

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОБИОТЕХНОЛОГИЙ

**О.В. Черникова, к.б.н., Ю.А. Мажайский, д.с.-х.н.,  
ФКОУ ВО «Академия права и управления  
Федеральной службы исполнения наказаний»  
390000, Россия, Рязань, ул. Сенная, 1  
E.mail: chernikova\_olga@inbox.ru**

Проведены лизиметрические исследования в 2021–2023 г., в которых применяли 1%-ный жидкофазный биопрепарат, наночастицы железа (20 мг/л), а также компост многоцелевого назначения в дозе 12 т/га. Результаты показали, что применение компоста многоцелевого назначения (КМН) и обработка семян жидкофазным биопрепаратом (ЖФБ) и наночастицами Fe способствуют повышению урожайности, улучшению агрохимических показателей серой лесной почвы. Наиболее высокий урожай основной продукции – зерна – 5,55 т/га был получен при сочетании КМН с наночастицами железа, что превысило контрольный вариант на 30,6%. При этом с 2,7 до 3,3% повысилось содержание органического вещества, с 227 до 387 мг/кг – подвижного фосфора, с 198 до 257 мг/кг – подвижного калия, с 7,9 до 8,4 ммоль/100 г – сумма поглощенных оснований, с 0,071 до 0,087% – общего азота, с 18,0 до 22,7 мг/кг – нитратного азота, с 5,4 до 6,0 снизилась кислотность почвы.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, серые лесные почвы, компост многоцелевого назначения, наночастицы железа, жидкофазный биопрепарат.

Для цитирования: Черникова О.В., Мажайский Ю.А. Продуктивность яровой пшеницы при применении нанобиотехнологий// Плодородие. – 2025. – №5. – С. 72-77. DOI: 10.25680/S19948603.2025.146.13.

Сохранение и воспроизводство плодородия различных типов почв являются важным условием эффективного и устойчивого развития агропромышленного комплекса, стабильности производства сельскохозяйственной продукции. Для того, чтобы гарантировать продовольственную безопасность и повысить объем сельскохозяйственного производства в России важно не только продуктивно использовать земельные ресурсы, но и реабилитировать деградированные и малоплодородные земли. Для эффективного использования малопродуктивных почв необходима система мелиоративных мероприятий по расширенному воспроизводству почвенного плодородия, основанная на восстановлении их свойств [4].

Значительная площадь земель отличается неудовлетворительным экологическим и мелиоративным состоянием. На этих территориях наблюдаются активные процессы деградации. Данная критическая экологическая ситуация требует создания новых технологий и технических решений для восстановления плодородия малопродуктивных земель.

Использование минеральных удобрений утрачивает свою значимость, поэтому для получения высоких и качественных урожаев сельхозпроизводители все чаще обращаются к биоудобрениям и биоактивным препаратам [1, 5]. Эти удобрения обогащают почву дополнительными структурными компонентами, тогда как биоактивные препараты способствуют эффективной мобилизации органических веществ и активируют почвенные микроорганизмы.

Контроль биологических процессов в агроценозах можно осуществлять через введение агрономически значимых штаммов микроорганизмов в ризосферу сельскохозяйственных культур, что способствует усилению положительных факторов или снижению негативного влияния неблагоприятных явлений на их развитие [3, 6]. На сегодняшний день, основываясь на множестве проведенных экспериментов, можно сказать, что взаимодействие

и ассоциация микроорганизмов с растительными организмами составляет основу их жизнедеятельности.

Основными механизмами, с помощью которых микроорганизмы оказывают положительное воздействие на растения, являются: улучшение их питания (увеличение эффективности усвоения питательных веществ из почвы и удобрений); оптимизация усвоения фосфора; фиксация азота из атмосферы (что приводит к лучшему азотному питанию); стимуляция роста и развития (ускорение процессов роста и созревания урожая); подавление деятельности фитопатогенов (снижение уровня заболеваний и улучшение хранения продукции); а также повышение устойчивости растений к стрессовым факторам (возможность повышения их продуктивности в условиях нехватки воды, неблагоприятных температур, высокой кислотности, засоленности или загрязненности почвы).

Использование биостимуляторов влияет на обмен веществ у растений, способствуя созданию оптимальных условий для их роста, в том числе при стрессе. В отличие от химических средств, биопрепараты демонстрируют большую избирательность своего воздействия. Кроме того, они считаются безопасными для человека и животных, а также быстро разлагаются в земле.

Во Всероссийском НИИ мелиорированных земель разработан компост многоцелевого назначения (КМН) – высотехнологичное биоудобрение. Основным достоинством и преимуществом его являются высокая питательность, физиологичность, экологичность и биогенность. КМН представляет собой ценное органическое удобрение с быстрым действием, которое изготавливается посредством ускоренного процесса компостирования навоза, птичьего помета, а также других биосубстратов в специальных биоферментерах. Данное удобрение содержит все необходимые для роста и развития растений питательные вещества в легко усваиваемой форме [7].

В последние годы для повышения продуктивности сельского хозяйства, за счет увеличения как урожайности, так и качества производимой продукции, все активнее применяют нанотехнологии и биопрепараты.

Исследования показывают, что применение нано- и биотехнологий может оказать благотворное воздействие на агропродовольственную сферу, минимизируя негативные эффекты аграрной деятельности на окружающую среду и здоровье человека, а также способствуя улучшению продовольственной безопасности и повышению производительности [7-9].

Применение микроэлементов для стимуляции роста растений ограничивается установленными ПДК – предельно допустимыми концентрациями и риском загрязнения экосистемы.

В последнее время наблюдается активное применение нанокристаллических порошков металлов в роли микроудобрений.

Использование наночастиц железа в качестве биостимуляторов подчеркивает их потенциальные преимущества, учитывая, что железо является необходимым элементом для жизни и участвует в окислительных реакциях, а также входит в состав различных ферментов. Применение наночастиц железа способствует улучшению качества семян при посеве, что в свою очередь ведет к повышению урожайности [2].

**Цель данного исследования** – оценить продуктивность яровой пшеницы при выращивании ее на серых лесных почвах с применением нанобиотехнологий.

**Методика.** Лизиметрические исследования проводили с 2021 по 2023 г. на малопродуктивной серой лесной почве.

В качестве экспериментальной была выбрана яровая пшеница сорта «Аквилон». Растение средней высоты, прямостоячее, хорошей устойчивостью к полеганию и осыпанию зерна. Корневая система быстро развивается, что способствует повышенной стойкости сорта к сильной жаре и засухе. Колос плотный, белого цвета, цилиндрической формы и имеет выраженный восковый налет,



а его верхушка покрыта короткой, тонкой остью. Имеет высокую урожайность и отличные характеристики зерна, что относит её к 1-2 классу, делая её подходящей для хлебопекарной промышленности. Хорошо переносит неблагоприятные погодные условия и, как правило, не полегает при созревании. Высокое содержание белка в зерне особенно ценно для производства круп. Однако следует отметить недостаток: слабая устойчивость к некоторым грибным и вирусным заболеваниям.

Схема лизиметрического опыта включала варианты с использованием биоудобрения КМН, а также биосредства – жидкофазный биопрепарат (ЖФБ) и наночастиц железа.

Схема лизиметрического опыта:

1. Контрольный вариант (К);
2. Суспензия наночастиц Fe (НЧFe);
3. Жидкофазный биопрепарат в концентрации 1% (ЖФБ);
4. КМН, 12 т/га (КМН);
5. КМН, 12 т/га + суспензия наночастиц Fe (КМН + НЧFe);
6. КМН, 12 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 1% (КМН + ЖФБ);
7. Жидкофазный биопрепарат в концентрации 1% + суспензия наночастиц Fe (ЖФБ + НЧFe);
8. КМН, 12 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 1% + суспензия наночастиц Fe (КМН + ЖФБ + НЧFe).

Исследования проведены в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем. Площадь стационарных полевых лизиметров 1,13 м<sup>2</sup>. Лизиметры заполнены серой лесной среднесуглинистой почвой (рис. 1).



Рис. 1. Площадка лизиметрического опыта по возделыванию яровой пшеницы с использованием нанобиотехнологий

Перед закладкой опыта почва опытного участка характеризовалась слабокислой реакцией почвенной среды (рН 5,32–5,52), содержание подвижных форм фосфора и калия варьировало несущественно: содержание калия – 193 мг/кг, общего азота – 0,069%, подвижного фосфора – 278 мг/кг.

КМН представляет собой высокотехнологичное органическое удобрение, получаемое в процессе быстрого компостирования навоза, куриного помета и других субстратов в специальных биоферментерах, разработанных во ВНИИМЗ. Данное удобрение содержит все необходимые макро- (калий, фосфор, азот) и микроэлементы (цинк, медь, магний, бор и др.) в легкодоступной форме, что способствует нормальному развитию растений.

Массовая доля сухого вещества составляет 38 %. В 1 т КМН может находиться от 60 до 90 кг д.в. НРК, а именно 15–20 кг калия, 20–30 фосфора и 25–40 кг азота. Способствует снижению кислотности почвы наличием кальция в составе КМН. Вносимая в лизиметрическом опыте доза составляет 12 т/га, что соответствует 120 кг д.в. калия, 180 фосфора и 300 кг д.в. азота.

ЖФБ – это биопрепарат, который характеризуется агрономически полезной микрофлорой, а также физиологически активными веществами и элементами, необходимыми для роста и развития растений. Разработчиком его является ВНИИМЗ. Данный биопрепарат способствует активизации биохимических процессов, фотосинтеза и улучшению усвоения питательных веществ,

увеличивает накопление азота в генеративных органах растений. Его влияние на развитие растений связано с улучшением метаболических процессов, в том числе с преобразованием сложнодоступных органических соединений в почве. Препарат имеет высокую концентрацию полезной микрофлоры (от  $10^9$  до  $10^{12}$  КОЕ/мл): аммонифицирующих микроорганизмов  $2,8 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^9$  КОЕ/мл, амилотических микроорганизмов  $4 \cdot 10^9 - 4,5 \cdot 10^9$ ; микроорганизмов, выделяющих свободные аминокислоты  $9 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9$ , фосфатмобилизующих микроорганизмов  $1,7 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^9$ , микроорганизмов: потребляющих глюкозу в качестве единственного источника углерода  $7 \cdot 10^8 - 7,5 \cdot 10^8$ , потребляющих сорбит в качестве единственного источника углерода  $6 \cdot 10^8 - 6,5 \cdot 10^8$ , потребляющих сахарозу в качестве единственного источника углерода  $1,5 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^9$ , энтеробактерий не более  $1 \cdot 10^5$  КОЕ/мл) и значительную питательную ценность ( $P_2O_5$  до 15 г/л и  $K_2O$  до 12,5 г/л). Он также содержит микроэлементы (кальций, магний, цинк, марганец, медь) и физиологически активные компоненты, такие как сахара и аминокислоты, обладает оптимальным уровнем кислотности (рН 7,0–8,0) и высокими санитарно-гигиеническими показателями, не содержащими тяжелых металлов, патогенной микрофлоры или яиц гельминтов.

Размер наночастиц железа – 40–60 нм, с фазовым составом железа – 100%. Данные наночастицы были синтезированы в Московском институте стали и сплавов.

Суспензию наночастиц металла получали ультразвуковым диспергированием в водном растворе.

Концентрация наночастиц железа составляла 0,01 г/га, биопрепарата ЖФБ – 1%. КМН вносили в дозе 12 т/га. За 30 мин до посева семена замачивали в двойной дистиллированной воде и суспензии наночастиц Fe и ЖФБ, согласно вариантам опыта.

Технология возделывания яровой пшеницы на серой лесной почве в лизиметрах в основном была общепринятой для данного региона, однако имела свои особенности, связанные с проведением лизиметрических исследований.

**Результаты и их обсуждение.** Урожайность является ключевым показателем эффективности как растениеводства, так и сельскохозяйственного производства. Она показывает, как различные условия выращивания растений и качество технологии влияют на сбор урожая.

Одним из признаков высоких морфологических возможностей, определяющих продуктивность растений, служит размер фотосинтетических органов. В нашем исследовании наблюдалась прямая связь между биометрическими показателями и уровнем урожайности.

Применение органического удобрения и обработка семян яровой пшеницы наночастицами железа в сочетании с жидкофазным биопрепаратом оказали различное влияние на её продуктивность (рис. 2, табл. 1).

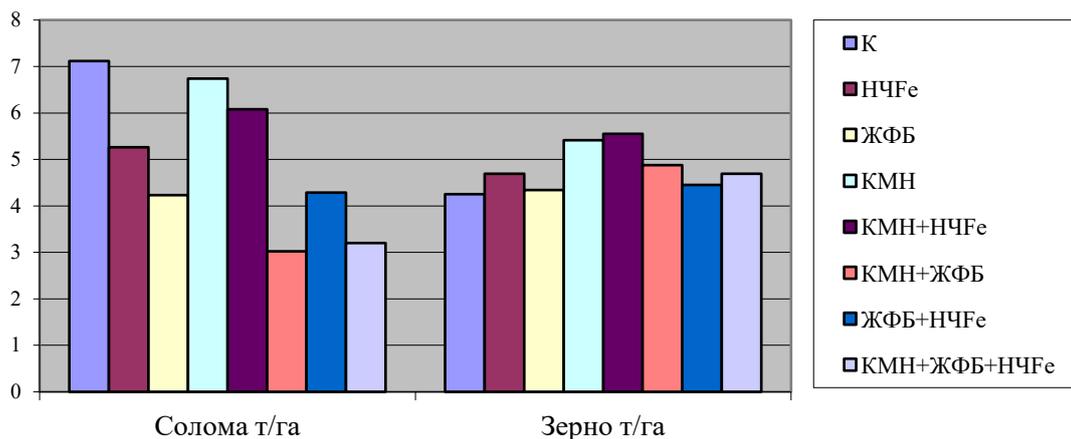


Рис. 2. Основная и побочная продукция яровой пшеницы (в среднем за 2021-2023 г.)

**1. Урожайность основной и побочной продукции яровой пшеницы при использовании нанобиотехнологий (в среднем за 2021-2023 г.), т/га**

Вариант	Масса продукции (т/га)						Соотношение солома:зерно
	Солома	изменение		Зерно	изменение		
		±т/га	%		±т/га	%	
К	7,12	-	-	4,25	-	-	1,66
НЧFe	5,26	-1,86	26,1	4,69	+0,71	+16,7	1,12
ЖФБ	4,23	-2,89	40,6	4,34	+0,09	+2,1	0,97
КМН	6,74	-0,38	5,3	5,41	+1,16	+27,3	1,25
КМН + НЧFe	6,08	-1,04	14,6	5,55	+1,30	+30,6	1,10
КМН + ЖФБ	3,02	-4,10	57,6	4,88	+0,63	+14,8	0,62
ЖФБ + НЧFe	4,29	-2,83	39,7	4,45	+0,20	+4,7	0,96
КМН+ЖФБ+НЧFe	3,20	-3,92	55,1	4,69	+0,44	+10,4	0,68
НСР <sub>05</sub> , т/га	0,13			0,12			

Наибольшая масса основной продукции была в варианте КМН + НЧFe. Также следует отметить вариант с применением только биоудобрения. Предпосевная обработка семян ЖФБ и ЖФБ в сочетании с НЧFe не дала значительного увеличения сбора зерна. Урожайность побочной продукции была наибольшей в контрольном

варианте опыта. Несколько ниже данный показатель был в варианте КМН.

Следует отметить, что с применением компоста многофункционального назначения, а также предпосевной обработки семян наночастицами железа и жидкофазным биопрепаратом уменьшилось отношение массы соломы

к массе зерна. Это позволило сформировать больший урожай основной продукции во всех вариантах опыта по сравнению с контрольным вариантом.

Анализируя агрохимические показатели почвы (табл. 2), можно отметить, что предпосевная обработка семян, а также использование биоудобрения способствовали их

улучшению. Применение органического удобрения способствовало нейтрализации почвенного раствора по сравнению с контрольным вариантом опыта, а также вариантов, где использовали только предпосевную обработку семян.

2. Агрохимические показатели серой лесной почвы

Показатель	К	НЧFe	ЖФБ	КМН	КМН+ НЧFe	КМН+ЖФБ	ЖФБ+НЧFe	КМН+ЖФБ+НЧFe
pH <sub>вод.</sub>	5,4	5,5	5,5	5,9	6,0	5,9	5,5	6,0
pH <sub>сол.</sub>	4,6	4,8	4,8	5,0	5,2	5,2	4,8	5,2
Органическое вещество, %	2,7	2,8	2,9	3,3	3,3	3,0	2,8	3,0
Фосфор подвижный, мг/кг	277	271	316	364	313	327	358	387
Калий подвижный, мг/кг	198	193	215	230	234	257	220	242
Общий азот, %	0,071	0,080	0,082	0,11	0,13	0,13	0,087	0,13
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	7,9	7,9	7,8	8,3	8,3	8,1	7,8	8,4
Азот нитратный, мг/кг	18,0	20,2	18,7	20,4	22,7	21,8	17,9	20,2

Это способствовало снижению кислотности почвы с 5,4 до 6,0 (pH<sub>вод.</sub>), что перевело ее в категорию почв с кислотностью, близкой к нейтральной. Увеличилось содержание органического вещества. В вариантах КМН и КМН+НЧFe этот показатель стал самым высоким среди всех вариантов опыта и был больше контрольного варианта на 0,6% (прибавка составила 22,2%).

Наибольшее содержание подвижного фосфора и подвижного калия отмечено в варианте КМН+ЖФБ+НЧFe. Сумма поглощенных оснований в вариантах КМН, КМН+НЧFe и КМН+ЖФБ+НЧFe превысила значение контрольного варианта на 6%.

Величина общего и нитратного азота колебалась. Наибольшее содержание разных форм азота отмечено в вариантах КМН+ НЧFe и КМН+ЖФБ. Увеличение общего азота в сравнении с контрольным вариантом опыта составило 83,1%, а нитратного 26,1 и 21,1%, соответственно.

**Выводы.** Внесение компоста многоцелевого назначения и предпосевная обработка семян наночастицами железа позволяют существенно увеличить урожайность яровой пшеницы. Наибольшая масса основной продукции собрана в варианте КМН + НЧFe и составила 5,55 т/га, что больше контрольного варианта опыта на 30,6%. При этом улучшаются агрохимические показатели малопродуктивной серой лесной почвы: снижается кислотность, увеличивается содержание органического вещества, подвижного фосфора и калия, сумма поглощенных оснований, общего и нитратного азота.

#### Литература

- Ефремова Ю.В. Биостимуляторы роста – ресурсосберегающий элемент земледелия // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. – 2016. – № 4(52). – С. 86-91. doi:10.18551/rjoas.2016-04.10
- Лебедев С.В., Осипова Е.А., Сальникова Е.В. Изменение количества макроэлементов в пшенице под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 6. – С. 73-77.
- Ольховская И., Богословская О., Яблоков А., Глуценко Н. Показатели урожайности ярового ячменя после предпосевной обработки семян наночастицами металлов // Российские нанотехнологии. – 2019. – №14. – С. 55-62. doi: 10.21517 / 1992-7223-2019-1-2-55-62
- Плодородие почв: проблемы, перспективы сохранения и повышения [электронный ресурс]. – URL: <https://glavagronom.ru/articles/plodorodie-rochiv-problemy-perspektivy-sohraneniya-i-povysheniya> (дата обращения: 27.05.2025).
- Сабирова Т.П., Сабиров Р.А. Влияние биопрепаратов на продуктивность сельскохозяйственных культур // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 3. – С. 18-22.
- Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Биостимуляторы в агротехнологиях: проблемы, решения, перспективы // Агрохимический вестник. – 2016. – № 1. – С. 15-21.
- Chernikova O., Seregina T., Mazhaysky Y., Buryak S., Ampleeva L. Comparative analysis of the use of biostimulants on the main types of soil // Agronomy Research. – 2021. – Т. 19. № Special Issue 1. – С. 711-720. doi: 10.15159/AR.21.075
- Seregina T., Chernikova O., Mazhaysky Y., Ampleeva L. Features of the influence of copper nanoparticles and copper oxide on the formation of barley crop // Agronomy Research. – 2020. – Т. 18. № Special Issue 1. – С. 1010-1017. doi: 10.15159/AR.20.025
- Tombuloglu H., Ercan I., Alshammari T., Tombuloglu G., Slimani Y., Almessiere M., Baykal A. Incorporation of Micro-nutrients (Nickel, Copper, Zinc, and Iron) into Plant Body Through Nanoparticles // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2020. – №20. – С.1872–1881. doi: 10.1007/s42729-020-00258-2

## PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT WHEN APPLIED NANOBIOTECHNOLOGY

O.V. Chernikova<sup>1</sup>, Yu.A. Mazhayskiy<sup>1</sup>

<sup>2</sup> The academy of the FPS of Russia, 390000, Russia, Ryazan, st. Sennaya, 1

Lysimetric studies were conducted in 2021-2023. In which 1% liquid-phase biological product, iron nanoparticles (20 mg/l), as well as multipurpose compost at a dose of 12 t/ha were used. The results showed that the use of KMN and the treatment of seeds with LPBP and Fe nanoparticles contribute to increased yields and improved agrochemical parameters of gray forest soil. The highest yield of the main product, grain – 5.55 t/ha, was obtained by combining KMN with iron nanoparticles, which exceeded the control option by 30.6%. At the same time, the content of organic matter increased from 2.7 to 3.3%, from 227 to 387 mg/kg of mobile phosphorus, from 198 to 257 mg/kg of mobile potassium, from 7.9 to 8.4 mmol/100g the amount of absorbed bases, from 0.071 to 0.087% of total nitrogen, from 18.0 to 22.7 mg/kg of nitrate nitrogen Soil acidity decreased from 5.4 to 6.0.

Keywords: spring wheat, gray forest soils, multipurpose compost, iron nanoparticles, liquid-phase biological product.