



Научная статья

УДК 631.559:633.1:631.89

doi: 10.55186/25876740_2025_68_4_488

БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА ЗЕРНОПРОПАШНОГО СЕВООБОРОТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ

Г.М. Брескина, Н.П. Масютенко, Н.А. Чуян, А.А. Дюкарева

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Аннотация. Исследования проводили с целью изучения влияния агробиотехнологий на продуктивность культур в звене зернопропашного севооборота: кукуруза (на зеленый корм) — люпин — ячмень. Работа выполнена в 2022-2024 гг. на черноземе типичном Курской области. На вариантах с применением агробиотехнологий использовали микробиологические препараты (МБП) на основе почвенного гриба *Trichoderma longibrachiatum* и на основе консорциума бактерий рода *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, *Azotobacter*, *Bacillus*, которыми инокулировали семена, почву, посевы и побочную продукцию. Варианты опыта: контроль (общепринятая технология); измельченная побочная продукция (ПП) культуры; ПП + 10 кг д.в. N на 1 т ПП (N); ПП + известь 1,5 т/га; ПП + МБП (агробиотехнология-1); ПП + МБП + N (агробиотехнология-2); ПП + МБП + известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3). Полевые опыты проводили согласно методике Госсортотестирования. В зависимости от теплопи- и влагообеспеченности разложение целлюлозы возрастает в 2-4 раза при применении микробиологических препаратов по сравнению с контролем. Самым эффективным является вариант совместного внесения биопрепараторов с минеральными азотными удобрениями. Применение соломистых остатков в качестве органического удобрения без инокулянтов приводит к появлению устойчивого фитотоксичного эффекта. При постоянном внесении растительных остатков со второго года в звене зернопропашного севооборота наблюдается снижение продуктивности культур. Продуктивность звена зернопропашного севооборота имеет прямую связь с токсичностью почвы ($R^2=0,62$). Применение агробиотехнологий значительно увеличивает продуктивность звена севооборота. Максимальное увеличение продуктивности до 3,1 тыс. зерн. ед./га по отношению к общепринятой технологии дала агробиотехнология-1.

Ключевые слова: агробиотехнология, целлюлозолитическая активность, токсичность, продуктивность, кукуруза, люпин, ячмень**Благодарности:** работа подготовлена по теме государственного задания № FGZU-2022-0001.

Original article

BIOLOGICAL CONDITION OF SOIL AND PRODUCTIVITY OF A LINK GRAIN-PLOWING CROP ROTATION UNDER APPLICATION OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES

G.M. Breskina, N.P. Masyutenko, N.A. Chuyan, A.A. Dyukareva

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

Abstract. The research was conducted to study the impact of agro-biotechnology on crop productivity in the link of grain-plowing crop rotation: corn (for green fodder) — lupine — barley. The work was carried out in 2022-2024 on typical chernozem of Kursk region. Microbiological preparations (MBP) based on the soil fungus *Trichoderma longibrachiatum* and on the consortium of bacteria of the genus *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, *Azotobacter*, *Bacillus*, which were inoculated seeds, soil, crops and by-products, were used on variants with the use of agro-biotechnology. Experiment variants: control (conventional technology); chopped by-products (BP) of the crop; BP + 10 kg d.w. N per 1 t of BP (N); BP + lime 1,5 t/ha; BP + IBP (agrobiotechnology-1); BP + IBP + N (agrobiotechnology-2); BP + IBP + lime 1,5 t/ha (agrobiotechnology-3). Field experiments were conducted according to the methodology of the State Variety Testing Center. Depending on heat and moisture availability, cellulose decomposition increases 2-4 times with the application of microbiological preparations compared to the control. The most effective is the variant of joint application of biopreparations with mineral nitrogen fertilizers. The use of straw residues as an organic fertilizer without inoculants leads to the appearance of a stable phytotoxic effect. At constant application of crop residues from the second year in the grain-slash crop rotation link there is a decrease in crop productivity. Productivity of a link of grain-plowing crop rotation has a close direct relationship with soil toxicity ($R^2=0,62$). The application of agro-biotechnology significantly increases the productivity of the crop rotation link. The maximum increase in productivity up to 3.1 thousand grain units/ha in relation to the conventional technology gave agro-biotechnology-1.

Keywords: agro-biotechnology, cellulosolytic activity, toxicity, productivity, corn, lupine, barley**Acknowledgments:** the work was prepared on the topic of the State Assignment No. FGZU-2022-0001.

Введение. В настоящие времена в агроэкосистемах запасы органического вещества в основном пополняются за счет пожнивных растительных остатков [1, 2]. Низкая скорость разложения соломы и накопление ее биомассы в верхнем почвенном слое почвы являются основными сдерживающими факторами при использовании растительных остатков как органических удобрений [3, 4].

Ежегодное внесение соломистых остатков в почву в качестве органических удобрений может приводить к появлению устойчивого фитотоксичного эффекта [5, 6]. Применение биопрепараторов-деструкторов усиливает минерализацию соломистых остатков [7, 8], в резуль-

тате чего почва обогащается питательными элементами [9].

Обработка вегетирующих растений микробиологическими препаратами положительно влияет на рост и развитие растений [1-12]. Эффективность биопрепараторов определяется способностью микроорганизмов образовывать симбиозы с высшими растениями [13].

Однако некоторые ученые отмечают отсутствие устойчивого положительного результата при использовании биопрепараторов. Так, в работах [14, 15] говорится, что после обработки посевов микробиологическими препаратами не наблюдалось увеличение роста растений по отношению к контролю, что объясняется

низкой концентрацией микроорганизмов в рабочем растворе. В период применения микробиологических препаратов необходимо учитывать тепло- и влагообеспеченность почвы [16].

Растущий интерес у сельхозпроизводителей к микробиологическим препаратам и расширяющийся ассортимент требуют проведения более углубленного изучения влияния биопрепараторов на экологическое состояние почвы и продуктивность культур в севообороте. Наиболее информативными считаются биологические показатели почв, такие как целлюлозолитическая активность почвы и фитотоксичность [17].



Цель работы — изучить влияние агробиотехнологий с использованием микробиологических препаратов на биологическое состояние почвы и продуктивность культур.

Условия и методика исследований. Результаты по влиянию агробиотехнологий на биологическое состояние почвы и продуктивность культур получены в 2022-2024 гг. на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Медвенский район Курской области, с. Панино), в качестве уравнительного посева использовали озимую пшеницу. В звене зернопропашного севооборота возделывали: кукуруза на зеленый корм — люпин белый — ячмень яровой. В опыте применяли микробиологические препараты Трихоплант, СК (содержит почвенный гриб и споры *Trichoderma longibrachiatum* (штамм GF 2/6)) и Биогор-Ж (консорциум бактерий рода *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, *Azotobacter*, *Bacillus*).

В качестве азотных минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, кальцийсодержащего компонента — известковую муку.

На всех вариантах опыта после уборки предшествующих культур всю измельченную побочную продукцию использовали в качестве удобрения путем поверхностной заделки их в почву в осенний период, кроме контроля, где послеуборочные остатки были удалены с поля — общепринятая технология для нашего региона.

На вариантах с применением агробиотехнологий использовали микробиологические препараты (МБП), которыми обрабатывали семена (Трихоплант 2 л/т + Биогор-Ж 1 л/т), почву перед посевом (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га), посевы 2 раза за вегетационный период (Трихоплант 2 л/га + Биогор-Ж 1 л/га) и измельченную побочную продукцию (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га). Технология возделывания изучаемых культур зональная, за исключением применения компонентов опыта. Варианты опыта: 1. контроль (общепринятая технология); 2. измельченная побочная продукция (ПП) сельскохозяйственной культуры; 3. ПП + 10 кг д.в. N на 1 т ПП (N) — технология поверхностного компостирования [18]; 4. ПП + известь 1,5 т/га; 5. ПП + МБП или агробиотехнология-1; 6. ПП + МБП + N или агробиотехнология-2; 7. ПП + МБП + известь 1,5 т/га или агробиотехнология-3. Размер делянки — 240 м² (40х6), учетная площадь — 152 м² (38х4), повторность — 3-кратная.

Обработку почвы и побочной продукции культур микробиологическими препаратами проводили опрыскивателем ОП-2000/24. За день до посева семена культур обрабатывали микробиологическими препаратами при помощи ранцевого опрыскивателя и подсушивали в течение суток в затемненном помещении.

Внесение аммиачной селитры осуществляли на весном разбрасывателем РН-0,8 перед заделкой послеуборочных остатков, извести — разбрасывателем РУ-06. Измельченные растительные остатки заделяли в почву дисковой бороной на глубину 10-12 см. Через 30-40 дней после этого проводили основную отвальнюю обработку почвы под зерновые культуры на глубину 20-22 см и под кукурузу на зеленый корм на глубину 25-27 см.

Почва опытного поля — чернозем типичный малогумусный слабоэродированный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинике. При закладке опыта в пахотном слое почвы среднее содержание гумуса (по Тюрину) составляло 4,98±0,15%. Реакция почвенной среды нейтральная или близкая к нейтральной (рНсол — 6,3-6,5). Содержание обменного кальция составляло 22,0-23,3 мг-экв./100 г почвы, подвижных (по Чирикову) форм фосфора и калия — 8,8-12,0 и 9,7-11,2 мг/100 г почвы соответственно, общего азота (по Кельдалю) — 0,22-0,23%, обменного аммония (по методу ЦИНАО (ГОСТ 26487-85) — 10,9-13,2 мг/100 г почвы, нитратного азота (по методу Гранвальд-Ляжу) — 4,8-5,1 мг/100 г почвы.

Учет урожая люпина белого и ярового ячменя осуществляли вручную с метровых учетных площадок в 3-кратной повторности, учет урожая зеленой массы кукурузы (с початками) проводили вручную в период молочно-восковой спелости, согласно действующей методике учета урожайности пропашных культур с площади 10 м² по Доспехову [19].

Определение фитотоксичности проводили в почвенных образцах, отобранных из слоя почвы 0-20 см 4 раза за вегетационный период (1 срок — перед посевом сельскохозяйственных культур; 2 срок — через месяц после посева культуры; 3 срок — после уборки сельскохозяйственных культур; 4 срок — после внесения побочной продукции на удобрение с выдержкой более 30 дней) в 5-кратной повторности — по международному стандарту ISO 11269-2:2012, с применением растительного тест-объекта. В чашки Петри высевали по 100 семян редиса посевного (*Raphanus sativus L.*) и на 3 сутки определяли энергию прорастания семян по ГОСТу 12038-84, расчет индекса токсичности (ИТФ) и оценку токсичности проводили по шкале, предложенной Кабировым Р.Р. с соавторами [20]. Для оценки целлюлозолитической активности почв используют аппликационный метод [21]. В слой почвы 0-20 см помещали полосы льняной ткани, закрепленные на полиэтиленовой пленке, 2 раза за вегетационный период (1 срок — от периода всходов до полной биологической спе-

лости культуры; 2 срок — после внесения растительных остатков на удобрение и выдержки их в почве 30-48 дней) в 3-кратной повторности.

Погодные условия значительно различались по годам. Так, гидротермический коэффициент Т.Г. Селянинова (ГТК), который рассчитывали по данным агрометеорологической станции «Курск» (месторасположение: широта — 51,77°, долгота — 36,17°, высота над уровнем моря — 247 м), показал: 2022 г. — с недостаточным увлажнением (ГТК=0,91), 2023 г. — достаточного увлажнения (ГТК = 1,3), а 2024 г. — засушливый (ГТК = 0,72).

Результаты исследований. Применение агробиотехнологий положительно влияет на целлюлозолитическую активность почвы независимо от культуры, возделываемой в опыте, и периода проведения исследований.

В период активной вегетации кукурузы наблюдалась тенденция увеличения эффективности применения микробиологических препаратов от комплексного их использования с минеральными удобрениями или известью. Так, наибольшее количество целлюлозы разложилось при применении агробиотехнологии-3 (58%), что выше контроля на 26,51% при НСР₀₅=10,33% (табл. 1). Использование технологии поверхностного компостирования растительных остатков позволило минерализовать 41,76% целлюлозы, что значимо ниже агробиотехнологии-2 и агробиотехнологии-3 на 11,41 и 16,3% соответственно.

После применения поживных растительных остатков кукурузы на удобрение наибольшая активность целлюлозолитических микробов выявлена на варианте совместного использования микробиологических препаратов и минерального азота. Интенсивность разложения хлопчатобумажного полотна на данном варианте была выше в 3,4 раза по сравнению с контролем и вариантом 2, где использовались растительные остатки без инокулянтов. Агробиотехнология-1 и технология поверхностного компостирования растительных остатков равнозначно увеличивали разложение целлюлозы в 2 раза по отношению к контролю.

В период активной вегетации люпина интенсивность разложения варьировала от 24,54% на контроле до 68,48% при применении агробиотехнологии-2. При применении только микробиологических препаратов разлагалось 63,48% хлопчатобумажного полотна, что значимо выше на 38,78%. При комплексном использовании биопрепаратов с известью или агробиотехнологии-2 наблюдалось ослабление микробиологической активности по сравнению с агробиотехнологией-1. Так, в варианте 7

Таблица 1. Целлюлозолитическая активность почвы в звене зернопропашного севооборота при применении агробиотехнологий, %
Table 1. Cellulosolytic activity of soil in the grain-plowing crop rotation under the application of agro-biotechnologies, %

Вариант	Кукуруза (2022 г.)		Люпин (2023 г.)		Ячмень (2024 г.)	
	с 15 мая по 7 сентября	с 9 сентября по 14 октября	с 29 апреля по 29 августа	с 1 октября по 1 ноября	с 22 апреля по 31 июля	с 2 сентября по 20 октября
1. Контроль (общепринятая технология)	31,55	3,76	24,54	4,91	17,12	1,27
2. Измельченная побочная продукция (ПП)	29,02	3,79	25,90	4,75	16,92	0,92
3. ПП + 10 кг д.в. N на 1 т ПП (технология поверхностного компостирования растительных остатков)	41,76	7,45	48,56	8,48	26,15	4,59
4. ПП + известь 1,5 т/га	57,65	6,65	48,64	6,06	22,56	2,13
5. ПП+МБП* (агробиотехнология-1)	50,20	7,82	63,32	9,48	23,94	2,74
6. ПП+МБП*+ 10 кг д.в. N на 1 т ПП (агробиотехнология-2)	53,17	12,70	68,48	11,48	22,69	2,51
7. ПП+МБП*+известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3)	58,06	9,15	50,91	7,88	25,49	1,71
NCP ₀₅	10,33	1,14	4,28	3,10	7,92	0,97





минерализовалось 50,91% целлюлозы, что значимо ниже на 12,41% варианта 5, при этом по сравнению с контролем рассматриваемый показатель выше в 2 раза.

После заделки растительных остатков люпина на удобрение применение агробиотехнологии-2 позволило разложить наибольшее количество целлюлозы (11,48%) по сравнению со всеми вариантами опыта, при этом наибольшая разница выявлена с вариантом 2, где использовались растительные остатки без инокулянтов (6,73%). Применение технологии поверхностного компостирования усиливало разложение целлюлозы в 1,7 раза по сравнению с контрольным вариантом, при этом эффективность данной технологии была несколько ниже агробиотехнологии-1 и агробиотехнологии-2.

В период возделывания ячменя интенсивность разложения целлюлозы была самой низкой по сравнению с предыдущими годами, что связано с неблагоприятными гидротермическими условиями года ($\text{ГТК} = 0,72$), но даже в засушливый год применяемые агробиотехнологии увеличивали разложение целлюлозы по сравнению с контролем. Так, использование микробиологических препаратов с известью усиливало разложение хлопчатобумажного полотна на 8,37% по сравнению с общепринятой технологией. Применение технологии поверхностного компостирования растительных остатков (вариант 3) позволило минерализовать 26,15% целлюлозы, что значимо выше контроля на 9,03% и варианта с растительными остатками без инокулянтов на 9,23% при $\text{НСР}_{05} = 7,92\%$.

После заделки растительных остатков ячменя на удобрение значимое разложение целлюлозы выявлено только при применении агробиотехнологии-1 и агробиотехнологии-2, где разложилось 2,74 и 2,51% от исходного веса. Самым эффективным был вариант с применением азотных удобрений, где разложилось 4,59% целлюлозы, что выше контроля на 3,32%.

Следовательно, применение микробиологических препаратов усиливает минерализацию целлюлозы по сравнению с контролем, при этом эффективность их возрастает от применения азотных удобрений или извести в зависимости от биологических особенностей возделываемой культуры в опыте.

При минерализации растительных остатков образуются химические соединения различной

природы, некоторые из них могут обладать фитотоксичными свойствами, которые негативно влияют на продуктивность культур [22].

До посева кукурузы низкий уровень токсичности проявился на варианте с внесением растительных остатков без инокулянтов ($\text{ИТФ}=0,72$), при использовании азотных удобрений, применяемых для усиления минерализации растительных остатков ($\text{ИТФ}=0,90$), и на контроле ($\text{ИТФ}=0,90$). Низкая токсичность с мая по август сохранялась на контрольном варианте и при использовании соломы озимой пшеницы на удобрение без инокулянтов (табл. 2).

При этом на варианте 2 индекс токсичности оцениваемого фактора был несколько ниже контрольного варианта, что свидетельствует о тенденции к проявлению большего токсичного эффекта. На варианте 3 в течение роста и развития кукурузы фитотоксический эффект больше не проявился.

Эффект стимуляции изучаемого фактора ($\text{ИТФ}>1,10$) был выявлен к периоду уборки кукурузы только на вариантах применения биопрепаратов как с азотными удобрениями, так и отдельно. На всех остальных вариантах опыта в посевах кукурузы независимо от срока проведения исследования индекс токсичности оцениваемого фактора соответствовал норме.

После уборки кукурузы на зеленый корм и заделки ее стерни с различными компонентами наблюдалось отсутствие токсичного эффекта. На варианте с азотными удобрениями индекс токсичности составлял 1,02 (класс токсичности — норма), при этом наблюдается тенденция улучшения здоровья почвы по сравнению с периодом уборки культуры, когда индекс токсичности равнялся 0,94.

Применение биопрепаратов для ускорения разложения стеблей и корней кукурузы как отдельно (агробиотехнология-1), так и с минеральными удобрениями (агробиотехнология-2) поддерживало состояние почвы в норме.

Таким образом, через 36 дней после применения растительных остатков кукурузы на удобрение с различными компонентами не появляется токсических эффект. Здоровье почвы может ухудшить только использование чистых поживных остатков кукурузы на удобрение.

До посева люпина в 2023 г. только на 2 вариантах выявлена низкая токсичность. Это вариант 1 — контроль и вариант 2 — растительные

остатки. На варианте с растительными остатками низкая токсичность сохранялась в течение всего периода исследования. При применении агробиотехнологий через месяц после посева культуры проявился стимулирующий эффект, и положительный результат сохранялся до полной биологической спелости культуры (табл. 3).

После уборки люпина на всех вариантах без микробиологических препаратов индекс токсичности находился в норме, а на вариантах с применением агробиотехнологий проявилась стимуляция.

Максимальное положительное действие инокулянтов выявлено на варианте совместного применения микробиологических препаратов с азотными удобрениями в период вегетации культуры, где индекс токсичности увеличился с 0,98 до 1,29 и проявился стимулирующий эффект. После внесения растительных остатков люпина на удобрения без инокулянтов и выдержки их в течение 30 дней проявилось угнетающее воздействие на рост и развитие тест-культуры. Суммарный индекс токсичности составлял 0,90 и характеризовался как IV класс — низкая токсичность. На контрольном варианте, где были убранны растительные остатки культуры, индекс оцениваемого фактора равнялся 0,91 или V класс — норма. Аналогичные результаты получены и на варианте с азотными удобрениями и с известью.

Применение микробиологических препаратов, как отдельно, так и в комплексе с известью, при обработке соломистых остатков люпина белого привели к появлению стимулирующего эффекта. Индекс токсичности был выше значения 1,10. Вариант совместного использования микробиологических препаратов и азотных удобрений с поживными растительными остатками люпина (агробиотехнология-2) оказался самым эффективным, так как индекс токсичности на данном варианте был самым высоким (1,18) — V класс — стимуляция.

В целом за вегетационный период в посевах люпина белого складывалась более безопасная экологическая обстановка. На рассматриваемых вариантах опыта реже наблюдался токсический эффект по сравнению с предыдущим годом. Это, возможно, связано с биологическими особенностями люпина белого. Таким образом, применяемые микробиологические препараты

Таблица 2. Изменение индекса токсичности фактора (ИТФ) в посевах кукурузы
Table 2. Changes in the toxicity factor index (ITF) in maize crops

Вариант	До посева кукурузы		Через месяц после посева кукурузы		После уборки кукурузы		После разложения растительных остатков в течение 36 суток	
	ИТФ	оценка токсичности	ИТФ	оценка токсичности	ИТФ	оценка токсичности	ИТФ	оценка токсичности
1. Контроль (общепринятая технология)	0,90	IV низкая токсичность	0,90	IV низкая токсичность	0,87	IV низкая токсичность	0,91	V норма
2. Измельченная побочная продукция (ПП)	0,72	IV низкая токсичность	0,74	IV низкая токсичность	0,82	IV низкая токсичность	0,78	IV низкая токсичность
3. ПП + 10 кг д.в. N на 1 т ПП (технология поверхностного компостирования растительных остатков)	0,90	IV низкая токсичность	0,98	V норма	0,94	V норма	1,02	V норма
4. ПП + известь 1,5 т/га	0,91	V норма	0,97	V норма	1,08	V норма	0,91	V норма
5. ПП+МБП* (агробиотехнология-1)	0,96	V норма	1,04	V норма	1,12	VI стимуляция	0,92	V норма
6. ПП+МБП*+ 10 кг д.в. N на 1 т ПП (агробиотехнология-2)	0,98	V норма	1,05	V норма	1,11	VI стимуляция	1,02	V норма
7. ПП+МБП*+известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3)	0,99	V норма	1,06	V норма	1,04	V норма	0,92	V норма



с растительными остатками при возделывании люпина способствуют оздоровлению почвы, а для более эффективного результата необходимо их периодическое применение в течение вегетации культуры.

До посева ярового ячменя наибольший положительный результат получен при применении агробиотехнологии-2 при совместном использовании микробиологических препаратов с минеральным азотом (табл. 4).

До посева ячменя в 2024 г. низкая токсичность выявлена на контроле и варианте с растительными остатками, где значение рассматриваемого показателя было меньше значения нормы. В течение всего периода исследования на данных вариантах выявлена низкая токсичность (IV класс) и ИТФ в среднем составлял 0,85. Исключение составил контрольный вариант, где через месяц после посева ячменя индекс токсичности почвы составлял 0,91

и характеризовался как V класс — норма. Следовательно, применение растительных остатков в качестве органического удобрения в посевах ячменя может приводить к устойчивому токсичному эффекту. Применение агробиотехнологий в период активного роста культуры способствовало оздоровлению почвы, и данный положительный эффект сохранялся до периода полной биологической спелости ячменя. Индекс токсичности оцениваемого фактора на данных вариантах (5, 6 и 7) был выше значения 1,14 и характеризовался как VI класс — стимуляция. Через 48 суток после заделки соломы ячменя на удобрение произошло понижение показателя до значения 0,83, что характеризуется как низкая токсичность (IV класс). На вариантах с агробиотехнологией-2 и агробиотехнологией-3 применение микробиологических препаратов с минеральными удобрениями или известью позволило создать также стимулирующий

эффект в росте и развитии тестовой культуры в период максимальной биологической активности. В последующие периоды исследования на варианте 7 наблюдался токсичный эффект, а на варианте 6 состояние здоровья почвы было в норме, так как ИТФ был выше значения 0,9. На всех остальных вариантах в период активной вегетации состояние индекса токсичности находилось в норме, а к периоду уборки и после компостирования соломы ячменя в течение 48 дней индекс токсичности понижался, что привело к низкой токсичности (IV класс).

Низкая степень разложения целлюлозы и проявление фитотоксичного эффекта на варианте 2, где применялись в качестве органического удобрения растительные остатки без инокулянтов, не способствовали увеличению продуктивности люпина и ячменя, что вызвало низкую продуктивность звена севооборота по агробиотехнологиям.

Таблица 3. Изменение индекса токсичности фактора (ИТФ) в посевах люпина
Table 3. Change of toxicity factor index (ITF) in lupine crops

Вариант	До посева культуры		Через месяц после посева культуры		После уборки люпина белого		После разложения растительных остатков в течение 30 суток	
	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности
1. Контроль (общепринятая технология)	0,90	IV класс низкая токсичность	0,91	V класс норма	0,94	V класс норма	0,91	V класс норма
2. Измельченная побочная продукция (ПП)	0,84	IV класс низкая токсичность	0,88	IV класс низкая токсичность	0,92	V класс норма	0,90	IV класс низкая токсичность
3. ПП +10 кг д.в. Н на 1 т ПП (технология поверхностного компостирования растительных остатков)	0,93	V класс норма	0,92	V класс норма	0,98	V класс норма	0,91	V класс норма
4. ПП + известь 1,5 т/га	0,92	V класс норма	1,05	V класс норма	1,07	V класс норма	0,94	V класс норма
5. ПП+МБП* (агробиотехнология-1)	0,99	V класс норма	1,18	VI класс стимуляция	1,24	VI класс стимуляция	1,14	VI класс стимуляция
6. ПП+МБП*+ 10 кг д.в. Н на 1 т ПП (агробиотехнология-2)	0,98	V класс норма	1,17	VI класс стимуляция	1,29	VI класс стимуляция	1,18	VI класс стимуляция
7. ПП+МБП*+известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3)	0,97	V класс норма	0,11	VI класс стимуляция	1,14	VI класс стимуляция	1,11	VI класс стимуляция

Таблица 4. Изменение индекса токсичности фактора (ИТФ) в посевах ячменя
Table 4. Changes in the toxicity factor index (ITF) in barley crops

Вариант	До посева культуры		Через месяц после посева культуры		После уборки ярового ячменя		После разложения растительных остатков в течение 48 суток	
	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности	ИТФ	класс токсичности
1. Контроль (общепринятая технология)	0,89	IV класс низкая токсичность	0,91	V класс норма	0,87	IV класс низкая токсичность	0,86	IV класс низкая токсичность
2. Измельченная побочная продукция (ПП)	0,82	IV класс низкая токсичность	0,89	IV класс низкая токсичность	0,85	IV класс низкая токсичность	0,88	IV класс низкая токсичность
3. ПП +10 кг д.в. Н на 1 т ПП (технология поверхностного компостирования растительных остатков)	0,95	V класс норма	1,09	V класс норма	0,89	IV класс низкая токсичность	0,97	V класс норма
4. ПП + известь 1,5 т/га	0,92	V класс норма	0,91	V класс норма	0,90	IV класс низкая токсичность	0,83	IV класс низкая токсичность
5. ПП+МБП* (агробиотехнология-1)	0,99	V класс норма	1,15	VI класс стимуляция	0,89	IV класс низкая токсичность	0,83	IV класс низкая токсичность
6. ПП+МБП*+ 10 кг д.в. Н на 1 т ПП (агробиотехнология-2)	1,06	V класс норма	1,16	VI класс стимуляция	0,91	V класс норма	0,91	V класс норма
7. ПП+МБП*+известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3)	0,92	V класс норма	1,14	VI класс стимуляция	0,91	V класс норма	0,84	IV класс низкая токсичность





Таблица 5. Продуктивность звена зернопропашного севооборота (кукуруза на зеленый корм — люпин — ячмень)
в зависимости от применения агробиотехнологий
Table 5. Productivity of grain-plowing crop rotation links (corn for green fodder — lupine — barley)
depending on the application of agro-biotechnologies

Вариант	Продуктивность, тыс. зерн. ед./га				Прибавка, %
	кукуруза на зеленый корм	люпин	ячмень	звено севооборота	
1. Контроль (общепринятая технология)	38,34	2,28	2,75	43,37	-
2. Измельченная побочная продукция (ПП)	39,12	2,27	2,32	43,78	0,9
3. ПП +10 кг д.в. Н на 1 т ПП (технология поверхностного компостирования растительных остатков)	40,87	2,51	3,05	46,43	7,1
4. ПП + известь 1,5 т/га	38,61	2,85	3,86	45,32	4,5
5. ПП+МБП* (агробиотехнология-1)	40,55	3,30	2,57	46,42	7,0
6. ПП+МБП*+ 10 кг д.в. Н на 1 т ПП (агробиотехнология-2)	41,11	2,58	2,79	46,27	6,7
7. ПП+МБП*+известь 1,5 т/га (агробиотехнология-3)	40,21	2,37	3,23	45,81	5,6
НСР ₀₅	0,96	0,54	0,56	0,69	-

Наибольшая продуктивность кукурузы, возделываемой на зеленый корм (41,11 тыс. зерн. ед./га), получена при применении микробиологических препаратов с азотными удобрениями (агробиотехнология-2), люпина белого — при использовании только биопрепаратов (агробиотехнология-1) (3,30 тыс. зерн.ед./га), что значимо выше общепринятой технологии на 2,77 и на 1,02 тыс. зерн.ед./га соответственно (табл. 5).

Для ячменя при применении агробиотехнологий самым эффективным оказался прием совместного использования микробиологических препаратов с известью, где рассматриваемый показатель составлял 3,23 тыс. зерн. ед./га при высоких показателях биологической активности, что в 1,2 раза выше, чем на контроле. Это объясняется тем, что ячмень является очень чувствительной культурой к кислотности почвы.

Применение микробиологических препаратов способствовало не только оздоровлению почвы, но и положительно влияло на продуктивность звена зернопропашного севооборота. Максимальная продуктивность (46,42 тыс. зерн. ед./га) выявлена при применении агробиотехнологии-1, она превышает таковую при общепринятой технологии на 3,05 тыс. зерн. ед./га (7%) при НСР₀₅=0,69 тыс. зерн. ед./га.

При использовании технологии поверхностного компостирования растительных остатков с азотными удобрениями продуктивность составила 46,43 тыс. зерн. ед./га и была на одном уровне с агробиотехнологией-1, где применялись микробиологические препараты.

Математическая обработка изучаемых показателей свидетельствует о прямой тесной зависимости ($R^2=0,6238$) продуктивности звена севооборота от фитотоксичности. Из уравнения регрессии ($y = -22,599x^2 + 54,941x + 13,528$) следует, что максимальная продуктивность культур получается при уровне токсичности 1,2 единицы (VI класс — стимуляция). При повышении или понижении уровня токсичности выше или ниже данного значения происходит снижение продуктивности звена зернопропашного севооборота.

Выводы. 1. Использование микробиологических препаратов усиливает минерализацию целлюлоза в 2-4 раза по отношению к контролю в зависимости от культуры и периода исследования.

2. Применение агробиотехнологий способствует оздоровлению почвы, а в период активного роста культур проявляется стимулирующий эффект, где ИТФ $\geq 1,10$.

3. Применение микробиологических препаратов, как отдельно, так и совместно с известью или азотными удобрениями, существенно увеличивает продуктивность звена зернопропашного севооборота в среднем на 6,4% по отношению к контрольному варианту.

Список источников

- Савченко Е.С., Лукин С.В. Управление режимом органического вещества почвы при биологизации земледелия // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 6. С. 61-65. doi: 10.31857/S2500208224060147
- Русакова И.В. Изменение содержания общего и легкоразлагаемого органического вещества в дерново-подзолистой почве при длительном применении соломы // Агрохимия. 2022. № 10. С. 28-37. doi: 10.31857/S000218812210009X
- Дедов А.В., Крюков Г.М. Влияние приемов биологизации и основной обработки на накопление и химический состав растительных остатков в пахотном слое почвы при выращивании сахарной свеклы в условиях лесостепи ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2 (81). С. 12-22. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_12
- Wang, Y.J., Wang, Naihui, Huang, G.Q. (2022). How do rural households accept straw returning in Northeast China? Resources, Conservation and Recycling, vol. 182, p. 106287. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106287
- Брескина Г.М., Масютенко Н.П., Чуян Н.А. Биопрепараты как средство восстановления здоровья черноземных почв // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2 (58). С. 25-31. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31
- Брескина Г.М., Чуян Н.А. Влияние биопрепаратов и азотных удобрений на фитотоксичность чернозема типичного при применении побочной продукции на удобрение // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 1 (385). С. 57-61.
- Масютенко Н.П., Панкова Т.И., Кузнецова А.В., Масютенко М.Н., Брескина Г.М., Чуян Н.А. Влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков сельскохозяйственных культур в черноземе типичном // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 2 (59). С. 108-118. doi: 10.18470/1992-1098-2021-2-108-118
- Baljeet, S.S., Dhanda, D., Mandal, N.K., Kumar, R., Sharma, D., Sadh, P.K., Jabborova, D., Duhan, J.S. (2024). Microbial contributions to sustainable paddy straw utilization for economic gain and environmental conservation. Current Research in Microbial Sciences, vol. 7, p. 100264. doi: org/10.1016/j.crmicr.2024.100264. Available at: <https://www.sciencedirect.com/journal/current-research-in-microbial-sciences> (accessed: 15.12.2024).
- Gao, X., Liu, W., Li, X., Zhang, W., Bu, Sh., Wang, A. (2023). A novel fungal agent for straw returning to enhance straw decomposition and nutrients release. Environmental technology and innovation, vol. 30, p. 103064. doi: 10.1016/j.eti.2023.103064
- Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светло-серой лесной почве // Земледелие. 2021. № 1. С. 27-30. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10107
- Пушенкова Л.И., Гарипова С.Р., Кузина Е.В., Хасанова Г.Р., Шакирзянов А.Х. Эффективность обработки семян и растений яровой пшеницы и гороха посевного микробиологическими препаратами в модельных и полевых опытах // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 12. С. 33-37. doi: 10.53859/02352451_2021_35_12_33
- Коржов С.И., Трофимова Т.А., Карабо Д., Фрамруду Т. Эффективность микробиологических препаратов при возделывании ячменя // Земледелие. 2022. № 7. С. 40-44. doi: 10.24412/0044-3913-2022-7-40-44
- Проворов Н.А., Тихонович И.А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 5. С. 821-831. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.821rus
- Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Стариков П.А. Влияние микробной инокуляции семян на биоконтроль корневых гнилей, биометрию растений и урожайность яровой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1 (37). С. 187-197. doi: 10.5281/zenodo.10930956
- 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.
- Лысов А.К., Наумова Н.И., Корнилов Т.В., Краснобаева И.Л. Влияние дисперсности распыла и экстремальных погодных условий на эффективность применения биопрепаратов // Агрохимический вестник. 2024. № 5. С. 71-74. doi: 10.24412/1029-2551-2024-5-012
- Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенонфонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228-243. doi: 10.31857/S0032180X22020095
- Еремина Р.Ф., Мащенко С.С., Чуян Н.А., Федорченко А.Е., Ермакова А.А. Технология поверхностного компостирования растительных остатков // Достижения науки и техники АПК. 2005. № 1. С. 18-20.
- Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
- Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408-411.



21. Мишустин Е.В., Востров И.П., Петрова А.Н. Методика определения целлюлозоразрушающей активности почвы. М.: Наука, 1987. 375 с.

22. Fu, B., Chen, L., Huang, H., Qu, P., Wei, Z. (2021). Impacts of crop residues on soil health: a review. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, vol. 33, no. 1, pp. 164-173. doi: 10.1080/26395940.2021.1948354

References

1. Savchenko, E.S., Lukin, S.V. (2024). Управление режимом органического вещества почвы при биологизации земледелия [Management of soil organic matter regime in biologization of agriculture]. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Vestnik of the Russian agricultural sciences], no. 6, pp. 61-65. doi: 10.31857/S0050208224060147
2. Rusakova, I.V. (2022). Изменение содержания обшего и легкоразлагаемого органического вещества в дерново-подзолистой почве при длительном применении соломы [Change in the content of total and easily degradable organic matter in sod-podzolic soil with continuous application of straw]. *Agrokhimiya* [Agricultural chemistry], no. 10, pp. 28-37. doi: 10.31857/S000218812210009X
3. Dedov, A.V., Kryukov, G.M. (2024). Влияние приемов биологизации и основной обработки на накопление в химическом составе растительных остатков в пахотном слое почвы при выращивании сахарной свеклы в ус洛виях лесостепи ТСЧР [Influence of biologization practices and basic soil treatment on the accumulation and chemical composition of plant residues in the surface soil at sugar beet cultivating in the forest-steppe conditions of the Central Chernozem region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Agrarian University], vol. 17, no 2 (81), pp. 12-22. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_12
4. Wang, Y.J., Wang, Naihui, Huang, G.Q. (2022). How do rural households accept straw returning in Northeast China? *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 182, p. 106287. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106287
5. Breskina, G.M., Masyutenko, N.P., Chuyan, N.A. (2022). Биопрепараты как средство восстановления здорова я черноземных почв [Biological products as a means of restoration of black soil health]. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy], no. 2 (58), pp. 25-31. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31
6. Breskina, G.M., Chuyan, N.A. (2022). Влияние биопрепаратов на азотные удобрения на фитотоксичность чернозема типичного при применении побочного продукта на удобрение [The effect of biological preparations and nitrogen fertilizers on the phytotoxicity of typical chernozem soil when applying by-products for fertilizer]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1 (385), pp. 57-61.
7. Masyutenko, N.P., Pankova, T.I., Kuznetsov, A.V., Masyutenko, M.N., Breskina, G.M., Chuyan, N.A. (2021). Влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков в сельскохозяйственных культурах в черноземе типичном [Effect of biopreparations on the decomposition of plant residues of crops in typical chernozem]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development], vol. 16, no. 2 (59), pp. 108-118. doi: 10.18470/1992-1098-2021-2-108-118
8. Baljeet, S.S., Dhanda, D., Mandal, N.K., Kumar, R., Sharma, D., Sadh, P.K., Jabborova, D., Duhan, J.S. (2024). Microbial contributions to sustainable paddy straw utilization for economic gain and environmental conservation. *Current Research in Microbial Sciences*, vol. 7, p. 100264. doi: org/10.1016/j.crmicr.2024.100264. Available at: <https://www.sciencedirect.com/journal/current-research-in-microbial-sciences> (accessed: 15.12.2024).
9. Gao, X., Liu, W., Li, X., Zhang, W., Bu, Sh., Wang, A. (2023). A novel fungal agent for straw returning to enhance straw decomposition and nutrients release. *Environmental technology and innovation*, vol. 30, p. 103064. doi: 10.1016/j.eti.2023.103064
10. Zavalin, A.A., Nakaryakov, A.M. (2021). Эффективность применения биопрепарата в посеве озимой пшеницы на светло-серой лесной почве [Drugs efficiency in winter wheat crops on light grey forest soil]. *Zemledelie*, no 1, pp. 27-30. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10107
11. Pusenkova, L.I., Garipova, S.R., Kuzina, E.V., Khasanova, G.R., Shakiryanov, A.Kh. (2021). Эффективность обработки семян в растении яровой пшеницы в горючего микробиологических препаратах в модельных и полевых опытах [Efficiency of treatment of seeds and plants of spring wheat and pea with microbiological preparations in model and field experiments]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 35, no. 12, pp. 33-37. doi: 10.53859/02352451_2021_35_12_33
12. Korzhov, S.I., Trofimova, T.A., Kargbo, D., Framudu, T. (2022). Эффективность микробиологических препаратов при возделывании ячменя [Efficiency of microbiological preparations in barley growing]. *Zemledelie*, no 7, pp. 40-44. doi: 10.24412/0044-3913-2022-7-40-43
13. Provorov, N.A., Tikhonovich, I.A. (2022). Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агротехнологий (Обзор) [Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agroecosystems (Review)]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], vol. 57, no. 5, pp. 821-831. doi: 10.15389/agrobioLOGY.2022.5.821rus
14. Sheshegova, T.K., Shchekleina, L.M., Starikov, P.A. (2024). Влияние микробной инокуляции семян на биоконтроль корневых гнилей, биометрические параметры и урожайность яровой пшеницы [Effect of microbial inoculation of seeds on root rot biocontrol, biometrical parameters and yield of spring wheat]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki* [Taurida herald of the agrarian sciences], no. 1 (37), pp. 187-197. doi: 10.5281/zenodo.10930956
15. Biryukov, E.V. (2008). Возможность применения биопрепарата Триходермина в качестве микробиологического удобрения в услоиях Тамбовской области [The possibility of using Trichodermin biofertilizer as a microbiological fertilizer in the conditions of the Tambov region]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki* [Problems of contemporary science and practice], vol. 1, no. 1 (11), pp. 84-92.
16. Lysov, A.K., Naumova, N.I., Kornilov, T.V., Krasnobaba, I.L. (2024). Влияние дисперсности распыла и экстремальных условий на эффективность применения биопрепарата [Influence of spray dispersion and extreme weather conditions on efficiency of biopreparation's application]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical herald], no. 5, pp. 71-74. doi: 10.24412/1029-2551-2024-5-012
17. Nikitin, D.A., Semenov, M.V., Chernov, T.I., Ksenofontova, N.A., Zhelezova, A.D., Ivanova, E.A., Khitrov, N.B., Stepanov, A.L. (2022). Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) [Microbiological indicators of soil ecological functions (a review)]. *Pochovedenie* [Soil science], no. 2, pp. 228-243. doi: 10.31857/S0032180X22020095
18. Eremina, R.F., Mashchenko, S.S., Chuyan, N.A., Fedorchenko, A.E., Ermakova, A.A. (2005). Технология поверхности компостирования растительных остатков [Technology for surface composting of crop residues]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 1, pp. 18-20.
19. Dospekhov, B.A., Vasilev, I.P., Tulikov, A.M. (1987). *Praktikum po zemledeliyu* [Workshop on farming]. Moscow, Agropromizdat Publ., 383 p.
20. Kabirov, R.R., Sagitova, A.R., Sukhanova, N.V. (1997). Разворотка и испольование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенных покровов городской территории [Development and use of a multicomponent test system for evaluating the toxicity of soil in an urban territory]. *Ekologiya* [Ecology], no. 6, pp. 408-411.
21. Mishustin, E.V., Vostrov, I.P., Petrova, A.N. (1987). Методика определения тесилулоазоразрушающей активности почвы [Methodology for determination of cellulose-degrading activity of soil]. Moscow, Nauka Publ., 375 p.
22. Fu, B., Chen, L., Huang, H., Qu, P., Wei, Z. (2021). Impacts of crop residues on soil health: a review. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, vol. 33, no. 1, pp. 164-173. doi: 10.1080/26395940.2021.1948354

Информация об авторах:

Брескина Галина Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агропочвоведения и экологии почв, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2381-312X>, Researcher ID: ABG-3137-2021, SPIN-код: 9458-5775, breskina-galina@yandex.ru

Масютенко Нина Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории агропочвоведения и экологии почв, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8348-0609>, Scopus ID: 6505667734, SPIN-код: 8007-8718, vniip@mail.ru

Чуйян Наталья Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агропочвоведения и экологии почв, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4212-3143>, Researcher ID: ABG-3309-2021, SPIN-код: 4082-7179, natalia-chuyan@yandex.ru

Дюкарева Анастасия Андреевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории агропочвоведения и экологии почв, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0347-3260>, SPIN-код: 5332-4657, ok.anan@yandex.ru

Information about the authors:

Galina M. Breskina, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of agricultural soil science and soil ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2381-312X>, Researcher ID: ABG-3137-2021, SPIN-code: 9458-5775, breskina-galina@yandex.ru

Nina P. Masyutenko, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher of the laboratory of agricultural soil science and soil ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8348-0609>, Scopus ID: 6505667734, SPIN-code: 8007-8718, vniip@mail.ru

Natalia A. Chuyan, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of agricultural soil science and soil ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4212-3143>, Researcher ID: ABG-3309-2021, SPIN-code: 4082-7179, natalia-chuyan@yandex.ru

Anastasia A. Dyukareva, postgraduate student, junior researcher of the laboratory of agricultural soil science and soil ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0347-3260>, SPIN-code: 5332-4657, ok.anan@yandex.ru

breskina-galina@yandex.ru

