe, the USA, China, Japan, etc. Unfortunately, in the Russian Federation, the volume of biological agents, used in the crop industry, is significantly inferior to the number of chemical preparations. At the same time, microbial preparations are able to increase plants' biological and economic productivity by synthesizing a number of biologically active compounds by microorganisms (amino acids, substances of phytohormonal action, etc.), transferring inaccessible forms of nutrients (mainly nitrogen and phosphorus) into forms available to plants, as well as performing a protective role in the fight against pathogenic fungi and bacteria. In addition, the use of biological products is a necessary condition for obtaining organic products. The most valuable for the real economic sector are selected scientifically based pairs of "strain of a microorganism and plant variety", which will allow achieving the highest yield and plant stability in specific environmental conditions on a specific mineral soil background. The article presents an overview of Russian and foreign studies on the effect of various microbial preparations and strains of microorganisms on the growth and productivity of agricultural crops. According to a number of authors, of the free-living microorganisms, the most promising for use in the crop farming practice are microorganisms of the genera *Bacillus* and *Pseudomonas*, whose representatives are able to exert both growth-stimulating and protective effects on plants, which ultimately affects the crops' productivity.*

*Biologics, microorganisms, Bacillus, Pseudomonas, agricultural crops, growth, productivity.*

### REFERENCES

1. Buryakov N.P. Feeding of pregnant dry and dairy cows. *Molochnaya promyshlennost'*=*Dairy Industry*, 2008, no. 4, pp. 37–40 (in Russian).
2. Nikitin S.N., Zakharov S.A. Influence of mineral fertilizers, biopreparations and mature aftereffect on biological properties of soil and yielding ability of spring water. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*=*Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2016, no. 2 (34), pp. 37–42 (in Russian).
3. Montesinos E., Bonaterra A., Badosa E. et al. Plant-microbe interactions and the new biotechnological methods of plant disease control. *International Microbiology*, 2002, no. 5, pp. 169–175. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0085-9>
4. Petrov V.B., Chebotar' V.K. Microbiological preparations as the basis element of intensive agrotechnologies in crop production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*=*Achievements of Science and Technology of AICs*, 2011, no. 8, pp. 11–15 (in Russian).



5. Kolomiets E. Contribution of microbiological science to the development of agricultural technologies. *Nauka i innovatsii=Science and Innovations*, 2016, no. 6 (160), pp. 23–25 (in Russian).
6. Ryabova O.V. On a problem of development of microbiological agents (fungicides and fertilizers) for conditions of the Northeast of the European part of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka=Agricultural Science Euro-North-East*, 2016, no. 1 (50), pp. 31–40 (in Russian).
7. State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the territory of the Russian Federation. In: *Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii* [Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. 2020. Vol. 1 (in Russian).
8. Zakharenko V.A. Biotechnology and plant protection. *Zashchita i karantin rastenii=Plant Protection and Quarantine*, 2015, no. 11, pp. 3–6 (in Russian).
9. Vorobeikov G.A. et al. A study of associative rhizobacteria efficiency for economic plants. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena=Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science*, 2011, pp. 114–123 (in Russian).
10. Biryukov E.V. Possibility of application of biological preparation thichoderma lignorum as means of microbiological fertilizer in conditions of Tambov region. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki=Problems of Contemporary Science and Practice*, 2008, no. 1 (11), vol. 1, pp. 84–92 (in Russian).
11. Moya P., Barrera V., Cipollone J. et al. New isolates of Trichoderma spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem Pyrenophora teres-barley in Argentina. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 104–152. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
12. Sabaté D.C., Petroselli G. et al. Beneficial effect of Bacillus sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
13. Vasil'eva E.N. et al. Endophytic microorganisms in fundamental research and agriculture. *Ekologicheskaya genetika=Ecological Genetics*, 2019, no. 17 (1), pp. 19–32. Available at: <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32> (in Russian).
14. Veselova S.V. et al. Straits of Bacillus regulate wheat resistance to greenbug aphid Schizaphis graminum Rond. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya=Applied Biochemistry and Microbiology*, 2019, no. 1 (55), pp. 56–63. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185> (in Russian).
15. Maksimov I.V. et al. Prospects of application of lipopeptides producers bacteria for plant protection. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya=Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, no. 56 (1), pp. 19–34. Available at: <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134> (in Russian).
16. Tikhonovich I.A. et al. The use of preparation – an additional source of power plants. *Plodorodie=Fertility*, 2011, no. 3 (60), pp. 9–13 (in Russian).
17. Shuliko N.N. et al. Effect of the complex fertilization and biopreparations on effective fertility of leached chernozem and barley productivity. *Agrokhimiya=Agrochemistry*, 2019, no. 2, pp. 13–20. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133> (in Russian).
18. Chebotar' V.K. et al. Microbial preparations on the basis of endophytic and rhizobacteria to increase the productivity in vegetable crops and spring barley (*Hordeum vulgare* L.), and the mineral fertilizer use efficiency. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya=Agriculture Biology*, 2016, vol. 51, no. 3, pp. 335–342 (in Russian).
19. Sytnikov D.M. Biotechnology of microbial nitrogen fixers and future trends of their preparations application. *Biotekhnologiya=Biotechnologia*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 34–45 (in Russian).
20. Fatina P.N. Application of microbiological fertilizers in agriculture. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta=Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2007, no. 4 (39), pp. 133–137 (in Russian).

21. Kirichenko E.V., Kots' S.Ya. Use of *Azotobacter chroococcum* for development of complex biological preparations. *Biotekhnologiya=Biotechnologia*, 2011, vol. 4, no. 3, pp. 74–81 (in Russian).
22. Kozhemyakov A.P., Timofeeva S.V. Biologics of complex action protect plants from diseases. *Agrarnyi ekspert=Agricultural Expert*, 2007, no. 2, pp. 26–29 (in Russian).
23. Kotova Z.P., Drozdov S.N. The effect of biological products on potato productivity in Karelia. *Agrarnaya nauka=Agrarian Science*, 2006, no. 7, pp. 13–14 (in Russian).
24. Chukhina O.V. et al. Effect of fertilizers and microbiological preparations on the quality and yield of rotation crops in Vologda Oblast. *Plodorodie=Fertility*, 2015, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
25. Zavalin A.A. et al. Biologization of mineral fertilizers as method for increasing of their efficiency. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK=Achievements of Science and Technology of AICs*, 2012, no. 9, pp. 45–47 (in Russian).
26. Avdeenko A., Avdeenko S., Domatskiy V., Platonov, A. *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals. *Research on Crops*, 2020, no. 21 (1), pp. 156–159. Available at: <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2020.026>
27. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T.J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* Lipopeptides on Plant Pathogens. *Journal of Chemical Ecology*, 2013, no. 39, pp. 869–878. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>
28. Porcel R., Zamarreño Á.M., García-Mina J.M., Aroca R. Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. *BMC Plant Biology*, 2014, no. 14 (36), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-36>
29. Xie S.-S., Wu H.-J., Zang H.-Yu et al. Plant growth promotion by Spermidine-Producing *Bacillus subtilis* OKB105. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2014, vol. 7, no. 27, pp. 655–663. Available at: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-14-0010-R>
30. Fedorova O.V. et al. Probiotic preparations based on microorganisms of the genus *Bacillus*. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta=Bulletin of the Technological University*, 2016, no. 15, vol. 19, pp. 170–174 (in Russian).
31. Titova V.I., Dabakhova E.V., Smetov D.B. Study of microbiological and growth stimulating preparations for forage crops cultivation. *Agrokhimicheskii vestnik=Agrochemical Herald*, 2011, no. 2, pp. 31–33 (in Russian).
32. Platonov A.V. et al. Productivity of forage grasses affected by microbial preparations in the Vologda region. *Kormoproizvodstvo=Fodder Production*, 2021, no. 1, pp. 21–25. Available at: <https://doi.org/10.25685/KRM.2021.1.2021.001> (in Russian).
33. Rassokhina I.I., Platonov A.V., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Morphophysical reaction of *Hordeum vulgare* to the influence of microbial preparations. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2020, no. 11 (2), pp. 220–225. Available at: <https://doi.org/10.15421/022032>
34. Castro R.O., Cantero E.V., Bucio J.L. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. *Plant Signaling and Behavior*, 2008, no. 3 (4), pp. 263–265. Available at: <https://doi.org/10.4161/psb.3.4.5204>
35. López-Bucio J., Campos-Cuevas J.C., Hernández-Calderón E. et al. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin-and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2007, no. 20 (2), pp. 207–217. Available at: <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-2-0207>
36. Zou C., Li Z., Yu D. *Bacillus megaterium* strain XTBG34 promotes plant growth by producing 2-pentylfuran. *The Journal of Microbiology*, 2010, no. 48, pp. 460–466. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12275-010-0068-z>
37. Blinkov E.A., Tsavkelova E.A., Selitskaya O.V. Formation of auxin strain *Klebsiella planticola* TLC-91 and its effect on the development of seeds of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Mikrobiologiya=Microbiology*, 2014, vol. 83, no. 5, pp. 543–551 (in Russian).

38. Tsavkelova E.A., Klimova S.Y., Cherdyntseva T.A., Netrusov A.I. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2006, no. 42 (2), pp. 117–126. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0003683806020013>
39. Pérez-Montaño F., Alías-Villegas C., Bellogín R.A. et al. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, 2014, no. 169 (5–6), pp. 325–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011>
40. Chernyad'ev I.I. The protective action of cytokinins on the photosynthetic machinery and productivity of plants under stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2009, no. 45 (4), pp. 351–362. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0003683809040012>
41. Smirnova E. et al. Features of hormonal balance of oat varieties in connection with photosynthesis and productivity. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal=International Agricultural Journal*, 2013, no. 2, pp. 61–64 (in Russian).
42. Bakhtenko E.Yu., Platonov A.V. Effect of 6-benzylaminopurine on wheat resistance to soil flooding. *Agrokimiya=Agrochemistry*, 2004, no. 7, pp. 41–46 (in Russian).
43. Tsavkelova E.A., Cherdyntseva T.A., Klimova S.Yu. et al. Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Archives of Microbiology*, 2007, vol. 188, no. 6, pp. 655–664. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00203-007-0286-x>
44. Wilkinson K.G., Dixon K.W., Sivasithamparan K. Effect of IAA on symbiotic germination of an Australian orchid and its production by orchid-associated bacteria. *Plant Soil*, 1994, vol. 159, pp. 291–295. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00009292>
45. Marakaev O.A., Titova O.V. On the possible participation of amino acids in auxin biosynthesis in *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo (Orchidaceae). In: *Regulatory rosta i razvitiya rastenii v biotekhnologiyakh: tezisy VI Mezhdunarodnoi konferentsii* [Regulators of Plant Growth and Development in Biotechnology: Abstracts of the Sixth International Conference]. Moscow, 2000. P. 49 (in Russian).
46. Shekhovtsova N.V. et al. Auxine production by endophytic bacteria from underground organs of *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo (Orchidaceae). *Vestnik OGU=Vestnik OSU*, 2011, no. 12 (131), pp. 366–368 (in Russian).
47. Rassokhina I.I. et al. Effectiveness of avena sativa L. seed inoculation by the strain *Pseudomonas* sp. GEOT18 promising for creating biologicals. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal=International Agricultural Journal*, 2020, no. 5 (377), pp. 52–55. Available at: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-15093> (in Russian).
48. Rojas-Solís D., Zetter-Salmón E., Contreras-Pérez M. et al. *Pseudomonas stutzeri* E25 and *Stenotrophomonas maltophilia* CR71 endophytes produce antifungal volatile organic compounds and exhibit additive plant growth-promoting effects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2018, no. 13, pp. 46–52. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.007>
49. Andreolli M., Zapparoli G., Angelini E. et al. *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens. *Microbiological research*, 2019, no. 219, pp. 123–131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.003>
50. Oteino N., Lally R.D., Kiwanuka S. et al. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 2015, no. 6, pp. 745. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
51. Trinh C.S., Lee H., Lee W.J. et al. Evaluation of the plant growth-promoting activity of *Pseudomonas nitroreducens* in *Arabidopsis thaliana* and *Lactuca sativa*. *Plant Cell Reports*, 2018, no. 37, pp. 873–885. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2275-8>
52. Ortiz-Castro R., Campos-García J., López-Bucio J. *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* influence *Arabidopsis* root system architecture through an auxin response mediated by bioactive cyclodipeptides. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, no. 39, pp. 254–265. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09979-w>

53. Minaeva O.M., Akimova E.E. Effectiveness of applying bacteria *Pseudomonas* sp., strain b-6798, for anti-phytopathogenic protection of crops in Western Siberia. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2013, no. 3 (23), pp. 19–37.
54. Feklistova I.N. et al. Biological preparations for protection and increase of crop yield. In: *Biologicheski aktivnye preparaty dlya rastenievodstva: materialy konferentsii* [Biologically Active Preparations for Crop Production: Conference Materials]. Minsk, 2018. Pp. 196–198 (in Russian).
55. Zolotarev V.N. The effectiveness of the use of bacterial biologics associative diazotrophs and nitrogen fertilizer in seed crops of annual ryegrass. *Agrokhimiya=Agrochemistry*, 2015, no. 7, pp. 11–16 (in Russian).
56. Kunitsyna V.V., Stupina L.A. Influence of preparations of associative nitrogen-fixing bacteria on the formation of productivity of spring barley in the Priobskaya zone. In: *Ot bioproductov k bioekonomike: materialy II mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [From Bioproducts to Bioeconomics: Proceedings of the Second Interregional Scientific and Practical Conference (with International Participation)]. Ed. by Luk'yanov A.N. Barnaul: Izd. AltGTU, 2018. Pp. 139 (in Russian).
57. Taylor C.C., Ranjit N.J., Mills J.A. et al. The effect of treating whole-plant barley with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2002, no. 85 (7), pp. 1793–1800. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74253-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74253-7)
58. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O. et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, no. 35 (5), pp. 1587–1595. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1200-y>
59. Kuwaki S., Ohhira I., Takahata M. et al. Effects of the fermentation product of herbs by lactic acid bacteria against phytopathogenic filamentous fungi and on the growth of host plants. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2004, no. 98 (3), pp. 187–192. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(04\)00264-6](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(04)00264-6)
60. Lapitskaya E.A. et al. “Biotrof-600” is a tomato growth stimulator. *Agrarnyi vestnik Urala=Agrarian Bulletin of the Urals*, 2008, no. 5, pp. 42–44 (in Russian).
61. Gummalla S., Broadbent J.R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts. *Journal of Dairy Science*, 1999, no. 82 (10), pp. 2070–2077. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75448-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2)

## Information about the author

Irina I. Rassokhina – Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: [rasskhinairina@mail.ru](mailto:rasskhinairina@mail.ru)