

Влияние биопрепаратов на показатели биологической активности чернозема типичного слабоэродированного

Н. А. Чуян¹✉, Г. М. Брескина¹

¹Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

✉E-mail: natalia-chuyan@yandex.ru

Аннотация. Цель – изучение влияния биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens*, азотных удобрений (N10 кг д. в. на 1 т соломы) на фоне поверхностной заделки измельченной побочной продукции в почву на показатели биологической активности чернозема типичного слабоэродированного. **Методы.** Исследования проводили в 2018–2020 гг. в полевом опыте с биопрепаратами ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская обл., Медвенский р-н, с. Панино) на черноземе типичном слабоэродированном в звене зернового (ячмень – гречиха – кормовые бобы) и зернопропашного (подсолнечник – ячмень – соя) севооборота. Показатели биологической активности (продуцирование C–CO₂ почвой, целлюлозолитическая активность чернозема типичного) представлены за вегетационный период 2020 г. в посевах сои и кормовых бобов. **Результаты.** Установлено, что использование биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* обеспечивало увеличение эмиссии двуокси углерода в среднем за период вегетации сои на 43 % и на 65 % по кормовым бобам по отношению к контролю. Выявлено, что наибольшая активность микроорганизмов, участвующих в минерализации побочной продукции, наблюдалась в фазу всходов по сое: при действии азотных удобрений на 7,5 кг/ч/га и совместного их внесения с биопрепаратами на 4,6 кг/ч/га по отношению к контролю. Для кормовых бобов процесс эмиссии C–CO₂ почвы интенсивнее проходил на варианте с внесением биопрепаратов на 3,8 кг/ч/га и совместного их использования с азотными удобрениями на 4,7 кг/ч/га по сравнению с контролем. Показано, что значительная доля вклада в варьирование целлюлозолитической активности почвы по сое принадлежала азотным удобрениям (80,6 %). Для кормовых бобов основная доля участия в варьировании интенсивности разложения целлюлозы определялась биопрепаратами, которая была в 3 раза выше по отношению к азотным удобрениям.

Ключевые слова: биопрепараты, азотные удобрения, побочная продукция, продуцирование C–CO₂, целлюлозолитическая активность, соя, кормовые бобы.

Для цитирования: Чуян Н. А., Брескина Г. М. Влияние биопрепаратов на показатели биологической активности чернозема типичного слабоэродированного // Аграрный вестник Урала. 2022. № 05 (220). С. 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32.

Дата поступления статьи: 05.04.2022, **дата рецензирования:** 14.04.2022, **дата принятия:** 20.04.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

К важным ресурсам воспроизводства плодородия пахотных почв можно отнести послеуборочные остатки сельскохозяйственных культур. Одним из самых целесообразных способов их использования является заделка в почву в целях воспроизводства органического вещества и сохранения функциональных свойств почв в агроценозах [1, с. 83; 2, с. 35]. В отличие от большинства органических удобрений применение соломы весьма технологично и не требует значительных дополнительных затрат. Как любое органическое удобрение, она активизирует почвенную микрофлору [3, с. 154].

Но одним из факторов, ограничивающих более широкое использование соломы в качестве удобрения, является низкая скорость ее разложения из-за высокого содержания лигнина и целлюлозы и низкого содержания азота. Растительные материалы, характеризующиеся высоким отношением C:N, не обеспечивают достаточного количества азота для метаболизма микроорганизмов при их высокой активности [4, с. 27].

Поэтому одним из способов ускорения разложения и повышения коэффициента гумификации послеуборочных остатков, который получает распространение в последние годы в практике сельскохозяйственного производства, является

инокуляция их микробиологическими препаратами-деструкторами перед заделкой в почву, обеспечивающая интродукцию активных штаммов микроорганизмов на солому и в дальнейшем – в почву [5, с. 75].

Но экспериментальные данные некоторых исследователей [6, с. 90] свидетельствуют об отсутствии стабильного устойчивого эффекта при применении биопрепаратов в отношении разложения соломы. Результаты исследований [7, с. 130] показывают, что значительное усиление минерализации пшеничной соломы при внесении целлюлозоразлагающей микробной системы отмечено лишь на ранней стадии инкубации (1–2 недели), в дальнейшем производительность и выживаемость их резко изменяется. По-видимому, конкуренция с сообществом аборигенной микрофлоры, а также буферность почвенной экосистемы по отношению к внедренным модификаторам являются основными ограничивающими факторами получения стойкого положительного их эффекта [8, с. 5].

Важным параметром, по величине которого можно судить о напряженности микробиологических процессов в почве и интенсивности минерализации органического вещества, является интенсивность эмиссии CO_2 , [9, с. 1184].

Почвенное дыхание представляет собой суммарный поток двух основных компонентов: дыхание корней и дыхание почвенной микрофлоры [10, с. 1091]. Дыхание почвенных микроорганизмов (микробное дыхание) составляет существенную долю эмиссии CO_2 . Увеличению продуцирования углекислоты способствуют усиленные процессы минерализации органического вещества и уменьшение содержания гумуса [11, с. 314]. Интенсивность дыхания почвы во времени зависит не только от роста надземной и корневой массы растений, но и от температуры и влажности почвы [12, с. 302].

Общую направленность микробиологических процессов в почве достаточно полно отражает скорость разложения клетчатки. Скорость разложения послеуборочных растительных остатков зависит от видовой представительности и биомассы микроорганизмов, специализирующихся на деградации органических молекул [13, с. 669], от состава и структуры послеуборочных растительных остатков.

Показано, что стимулирующее действие на целлюлозоразрушающую активность почвенных микроорганизмов оказывают регуляторы роста и водорастворимые микробиоудобрения [14, с. 37]. Экспериментально установлено, что численность микроорганизмов, участвующих в разложении растительных остатков, в целом была выше при инокуляции соломы биопрепаратами по сравнению с необработанной соломой. Отмечено, что эффективность биопрепаратов увеличивается в

комбинации с компенсирующими дозами азота [8, с. 7].

Поэтому биопрепараты в полной мере влияют не только на развитие растений, но и на биологическое состояние почвы, определяемое, согласно нашему эксперименту, по интенсивности целлюлолитической активности, являющейся интегральным показателем биологической активности почвы.

Основным фактором, определяющим скорость разложения соломы, является содержание в почве минерального азота. Внесение азотных удобрений восполняет дефицит азота, минерализуемого из почвенного органического вещества с меньшей скоростью при неблагоприятных гидротермических условиях [15, с. 84]. Стимулирующая роль минерального азота, внесенного в форме аммиачной селитры в процессе биотрансформации растительных остатков, экспериментально подтверждена в нашем опыте.

Цель исследований – изучить влияние биопрепаратов на интенсивность продуцирования углекислоты почвой и активность целлюлолитической активности чернозема типичного слабоэродированного в течение вегетационного периода бобовых культур.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская обл., Медвенский р-н, с. Панино), расположенном в стационарном полевом опыте с биопрепаратами на северном склоне в звеньях зернового и зернопропашного севооборотов. Влияние обработки семян, почвы и измельченной побочной продукцией культур биопрепаратами на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* и совместного их использования с азотными удобрениями из расчета 10 кг д. в. N на 1 т соломы на показатель эмиссии $\text{C}-\text{CO}_2$, отражающего интенсивность минерализации органического вещества и активность целлюлозоразрушающей микрофлоры, изучали на четырех вариантах научно-производственного опыта в трехкратной повторности. В 2020 г. на опыте звена зернового севооборота «ячмень – гречиха – кормовые бобы» возделывали кормовые бобы (*Vicia faba L.*) сорта Стрелецкие ранние, в звене зернопропашного севооборота «подсолнечник – ячмень – соя» размещалась соя (*Glycine ax. L.*) сорта Казачка.

Уравнительным посевом для двух севооборотов являлась озимая пшеница. Опыты закладывали в соответствии с общепринятыми методиками [16] в трехкратной повторности, культуры выращивали по рекомендуемым агротехнологиям.

На всех вариантах опыта после уборки предшествующих культур всю побочную продукцию (измельченные растительные остатки) использовали

в качестве удобрения путем поверхностной заделки их в почву [17].

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Измельченная побочная продукция культур.
2. Измельченная побочная продукция культур + азотные удобрения из расчета 10 кг д. в. N на 1 т соломы.
3. Измельченная побочная продукция + биопрепараты (БП) (обработка семян БП на основе *Trichoderma viride* (2 л/т) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/т) перед посевом + обработка почвы перед посевом БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка посевов 2 раза в течение вегетации БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка побочной продукции перед заделкой БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га).
4. Измельченная побочная продукция + БП (обработка семян БП на основе *Trichoderma viride* (2 л/т) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/т) перед посевом + обработка почвы перед посевом БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка посевов 2 раза в течение вегетации БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + обработка побочной продукции перед заделкой БП на основе *Trichoderma viride* (5 л/га) и *Pseudomonas aureofaciens* (3 л/га) + азотные удобрения из расчета 10 кг д. в. N на 1 т соломы.

Во избежание конфликта интересов производителей не указываются марки препаратов и наименования производителей.

В опыте представлено совместное действие двух биологических препаратов: биопрепарат, содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma viride*, а также продуцируемые грибом в процессе производственного культивирования биологически активные вещества (антибиотики, ферменты, витамины, фитогормоны), экологически безопасный, обладающий биофунгицидным, ростстимулирующими и фосфатмобилизирующими свойствами; вторым являлся биологический препарат, содержащий ризосферные бактерии *Pseudomonas aureofaciens*, биофунгицид, ростостимулятор, фосфатмобилизатор контактного и системного действия [18, с. 30].

Обработку почвы и побочной продукции культур биопрепаратами проводили опрыскивателем ОП-2000/24. Внесение аммиачной селитры осуществляли навесным разбрасывателем РН-0,8 перед заделкой пожнивно-корневых остатков. Измельченные растительные остатки заделывали в почву дисковой бороной на глубину 10–12 см. Через 40 дней после этого проводили основную отвальную обработку почвы под зерновые культуры на глубину 20–22 см.

Анализ эмиссии CO_2 (дыхание почвы) в полевых условиях на участках с посевами сои и кормовых бобов изучали во время всходов, ветвления (бутонизации) и перед уборкой по методу Л. О. Карпачевского [19]. Целлюлозолитическая активность почвы – широко принятый показатель биологической активности, который определяется методом аппликации [20, с. 100].

Результаты по интенсивности разложения целлюлозы даны в среднем за 2 срока закладки полотен – с 06 мая по 22 июня и с 22 июня по 28 августа, так как из-за сложившихся неблагоприятных гидротермических условий 2020 г. целлюлозолитическая активность была слабой.

Почва опытного поля – чернозем типичный малогумусный слабоэродированный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке. При закладке эксперимента в пахотном слое почвы среднее содержание гумуса (по Тюрину) составляло $4,98 \pm 0,15$ %. Реакция почвенной среды нейтральная или близкая к нейтральной ($\text{pH}_{\text{сост}}$ 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 мг/кг и 9,7–11,2 мг/кг соответственно, общего азота (по Кьельдалю) – 0,22–0,23 %, обменного аммония (по методу ЦИНАО (ГОСТ 26487-85) – 10,9–13,2 мг/кг, нитратного азота (по методу Гранвальд – Ляжу) – 4,8–5,1 мг/кг почвы.

Агрометеорологические условия 2020 г. в период вегетации культур сои и кормовых бобов характеризовались неустойчивыми влагообеспеченностью и температурным режимом. Апрель и май были холоднее обычного. Среднемесячная температура в апреле и мае отклонялась от нормы на 0,6–2,6 °С. Суммы осадков в апреле составили 59 %, в мае – 183 % от нормы. Температура июня, августа и сентября соответствовала среднемноголетним значениям. Осадков в июне и июле выпало больше обычного, август был сухим. Сумма осадков в августе составила 20 % от нормы.

Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием программных средств Microsoft Office Excel 2010.

Результаты (Results)

При использовании биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* для обработки побочной продукции отмечено увеличение эмиссии двуоксида углерода в среднем за период вегетации сои на 43 % и на 65 % по кормовым бобам по сравнению с контролем (неинкулированной соломы).

Определение активности микробного дыхания в нашем исследовании показало, что данная составляющая микробиологической деятельности зависела как от факторов опыта (биопрепаратов и

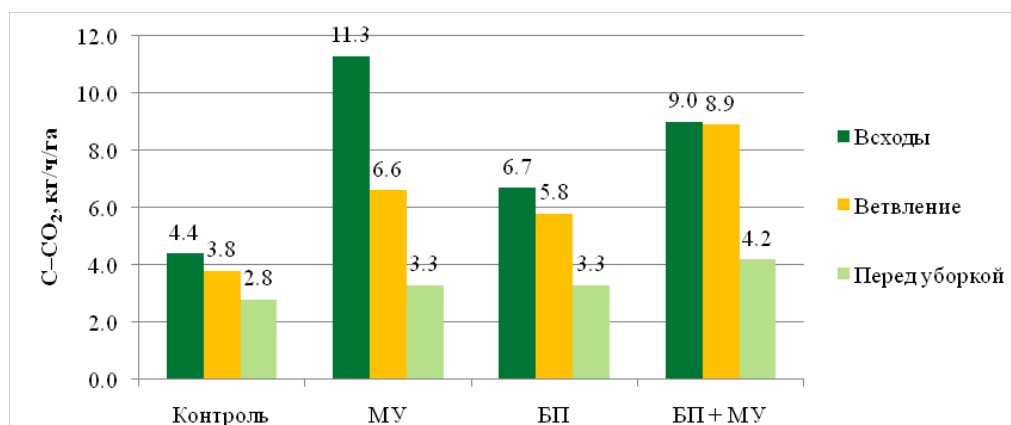


Рис. 1. Динамика продуцирования C-CO₂ (кг/ч/га) в течение вегетационного периода сои (*Glycine hispida* L.): (всходы – ветвление – перед уборкой (ПУ)); МУ – минеральные (азотные) удобрения, БП – биопрепараты

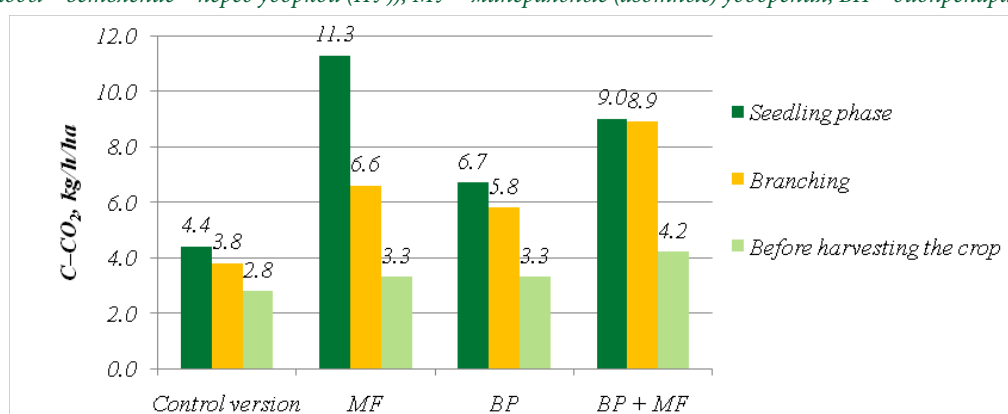


Fig. 1. Dynamics of C-CO₂ (kg/h/ha) production during the soybean growing season (*Glycine hispida* L.): (sprouting – branching – before harvesting (BH)); MF – mineral (nitrogen) fertilizers, BP – biopreparations

азотных удобрений), так и от сроков проведения анализа (периоды вегетации культур), характеризующихся различными погодными условиями.

В период всходов по сое азотные удобрения значительно активизировали метаболическую активность микрофлоры в 2,8 раза по отношению к контролю и на 2,3 кг/ч/га ускоряли процесс минерализации углерода по сравнению с комплексным внесением биопрепаратов с азотными удобрениями. Микробиологические препараты в 1,7 раза уступали варианту с внесением азотных удобрений, но значительно превышали показатель эмиссии C-CO₂ на контрольном варианте (НСР₀₅ = 1,61 кг/ч/га) (рис. 1).

Максимальные величины скорости разложения соломы в фазу ветвления сои отмечены в варианте, где инокуляция соломы биопрепаратами сочеталась с внесением азотных удобрений – 8,9 кг/ч/га, что 2,5 раза превышало контроль. Следует отметить, что при более близкой эффективности внесения азотных удобрений и биопрепаратов без добавления азота минеральные удобрения оказали более заметное влияние на минерализационные процессы разложения соломы на 0,8 кг/ч/га по сравнению с биопрепаратами на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* и несколько уступали на 2,3 кг/ч/га приему комплексного вне-

сения азотных удобрений и биопрепаратов на фоне поверхностной заделки послеуборочных остатков.

Период проведения анализа перед уборкой культур сои и кормовых бобов складывался не лучшим образом: отсутствие осадков, пересыхание верхнего слоя пашни способствовали слабому развитию минерализационного процесса, чему свидетельствуют результаты по продуцированию C-CO₂ почвы. В этот период по сое наблюдалось некоторое увеличение эмиссии C-CO₂ от 2,8 кг/ч/га на контрольном варианте до 4,2 кг/ч/га на варианте совместного применения биопрепаратов с азотными удобрениями.

По кормовым бобам в период всходов наблюдалась тенденция увеличения эмиссии C-CO₂. Совместное применение азотных удобрений с биопрепаратами обеспечивало более интенсивный процесс продуцирования CO₂ почвой (9,0 кг/ч/га), что в 2 раза превышало контроль, где вносили послеуборочные остатки без инокуляции биопрепаратами. Действие биопрепаратов несколько опережало процесс минерализации на варианте с внесением измельченной соломы с азотными удобрениями. Выявлена эффективность по отношению к контролю как азотных удобрений, так и биопрепаратов в повышении уровня продуцирования C-CO₂ на 3,6 и 3,8 кг/ч/га соответственно (рис. 2).

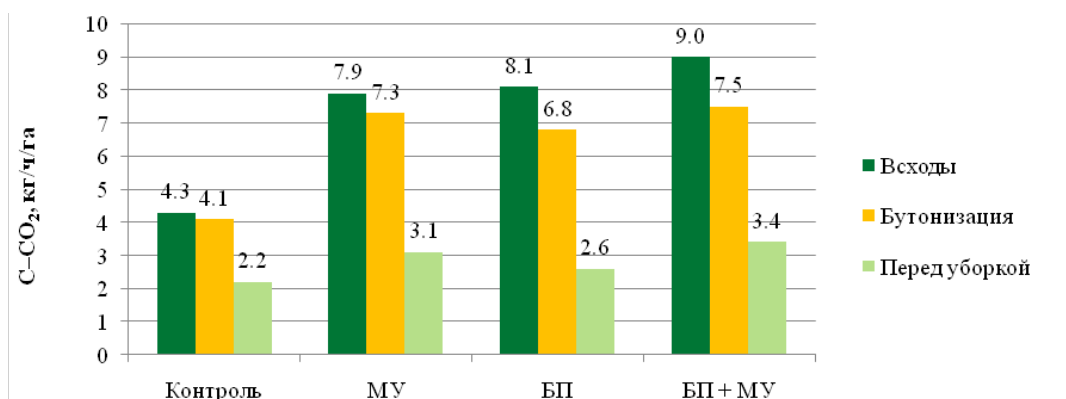


Рис. 2. Динамика продуцирования $C-CO_2$ (кг/ч/га) в течение вегетационного периода кормовых бобов (*Vicia faba L.*)

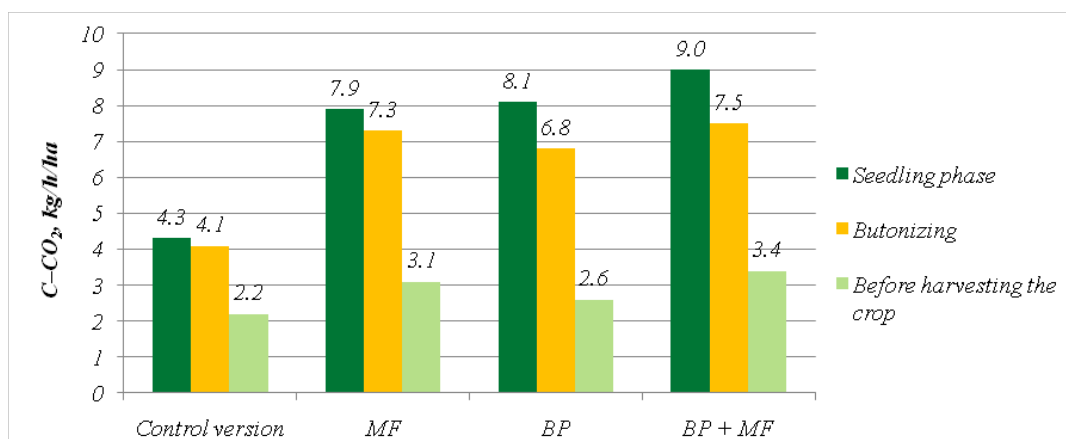


Рис. 2. Dynamics of $C-CO_2$ (kg/h/ha) production during the growing season of forage beans (*Vicia faba L.*)

Фаза бутонизации кормовых бобов характеризовалась активным действием азотных удобрений с измельченными растительными остатками (7,3 кг/ч/га) и совместного их применения с биопрепаратами (7,5 кг/ч/га) на минерализационную активность почвы. Применение одних биопрепаратов несколько уступало данным вариантам по степени продуцирования $C-CO_2$, но инокуляция растительных остатков биопрепаратами стимулировала эффективность эмиссии $C-CO_2$ на 2,7 кг/ч/га по отношению к контролю.

Процесс минерализации побочной продукции в период перед уборкой кормовых бобов проходил в спокойном режиме, но все же максимальный синергический эффект, фиксируемый по количеству выделившегося $C-CO_2$, отмечен при применении азотных удобрений и совместного их внесения с биопрепаратами на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaieens* с поверхностной заделки измельченной соломы. Внесение биопрепаратов несколько уступало по интенсивности эмиссии CO_2 данным вариантам на 0,5 и 0,8 кг/ч/га соответственно действию азотных удобрений и комплексному внесению их с биопрепаратами.

Таким образом, из результатов исследований интенсивности эмиссии $C-CO_2$ по двум опытными участкам следует, что наибольшая активность про-

цессов разложения и минерализации растительного субстрата наблюдалась при действии азотных удобрений и совместного их внесения с биопрепаратами независимо от сроков определения в течение вегетации и культур. Но наибольшие величины продуцирования $C-CO_2$ почвы были приурочены к периоду всходов растений сои и кормовых бобов, чему благоприятствовали погодные условия в данный период, хотя среднемесячная температура в мае отклонялась от нормы на 0,6–2,6 °С, но сумма осадков в мае составила 183 % от нормы при ГТК = 2,7. При данных условиях активизируются процессы разложения и минерализации органических остатков, больше наблюдается прирост биомассы, поэтому в этот период выше было микробное дыхание и больше продуцируется $C-CO_2$.

Для математической обработки полученных данных продуцирования углекислого газа почвой в качестве дополнительного фактора был представлен срок определения (физиологические фазы вегетации культур сои и бобовых культур).

По результатам статистической обработки выявлена прямая связь изменений интенсивности эмиссии $C-CO_2$ почвы от исследуемых факторов (сроков определения, биопрепаратов, азотных удобрений и взаимодействия биопрепаратов с азотными удобрениями) для сои и кормовых бобов.

Соя

$C-CO_2$ (кг/ч/га) = $6,01 - 0,41x_1 + 1,83x_2 + 4,13x_3 - 3,45x_2x_3$; $R = 0,86$, $F = 16,96$, $P < 10^{-4}$.

Кормовые бобы

$C-CO_2$ (кг/ч/га) = $8,03 - 2,25x_1 + 2,33x_2 + 2,59x_3 - 1,80x_2x_3$; $R = 0,89$, $F = 28,93$, $P < 10^{-4}$.

x_1 – сроки определения, x_2 – биопрепараты, x_3 – азотные удобрения, R – коэффициент корреляции, F – критерий Фишера, P – наименьшее значение уровня значимости.

Исходя из анализа нелинейной зависимости эмиссии $C-CO_2$ почвой от сроков ее определения по сое, можно заключить, что к периоду уборки культуры происходило затухание интенсивности разложения соломы при воздействии всех факторов опыта. По-видимому, в процессе трансформации растительного субстрата часть органических соединений минерализовалась до $C-CO_2$, что зафиксировано в периоды всходов и цветения растения, а часть использовалась микроорганизмами для формирования биомассы почвы, чему есть объяснение снижения продуцирования почвой углекислоты к концу периода вегетации культур за счет замедления минерализационного процесса и снижения эмиссии $C-CO_2$. Аналогичная ситуация складывалась на опытном участке с кормовыми бобами.

Следовательно, чем выше эффективность усвоения микроорганизмами углерода разлагаемого субстрата, тем меньше его теряется из почвы в виде CO_2 , то есть низкие значения кумулятивной эмиссии углерода могут быть обусловлены более эффективной ассимиляцией его в микробной биомассе [3, с. 155]. Возможно, это объясняет снижение показателя эмиссии $C-CO_2$ по опыту в период перед уборкой сои и кормовых бобов. Важным фактором в снижении эмиссии CO_2 послужили и сложившиеся неблагоприятные гидротермические условия при ГТК = 0,18.

Результаты исследований показали, что внесение в почву органических (заделка послеуборочных остатков культур в поверхностный (8–10 см) слой почвы) и азотных удобрений (N_{10} действующего вещества аммиачной селитры) и обработка семян, посевов культур кормовых культур микроорганизмическими препаратами повлияло на интенсивность целлюлозолитической активности почвы. Это обосновывается различными показателями разложения льняных полотен, заложенных в 2 срока за период вегетации культур сои и кормовых бобов.

Активность микроорганизмов биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* проявилась по кормовым бобам, где целлюлозолитическая активность была в среднем за период вегетации культуры выше на 26,0 % по сравнению с таковой по сое на варианте с ис-

пользованием микробиологических препаратов. Данное обстоятельство связано с тем, что влажность почвы под кормовыми бобами была выше на 3,5–4,7 % по сравнению с опытным участком, занятым соей, что благоприятствовало развитию целлюлозоразрушающей микрофлоры почвы. На скорость и интенсивность разложения целлюлозы существенное влияние оказывают условия температуры и влагообеспеченности, определяющие активность почвенных микроорганизмов [14, с. 38].

К тому же в поверхностном слое почвы по кормовым бобам отмечено наибольшее накопление негумифицированного органического вещества (на 0,56–1,88 т/га по сравнению с участком сои независимо от факторов опыта), которое служит источником питания и развития микрофлоры, разлагающей целлюлозу [13, с. 670].

Наибольший эффект целлюлозоразрушающей активности почвенных микроорганизмов наблюдался по сое на варианте с внесением азотных удобрений и совместного внесения их с биопрепаратами, где степень разложения превышала на 11,0 % и 9,0 % соответственно показатели тех же вариантов по кормовым бобам (рис. 3).

Внесение азотных удобрений на фоне поверхностной заделки побочной продукции в посевах сои способствовало увеличению целлюлозолитической активности по отношению к контролю и внесению микробиологических препаратов на 15,3 и 7,2 % соответственно. Совместное применение азотных удобрений с биопрепаратами действовало на 9,8 % интенсивнее на процесс разложения целлюлозы, чем биопрепараты. Те, в свою очередь, оказались более эффективными в процессе активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов (на 8,1 % по отношению к контролю).

В посевах кормовых бобов максимальные величины целлюлозолитической активности отмечены на варианте с внесением биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens*, где интенсивность разложения ткани превышала контрольный вариант в 2,1 раза. Применение азотных удобрений с измельченной побочной продукцией уступало действию биопрепаратов на 29,5 %. Интенсивность целлюлозолитической активности при совместном внесении биопрепаратов и азотных удобрений также уступала биопрепаратам на 26,2 %, но была несколько выше, чем в варианте с азотными удобрениями. Использование азотных удобрений и их совместное внесение с биопрепаратами обеспечило более интенсивный процесс биологической активности по отношению к контролю: на 14 и 25 % соответственно (рис. 3).

Интенсивному процессу разложения побочной продукции способствовал азот минеральных удобрений, что обусловило максимальный антагонистический эффект биопрепаратов на основе *Tricho-*

derma viride и *Pseudomonas aureofaciens* и азотных удобрений на деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, поэтому комплексное действие удобрений и инокулянтов спровоцировало снижение активности почвенных микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, например, в посевах кормовых бобов. Это способствовало замедлению дальнейшего процесса биологической деструкции растительных остатков, хотя несколько превышало показатель целлюлозолитической активности по отношению к варианту с внесением одних азотных удобрений.

Тесная зависимость интенсивности процесса разложения целлюлозы чернозема типичного от рассматриваемых факторов (азотных удобрений и биопрепаратов) на фоне поверхностной заделки побочной продукции культур подтверждена следующими уравнениями корреляционно-регрессионного анализа.

Соя

ЦА (%) = $32,47 + 8,07x_1 + 15,3x_2 - 6,07x_1x_2$;
 $R = 0,97, F = 296,8, P < 2 \cdot 10^{-4}$.

Кормовые бобы

ЦА (%) = $32,4 + 34,1x_1 + 5,03x_2 - 31,07x_1x_2$; $R = 0,98$,
 $F = 441,6, P < 12 \cdot 10^{-4}$.

x_1 – биопрепараты, x_2 – азотные удобрения, R – коэффициент корреляции, F – критерий Фишера, P – наименьшее значение уровня значимости.

Исследованиями установлена тесная связь целлюлозолитической активности почвы в посевах сои и кормовых бобов со средней влажностью почвы за рассматриваемый период согласно коэффициентам корреляции ($r = 0,90$; $r = 0,89$), значит, на интенсивность разложения целлюлозы существенное влияние оказывали условия влагообеспеченности почвы.

Статистическая обработка данных с учетом факторов опыта (срока определения показателя эмиссии CO_2 почвы, биопрепаратов и азотных удобрений) по сое показала, что максимальный вклад в варьирование интенсивности продуцирования $\text{C}-\text{CO}_2$ наблюдался по азотными удобрениями (49,0 %), далее располагался срок вегетационного периода (43,9 %). По доле вклада на процесс дыхания почвы биопрепараты на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* значительно (в 8 раз) уступали вышеуказанным факторам. По кормовым бобам преимущество в варьировании показателя интенсивности продуцирования $\text{C}-\text{CO}_2$ почвы сохранялось за сроком проведения анализа (фазы развития культуры) (60 %), азотные удобрения

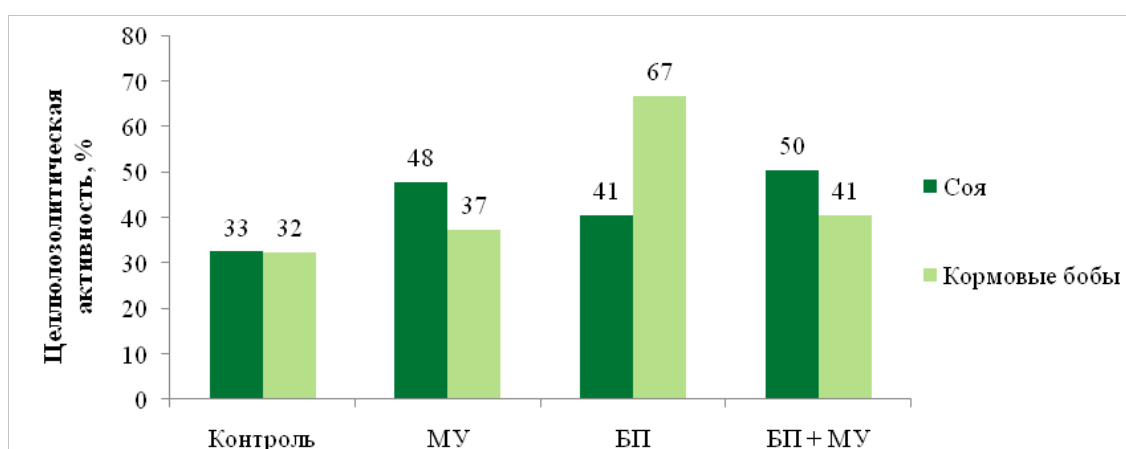


Рис. 3. Целлюлозолитическая активность (%) чернозема типичного в среднем за вегетационный период по сое и кормовым бобам



Fig. 3. Cellulosolitic activity (%) of typical chernozem on average for the growing season for soybean and forage beans

ния в 3 раза уступали фактору «срок проведения анализа». Действие биопрепаратов по доле вклада в интенсивность эмиссии CO₂ было несколько ниже (на 2,6 %) по отношению к азотным удобрениям и на 43,8 % уступало фактору срока проведения анализа (рис. 4).

Низкая доля участия биопрепаратов в продуцировании C–CO₂ почвой, по-видимому, обусловлена неблагоприятными гидротермическими условиями развития бобовых культур, как ранее отмечено в статье, в фазы ветвления (для сои), бутонизации (для кормовых бобов) и в период уборки культур.

По результатам дисперсионного анализа по сое со взаимодействием факторов (азотных удобрений и биопрепаратов) и сроков (различные фазы развития культур) в целом по влиянию на процесс эмиссии C–CO₂ почвы исследуемые факторы располагались в следующем порядке: срок вегетационного периода (40,8 %) > азотные удобрения (29,8 %) > совместное внесение азотных удобрений и биопрепаратов (10,4 %) > биопрепараты (5,8 %).

По кормовым бобам преимущество в варьирование показателя интенсивности продуцирования C–CO₂ также сохранялось за сроками периодов вегетации культуры – 57,7 %. Здесь наблюдалась аналогичная ситуация в действии рассматриваемых факторов в варьировании показателя эмиссии C–CO₂ почвы, за исключением слабого влияния комплексного внесения азотных удобрений и биопрепаратов, далее факторы размещались в следующем

порядке: азотные удобрения (14,9 %) > биопрепараты (8,7 %) > совместное внесение азотных удобрений и биопрепаратов (2,8 %).

Статистический анализ с учетом сроков определения степени минерализации соломы показал, что максимальный вклад в варьирование интенсивности продуцирования C–CO₂ почвой внесли азотные удобрения независимо от сроков определения в течение периода вегетации сои. Фаза всходов сои характеризовалась высокой активностью действия азотных удобрений на процесс биодеградации соломы, что на 5,2 % выше активности биопрепаратов. Взаимодействие факторов значительно (на 62,6 %) уступало азотным удобрениям. Но уже в фазу ветвления значительно активизировалась метаболическая активность микрофлоры при совместном внесении азотных удобрений и биопрепаратов, что превышало их действие на 28,4 % по отношению к биопрепаратам. Но преимущество сохранялось за действием азотных удобрений – 53,2 % (таблица 1).

Лишь к периоду уборки сои наблюдалось нивелирование доли вклада биопрепаратов и азотных удобрений на интенсивность минерализационного процесса – 40,3 и 45,9 % соответственно. На участке с кормовыми бобами аналогично: биопрепараты как фактор по-своему действию на показатель продуцирования углекислоты почвой уступали азотным удобрениям в 2 раза в фазу всходов и почти в 5,8 раза в период перед уборкой.

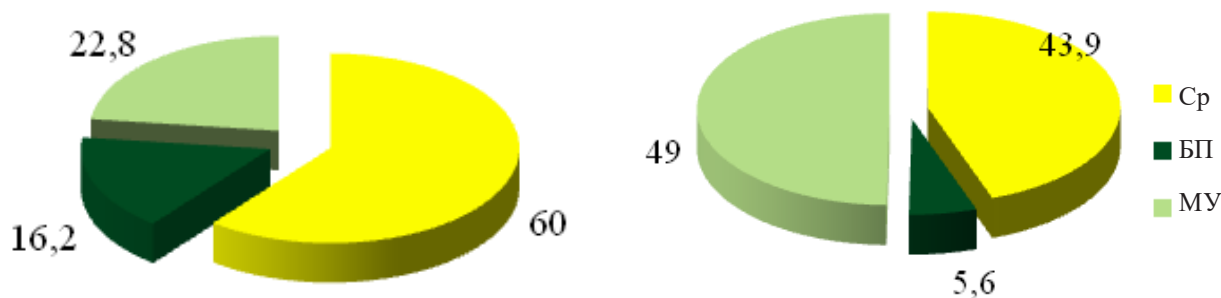


Рис. 4. Доля вклада (%) факторов (Cr – сроков вегетационного периода культур, BP – биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens*, MU – минеральных (азотных удобрений)) в варьирование показателя интенсивности дыхания чернозема типичного

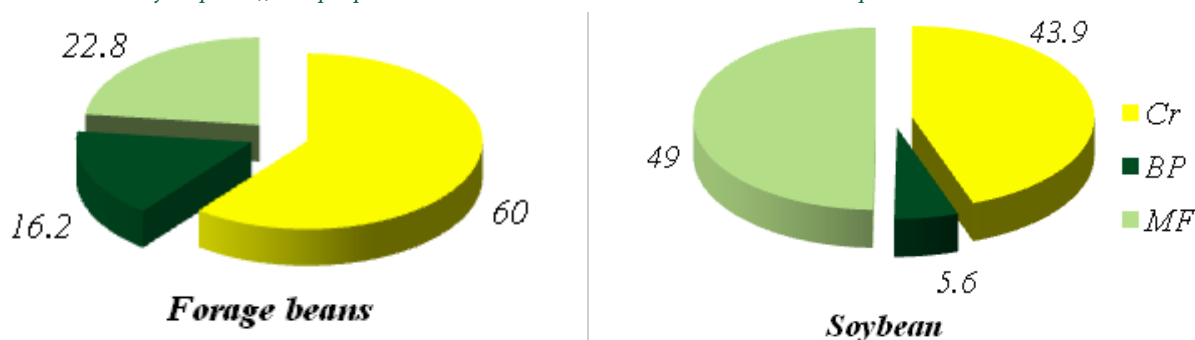


Fig. 4. Contributions (%) of factors (Cr – crop vegetation period, BP – biopreparations based on *Trichoderma viride* and *Pseudomonas aureofaciens*, MF – mineral (nitrogen fertilizers) in variation of respiration intensity index of typical chernozem

Доля вклада (%) изучаемых факторов в варьирование биологических показателей по фазам вегетации бобовых культур

Культуры	Факторы	Доля вклада, %			
		C-CO ₂ , кг/ч/га			Целлюлозолитическая активность, %
		Всходы	Ветвление	Перед уборкой	
Соя (<i>Glycine hispida</i> L.)	Биопрепараты	17,7	7,3	40,3	13,6
	Азотные удобрения	70,5	53,2	45,9	80,6
	Биопрепараты + азотные удобрения	7,9	35,7	13,0	–
Кормовые бобы (<i>Vicia faba</i> L.)	Факторы	Всходы	Бутонизация	Перед уборкой	Целлюлозолитическая активность, %
	Биопрепараты	24,4	25,6	14,6	49,2
	Азотные удобрения	48,0	37,8	83,1	15,7
	Биопрепараты + азотные удобрения	–	14,2	–	–

Table 1
Share of contribution (%) of the studied factors in the variation of biological indicators by vegetative phase of legume crops

Cultures	Factors	Share of deposit, %			
		C-CO ₂ , kg/h/ha			Cellulosolitic activity, %
		Sprouting	Branching	Before you clean up	
Soybean (<i>Glycine hispida</i> L.)	Biopreparations	17.7	7.3	40.3	13.6
	Nitrogen fertilizers	70.5	53.2	45.9	80.6
	Biopreparations + nitrogen fertilizers	7.9	35.7	13.0	–
Forage beans (<i>Vicia faba</i> L.)	Factors	Sprouting	Boutonation	Before you clean up	Cellulosolitic activity, %
	Biopreparations	24.4	25.6	14.6	49.2
	Nitrogen fertilizers	48.0	37.8	83.1	15.7
	Biopreparations + nitrogen fertilizers	–	14.2	–	–

В среднем за период вегетации культур сои по результатам статистической обработки установлено, что значительная доля вклада в варьирование показателя биологической активности отмечена по азотным удобрениям – 80,6 %.

Биопрепараты как фактор значительно (на 67,0 %) уступали по своему действию на биологические процессы разложения целлюлозы по отношению азотным удобрениям, что обусловлено сложившимися климатическими условиями вегетации культур. Менее активно проявили себя азотные удобрения по кормовым бобам, где доля их участия в интенсивности разложения целлюлозы была в 3 раза меньше, чем микробиологических препаратов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, наибольшую эффективность все изучаемые факторы (биопрепараты и азотные удобрения) проявили в период всходов, то есть в начальные сроки инокуляции биопрепаратами семян, почвы и всходов культур, чему благоприятствовали гидротермические условия проведения исследований. Максимальное количество выделившегося C-CO₂ установлено при совместном внесении биопрепаратов на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* с азотными удобрениями (из расчета 10 кг д. в. N на 1 т соломы) независимо от культур (сои и кормовых бобов) и сроков проведения исследова-

ований (фаза всходов, для сои – фаза ветвления, для кормовых бобов – фаза цветения и фаза перед уборкой бобовых культур). Лишь по сое на варианте с внесением азотных удобрений в фазу всходов наблюдалась наибольшая интенсивность продуцирования C-CO₂ почвой, что составило 11,3 кг/ч/га.

Представленные данные по целлюлозолитической активности свидетельствуют о том, что действие микробиологических биопрепаратов, азотных удобрений и их совместное применение на фоне поверхностной заделки побочной продукции по сое и кормовым бобам способствовали увеличению биологической (целлюлозолитической) активности чернозема типичного. Максимальная доля участия азотных удобрений в варьировании целлюлозолитической активности на 67,0 % отмечена по сое по отношению к биопрепаратам, по доле варьирования биологической активности по кормовым бобам азотные удобрения на 33,5 % уступали действию микробиологических препаратов.

Отсюда следует, что анализ интенсивности эмиссии углекислого газа почвой и целлюлозолитической активности чернозема типичного по сое и кормовым бобам позволит оценить активность развития микробных сообществ, участвующих в разложении побочной продукции сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Куликова А. Х., Яшин Е. А., Яшин А. Е. Влияние соломы и сидерита на баланс элементов питания в черноземе типичного Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 79–84. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-79-84.
2. Чуян Н. А., Брескина Г. М. Оптимизация содержания и состава органического вещества чернозема типичного // Агротехнологический вестник. 2018. № 3. С. 35–39.
3. Rusakova I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield // Agricultural biology. 2020. Vol. 55. No. 1. Pp. 153–162. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.153rus.
4. Русакова И. В. Эффективность различных доз и сроков внесения азота при заделке соломы под ячмень и тритикале // Владимирский земледелец. 2020. № 2 (92). С. 27–33. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10115.
5. Брыкина Ю. В., Осипов И. О., Черников В. С. Изучение влияния биопрепаратов Стернифаг СП на скорость разложения соломы в условиях лесостепной зоны Липецкой области // Агротехнологические технологии центральной России. 2019. № 3 (123). С. 72–77. DOI: 10.24888/2541-7835-2019-13-63-71.
6. Бирюков Е. В. Возможность применения биопрепарата триходермин в качестве микробиологического удобрения в условиях Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики. 2008. Т. 1. № 1 (11). С. 84–92.
7. Li P., Zhang D. D., Wang X. J., Cuat Z. J. Survival and performance of two cellulose-degrading microbial systems inoculated into wheat straw-amended soil // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012. Iss. 22. Pp. 126–132.
8. Русакова И. В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // JUVENIS-SCIENTIA. 2018. № 9. С. 4–9. DOI: 10.32415/jscientia. 2018.09.01.
9. Semenov V. M., Pautova N. B., Lebedeva T. N., Khromyckina D. P., Semenova N. A., Lopes de Gerenyu V. O. Plant residues decomposition and formation of active organic matter in the soil of the incubation experiments // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 10. Pp. 1183–1194. DOI: 10.1134/S1064229319100119.
10. Sushko S. V., Ananyeva N. D., Ivashchenko K. V., Kudayarov V. N. Soil CO₂ emission, microbial biomass, and basal respiration of chernozems under different land uses // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 9. Pp. 1091–1100. DOI: 10.1134/S1064229319090096.
11. Hossain M. B., Rahman M. M., Biswas J. et al. Carbon mineralization and carbon dioxide emission from organic matter added soil under different temperature regimes // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2017. No. 6. Pp. 311–319 DOI: 10.1007/s40093-017-0179-1.
12. Иванов А. В., Браун М., Татауров В. А. Сезонная и суточная динамика эмиссии CO₂ из почв кедровых лесов Южного Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 2018. № 3. С. 297–303.
13. Свиридова О. В., Воробьева Н. И., Проворов Н. А., Орлова О. В., Русакова И. В., Андронов Е. Е., Пищик В. Н., Попов А. А., Круглов Ю. В. Выравнивание почвенных условий для развития растений при деструкции растительных остатков микробными биопрепаратами // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 664–672. DOI: 10.15389/Agrobiology. 2016. 5. 664 rus.
14. Мнатсаканян А. А., Лукьяненко П. П., Мухина М. Т. Действие микроудобрения и регулятора роста на изменение микробиологической активности чернозема, выщелоченного на посевах озимой пшеницы // Плодородие. 2017. № 1 (94). С. 35–37.
15. Романенков В. А., Павлова В. Н., Беличенко М. В. Оценка климатических рисков при возделывании зерновых культур на основе региональных данных и результатов длительных опытов Геосети // Агротехнология. 2018. № 1. С. 77–86.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агротехмиздат, 1985. 351 с.
17. Технология эффективного использования растительных остатков как органических удобрений на черноземах Лесостепи ЦЧЗ. Курск, 2005. 20 с.
18. Брескина Г. М., Чуян Н. А. Влияние приемов биологизации на урожайность сельскохозяйственных культур // Земледелие. 2020. № 3. С. 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308.
19. Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение. Москва: Изд-во МГУ, 1993. 184 с.
20. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.

Об авторах:

Наталья Анатольевна Чуян¹, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-4212-3143, AuthorID 597312; +7 920 711-28-56, natalia-chuyan@yandex.ru

Галина Михайловна Брескина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-2381-312X, AuthorID 280213; +7 920 703-65-09, breskina-galina@yandex.ru

¹ Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

The effect of biological preparations on the indicators of biological activity of typical slightly eroded chernozem

N. A. Chuyan^{1✉}, G. M. Breskina¹

¹ Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

✉E-mail: natalia-chuyan@yandex.ru

Abstract. The purpose is to study the effect of biological preparations based on *Trichoderma viride* and *Pseudomonas aureofaciens*, nitrogen fertilizers (N_{10} kg a. v. per 1 t of straw) on the surface incorporation of crushed by-products into the soil on the indicators of biological activity of typical slightly eroded chernozem. **Methods.** The studies were carried out in 2018-2020 in field experiments with biological preparations of FGBNU “Kursk FANTS” (Kursk region, Medvensky district, Panino village) on typical poorly eroded chernozem in the grain (barley – buckwheat – fodder beans) and grain-tilled (sunflower – barley – soybean) crop rotation. The indices of biological activity (C-CO₂ production by soil, cellulolytic activity of typical chernozem) are presented for the vegetation period of 2020 in soybean and fodder bean crops. **Results.** It was found that the use of biopreparations based on *Trichoderma viride* and *Pseudomonas aureofaciens*, provided an increase in carbon dioxide emissions on average for the growing season of soybean by 43 % and by 65 % for forage beans in relation to the control. It was revealed that the highest activity of microorganisms participating in mineralization of by-products was observed in soybean during shoots: when nitrogen fertilizers were applied by 7.5 kg/h/ha and when they were mixed with biopreparations by 4.6 kg/h/ha relative to the control. For forage beans, the process of soil C-CO₂ emission was more intense in the variant with the application of biopreparations by 3.8 kg/h/ha and their combined use with nitrogen fertilizers by 4.7 kg/h/ha compared to the control. It was shown that a significant proportion of the contribution to the variation of cellulolytic activity in soybeans belonged to nitrogen fertilizers – 80.6 %. For forage beans the main share of participation in variation of cellulosic decomposition intensity was determined by biopreparations, which was 3 times higher in relation to nitrogen fertilizers.

Keywords: biopreparations, nitrogen fertilizers, by-products, C-CO₂ production, cellulolytic activity, soybean, fodder beans.

For citation: Chuyan N. A., Breskina G. M. Vliyanie biopreparatov na pokazateli biologicheskoy aktivnosti chernozema tipichnogo slaberoirovannogo [The effect of biological preparations on the indicators of biological activity of typical slightly eroded chernozem] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 05 (220). Pp. 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32. (In Russian.)

Date of paper submission: 05.04.2022, **date of review:** 14.04.2022, **date of acceptance:** 20.04.2022.

References

1. Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Yashin A. E. Vliyanie solomy i siderita na balans elementov pitaniya v chernozeme tipichnogo Srednego Povolzh'ya [Effect of straw and siderite on the balance of nutrients in the typical chernozem of the Middle Volga region] // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019. No. 2 (46). Pp. 79–84. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-79-84. (In Russian.)
2. Chuyan N. A., Breskina G. M. Optimizatsiya soderzhaniya i sostava organicheskogo veshchestva chernozema tipichnogo [Optimization of the content and composition of the organic matter of typical chernozem] // Agrochemical Bulletin. 2018. №3. P. 35-39. (In Russian)
3. Rusakova I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield // Agricultural biology. 2020. Vol. 55. No. 1. Pp. 153–162. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.153rus.
4. Rusakova I. V. Effektivnost' razlichnykh doz i srokov vneseniya azota pri zadelke solomy pod yachmen' i tritikale [Effectiveness of different doses and timing of nitrogen applications for straw under barley and triticale] // Vladimirskiy arable farmer. 2020. No. 2 (92). Pp. 27–33. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10115. (In Russian.)
5. Brykina Yu. V., Osipov I. O., Chernikov V. S. Izuchenie vliyaniya biopreparatov Sternifag SP na skorost' razlozheniya solomy v usloviyakh lesostepnoy zony Lipetskoy oblasti [Study of the effect of Sternifag SP biopreparation on straw decomposition rate in the forest-steppe zone of the Lipetsk region] // Agroindustrial technologies of central Russia. 2019. No. 3 (123). Pp. 72–77. DOI: 10.24888/2541-7835-2019-13-63-71. (In Russian.)
6. Biryukov E. V. Vozmozhnost' primeneniya biopreparata trikhodermin v kachestve mikrobiologicheskogo udobreniya v usloviyakh Tambovskoy oblasti [Possibility of Trichodermin biopreparation application as a microbio-

- logic al fertilizer in the Tambov region] // Issues of modern science and practice. 2008. № 1 (11). Vol. 1. Pp. 84–92. (In Russian.)
7. Li P., Zhang D. D., Wang X. J., Cuat Z. J. Survival and performance of two cellulose-degrading microbial systems inoculated into wheat straw-amended soil // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012. Iss. 22. Pp. 126–132.
 8. Rusakova I. V. Biopreparaty dlya razlozheniya rastitel'nykh ostatkov v agroekosistemakh [Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems] // JUVENISSCIENTIA. 2018. No. 9. Pp. 4–9. DOI: 10.32415/jscientia. 2018.09.01. (In Russian.)
 9. Semenov V. M., Pautova N. B., Lebedeva T. N., Khromyckina D. P., Semenova N. A., Lopes de Gerenyu V. O. Plant residues decomposition and formation of active organic matter in the soil of the incubation experiments // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 10. Pp. 1183–1194. DOI: 10.1134/S1064229319100119.
 10. Sushko S. V., Ananyeva N. D., Ivashchenko K. V., Kudayarov V. N. Soil CO₂ emission, microbial biomass, and basal respiration of chernozems under different land uses // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 9. Pp. 1091–1100. DOI: 10.1134/S1064229319090096.
 11. Hossain M. B., Rahman M. M., Biswas J. et al. Carbon mineralization and carbon dioxide emission from organic matter added soil under different temperature regimes // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2017. No. 6. Pp. 311–319 DOI: 10.1007/s40093-017-0179-1.
 12. Ivanov A. V., Braun M., Tataurov V. A. Sezonnaya i sutochnaya dinamika emissii CO₂ iz pochv kedrovyykh lesov Yuzhnogo Sikhote-Alinya [Seasonal and diurnal dynamics of CO₂ emission from soils of cedar forests of the Southern Sikhote] Alin // Soil Science. 2018. No. 3. Pp. 297–303. (In Russian.)
 13. Sviridova O. V., Vorob'eva N. I., Provorov N. A., Orlova O. V., Rusakova I. V., Andronov E. E., Pishhik V. N., Popov A. A., Kruglov Yu. V. Vyravnivanie pochvennykh usloviy dlya razvitiya rasteniy pri destruktzii rastitel'nykh ostatkov mikrobnymi biopreparatami [Leveling of soil conditions for plant development during degradation of plant residues by microbial biopreparations] // Agricultural Biology. 2016. Vol. 51 (5). Pp. 664–672. DOI: 10.15389/Agrobiology.2016.5.664rus. (In Russian.)
 14. Mnatsakanyan A. A., Luk'yanenko P. P., Mukhina M. T. Deystvie mikroudobreniya i regulatora rosta na izmenenie mikrobiologicheskoy aktivnosti chernozema, vyshchelochennogo na posevakh ozimoy pshenitsy [Effect of microfertilizer and growth regulator on changes in microbiological activity of leached chernozem on winter wheat crops] // Plodorodie. 2017. No. 1 (94). Pp. 35–37. (In Russian.)
 15. Romanenkov V. A., Pavlova V. N., Belichenko M. V. Otsenka klimaticheskikh riskov pri vozdeleyvanii zernovykh kul'tur na osnove regional'nykh dannyykh i rezul'tatov dlitel'nykh opytov Geoseti [Assessment of climatic risks in the cultivation of grain crops based on regional data and the results of long-term experiments GeoNet] // Agrochemistry. 2018. No. 1. Pp. 77–86. (In Russian.)
 16. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russian)
 17. Tekhnologiya effektivnogo ispol'zovaniya rastitel'nykh ostatkov kak organicheskikh udobreniy na chernozemakh Lesostepi TsChZ [Technology of Efficient Use of Plant Residues as Organic Fertilizers on Black Earth of Black Steppe of Central Black Earth Zone]. Kursk, 2005. 20 p. (In Russian.)
 18. Breskina G. M., Chuyan N. A. Vliyanie priemov biologizatsii na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Influence of biologicalization techniques on crop yields] // Zemledelie. 2020. No. 3. Pp. 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308. (In Russian.)
 19. Karpachevskiy L. O. Ekologicheskoe pochvovedenie [Ecological Soil Science]. Moscow: Izd-vo MGU, 1993. 184 p. (In Russian.)
 20. Khaziev F. Kh. Metody pochvennoy enzimologii [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka, 2005. 252 p. (In Russian.)

Authors' information:

Nataliya A. Chuyan¹, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of agropedology, ORCID 0000-0002-4212-3143, AuthorID 597312; +7 920 711-28-56, natalia-chuyan@yandex.ru

Galina M. Breskina¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of agropedology, ORCID 0000-0003-2381-312X, AuthorID 280213; +7 920 703-65-09, breskina-galina@yandex.ru

¹ Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia