

3. *Магомета С. Д., Магомет Р. Д.* Влияние факторов окружающей среды Жуковского района Брянской области на демографическое состояние и заболеваемость населения. Экология и развитие общества: Матер. XI Международной конференции, 24–27.05.08 / Под общей ред. проф. В. А. Рогалева. СПб.: МАНЕБ, 2008. С. 140–147.

4. *Магомета С. Д., Магомет Р. Д., Магомет А. Ю.* Воздействие факторов окружающей среды на состояние здоровья населения // Проблемы теории и практики автомобильного транспорта: Сборник научно-практических статей / Под общ. ред. Т. К. Екшикеева. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. С. 168–180.

5. *Потапов А. И., Онищенко Г. Г.* Гигиеническая наука и практика на рубеже XXI века: Материалы IX Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. М., 2001. Т. 1–2.

6. *Рахманин Ю. А., Сидоренко Г. И., Михайлова Р. И.* Методика изучения влияния химического состава питьевой воды на состояние здоровья населения // Сан. и гиг. 1998. № 4. С. 13–19.

#### REFERENCES.

1. *Beljaev E. N.* Rol' sanepidsluzhby v obespechenii sanitarno- jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija Rossijskoj Federacii. Perm': Izdat.-inform. centr goskomiteta san.-epid. nadzora RF., 1996. 416 s.

2. *Kutepov E. N.* Vlijanie meteorologicheskikh faktorov na sostojanie zdorov'ja naselenija // Faktory okruzhajushchej sredy i zdorov'e naselenija. M., 1988. S. 149–154.

3. *Magometa S. D., Magomet R. D.* Vlijanie faktorov okruzhajushchej sredy Zhukovskogo rajona Brjanskoj oblasti na demograficheskoe sostojanie i zaboлеваemost' naselenija. Ekologija i razvitie obwestva: Mater/ XI Mezhdunarodnoj konferencii, 24–27.05.08 / Pod obshchej red. V. A. Rogaleva. SPb.: МАНЕБ, 2008. S. 140–147.

4. *Magometa S. D., Magomet R. D., Magomet A. Ju.* Vozdejstvie faktorov okruzhajushchej sredy na sostojanie zdorov'ja naselenija // Problemy teorii i praktiki avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchno-prakticheskikh statej / Pod obshch. red. T. K. Ekshikeeva. SPb.: Izd-vo SZTU, 2009. S. 168–180.

5. *Potapov A. I., Onishchenko G. G.* Gигиеническая наука и практика на рубеже XXI века: Материалы IX Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. М., 2001. Т. 1–2.

6. *Rahmanin Ju. A., Sidorenko G. I., Mihajlova R. I.* Metodika izuchenija vlijanija himicheskogo sostava pit'evoj vody na sostojanie zdorov'ja naselenija // San. i gig. 1998. № 4. S. 13–19.

***Г. А. Воробейков, Т. К. Павлова, С. В. Кондрат, В. Н. Лебедев, В. С. Юргина,  
Р. Р. Муратова, П. Н. Макаров, Г. И. Дубенская, И. А. Хмелевская***

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАММОВ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ В ПОСЕВАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ**

*Проведен анализ данных многолетних исследований, выполненных на Биостанции РГПУ им. А. И. Герцена (пос. Вырица Гатчинского района Ленинградской области) по выявлению эффективных штаммов ассоциативных ризобактерий для хозяйственно ценных растений, относящихся к различным семействам: злаки, капустные, льновые, губоцветные, пасленовые и водолитниковые. Показано, что применение наиболее эффективных для каждой выращиваемой культуры ассоциативных штаммов ризобактерий в наибольшей степени стимулирует физиологические процессы, увеличивает биомассу как надземных, так и подземных органов, а также урожай семян, улучшает качество растительной продукции и снижает содержание нитратов в зеленой массе. Наибольшая отзывчивость растений на инокуляцию эффективными штаммами ризобактерий проявляется при внесении в дерново-слабоподзолистую супесчаную почву перед посевом минерального азота в дозе 60 кг/га.*

**Ключевые слова:** фиксация молекулярного азота, интродукция, PGPR, дерново-слабоподзолистая супесчаная почва, продуктивность, минеральное питание, стимуляция роста.

*G. Vorobeykov, S. Kondrat, V. Lebedev, V. Yurgina,  
R. Muratova, P. Makarov, G. Dubenskaya, I. Khmelevskaya*

## A STUDY OF ASSOCIATIVE RHIZOBACTERIA EFFICIENCY FOR ECONOMIC PLANTS

*A long-term study was carried out at Herzen State Pedagogical University Biological Station, Saint Petersburg, Russia. The article presents the data analysis aimed at selecting efficient associative strains for a variety of economically valuable plants (Poaceae, Brassicaceae, Linaceae, Labiatae, Solanaceae, Solanaceae and Hydrophyllaeae families). The selected strains enhance plant physiological activities, increase plant biomass, increase and improve crop yields, and lower nitrate concentration in plant green weight. The highest level of plant susceptibility to inoculation with efficient strains is found when 60 kg per hectare mineral nitrogen is introduced to sod-weakpodzol sandy-loam soil before planting.*

**Keywords:** nitrogen fixation, inoculation, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), sod-weakpodzol sandy-loam soil, productivity, mineral nutrition.

В современных условиях при внедрении в сельское хозяйство адаптивно-ландшафтной системы земледелия широкий интерес и практическую значимость приобретает применение бактериальных удобрений, изготовленных на основе стимулирующих рост ассоциативных ризобактерий (plant growth-promoting rhizobacteria — PGPR). Они оказывают многостороннее положительное влияние на растения [1; 2; 5; 8]. Под влиянием PGPR происходят следующие процессы: усиление ассоциативной фиксации молекулярного азота, достигающей 30–50 кг азота на гектар за вегетационный период; дополнительное продуцирование физиологически активных соединений, в том числе растительных гормонов, которые увеличивают мощность корневой системы, оптимизируя минеральное питание и улучшая водный режим растений; участие в растворении труднодоступных фосфорных соединений; выделение антибиотических соединений, защищающих корни от бактериальных и грибных инфекций; подавление стрессовых реакций у растений, повышающих их устойчивость к неблагоприятным внешним факторам, и другие воздействия.

Вместе с тем имеющиеся сведения об эффективности того или иного бактериального препарата часто относятся к конкретной культуре или даже сорту, что не гарантирует получения положительного эффекта на других культурах и сортах. Максимальный эффект от применения ассоциативных штаммов бактерий можно получить на основе тщательного выявления тех штаммов, которые в большей степени соответствуют биологическим свойствам исследуемых видов и сортов растений.

Хотя ассоциативные штаммы не обладают такой узкой специфичностью к видам растений, как клубеньковые бактерии при бобово-ризобальном симбиозе, тем не менее далеко не каждый интродуцируемый штамм бактерий способен вступать в активную ассоциацию с любым видом и сортом растений. Известно, что формирование эффективной растительно-бактериальной ассоциации определяется не только количеством выделяемых растением в ризосферное пространство растворимых органических соединений (экссудатов), но и их качественным составом, влияющим на приживаемость и размножение штамма в ризосфере [10]. По этой причине можно говорить об относительной приуроченности штаммов PGPR к определенным видам и даже сортам растений, имеющим специфические характеристики химических корневых выделений. Крайне актуальным остается выявление наибольшего соответствия сорта и штамма, что очень важно для получения максимального положительного результата. Вместе с тем успех инокуляции зависит и от многих других факторов, в том числе от почвенно-климатических и агротехнических условий, особенно от доз и форм минеральных удобрений.

Исследования по выявлению отзывчивости различных видов и сортов растений на обработку препаратами ассоциативных ризобактерий выполняли на Биостанции РГПУ им. А. И. Герцена (пос. Вырица Гатчинского района Ленинградской области) в течение 18 лет. Работу проводили по единой методике на одних и тех же почвах и с применением одинаковых доз и форм удобрений, что позволило дать более обоснованные заключения о преимущественной эффективности того или иного препарата для конкретной растительной культуры.

Выводы основывали на анализе физиологических и продукционных характеристик растений, полученных в лабораторных условиях, в вегетационных сосудах и в полевых мелкоделяночных опытах. Одновременно с выявлением наиболее эффективного штамма ризобактерий для каждой культуры проводили исследования по определению оптимального минерального фона, особенно дозы азотных удобрений.

Почвы опытных участков дерново-слабоподзолистые, супесчаные, слабокислые, со средним содержанием усвояемых форм фосфора и калия. Содержание гумуса в почвах опытных делянок — около 1,5–1,8%. Агрохимическая характеристика почв опытного участка приведена в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв опытного участка

Горизонт	Гумус, %	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	Гк	S	E	V %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг/экв	100 г			мг/100 г почвы	
A <sub>пах</sub> 0–20	1,8	6,27	5,60	5,07	9,60	14,67	65,40	10,20	8,50
A <sub>1</sub> –A <sub>2</sub> 20–28	1,4	6,61	5,90	9,25	7,00	16,25	43,07	5,10	3,45
B 28–42	0,4	6,49	5,70	2,10	1,60	3,70	43,20	0,65	3,12
B <sub>c</sub> 42–55	—	6,25	5,01	2,10	1,40	3,50	40,00	1,85	4,25
C <sub>g</sub> 55–63	—	5,58	4,58	2,45	2,60	5,05	5,50	0,12	4,51
D <sub>1</sub> 63–79	—	4,32	3,95	5,61	0,80	6,40	12,50	0,09	7,25
D <sub>2</sub> 79–110	—	4,80	4,27	3,85	0,60	4,45	13,50	0,95	5,13

В опытах использовали штаммы ризобактерий и изготовленные на их основе бактериальные препараты, полученные из ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Санкт-Петербург, Пушкин). Перечень их представлен в табл. 2. Обработку проводили путем нанесения суспензии препарата, приготовленной непосредственно перед посевом, на семена согласно рекомендациям работ [6; 17].

Объектами исследований были хозяйственно-ценные виды растений, относящиеся к различным семействам: **злаки** — ячмень двурядный — *Hordeum sativum* Jessen — сорт Криничный, овес посевной — *Avena sativa* L. — сорт Астор, полба — *Triticum dicoccum* (Shrank) Schuebl — образцы К-33226, к-7516, к-7349); **капустные** — горчица белая —

*Sinapis alba* L. — сорта Чергинская (к- 4319), Grisilba (к-4258), Kirbi (к-4261), горчица сарептская — *Brassica juncea* Czern — сорт Донская 4, редька масличная — *Raphanus sativus* L. var *oleifera* Metzg — сорт Радуга; **льновые** — лен обыкновенный культурный — *Linum usitatissimum* L. — сорта Белинка, Кром; **губоцветные** — змееголовник молдавский — *Dracocephalum moldavica* L., чабер садовый — *Satureja hortensis* L., котовник кошачий — *Nepeta cataria* L.; **пасленовые** — физалис кондитерский — *Physalis ixsocarpa* Brot. — сорта Грунтовый Грибовский, Кондитер; **водолистниковые** — фацелия рябинколистная — *Phacelia tanacetifolia* Benth.

Таблица 2

**Бактериальные препараты, изготовленные на основе ассоциативных штаммов ризобактерий, используемые в лабораторных, вегетационных и полевых опытах**

Препарат	Штамм
1. Агрофил	<i>Agrobacterium radiobacter</i> , 10
2. Азоризин	<i>Azospirillum lipoferum</i> , 137
3. Азоризин	<i>Azospirillum brasilense</i> , 6
4. Бактосан	<i>Bacillus subtilis</i> , Ч-13
5. Биоплант	<i>Klebsiella planticola</i> , ТСХА-91
6. 5С-2	<i>Varivororax paradoxus</i> , 5С-2
7. Мизорин	<i>Arthrobacter mysorens</i> , 7
8. Мобилин	<i>Klebsiella mobilis</i> , П-880
9. Ризоагрин	<i>Agrobacterium radiobacter</i> , 204
10. Ризоэнтерин	<i>Enterobacter</i> sp., 30
11. Флавобактерин	<i>Flavobacterium</i> sp., 30
12. Экстрасол	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , КО; 32, П 1040; ПГ-5 и другие штаммы
13. Азотобактерин	<i>Azotobacter chroococcum</i> , 20
14. Азотобактерин	<i>Azotobacter vinelandii</i> , 56

Некоторые из них до сих пор являются малораспространенными и слабо исследованными культурами. Отбор наиболее эффективного препарата для каждой культуры проводили после двух-четырех лет вегетационных и полевых исследований с применением 5–10 препаратов. Первичный отбор препаратов осуществляли в лабораторных условиях, в чашках Петри, по эффективности прорастания семян и стимуляции роста зародышевых корней. Для демонстрации приводим результаты типичного лабораторного опыта с полбой — *Triticum dicocum* (Shrank) Schuebl., образец К-33226 (см. рис.).

В вегетационных и полевых опытах определяли некоторые физиолого-биохимические параметры контрольных и обработанных растений: ростовые процессы, особенно формирование площади листовой поверхности, водный режим, содержание пигментов и основных минеральных элементов в зеленой массе и семенах, а также проницаемость мембран и продуктивность.

Увеличение накопления сухой массы растений от применения наиболее эффективного штамма бактерий чаще всего находилось в пределах 17–35% по сравнению с контрольным вариантом [3; 4; 9, 11–14; 16; 18]. В табл. 3 представлены обобщенные данные о наиболее эффективных бактериальных препаратах для различных сельскохозяйственных культур.



Рис. 1. Внешний вид семян на пятый день после замачивания в различных препаратах  
 Обозначения: 1) контроль (без инокуляции), 2) агрофил, 3) азоризин, 4) мизорин, 5) мобилин, 6) ризоагрин, 7) флавобактерин

Таблица 3

**Бактериальные препараты ризобактерий,  
 наиболее эффективные для инокуляции небобовых культур**

<i>Культура, сорт</i>	<i>Препарат</i>	<i>Авторы исследования</i>
Лен, сорт Белинка	Флавобактерин, агрофил	Хмелевская [16]
Лен, сорт Кром	Агрофил, ризоэнтерин, экстрасол (32)	Хмелевская [16]
Горох + ячмень сорт Криничный	Ризобии + экстрасол (шт. КО)	Мирюгина [13]
Горох + овес, сорт Астор	Ризобии + агрофил	Мирюгина [13]
Змееголовник молдавский	Азотобактер, азотобактер+экстрасол	Дубенская [4]
Котовник кошачий	Азотобактер+экстрасол (шт. П 1040)	Дубенская [4]
Физалис, сорт Кондитер	Флавобактерин, азоризин	Макаров [12]
Физалис, сорт Грибовский	Флавобактерин, агрофил, азоризин	Макаров [12]
Полба, образцы К-33226 и др.	Азоризин, ризоагрин	Кондрат [9]
Горчица белая (Чергинская и др.)	Флавобактерин, мизорин	Лебедев [11]
Горчица сарептская (Донская 4)	Флавобактерин, экстрасол (шт. ПГ-5)	Воробейков [3]
Редька масличная, сорт Радуга	Флавобактерин, мизорин	Юргина [18]
Фацелия рябинколистная	Мизорин, флавобактерин, 5С-2 (при засухе)	Муратова [14]

Для установления эффективных ассоциативных взаимоотношений между растениями и микроорганизмами необходим не только тщательный подбор соответствующего штамма к каждой культуре и даже сорту, но и обеспечение благоприятными условиями для их активного взаимодействия.

Важным условием для установления эффективных ассоциативных взаимоотношений является обеспечение растительно-бактериальной ассоциации элементами минерального питания. Фосфорные, калийные и другие макро- и микроудобрения необходимы для активной жизнедеятельности как растений, так и бактерий в ризосфере. Необходимость внесения удобрений заключается еще в том, что с их помощью устраняется конкуренция растений и ризосферных бактерий за эти элементы питания.

Сильное регулирующее влияние на азотфиксацию и метаболическую активность ризобактерий проявляется от внесения минеральных азотных удобрений. Обеспечение ими стимулирует ростовые процессы растений, особенно развитие листовой поверхности, повышает продуктивность фотосинтеза и увеличивает масштабы экзосмоса органических соединений в зону корней, которые являются энергетическим субстратом для активной метаболической деятельности нанесенного штамма.

Однако избыточное внесение минерального азота тормозит микробно-растительные взаимодействия. Растения при этом переключаются на питание минеральным азотом. Кроме того, при повышенных дозах минерального азота замедляется развитие растений, повышается удерживающая (аттрагирующая) способность листьев по отношению к другим органам, в результате чего при хорошо развитой листовой поверхности отток ассимилятов из листьев в другие органы, в том числе в корни, затормаживается.

Во многих исследованиях отмечается несовместимость активных симбиотических и ассоциативных отношений с одновременным использованием высоких доз минерального азота [1; 8; 17]. По причине энергетических затрат на использование азота в питании, растению выгоднее потреблять минеральный азот, чем ассоциативный или симбиотический. Подсчитано, что на ассимиляцию одного моля молекулярного азота ( $N_2$ ) растению необходимо затратить 730–960 кДж. На восстановление такого же количества азота в виде нитрата ( $NO_3^-$ ) до аммония ( $NH_4^+$ ) расходуется 300–600 кДж, то есть затраты на фиксацию атмосферного азота в 1,5–2,5 раза превышают затраты на ассимиляцию нитратов. Поэтому при избыточном внесении минерального азота микроорганизмы и растения переходят на питание минеральными формами азота.

В связи с этим важно знать оптимальную дозу минерального азота, необходимую для успешной инокуляции семян бактериями и для установления активных микробно-растительных взаимодействий. Однако для каждой культуры доза минерального азота должна быть конкретизирована. Так, при оценке взаимодействия сортов ячменя и пшеницы с ризосферными ростостимулирующими бактериями на различном азотном фоне выявлена их разная реакция на дозы азота [7]. На плодородной почве (гумус 8,6%) использование ячменем азотных удобрений было неэффективным, тогда как инокуляция ризобактериями была эффективной. Констатируется также, что азотное удобрение, как правило, снижало лишь относительные прибавки от инокуляции (так как увеличивалась продуктивность контрольных растений), однако абсолютные прибавки в целом возрастали.

В наших опытах по определению оптимальной дозы минерального азота для полбы и мягкой яровой пшеницы выявлены различия в формировании продуктивности этих культур в зависимости от дозы азота (на фоне Р60К60). Для формирования урожая зерна полбы достаточной была доза 30–60 кг N/га, для мягкой пшеницы — 60–90 кг N/га. Более высокие дозы азота на дерново-подзолистых супесчаных почвах не приводили к дальнейшему повышению урожая этих культур (табл. 4).

**Сравнение продуктивности полбы К-33226 и мягкой яровой пшеницы сорта Ленинградка-97 (Л-97) на фоне возрастающих доз минерального азота (полевые опыты, среднее за два года)**

Вариант	Полба	Л-97	Полба	Л-97	Полба / Л-97, %	
	Сухая масса растений, ц/га (%), А		Масса зерна, ц/га (%), Б		А	Б
P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	67,7 (100)	53,0 (100)	22,8 (100)	18,2 (100)	128	125
N <sub>15</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	76,9 (114)	59,8 (113)	28,9 (127)	23,5 (130)	129	123
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	77,0 (114)	61,8 (116)	31,1 (137)	25,6 (141)	125	122
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	79,3 (117)	83,3 (157)	31,6 (139)	34,9 (192)	95	91
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	83,1 (123)	102,9 (194)	28,3 (124)	40,6 (224)	81	70
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	82,8 (122)	99,5 (188)	27,6 (121)	37,8 (208)	83	73
НСР <sub>0,5</sub>	5,3	7,7	1,9	2,6		

Наиболее высокая эффективность инокуляции полбы бактериальными препаратами (азоризин и ризоагрином) была при внесении 60 кг N/га. По-видимому, для пшеницы сорта Ленинградка-97 оптимальная доза минерального азота для получения максимального эффекта от инокуляции семян ассоциативными ризобактериями может быть больше [9].

Аналогичные результаты на этих же почвах получены в опытах с редькой масличной и фацелией рябинколистной. Инокуляция семян этих культур ассоциативными штаммами бактерий на бедном азотном фоне и без внесения минерального азота не привела к увеличению биомассы исследуемых растений. Дефицит минерального азота в почве, вероятно, усиливает конкуренцию за него как между интродуцируемыми ризобактериями и аборигенной микрофлорой, так и между ризосферными бактериями и растениями. Кроме того, при дефиците азота в растениях затормаживается рост листьев и соответственно — фотосинтез, ослабляется выделение экссудатов в корневую систему, необходимых для жизнедеятельности ризобактерий и для установления эффективных взаимоотношений в растительно-бактериальной ассоциации [15]. В результате этого растения оказываются более слабыми в конкуренции за азот, что не приводит к значительному повышению их продуктивности. Наибольшая прибавка биомассы редьки масличной от применения бактериальных препаратов отмечена при внесении 45–60 кг N/га.

В опытах с горчицей белой результатом повышения интенсивности ростовых процессов также было увеличение накопления сухой массы в надземных органах растений (табл. 5).

Таблица 5

**Сухая масса сортов горчицы белой при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями (ц/га, полевой опыт, среднее за 2004–2007 гг.)**

Варианты	Чергинская	Grisilba	Kirbi
Контроль	79,0±5,1 (100,0)	59,5±16,2 (100,0)	60,8±17,5 (100,0)
Агрофил	102,0±7,8 (129,1)	73,6±19,7 (123,7)	73,1±21,6 (120,2)
Бактосан	99,7±7,1 (126,2)	72,1±17,2 (121,2)	75,2±21,0 (123,7)
Мизорин	113,9±8,7 (144,2)	87,2±26,9 (146,6)	82,9±25,2 (136,3)
Флавобактерин	109,1±9,2 (138,1)	81,1±23,8 (136,3)	82,7±25,0 (136,0)
НСР <sub>05</sub>	8,6	10,8	9,7

Бактериальные препараты не только повышают продуктивность инокулированных растений, но и улучшают качество растительной продукции, в частности зеленой массы, используемой в качестве корма. У опытных растений увеличивается накопление в надземных органах основных биогенных элементов (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O). Кроме того, как выявлено в опытах с редькой масличной, использование отобранных бактериальных штаммов позволяет уменьшить концентрацию нитратов в зеленой массе растений (табл. 6).

Таблица 6

**Зеленая масса и содержание нитратов  
в зависимости от дозы азотных удобрений и применения флавобактерина**

Вариант	Зеленая масса, ц/га		Нитраты, мг NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /кг сырой массы	
	1	2	1	2
Контроль	158,0	216,0	318	200
P60K60 (PK)	198,8	240,0	390	217
N30PK	257,8	293,5	422	252
N45PK	268,0	339,5	435	262
N60PK	285,8	348,0	467	332
N90PK	306,8	353,5	588	383
N120PK	339,8	398,0	764	415
N150PK	354,3	426,5	923	638
НСР <sub>05</sub>	18,1	27,1	59,6	89,0

Примечание: 1 — без инокуляции, 2 — инокулированы флавобактерином.

Выявлено, что внесение азотных удобрений в дозах более 60 кг/га приводит к увеличению накопления нитратов, превышающих ПДК (500 мг NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в 1 кг сырой массы растений), что делает зеленую массу растений непригодной для кормления животных. Биопрепараты, в частности флавобактерин, способствуют снижению содержания нитратов в зеленой массе растений во всех вариантах с внесением азота вплоть до дозы азота 120 кг/га. И только в растениях варианта с внесением азота 150 кг/га отмечено превышение ПДК по данному показателю.

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют о том, что при выращивании хозяйственно-ценных растений на дерново-подзолистых почвах в условиях Северо-Запада Нечерноземной зоны России инокуляцией семян ассоциативными ризобактериями можно улучшить обеспечение растений биологическим азотом, стимулировать их рост, защитить от вредителей и повысить продуктивность посевов, существенно снизив химическую нагрузку на окружающую среду. При этом не нарушаются естественные экологические связи в агробиоценозе и баланс между ее составными компонентами.

## Выводы

1. При использовании ассоциативных бактерий для повышения продуктивности растений большое значение имеет выявление соответствующего штамма ризобактерий и создание условий для эффективного микробно-растительного взаимодействия.



2. Оптимальной дозой минерального азота на дерново-подзолистых супесчаных почвах, характеризующихся низким содержанием гумуса, является доза в размере 60 кг N/га. При этой дозе происходит значительное повышение продуктивности растений от взаимодействия с определенным штаммом ризобактерий.

3. Применение наиболее эффективных для каждой растительной культуры бактериальных штаммов PGPR стимулирует физиологические процессы, увеличивает биомассу как надземных органов, так и корневой системы, повышает урожай семян, улучшает качество растительной продукции и снижает концентрацию нитратов в зеленой массе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биопрепараты в сельском хозяйстве. (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) /Отв. ред. И. А. Тихонович, Ю. В. Круглов. М.: 2005. 154 с.
2. Воробейков Г. А. Микроорганизмы, урожай и биологизация земледелия: Учебное пособие. СПб., 1998. 120 с.
3. Воробейков Г. А., Павлова Т. К., Лебедев В. Н., Юргина В. С. Эффективность применения бактериальных удобрений при выращивании полевых культур сем. капустных // Материалы Международного агропромышленного конгресса. СПб.: Ленэкспо, 2010. С. 156–157.
4. \*Дубенская Г. И. Минеральное питание, рост и продуктивность эфирномасличных растений сем. губоцветных при обработке бактериальными штаммами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1999. 17 с.
5. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Изд-во ВНИИА, 2005. 302 с.
6. Завалин А. А., Кожемяков А. П. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. СПб.: Химиздат, 2010. 64 с.
7. Кожемяков А. П., Проворов Н. А., Завалин А. А., Шотт П. Р. Оценка взаимодействия сортов ячменя и пшеницы с ризосферными ростстимулирующими бактериями на различном азотном фоне // Агрохимия. 2004. № 3 С. 33–40.
8. Кожемяков А. П., Тихонович И. А. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве // Докл. РАСХН. 1998. № 6 С. 7–10.
9. \*Кондрат С. В. Рост и продуктивность полбы *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl. при инокуляции семян ассоциативными штаммами бактерий и внесении возрастающих доз минерального азота: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2007. 19 с.
10. Кравченко Л. В. Роль корневых экзометаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2000. 45 с.
11. \*Лебедев В. Н. Минеральное питание, рост и продуктивность горчицы белой (*Sinapis alba* L.) при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2008. 18 с.
12. \*Макаров П. Н. Особенности ростовых процессов и формирование продуктивности физалиса в зависимости от сорта, способа выращивания и применения ассоциативных бактерий: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2002. 18 с.
13. \*Мирюгина Т. А. Повышение продуктивности горохо-злаковых смесей путем инокуляции семян клубеньковыми бактериями в комплексе с ассоциативными и свободноживущими диазотрофами: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 1997. 18 с.
14. Муратова Р. Р., Хлебосолов А. А. Рост и продуктивность фацелии рябинолистной при инокуляции семян бактериальными препаратами // Герценовские чтения. 2010. Выпуск 10. С. 16–18.
15. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Эколого-генетические основы использования биоразнообразия симбиотических систем для повышения продуктивности растений в условиях экологически устойчивого земледелия // Материалы Международного конгресса. СПб.: Ленэкспо, 2010. С. 38–61.
16. \*Хмелевская И. А. Рост, минеральное питание и продуктивность льна-долгунца при обработке семян бактериальными препаратами: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 1997. 18 с.
17. Хотянович А. В. Методы культивирования азотфиксирующих бактерий, способы получения и применение препаратов на их основе. Л.: ВНИИСХМ, 1991. 60 с.

18. Юргина В. С. Роль минерального азота и ассоциативных ризобактерий в формировании продуктивности редьки масличной // *АгроXXI*. 2010. № 4–6. С. 20–21.

\*Звездочкой отмечены диссертации, выполненные на кафедре ботаники РГПУ им. А.И. Герцена под руководством профессора Г. А. Воробейкова.

## REFERENCES

1. Biopreparaty v sel'skom hozjajstve. (Metodologija i praktika primenenija mikroorganizmov v ras-tenievodstve i kormoproizvodstve) / Otv. red. I. A. Tihonovich, Ju.V. Kruglov. M., 2005. 154 s.
2. *Vorobejkov G. A.* Mikroorganizmy, urozhaj i biologizacija zemledelija: Uchebnoe posobie. SPb., 1998. 120 s.
3. *Vorobejkov G. A., Pavlova T. K., Lebedev V. N., Jurgina V. S.* Effektivnost' primenenija bakterial'nyh udobrenij pri vyrawivanii polevyh kul'tur sem. Kapustnyh // *Materialy Mezhdunarodnogo agropromyshlennogo kongressa*. SPb.: Lenjekspos, 2010. S. 156–157.
4. \**Dubenskaja G. I.* Mineral'noe pitanie, rost i produktivnost' jefirnomaslichnyh rastenij sem. Gubocvetnyh pri obrabotke bakterial'nymi shtammami: Avtoref. dis. ... kand. biol. Nauk. SPb., 1999. 17 s.
5. *Zavalin A. A.* Biopreparaty, udobrenija i urozhaj. M.: Izd-vo VNIIA, 2005. 302 s.
6. *Zavalin A. A., Kozhemjakov A. P.* Novye tehnologii proizvodstva i primenenija biopreparatov kompleksnogo dejstvija. SPb.: Himizdat, 2010. 64 s.
7. *Kozhemjakov A. P., Provorov N. A., Zavalin A. A., Shott P. R.* Ocenka vzaimodejstvija sortov jachmenja i pšenicy s rizosfernymi roststimulirujuwimi bakterijami na razlichnom azotnom fone // *Agrohimiya*. 2004. № 3. S. 33–40.
8. *Kozhemjakov A. P., Tihonovich I. A.* Ispol'zovanie inokuljantov bobovyh i biopreparatov kompleksnogo dejstvija v sel'skom hozjajstve: Dokl. RASHN. 1998. № 6. S. 7–10.
9. \**Kondrat S. V.* Rost i produktivnost' polby *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl. pri inokuljácii semjan asociativnymi shtammami bakterij i vnesenii vozrastajuwih doz mineral'nogo azota: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. SPb.: 2007. 19 s.
10. *Kravchenko L. V.* Rol' kornevyh jezkzometabolitov v integracii mikroorganizmov s rastenijami: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. M.: MGU, 2000. 45 s.
11. \**Lebedev V. N.* Mineral'noe pitanie, rost i produktivnost' gorchicy beloju (Sinapis alba L.) pri inokuljácii semjan asociativnymi rizobakterijami: Avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. SPb., 2008. 18 s.
12. \**Makarov P. N.* Osobennosti rostovyh processov i formirovanie produktivnosti fizalisa v zavisimosti ot sorta, sposoba vyrawivanja i primenenija asociativnyh bakterij: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. SPb., 2002. 18 s.
13. \**Mirjugina T. A.* Povyshenie produktivnosti goroho-zlakovyh smesej putem inokuljácii semjan klubenkovyh bakterijami v komplekse s asociativnymi i svobodnozhivushchimi diazotrofami: Avtoref. dis.... kand. s.-h. nauk. SPb., 1997. 18 s.
14. *Muratova R. R., Hlebosolov A. A.* Rost i produktivnost' facelii rjabinolistnoj pri inokuljácii semjan bakterial'nymi preparatami // *Gercenovskie chtenija*. 2010. Vypusk 10. S. 16–18.
15. *Tihonovich I. A., Provorov N. A.* Ekologo-geneticheskie osnovy ispol'zovanija bioraznoobrazija simbioticheskikh sistem dlja povyshenija produktivnosti rastenij v uslovijah jekologicheski ustojchivogo zemledelija // *Materialy Mezhdunarodnogo kongressa*. SPb.: Lenekspos, 2010. S. 38–61.
16. \**Hmelevskaja I. A.* Rost, mineral'noe pitanie i produktivnost' l'na-dolgunca pri obrabotke semjan bakterial'nymi preparatami: Avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. SPb., 1997. 18 s.
17. *Hotjanovich A. V.* Metody kul'tivirovanija azotfiksirujushchih bakterij, sposoby poluchenija i primenenie preparatov na ih osnove. L.: VNIISHM, 1991. 60 s.
18. *Jurgina V. S.* Rol' mineral'nogo azota i asociativnyh rizobakterij v formirovanii produktivnosti red'ki maslichnoj // *АгроXXI*. 2010. № 4–6. С. 20–21.