

УДК 631.46:631.416.1:631.51(470.32)

## РАЗВИТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ, СВЯЗАННЫХ С ЦИКЛОМ АЗОТА, ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРЯМОМ ПОСЕВЕ В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР

© 2022 г. В. М. Гармашов<sup>1,\*</sup>, Л. В. Гармашова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Воронежский 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

Поступила в редакцию 04.06.2021 г.

После доработки 07.07.2021 г.

Принята к публикации 15.01.2022 г.

В многолетнем исследовании развития групп микроорганизмов, связанных с циклом азота, проведенных с целью изучения направленности изменения почвенных процессов при минимизации обработки почвы, показано, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР в зернопропашном севообороте существует общий тренд на снижение активности этих микроорганизмов с нарастающим эффектом. Наиболее значительная депрессия микробиологических процессов, характерная для развития нитрифицирующих бактерий, так и колоний азотобактера, отмечена при прямом посеве.

*Ключевые слова:* минимизация обработки почвы, поверхностная обработка, прямой посев, нитрифицирующие микроорганизмы, азотобактер, чернозем обыкновенный.

**DOI:** 10.31857/S000218812204007X

### ВВЕДЕНИЕ

Обработка почвы – одна из наиболее затратных операций в технологии выращивания культур. В современных агротехнологиях на обработку почвы приходится до 40% энергетических затрат и порядка 25% трудовых [1–4]. В настоящее время в современном земледелии значительное распространение получают экономичные энергосберегающие технологии обработки почвы. Востребованность минимизации обработки почвы обусловлена ростом цен на энергоносители и необходимостью снижения затрат на производство сельскохозяйственной продукции. Поэтому в последние годы в науке и производстве возрастает интерес к минимизации обработки почвы, вплоть до перехода на систему No-till – прямому посеву. При этом разноречивость существующей научной информации, касающейся эффективности минимизации обработки почвы и особенно использования прямого сева, усиливает остроту проблемы и является актуальным вопросом современного земледелия [5–10].

Исследователи практически во всех почвенно-климатических зонах отмечали, что при минимизации обработки почвы и особенно при прямом

посеве создается дефицит минерального азота, усиливается дифференциация пахотного слоя по содержанию подвижного фосфора, возрастает пестицидная нагрузка, негативно влияющая на биогенность почвы и экологическую ситуацию в агроландшафтах [11–16].

По мнению многих исследователей, биологическая активность почвы является одним из чувствительных показателей, характеризующих изменения плодородия почв и их экологического состояния, т.к. микроорганизмы наряду с активным участием в формировании плодородия исключительно чутко реагируют на изменения, происходящие в почвенной среде [17–22].

Поскольку микробиота почвы активно реагирует на изменения, происходящие в почвенной среде, поэтому изучение и оценка показателей микробиологической активности почвы позволяют на начальных этапах изучения агротехнических приемов установить направленность почвенных процессов, и мониторинг изменений почвенной микрофлоры является актуальным и практически значимым.

Цель работы – изучение динамики и направленности развития микроорганизмов, связанных

с циклом азота (нитрифицирующих бактерий и азотобактера) при минимизации обработки почвы и прямом севе.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева в стационарном опыте по поиску наиболее рациональных приемов и систем обработки почвы в севообороте, обеспечивающих сохранение плодородия почвы и высокую продуктивность сельскохозяйственных культур.

Опыт заложен на черноземе обыкновенном среднегумусном тяжелосуглинистом, с благоприятными физическими и агрохимическими характеристиками слоя 0–30 см: содержание гумуса (по Тюрину в модификации Симакова, ГОСТ 2613-91) – 6.48%, общего азота (по Гинзбург) – 0.36%, общего фосфора (по Гинзбург и Щегловой) – 0.35%, общего калия (по Ожигову) – 1.85%, азота гидролизуемого (по Тюрину и Кононовой) – 61.2 мг/кг почвы, суммы поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 66.4 мг/кг почвы,  $pH_{KCl}$  6.99, гидролитическая кислотность – 0.57 мг-экв/100 г почвы.

Мониторинговые наблюдения за изменением микробиологической активности почвы проводили на протяжении 7-ми лет с 2014 по 2020 г. в вариантах обработки почвы в севообороте: традиционная обработка почвы – вспашка на глубину 20–22 см (контроль), поверхностная обработка на глубину 6–8 см и нулевая обработка почвы – прямой посев. Приемы обработки почвы изучали в севообороте: горох – озимая пшеница – кукуруза на зерно – ячмень – однолетние травы – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень.

Изучение изменения микробоценоза почвы проводили в рамках выполнения госзадания. Для анализов отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы в каждом варианте из слоя 0–20 см. Учет численности групп микроорганизмов проводили классическим методом посева на агаризованные селективные питательные среды различного состава по методике Теппер [23] в свежееотобранных образцах, хранившихся не более 24 ч при температуре 5°C. Численность нитрифицирующих бактерий учитывали на выщелоченном агаре с аммонийно-магниевой солью фосфорной кислоты, азотобактер – на почвенных пластинах.

Обработку экспериментальных данных проводили дисперсионным методом математического анализа с использованием программного обеспечения ПК Microsoft Office Excel 2016.

Метеорологические условия в годы проведения исследования различались между собой по температурному режиму и количеству выпавших осадков, но в среднем за годы опыта были близкими к типичным для юго-востока ЦЧР, что позволило достаточно объективно оценить действие изученных факторов.

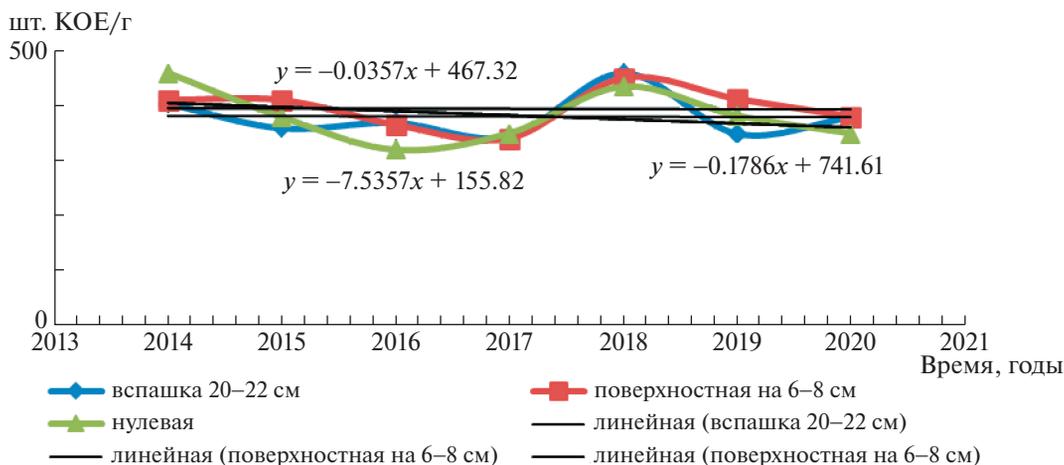
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучили динамику развития наиболее важных в агрономическом отношении групп микроорганизмов, связанных с циклом азота, – нитрифицирующих бактерий и азотобактера.

Физиологические особенности различных видов нитрифицирующих бактерий и их отношение к различным факторам внешней среды позволили считать, что азотный режим и плодородие почвы определяются развитием этих микроорганизмов, т.к. они принимают активное участие в мобилизации азота в почве, окисляя аммиачные соли до солей азотной кислоты, являющихся компонентами минерального питания растений.

Нитрифицирующие бактерии весьма чувствительны к среде обитания – водному, воздушному, питательному и тепловому режимам, содержанию в почве органического вещества [24–26]. Поскольку окисление аммиака в азотистую, а затем в азотную кислоту происходит при участии молекулярного кислорода, изменение физических свойств почвы и особенно аэрации оказывает хотя и опосредованное, но существенное влияние на интенсивность развития нитрифицирующих бактерий.

Полученные результаты показали, что интенсивность развития данной группы микроорганизмов зависела от гидротермических условий вегетационного периода, высеянной культуры и обработки почвы (рис. 1). На фоне значительных амплитудных изменений нитрификационной активности почвы по годам, обусловленной прежде всего различиями агрометеорологических условий лет проведения исследований и сменой культур севооборотного агроценоза, действие изученных приемов обработки почвы проявлялось в виде тенденции. В почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧЗ более высокая влагообеспеченность вегетационного периода снижала интенсивность развития нитрифицирующих бактерий в почве, о чем свидетельствовала направленность связи при расчете коэффициента корреляции. При этом в почве пашни коэффициент корреляции между гидротермическим коэффициентом периода вегетации и активностью нитрифицирующих бактерий составлял  $r = -0.85$ , при поверх-



**Рис. 1.** Развитие нитрифицирующих бактерий в слое 0–20 см почвы при различных приемах и системах обработки почвы в севообороте.

ностной обработке почвы –  $r = -0.42$ , при нулевой обработке связь была наименее тесной –  $r = -0.32$ .

Влияние изученных обработок почвы на нитрификационную активность чернозема обыкновенного проявлялось в виде тенденции. Среднегодовая численность нитрифицирующих микроорганизмов мало различалась в вариантах обработок почвы и находилась в пределах 381–395 КОЕ/г абсолютно сухой почвы и незначительно изменялась со временем использования минимизации обработки почвы, о чем свидетельствовали линии тренда и уравнения регрессии. Это было обусловлено хорошими агрофизическими свойствами почвы, на которой проводили исследование.

Наиболее стабильно нитрификационные процессы проходили в обрабатываемой почве, для которой коэффициент вариации этого признака составил  $V = 10.5–9.2\%$ , тогда как при нулевой обработке развитие нитрифицирующих бактерий в большей мере было подвержено влиянию внешней среды, погодных условий и происходило менее устойчиво, в этом случае коэффициент вариации составил  $V = 13\%$ .

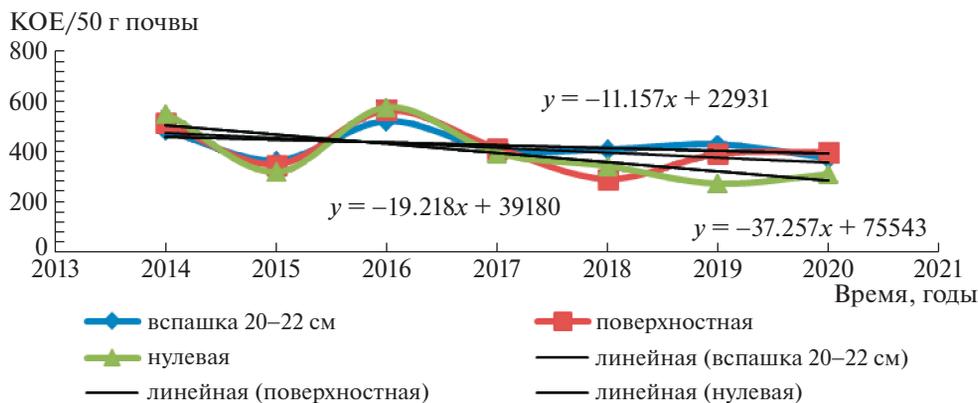
Анализ динамики изменения нитрификационной активности чернозема во времени, т.е. с учетом нарастающего эффекта действия обработки почвы, показал, что в начале перехода на поверхностную и нулевую обработки в первые 4 года наблюдали большие изменения в развитии нитрифицирующих бактерий, а начиная с 5-го года интенсивность развития этой группы микроорганизмов в меньшей степени зависела от обработки почвы, а в большей мере определялась гид-

ротермическими условиями периода вегетации и агроценозом.

Важным показателем плодородия почвы и благоприятного течения биологических процессов в ней является интенсивность развития азотфиксирующих бактерий. Особое значение среди них принадлежит роду *Azotobacter*, т.к. эти бактерии способны усваивать молекулярный азот непосредственно из воздуха, переводя его в доступные формы для других живых организмов. Азотобактер отрицательно реагирует на ухудшение ценных агрономических свойств почвы, особенно чувствителен к недостатку влаги. Активное развитие этой группы микроорганизмов в почве является одним из показателей уровня ее плодородия и экологического благосостояния [27, 28].

Результаты исследований и статистическая обработка данных развития азотобактера показала, что гидротермические условия вегетационного периода оказывали незначительное влияние на развитие этой группы микроорганизмов в почве (рис. 2). Корреляционная зависимость между численностью азотобактера и гидротермическим коэффициентом была обратной и очень слабой. Коэффициент корреляции имел величину  $r = -0.16$  в варианте вспашки и  $-0.07$  – при нулевой обработке. При поверхностной обработке связь между гидротермическим коэффициентом вегетационного периода и развитием азотобактера была прямой и слабой:  $r = 0.23$ .

Влияние изученных приемов минимизации обработки почвы на развитие азотобактера проявлялось как снижение активности микроорганизма, усиливавшейся с продолжительностью использования обработки. За годы исследования максимальное количество азотобактера было в



**Рис. 2.** Развитие колоний азотобактера в слое 0–20 см при применении различных приемов и систем обработки почвы в севообороте.

варианте вспашки и составляло 426,79 КОЕ/50 г почвы, минимальное – при отказе от обработки почвы – 395 КОЕ/50 г почвы. Численность азотобактера при поверхностной обработке чернозема обыкновенного занимала промежуточное положение и составляла 417 КОЕ/50 г почвы. Наиболее стабильно развитие азотобактера в черноземе обыкновенном происходило в варианте вспашки. Коэффициент вариации численности азотобактера по годам при вспашке составил  $V = 13.4$ , при поверхностной обработке – 22.5, тогда как при нулевой обработке этот показатель был равен 30.4%.

При этом наиболее сильная связь между содержанием нитратного азота в почве и интенсивностью развития азотобактера была при нулевой обработке –  $r = 0.66$ . В обрабатываемой почве азотобактер меньше влиял на обеспеченность почвы нитратным азотом. Связь между этими показателями была менее значимой, коэффициент корреляции находился в пределах 0.41–0.45. При этом коэффициент корреляции между количеством нитрифицирующих бактерий и обеспеченностью почвы нитратным азотом был максимальным при вспашке –  $r = 0.54$ , что свидетельствовало об оптимизации условий для развития нитрифицирующих бактерий применения в варианте этой обработки почвы.

В динамике развития азотобактера при минимизации обработки чернозема обыкновенного отмечена обратная закономерность по сравнению с развитием нитрифицирующих бактерий. В первые годы опыта интенсивность развития колоний азотобактера мало различалась в зависимости от способа обработки. В последующем, начиная с 4-го года систематического применения поверхностной обработки почвы и прямого сева, стала явно просматриваться тенденция к снижению численности колоний азотобактера в варианте нулевой обработки почвы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мониторинг развития групп микроорганизмов, связанных с циклом азота в черноземе обыкновенном, при минимизации обработки почвы в зернопропашном севообороте показал, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР прослежен общий тренд на снижение активности этих микроорганизмов, с нарастающим эффектом при усилении минимизации обработки почвы. Наиболее значительная депрессия микробиологических процессов, как развития нитрифицирующих бактерий, так и колоний азотобактера, была отмечена в варианте без обработки почвы – при прямом посеве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максютов Н.А., Жданов В.М., Захаров В.П., Лактионов В.С. Ресурсосберегающие приемы в земледелии // Земледелие. 2006. № 6. С. 33–34.
2. Дедов А.В., Трофимова Т.А., Болучевский Д.А. Совершенствование основной обработки почвы в ЦЧР // Земледелие. 2013. № 6. С. 5–7.
3. Кузыченко Ю.А., Кулинцев В.В., Кобозев А.К. Эффективность обработки почвы в севооборотах на различных типах почв Центрального Предкавказья // Земледелие. 2017. № 4. С. 19–21.
4. Гармашов В.М., Гармашова Л.В. Биологическая активность чернозема обыкновенного при освоении технологии No-till // Международ. научн.-исслед. журн. 2020. № 12 (102). Ч. 1. С. 131–136.
5. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Разработка технологии No-Till на черноземе выщелоченном лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2011. № 5. С. 20–22.
6. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития задачи исследования // Земледелие. 2013. № 7. С. 3–6.
7. Коротких Н.А., Власенко Н.Г., Костючик С.П. Влагодобеспеченность яровой пшеницы при техноло-

- гии No-till в лесостепи Приобья // Земледелие. 2013. № 3. С. 21–23.
8. Гилев С.Д. Эффективность прямого посева в Зауралье // Земледелие. 2014. № 6. С. 19–22.
  9. Дридигер В.К., Стукалов Р.С. Оценка no-till технологии выращивания озимой пшеницы в сравнении с традиционной в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 39–42.
  10. Дорожко Г.Р., Власова О.И., Шабалдас О.Г., Зеленская Т.Г. Влияние длительного применения прямого сева на основные факторы плодородия почвы и урожайность озимой пшеницы в условиях засушливой зоны // Земледелие. 2017. № 7. С. 7–10.
  11. Кирюшин В.И. Минимализация обработки почвы: перспективы и противоречия // Земледелие. 2006. № 5. С. 12–14.
  12. Гуреев И.И. Минимализация обработки почвы и уровень ее допустимости // Земледелие. 2007. № 4. С. 25–28.
  13. Беляева О.Н. Система No-till и ее влияние на доступность азота почв и удобрений: обобщение опыта // Земледелие. 2013. № 7. С. 16–18.
  14. Кирюшин В.И. Проблема минимализации обработки почвы: перспективы развития, задачи исследования // Земледелие. 2013. № 7. С. 3–6.
  15. Завалин А.А., Дридигер 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. DOI: 10.1134/S0032180X18120146
  16. Notron J.V., 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.
  17. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1986. 176 с.
  18. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник / Под ред. Д.Г. Звягинцева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.
  19. Зенова Г.М. Почвенные актиномицеты. М.: Изд-во МГУ, 1992. 81 с.
  20. Шлевкова Е.М. Биологическая активность чернозема южного в зависимости от способа обработки почвы // Почвоведение. 1993. № 3. С. 40–44.
  21. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощительный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема // Агрохимия. 2004. № 6. С. 16–23.
  22. Джанаев З.Г. Агрохимия и биология почв юга России / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2008. 528 с.
  23. Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзев Г.Н. Практикум по микробиологии. М.: Колос, 1979. 215 с.
  24. Почвенная микробиология. Пер. с англ. / Под ред. Д.И. Никитишена. М.: Колос, 1979. 316 с.
  25. Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья (актуальность и состояние проблемы, рабочие гипотезы исследований, сопряженность агрономических и экологических функций, динамики в агроценозах, принципы моделирования и технологии воспроизводства). М.: РАСХН, ВНИПТИУ, 2004. 630 с.
  26. Полянская Л.М., Горбачева М.А., Милановский Е.Ю., Звягинцев Д.Г. Развитие микроорганизмов в аэробных и анаэробных условиях в черноземе // Почвоведение. 2010. № 3. С. 356–360.
  27. Скворцова И.Н., Строганова М.Н., Николаева Д.А. Азотобактер в почвах города Москвы // Почвоведение. 1997. № 3. С. 384–391.
  28. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-н/Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.

## Development of Microorganisms Associated with the Nitrogen Cycle, while Minimizing Tillage and Direct Sowing in the Soil and Climatic Conditions of the South-East of the Central Chernozem Region

V.M. Garmashov<sup>a,#</sup> and L.V. Garmashova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Voronezh 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

<sup>#</sup>E-mail: garmashov.63@mail.ru

In a long-term study of the development of groups of microorganisms associated with the nitrogen cycle, conducted in order to study the direction of changes in soil processes while minimizing tillage, it was shown that in the soil and climatic conditions of the south-east of the Central Asian Republic in the grain crop rotation, there is a general trend to reduce the activity of these microorganisms with increasing effect. The most significant depression of microbiological processes, characteristic of the development of nitrifying bacteria and azotobacter colonies, was noted during direct sowing.

**Key words:** minimization of tillage, surface treatment, direct sowing, nitrifying microorganisms, azotobacter, ordinary chernozem.