

**Агрохимия. Почвоведение**

УДК 633.11:631.8

DOI:10.31857/S2500262720030084

**ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТОВ  
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ\*****А.А. Алферов**, доктор биологических наук,  
**Л.С. Чернова**, кандидат сельскохозяйственных наук*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,  
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а  
E-mail: alferov72@yandex.ru*

*Представлены результаты исследований влияния биопрепаратов на основе ризосферных микроорганизмов на урожайность зерна яровой пшеницы на разных фонах минерального питания в условиях дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлено, что по сравнению с фоном ( $P_{45}K_{45}$ ) инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратами обеспечивает прибавку урожайности зерна до 30%, а азотное удобрение в дозе  $N_{45}$  – в 2 раза, в дозе  $N_{90}$  – в 3,5 раза. Сбор сырого белка за счет улучшения азотного питания возрастал при внесении  $N_{45}$  в 2 раза,  $N_{90}$  – в 3,6 раза, при применении биопрепаратов – на 25-45%. Большая часть потребленного азота накапливалась в зерне, меньше – в соломе. В зерне яровой пшеницы при улучшении обеспеченности растений азотом в период вегетации содержалось 76-81% этого элемента от накопленного урожая. Сделан вывод о том, что применение биопрепаратов на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве положительно влияет на рост массы зерна яровой пшеницы, улучшает качество получаемой продукции, увеличивает окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая.*

**INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS AND BIOPREPARATIONS  
ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SPRING WHEAT GRAIN****Alferov A.A., Chernova L.S.***All-Russian Research Institute of Agrochemistry named D.N. Pryanishnikov,  
127434, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31 a  
E-mail: alferov72@yandex.ru*

*The results of research on the influence of biologics based on rhizosphere microorganisms on the yield of spring wheat grain on different backgrounds of mineral nutrition on sod-podzolic light-loamy soil are presented. It was found that inoculation of spring wheat seeds with biologics provides an increase in grain yield by 1.2-1.3 times, and nitrogen fertilizer at a dose of  $N_{45}$ -2 times, at a dose of  $N_{90}$ -3.5 times. The collection of raw protein due to the improvement of nitrogen nutrition increases with the introduction of  $N_{45}$  by 2 times, with  $N_{90}$  – by 3.6 times, with the use of biological products-by 25-45%. The vast majority of the nitrogen consumed accumulated in the grain, less in the straw. The grain of spring wheat, while improving the supply of nitrogen to plants during the growing season, contained 76-81% of this element from the accumulated harvest. It is concluded that the use of biologics on sod-podzolic light-loamy soil has a positive effect on the growth of spring wheat grain mass, improve the quality of products, increase the payback of mineral fertilizers by increasing the yield.*

**Ключевые слова:** яровая пшеница, микробные препараты, биопрепараты, азотные удобрения, сырой белок, масса зерна

**Key words:** spring wheat, microbial preparations, biopreparations, nitrogen fertilizers, raw protein, grain weight

В современных условиях развития сельского хозяйства России при широком использовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия и снижении по сравнению с 1990 г. применения минеральных удобрений (с 83 до 57 кг/га) возрастает значение дополнительного источника элементов питания растений, особенно азотного [1-3]. Недостаток азота минеральных удобрений и необходимость увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур при стремлении снизить энергетические затраты на производство продукции растениеводства требуют комплексного применения минерального и биологического азота [4].

В связи с этим важны исследования по использованию биологического азота растениями, поскольку до 70-90% азота в пахотных почвах фиксируется из атмосферного воздуха симбиотическими, ассоциативными и свободноживущими микроорганизмами [5]. Кроме того, интродуцируемые микроорганизмы, применяемые для инокуляции семян сельскохозяйственных культур, стимулируют рост и развитие растений, повышают их устойчивость к биотическим и абиоти-

ческим факторам, в том числе ограничивают рост фитопатогенов [5-9].

Вместе с тем не получило широкого распространения использование в сельскохозяйственном производстве биологических препаратов на основе ризосферных микроорганизмов. Очевидна недооценка практической значимости ассоциативной азотфиксации, ее роли в регулировании плодородия почвы [10, 11]. Одним из факторов, препятствующих широкому использованию в сельском хозяйстве бактериальных препаратов, следует считать и нерегулярную воспроизводимость результатов инокуляции, что не позволяет надежно прогнозировать реакцию растений [12, 13].

Цель настоящего исследования – научное обоснование эффективного применения биопрепаратов на основе ризосферных микроорганизмов на яровых зерновых культурах, выявление закономерностей их влияния на использование растениями азота.

**Методика.** Действие биопрепаратов ризосферных бактерий и роль различных источников питания в формировании продуктивности яровой пшеницы исследо-

\*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 18-016-00200.

вали в микрополевым опыте по схеме, представленной в табл. 1. Высевали инокулированные биопрепаратами ризосферных бактерий семена яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата. Микрополевым опыт проводили в 2018-2019 гг. в сосудах без дна площадью 0,018 м<sup>2</sup> на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Смоленской области со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,91-1,96%, подвижных форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по Кирсанову) – соответственно 125,1-140,8 и 129,0-166,0 мг/кг почвы, рН<sub>KCl</sub> 5,6-5,7; повторность опыта – 4-кратная. В целях лучшего восприятия результатов опыта соответствующие показатели даны в пересчете на г/м<sup>2</sup>. Предшественником яровой пшеницы была гречиха.

Минеральные удобрения вносили при набивке сосудов почвой. В качестве азотного удобрения применяли аммиачную селитру <sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>15</sup>NO<sub>3</sub> с обогащением 54,04 ат.% в дозе 81 мг/сосуд и 162 мг/сосуд, что соответствует 45 и 90 кг N/га. В качестве фона и контроля были суперфосфат двойной и хлористый калий в дозах P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. Семена яровой пшеницы в день посева обрабатывали микробиологическими препаратами: Ризоагрином (РА) на основе штамма 204, относящемуся к роду *Agrobacterium radiobacter*, способен фиксировать атмосферный азот и переводить его в легкоусвояемую форму азотсодержащих соединений; КЛ-10 на основе штамма ассоциативных ризобактерий, относящихся к роду *Pseudomonas sp.*, выделен из ризосферы растений ячменя и обладает высокой ростстимулирующей активностью; 17-1 на основе штамма ассоциативных ризобактерий, относящихся к роду *Pseudomonas sp.*, выделен из ризосферы растений ячменя и обладает высокой антифунгальной активностью по отношению к спектру фитопатогенных грибов, а также высокой ростстимулирующей активностью. Препараты, содержащие в 1 г 5-10 млрд клеток бактерий, представляют собой порошковидные торфяные субстраты влажностью 45–50 %. Штаммы хорошо приживаются в ризосфере злаковых культур [14]. В исследованиях использовали общепринятые методы анализов почвенных и растительных образцов. Расчет гидротермического коэффициента по Г.Т. Селянинову (ГТК) определяли

как отношение суммы осадков (O) в мм за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С к сумме температур (Σt) за это же время, уменьшенной в 10 раз, то есть ГТК = O/0,1Σt. Статистический анализ экспериментальных данных проведен дисперсионным методом по модели трехфакторного полевого опыта с использованием программ Excel и Statistica. Достоверность различий оценена по F-критерию Фишера.

Метеорологические условия в период вегетации существенно влияли на эффективность азотных удобрений и инокуляцию семян биопрепаратами [14, 15]. В годы исследований погодные условия различались, вегетационный период 2018 г. характеризовался в основном повышенной температурой воздуха и крайне неравномерным распределением атмосферных осадков. В мае-июне количество выпавших осадков достигало 65% от среднемноголетнего значения, в июле – 268%. ГТК за период вегетации яровой пшеницы составил 1,78. В мае-июне 2019 г. температура воздуха была на 2,5-4,6 °С выше климатической нормы при значительном выпадении осадков (+14% к среднемноголетнему значению), что позволило растениям сформировать значительную биомассу. Погодные условия июля-августа 2019 г. были близки климатической норме. ГТК за период вегетации яровой пшеницы составил 1,31.

**Результаты и обсуждение.** Масса зерна яровой пшеницы зависела от применяемых удобрений и биопрепаратов (табл. 1), а также варьировала по годам из-за меняющихся гидротермических условий в период вегетации. Недостаток влаги в 2018 г. в фенологические фазы всходы – выход в трубку привел к существенному снижению сбора зерна – 24-40% от среднего значения за годы исследований. На фоне РК-удобрений масса зерна в среднем составила 105,7 г/м<sup>2</sup>. За счет улучшения азотного питания растений при внесении одноименного удобрения N<sub>45</sub> [14, 16] она возросла более чем в 2 раза, при дозе N<sub>90</sub> – в 3,5 раза. В среднем за два года на фоне РК инокуляция семян яровой пшеницы Ризоагрином обеспечила прибавку зерна 25%, штаммом КЛ-10 – 33%, штаммом 17-1 – 22%. Таким образом, от инокуляции семян биопрепаратами ризосферных бактерий прибавка зерна была меньше, чем от азотного удо-

Табл. 1. Эффективность применения удобрений и биопрепаратов ризосферных бактерий на яровой пшенице, в среднем за 2 года

Вариант	Масса зерна, г/м <sup>2</sup>	K <sub>хоз</sub>	Прибавка зерна к контролю		Содержание N, %		Азотный индекс, %
			г/м <sup>2</sup>	%	зерно	солома	
Фон – P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (Ф) – контроль	105,7	0,39	–	–	1,78	0,42	74
Ф + Ризоагрин (РА)	132,4	0,41	26,7	25	1,94	0,45	75
Ф + Штамм КЛ-10	140,1	0,40	34,4	33	1,94	0,45	74
Ф + Штамм 17-1	128,5	0,42	22,8	22	1,83	0,37	78
Ф + N <sub>45</sub>	219,7	0,42	114,0	108	1,70	0,36	77
Ф + N <sub>45</sub> + РА	225,8	0,40	120,1	114	1,71	0,34	77
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм КЛ-10	243,3	0,41	137,6	130	1,82	0,35	78
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм 17-1	242,6	0,42	136,9	130	1,76	0,40	76
Ф + N <sub>90</sub>	369,3	0,46	263,6	249	1,83	0,37	81
P, %	4,43	3,11	4,43		2,74	3,41	
HCP <sub>05</sub> А – удобрение	8,9	0,02	8,9		0,03	0,02	
HCP <sub>05</sub> В – биопрепарат	20,6	0,02	20,6		0,06	0,03	
HCP <sub>05</sub> частных различий	30,5	0,03	30,5		0,09	0,05	

**Табл. 2. Содержание в зерне и сбор сырого белка**

Вариант	Содержание сырого белка в зерне, %			Сбор сырого белка, г/м <sup>2</sup>		
	2018 г.	2019 г.	среднее	2018 г.	2019 г.	среднее
Фон – P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (Ф)	12,0	9,0	10,1	9,6	11,8	10,7
Ф + Ризоагрин (РА)	13,1	9,9	11,1	12,5	16,8	14,7
Ф + Штамм КЛ-10	14,3	9,2	11,1	14,9	16,1	15,5
Ф + Штамм 17-1	13,3	8,8	10,4	12,3	14,5	13,4
Ф + N <sub>45</sub>	12,3	8,5	9,7	16,9	25,6	21,3
Ф + N <sub>45</sub> + РА	12,1	8,6	9,7	18,2	25,7	22,0
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм КЛ-10	12,9	9,1	10,3	20,5	29,9	25,2
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм 17-1	11,7	9,3	10,0	17,0	31,6	24,3
Ф + N <sub>90</sub>	13,1	9,2	10,5	30,6	46,7	38,6
НСР <sub>05</sub> частных различий	0,4	0,5	0,5	0,5	1,3	1,0

брения N<sub>45</sub>, что связано с низким содержанием в почве доступных для растений соединений азота [14, 16, 17].

На величину коэффициента хозяйственной эффективности урожая существенно влияли погодные факторы периода вегетации. В 2019 г. в условиях достаточного увлажнения и благоприятного температурного режима (ГТК 1,31) отмечено наибольшее значение этого показателя – 0,42-0,48. Засушливые условия вегетации 2018 г. способствовали уменьшению массы зерна яровой пшеницы и привели к значительному снижению хозяйственного коэффициента, который в большинстве вариантов достигал 0,32-0,42. Это обусловлено уменьшением массы зерновки и количества зерен в колосе (масса 1000 зерен снизилась на 7-12%, количество зерен в колосе – в 1,3-2,2 раза).

На показатель K<sub>хоз</sub> в большей степени влияло увеличение дозы азотного удобрения до N<sub>90</sub> на фоне P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. Его величина составила 0,46, что на 18% выше, чем на фоне РК, и обусловлено повышением доли зерна в общебиологическом урожае, что, по-видимому, связано с изменением донорно-акцепторных отношений между колосом и вегетативной массой [16]. Существенных различий в значении величины K<sub>хоз</sub> при применении РК и N<sub>45</sub> РК не установлено. Отмечена положительная тенденция роста этого показателя при инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами, особенно штаммом 17-1 (+8%).

**Табл. 3. Вынос (г/м<sup>2</sup>) элементов питания яровой пшеницей с урожаем зерна и соломы**

Вариант	Зерно			Солома		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Фон – P <sub>30</sub> K <sub>45</sub> (Ф)	1,88	1,68	2,08	0,67	0,73	0,62
Ф + Ризоагрин (РА)	2,57	2,20	2,95	0,85	0,99	0,71
Ф + Штамм КЛ-10	2,72	2,61	2,83	0,94	1,12	0,76
Ф + Штамм 17-1	2,35	2,16	2,55	0,67	0,74	0,61
Ф + N <sub>45</sub>	3,73	2,96	4,49	1,09	1,13	1,04
Ф + N <sub>45</sub> + РА	3,86	3,19	4,52	1,18	1,12	1,23
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм КЛ-10	4,43	3,59	5,24	1,24	1,14	1,34
Ф + N <sub>45</sub> + Штамм 17-1	4,27	2,98	5,54	1,31	1,33	1,30
Ф + N <sub>90</sub>	6,76	5,37	8,19	1,61	1,43	1,79
НСР <sub>05</sub> частных различий	0,31	0,23	0,29	0,16	0,21	0,24

Использование минерального азотного удобрения отразилось на распределении азота по отдельным органам яровой пшеницы. Большая часть потребленного азота накапливалась в зерне, меньшая – в соломе. В зерне при улучшении обеспеченности растений азотом в период вегетации содержалось 76-81% количества данного элемента, накопленного в урожае. Это свидетельствует об эффективном использовании растениями азота на формирование хозяйственно ценной части урожая яровой пшеницы. При недостатке азота (вариант РК) растения были вынуждены реутилизировать потребляемый азот из вегетативных органов в генеративные – зерно, особенно в условиях недостаточного или избыточного увлажнения. Об этом свидетельствует доля азота зерна – 74% общего его накопления в надземной биомассе.

Эффективность использования растениями азота оценивают по накоплению его в растениях и прежде всего в зерне, что напрямую влияет на содержание в нем белка. Содержание азота в зерне, как и белка, подвержено большой изменчивости и зависит от условий выращивания (модификационная изменчивость) и наследственных (генотипических) особенностей [18]. В нашем опыте содержание азота в зерне при применении удобрений и микробных биопрепаратов составляло 1,70-1,94%. На фоне фосфорных и калийных удобрений его концентрация в зерне яровой пшеницы достигала 1,78%. При внесении азотного удобрения в дозе N<sub>45</sub> содержание азота снижалось до 1,70%, что обусловлено ростовым разбавлением. Достаточное увлажнение в период кущения способствует в дальнейшем закладыванию большего количества зерен в колосе, увеличивает ростовое разбавление азота в растении в результате повышения урожайности при таком же запасе азота в почве [19]. При внесении азотного удобрения в дозе N<sub>90</sub> отмечена положительная тенденция роста концентрации азота в зерне на 0,05%. Инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратами за счет улучшения питания растений достоверно повышала содержание азота в зерне на 0,05-0,16%.

Концентрация азота в соломе яровой пшеницы в результате применения удобрений снижалась, что обусловлено ростовым разбавлением, при инокуляции биопрепаратами – существенно не менялась.

На белковость зерна значительно влияли гидротермические условия периода вегетации (табл. 2). В 2018 г. при недостаточном количестве осадков в мае-июне содержание белка в зерне составляло 12,0-14,3 %. В усло-

виях нормального увлажнения в 2019 г. оно было на 2,5-5,1% меньше. При применении азотного удобрения в дозе  $N_{45}$  количество белка снижалось, что обусловлено ростовым разбавлением, а при дозе  $N_{90}$  отмечена положительная тенденция его увеличения. Вместе с тем за счет роста массы зерна сбор белка при внесении  $N_{45}$  увеличился в 2 раза, при  $N_{90}$  – в 3,6 раза. Достоверный эффект от биопрепаратов проявился только в 2018 г. Масса зерна и сбор белка были выше при применении фосфорного и калийного удобрений и инокуляции семян биопрепаратами, чем при использовании только минеральных удобрений. Это свидетельствует об улучшении азотного питания растений за счет ассоциативной азотфиксации (РА) и ростстимулирующей активности изучаемых микробных препаратов.

Вынос азота зависел от биологических особенностей культуры и почвенных условий (табл. 3). Применение  $N_{45}$  способствовало увеличению выноса азота с урожаем в среднем в 2 раза,  $N_{90}$  на фоне РК – в 3,6 раза. Инокуляция семян биопрепаратами способствовала росту накопления азота в 1,2-1,4 раза на фоне РК и в 1,04-1,2 раза – на фоне НРК, но увеличение было меньше, чем от азотного удобрения. Использование азотного удобрения и биопрепаратов повышало вынос азота биомассой яровой пшеницы в 2,1-2,4 раза.

Вынос фосфора и калия в большей мере определялся концентрацией их в зерне и уровнем зерновой продуктивности. При внесении азотного удобрения в дозе  $N_{45}$  вынос фосфора возрастал в 1,8 раза, калия – в 2,2 раза. Применение  $N_{90}$  увеличивало потребление фосфора в 3,2 раза, калия – в 3,9 раза. Инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратами способствовала повышению зерновой продуктивности и выноса фосфора в 1,3-1,6 раза, калия – в 1,2-1,4 раза.

Таким образом, применение биопрепаратов на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве положительно влияет на рост массы зерна яровой пшеницы, улучшает качество получаемой продукции, увеличивает окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая.

#### Литература

1. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Том 2. Экологические аспекты роли азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2012. – 272 с.
2. Кудеяров В.Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Т.85. – №9. – С. 771-775.
3. Кудеяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрехимия. – 2017. – №6. – С. 3-11.
4. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. – 2011 – № 3. – С. 3-9.
5. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28-32.
6. Пиццук В.Н., Воробьев Н.И., Моисеев К.Г., Свиридова О.В., Сурин В.Г. Влияние бактерий *Bacillus subtilis* на физиологическое состояние растений пшеницы и микробоценоз почвы при использовании различных доз азотных удобрений // Почвоведение. – 2015. – №1. – С. 87-94.
7. Roithballer M., Schmid M., Hartmann A. Diazotrophic Bacterial Endophytes in Gramineae and Other Plants // Microbiology Monographs. – 2009. – V. 8. – P. 273-302.
8. Ruby E.J., Raghunath T.M. A Review: Bacterial endophytes and their bioprospecting // Journal of Pharmacy Research. – 2011. – V. 4. – №. 3. – P. 795-799.
9. Ohkama-Ohtsu N., Wasaki J. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms // Plant Cell Physiol. – 2010. – V. 51. – P. 1255-1264.
10. Шабаетов В.П. Роль биологического азота в системе «почва-растение» при внесении ризосферных микроорганизмов: дис. ... докт. биол. наук: 06.01.04. – Пуццоно, 2004. – 277 с.
11. Ilyas N., Bano A. Azospirillum strains isolated from roots and rhizosphere soil of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under different soil moisture conditions // Biology and Fertility of Soils. – 2010. – V. 46. – P. 393-406.
12. Умаров, М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 2. – С. 22-26.
13. Skonieski F.R., Viégas J., Martin T.N., Nörnberg J.L., Meinerz G.R., Tonin T.J., Bernhard P., Frata M.T. Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality // Revista Brasileira de Zootecnia. – 2017. – V. 46. <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-92902017000900003>.
14. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. – М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – 302 с.
15. Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 16-22.
16. Завалин А.А., Соколов О.А. Поток азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
17. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия. Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 112-115.
18. Завалин А.А. Азотное питание и продуктивность сортов яровой пшеницы. – М.: Агроконсалт, 2003. – 152 с.
19. Пасынкова Е.Н. Агрехимические приемы регулирования урожайности и качества зерна пшеницы: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04. – Киров, 2013. – 340 с.

Поступила в редакцию 14.03.20  
После доработки 30.03.20  
Принята к публикации 01.04.20