

УДК 631.46:631.51

ВЛИЯНИЕ МИНИМИЗАЦИИ СПОСОБОВ ПОЧВООБРАБОТКИ И ПРЯМОГО ПОСЕВА НА БИОГЕННОСТЬ ПОЧВЫ И РАЗВИТИЕ АЗОТОБАКТЕРА В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР

© 2024 г. В. М. Гармашов^{1,*}, Л. В. Гармашова¹

¹Воронежский федеральный аграрный научный центр
им. В.В. Докучаева, Каменная Степь

397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева,
квартал 5, 81, Россия

*E-mail: garmashov.63@mail.ru

В многолетних исследованиях биогенности почвы и развития азотобактера, проведенных с целью изучения изменений почвенных процессов при минимизации почвообработки и прямом посеве, показано, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР в зернопропашном севообороте происходило снижение биогенности почвы и возрастание ее зависимости от погодных условий. Наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке на глубину 20–22 см, при среднегодовой его численности 445 КОЕ/50 г почвы в слое 0–20 см. Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для развития азотобактера, усиливавшихся с продолжительностью ее использования. Глифосатсодержащие гербициды при нулевой обработке почвы при длительном их применении оказывали депрессирующее влияние на развитие свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter*. Применение минеральных удобрений N60P60K60 при нулевой обработке почвы снижало негативное влияние глифосатсодержащих препаратов на микрофлору и азотобактер в черноземе обыкновенном.

Ключевые слова: минимизация обработки почвы, прямой посев, биогенность почвы, общая численность микроорганизмов, азотобактер.

DOI: 10.31857/S0002188124010099

ВВЕДЕНИЕ

В современном земледелии актуальны разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий обработки почвы вплоть до прямого посева, несмотря на то, что это зачастую приводит к ухудшению физических и биологических свойств почвы [1–4], наращиванию объемов применения пестицидов и удобрений [5–8], что вызывает опасность ухудшения экологического состояния почв [9–11].

В последние годы для изучения и оценки экологического состояния пахотных почв широкое распространение получают методы микробиологического тестирования [12–14], т.к. почвенная микрофлора является одним из чувствительных показателей оценки плодородия и экологического состояния пашни [15–18]. Поэтому в настоящее время особое значение и актуальность приобретает изучение интенсивности и направленности микробиологических процессов в почве при применении современных энергосберегающих технологий, насыщенных агрохимикатами и пестицидами.

В связи с этим цель работы – исследование динамики и направленности развития основных групп почвенных микроорганизмов и азотобактера как индикаторов экологического состояния почвы при минимизации обработки и прямом посеве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном опыте по изучению эффективности приемов минимизации обработки почвы в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева на черноземе обыкновенном среднегумусном, тяжелосуглинистом, с благоприятными физико-химическими показателями 0–30 см слоя: гумус (по Тюрину в модификации Симакова, ГОСТ 2613–91) – 6.48%, общий азот (по Гинзбург) – 0.36%, общий фосфор (по Гинзбург и Щегловой) – 0.35%, общий калий (по Ожигову) – 1.85%, азот гидролизующий (по Тюрину и Кононовой) – 61.2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821–88) – 66.4 мг/кг

почвы, pH_{KCl} 6.99, гидролитическая кислотность — 0.57 мг-экв/100 г почвы.

Наблюдения за динамикой микробиологических процессов (развитием микробиома почвы и азотобактера) проводили в течение 9-ти лет с 2014 по 2022 гг. в вариантах традиционной обработки почвы — вспашке на глубину 20–22 см (контроль), минимальной обработки на глубину 6–8 см, прямом посеве — нулевой обработке и залежи. Изучение приемов минимизации обработки чернозема проводили в зернопропашном севообороте: горох — озимая пшеница — кукуруза на зерно — ячмень — однолетние травы — озимая пшеница — подсолнечник — ячмень.

Для изучения изменения микробного ценоза в вариантах опыта отбирали смешанные почвенные образцы из наиболее биогенного слоя 0–20 см. Учет численности микроорганизмов проводили классическим методом посева на питательные среды по методике Теппер [19], азотобактера — на почвенных пластинах. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2016.

Погодные условия в годы исследования были различными и в целом близкими к типичным для юго-востока ЦЧР, что позволило получить достоверную оценку действия изученных факторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные об изменении биогенности чернозема обыкновенного при минимизации обработки почвы и прямом посеве представлены на рис. 1.

Показано, что на фоне выраженных амплитудных изменений общей численности микроорганизмов, обусловленных гидротермическими

условиями вегетационных периодов при $r = 0.46$ при поверхностной обработке до $r = 0.28$ при нулевой обработке и $r = 0.26$ на залежи существовали трендовые закономерности изменения общей численности микроорганизмов в зависимости от изученных приемов обработки почвы. При максимальной среднегодовой биогенности (общей численности микроорганизмов) 0–20 см слоя почвы, равной 47.9 млн КОЕ/г почвы при вспашке на глубину 20–22 см поверхностная обработка на глубину 6–8 см приводила к некоторому снижению уровня биогенности до 47.4 млн КОЕ, а использование систематического прямого посева снижало среднегодовую общую численность микроорганизмов в этом слое до 45.0 млн КОЕ/г абсолютно сухой почвы или на 6.1%. При этом минимальная среднегодовая общая численность микроорганизмов была в залежи — 37.3 млн КОЕ/г абсолютно сухой почвы или на 22.1% меньше, чем при вспашке, и на 17.1% меньше, чем при нулевой обработке почвы. Необходимо отметить, что трендовая закономерность изменения биогенности (общей численности микроорганизмов) чернозема обыкновенного при нулевой обработке была аналогична таковой в почве, находящейся в условиях залежи, о чем свидетельствовали уравнения регрессии: $y = 0.668x - 1310$ в условиях залежи и $y = 0.620x - 1207$ при нулевой обработке только при более высоких показателях, что было связано с культурным агроценозом.

Обработанная почва (вспашка и поверхностная обработка) имела несколько иные закономерности в развитии биогенности по сравнению с залежью и необработанной почвой. Но при этом динамика и направленность микробиологических процессов в обработанной почве были аналогичными и описывались уравнениями регрессии: $y = -0.450x + 957.3$ при вспашке на глубину

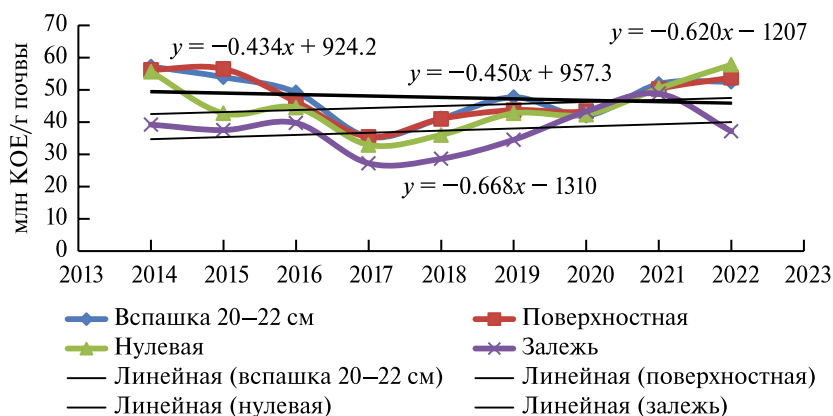


Рис. 1. Изменение биогенности (общей численности микроорганизмов) чернозема в слое 0–20 см при минимизации обработки почвы и прямом посеве.

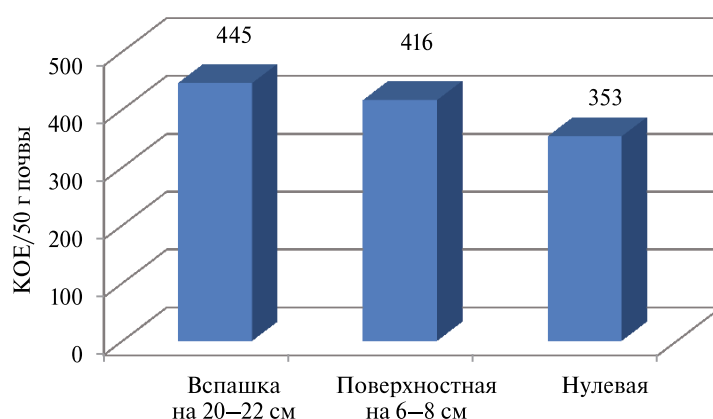


Рис. 2. Среднегодовая численность азотобактера при различных способах обработки почвы (2014–2022 гг.).

20–22 см и $y = -0.434x + 924.2$ при поверхностной обработке почвы на глубину 6–8 см.

Наиболее стабильной была микробиологическая активность в обработанной почве, вспаханной на глубину 20–22 см и при поверхностной обработке, где коэффициент вариации составил 14.7–15.3%, тогда как при обработке no-till – 18.4%. Можно сделать вывод, что при отказе от обработки почвы в почвенно-климатических условиях опыта, биологическая активность почвы в большей мере зависела от влияния факторов внешней среды и погодных условий.

Одним из показателей плодородия почвы и ее экологического состояния является активность азотфиксирующих бактерий, принадлежащих к роду *Azotobakter*. Эти бактерии обеспечивают трансформацию молекулярного азота воздуха в доступные формы для растений. К тому же *Azotobakter* очень чутко реагирует на изменение агрономических свойств и ухудшение плодородия и экологического состояния почвы [20, 21].

Результаты изучения динамики развития азотобактера и статистическая обработка данных свидетельствовали, что наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке, где отмечено наибольшее его присутствие со среднегодовой численностью 445 КОЕ/50 г почвы (рис. 2).

Применение приемов минимизации обработки почвы привело к ухудшению условий для его развития: при поверхностной обработке почвы его численность снизилась на 6.6% (416 КОЕ/50 г почвы), при нулевой обработке – до 353 КОЕ/50 г почвы или на 20.6%. Азотобактер слабо реагировал на изменение внешних факторов, корреляционная зависимость между численностью бактерий и гидротермическим коэффициентом была очень слабой при всех изученных обработках почвы: $r = -0.05–0.22$.

Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для

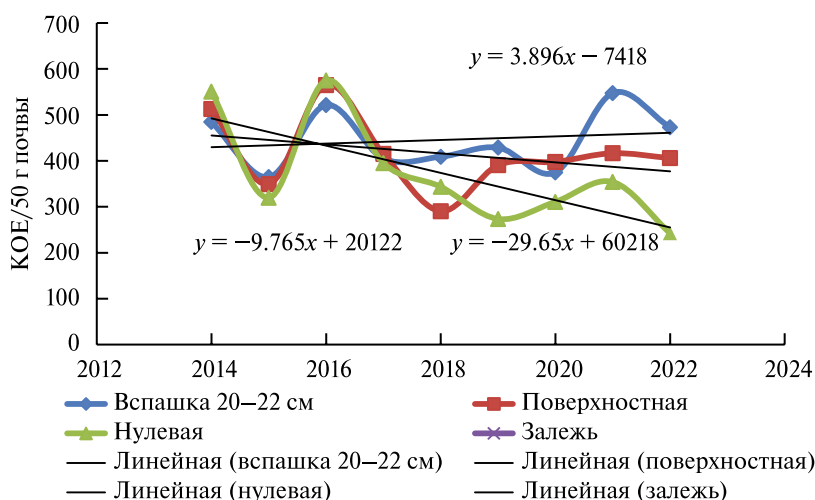


Рис. 3. Развитие азотобактера при минимизации обработки почвы и прямом посеве.

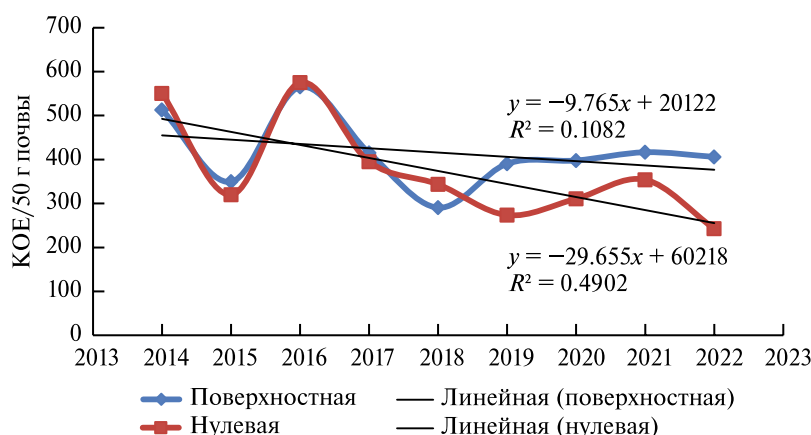


Рис. 4. Развитие азотобактера в слое 0–20 см почвы на различных фонах применения глифосатсодержащих гербицидов.

Таблица 1. Численность азотобактера в слое 0–5 см почвы при традиционной обработке почвы и нулевой обработке спустя 5 сут после применения препарата Торнадо 500 ВР (2019–2020 гг.)

Вариант	КОЕ/50 г почвы
Без использования глифосатсодержащего гербицида	
Вспашка на 20–22 см	361
Вспашка на 20–22 см + удобрения	249
Применение Торнадо 500 ВР в течение 7-ми лет	
Нулевая обработка почвы	55
Нулевая обработка почвы + удобрения	93

развития азотобактера, усиливавшихся с продолжительностью использования (рис. 3).

В связи с расширением площадей с применением минимизации обработки почвы и прямого посева в земледелии региона увеличились объемы использования гербицидов, особенно – глифосатсодержащих. При этом в научной литературе все чаще утверждают, что глифосатсодержащие препараты являются небезопасными для окружающих организмов и подавляют деятельность азотфиксирующих бактерий, развитие грибной микоризы, оказывающей стимулирующее влияние на усвоение влаги и питательных веществ выращиваемыми культурами [22–24].

Так как многие исследователи в качестве тест-организма для определения наличия в почве токсинов рекомендуют использовать активность развития колоний азотобактера [7, 8]. Была изучена и проанализирована динамика развития свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов рода *Azotobacter* в черноземе обыкновенном, используемом в сельскохозяйственном производстве без применения глифосатсодержащих гербицидов и при нулевой обработке почвы – прямом посеве,

предусматривающем ежегодное применение гербицидов на основе глифосата осенью после уборки предшественника и весной до всходов культур севооборота. В опыте в качестве глифосатсодержащего препарата использовали гербицид Торнадо-500, ВР с нормой расхода 2.5 л/га. За период исследования (9 лет) в почву в варианте с no-till обработкой было внесено глифосата порядка 22.5 л/га.

Анализ данных показал, что в первые 5 лет используемый при прямом посеве глифосат депрессирующего влияния на развитие бактерий рода *Azotobacter* в слое почвы 0–20 см не оказал, но при более длительном применении глифосата в агроценозе отмечена четкая тенденция к снижению численности свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter* по сравнению с фоном, где отсутствовало применение глифосатсодержащего гербицида (рис. 4).

Хотя на общей численности микроорганизмов в агрогенной почве это не сказалось (рис. 1), что было обусловлено высокой буферностью и биологической активностью черноземных почв и влиянием на почвенную среду корневых систем выращиваемых в севообороте культур.

Изучение активности развития азотобактера в поверхностном слое 0–5 см почвы, где непосредственно концентрируется действующее вещество препарата при проведении гербицидной обработки (опрыскивании почвы), в вариантах с нулевой обработкой почвы, показало, что через 5 сут после проведения гербицидной обработки отмечено снижение численности азотобактера в 7 раз по сравнению с фоном, где глифосатсодержащие препараты не применяли, а на фоне ежегодного применения минеральных удобрений N60P60K60 под основную обработку почвы – почти в 3 раза (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выявлено, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР при минимизации почвообработки в зернопропашном севообороте прослеживается общий тренд на снижение биогенности почвы и увеличении ее зависимости от влияния погодных условий. Наиболее благоприятные условия для развития азотобактера складывались при вспашке на глубину 20–22 см, где его среднегодовая численность в слое 0–20 см составляла 445 КОЕ/50 г почвы. Минимизация обработки почвы приводила к ухудшению условий почвенной среды для успешного развития азотобактера, усиливающих с продолжительностью использования этого приема.

Глифосатсодержащие гербициды, примененные при нулевой обработке почвы, при длительном их применении оказывали депрессирующее влияние на развитие свободноживущих азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter*. Применение минеральных удобрений N60P60K60 при нулевой обработке почвы снижало негативное влияние глифосатсодержащих препаратов на микрофлору и азотобактер в черноземе обыкновенном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Кудашкин П.И. Изменение показателей плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Приобья при использовании технологии No-till // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 24–30.
2. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Шумаков А.В. Влияние способа основной обработки почвы на агрофизические свойства чернозема типичного при возделывании сои // *Плодородие*. 2022. № 3. С. 49–52.
3. Гребенников А.М., Фрид А.С., Сапрыкин С.В., Чевердин Ю.И. Влияние приемов основной обработки почв, фаз вегетации озимой пшеницы и глубины слоя почвы на уплотнение агрочернозема // *Агрохимия*. 2019. № 10. С. 58–63.
4. Гармашов В.М., Гармашова Л.В. Развитие микроорганизмов, связанных с циклом азота, при минимизации обработки почвы и прямом посеве в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР // *Агрохимия*. 2022. № 4. С. 78–82.
5. Завалин А.А., Дригидгер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // *Почвоведение*. 2018. № 12. С. 1–10. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18120146>
6. Notron J.B., Eusebleus J., Notron M., Notron U. Loss and recovery of soil organic carbon and nitrogen in a semiarid agroecosystem // *Soil Organic Soc. Amer. J.* 2012. № 76(2). P. 505–514.
7. Somasundaram J., Sinha N.K., Dalat R.C. No-till farming and conservation agriculture in South Asia: issues, challenges, prospects and benefits // *Critic. Rev. Plant Sci.* 2020. V. 39. № 3. P. 236–279.
8. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // *Земледелие*. 2013. № 7. С. 3–6.
9. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема выщелоченного // *Агрохимия*. 2010. № 11. С. 39–44.
10. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощительный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема // *Агрохимия*. 2004. № 6. С. 16–23.
11. Коробова Л.Н., Шинделов А.В. Микробный отклик выщелоченного чернозема на превышение нормы гербицидной нагрузки // *Вестн. АлтайГУ*. 2012. № 8(94). С. 51–54.
12. Маячкина Н.В., Чугунова М.В. Особенности биотестирования почв с целью их экологической оценки // *Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского*. 2009. № 1. С. 84–93.
13. Седельникова Л.Л., Ларичкина Н.И., Седельникова А.А. Использование метода биотестирования экологического состояния в городской среде // *Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биол., химия*. 2014. Т. 27 (66). № 5. С. 154–156.
14. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-н/Д.: Росиздат, 2006. 385 с.
15. Паринкина О.М., Ключева Н.В. Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 1995. № 5. С. 573–581.
16. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 240 с.
17. Полякова Н.В., Редькина Н.В. Изменение некоторых микробиологических параметров почв ле-

- состепи при сельскохозяйственном использовании // *Агрохимия*. 2007. № 7. С. 71–75.
18. *Иванов А.Л.* Роль микробиологии в оценке почвенных ресурсов // *Вестн. сел.-хоз. науки*. 2015. № 6. С. 26–28.
19. *Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзев Г.Н.* Практикум по микробиологии М.: Колос, 1979. 215 с.
20. *Скворцова И.Н., Строганова М.Н., Николаева Д.А.* Азотобактер в почвах города Москвы // *Почвоведение*. 1997. № 3. С. 384–391.
21. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-н/Д.: СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.
22. *Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Протасова Л.Д., Верховцева Н.В., Степанов А.Л.* Опыт многолетнего применения производных глифосата и глюфосината в экоценозе парового поля // *Вестн. защиты раст.* 2006. № 2. С. 3–14.
23. *Жариков М.Г., Спиридонов Ю.Я.* Изучение влияния глифосатсодержащих гербицидов на агроценоз // *Агрохимия*. 2008. № 8. С. 81–89.
24. *Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф.* Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Кн. дом “ЛИБРОКОМ”, 2015. 152 с.

Influence of Minimization of Tillage Methods and Direct Seeding on Soil Biogenicity and Development of Nitrogen Bacterium in Soil and Climatic Conditions of the South-East of the Central Chernozem Region

V. M. Garmashov^{a, #}, L. V. Garmashova^a

*^aVoronezh Federal Agrarian Scientific Center
named after V.V. Dokuchaev, Kamennaya Steppe,
village of the 2nd section of the V.V. Dokuchaev Institute, block 5, 81, Voronezh Region,
Talovsky district 397463, Russia*

[#]E-mail: garmashov.63@mail.ru

In long-term studies of soil biogenicity and the development of nitrogen bacteria, conducted in order to study changes in soil processes while minimizing tillage and direct sowing, it was shown that in the soil and climatic conditions of the south-east of the Central chernozem region in the grain crop rotation, there was a decrease in soil biogenicity and an increase in its dependence on weather conditions. The most favorable conditions for the development of azotobacter were formed when plowing to a depth of 20–22 cm, with an average annual number of 445 CFT/50 g of soil in a layer of 0–20 cm. Minimization of tillage led to deterioration of the soil environment conditions for the development of azotobacter, which increased with the duration of its use. Glyphosate-containing herbicides with zero tillage and prolonged use had a depressing effect on the development of free-living nitrogen-fixing bacteria of the genus nitrogen bacteria. The use of mineral fertilizers N60P60K60 with zero tillage reduced the negative effect of glyphosate-containing preparations on microflora and nitrogen bacteria in ordinary chernozem.

Keywords: minimization of tillage, direct sowing, soil biogenicity, total number of microorganisms, nitrogen bacterium.