



УДК:631.461; 631.432.5

### АЗОТОБАКТЕР В АГРОЦЕНОЗАХ, НАСЫЩЕННЫХ ГЛИФОСАТСОДЕРЖАЩИМИ ГЕРБИЦИДАМИ

В.М. Гармашов\*, Н.А. Нужная, Л.В. Гармашова

ФБГНУ «Воронежский Федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева», Каменная Степь, Россия

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

Статья поступила в редакцию 24.0.2022; принята к печати 02.12.2022

В связи с постоянным ростом площадей нулевой обработки почвы и активным применением гербицидов сплошного действия на основе глифосата, исследованиями, проведенными в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР с целью выявления влияния глифосатсодержащих препаратов на экологические условия почвенной среды при нулевой обработке почвы, в стационарном и микрополевым опытах изучена динамика развития азотобактера методом учета микроорганизма на почвенных пластинах. Исследованиями установлено, что применение глифосат-содержащего гербицида сплошного действия наиболее сильное негативное влияние на почвенную среду оказывает в поверхностном слое почвы 0-5 см, тогда как при увеличении мощности изучаемого слоя до 0-20 см действие глифосата кислоты на почвенную биоту проявляется и сказывается значительно меньше. Увеличение нормы применения глифосатсодержащего препарата (Торнадо 500, ВР) от рекомендуемой (3,0 л/га) в три раза (9,0 л/га) снижает численность азотобактера в слое почвы 0-5 см в 20 раз. После семилетнего ежегодного применения гербицида Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период (всего 35 л/га) происходит снижение численности азотобактера в поверхностном слое 0-5 см в черноземе обыкновенном на фоне с ежегодным применением удобрений  $N_{60}P_{60}K_{60}$  под основную обработку почвы почти в три раза, на фоне без применения удобрений в семь раз по сравнению с почвой, где глифосатсодержащие препараты не применялись.

**Ключевые слова:** агроценоз, чернозем обыкновенный, азотобактер, гербицид, глифосатсодержащий препарат.

### AZOTOBACTER IN AGROCENOSES SATURATED WITH GLYPHOSATE-CONTAINING HERBICIDES

V.M. Garmashov\*, N.A. Nuzhnaya, L.V. Garmashova

V.V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Research Center, Kamennaya Steppe, Russia

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

Due to the constant growth of the areas of zero tillage and the active use of continuous herbicides based on glyphosate, studies conducted in the soil and climatic conditions of the south-east of the Central Asian Republic in order to identify the effect of glyphosate-containing preparations on the environmental conditions of the soil environment with zero tillage, in stationary and micro-field experiments, the dynamics of the development of azotobacter by taking into account the microorganism on soil plates. Studies have found that the use of a glyphosate-containing herbicide of continuous action has the strongest negative effect on the soil environment in the surface layer of the soil 0-5 cm, whereas with an increase in the thickness of the studied layer to 0-20 cm, the effect of glyphosate acid on the soil biota manifests and affects significantly less. An increase in the rate of use of a glyphosate-containing drug (Tornado 500 BP) from the recommended (3.0 l / ha) three times (9.0 l / ha) reduces the number of nitrogen bacteria in the soil layer 0-5 cm in ordinary chernozem, against the background with the annual use of fertilizers  $N_{60}P_{60}K_{60}$  for basic tillage, almost three times, against the background without the use of fertilizers, seven times compared to the soil where glyphosate-containing preparations were not used.

**Keywords:** agroecosis, common chernozem, azotobacter, herbicide, glyphosate-containing preparation.

#### Введение

Постоянное увеличение площадей, где применяют минимализацию обработки почвы и прямой посев, приводит к росту использования гербицидов, особенно глифосатсодержащих. В последние годы все чаще отмечается, что насыщение сельскохозяйственного производства пестицидами приводит к загрязнению агроэкосистем и ухудшению экологической ситуации в агроландшафтах [1, 2, 3].

Есть мнение, что глифосат малотоксичен для млекопитающих, птиц, рыб и насекомых и не накапливается в клетках животных [3], однако в последнее время все чаще отмечается, что неоправданно широкое применение препаратов на основе глифосата приводит к загрязнению почвы, воды и воздуха продуктами его распада. Такие препараты наряду с высоко выраженным гербицидным эффектом наносят вред многим «нецелевым» организмам, включая полезных насекомых и дождевых червей [3, 4], ингибируют развитие азотфиксирующих бактерий, подавляют рост грибной микоризы, помогающей растениям усваивать влагу и питательные вещества, делают растения более уязвимыми для болезней [4, 5, 6].

Отмечается высокая способность глифосата разлагаться в почве: период полураспада не более 20 суток [7, 8, 9]. По другим данным, период его полураспада длится до 174 суток [10]. Поэтому с учетом неоднозначности мнений и остроты проблемы применения и последствий глифосатсодержащих гербицидов на почву, агроценозы и окружающую среду изучение и проведение биотестирования почвы в агроценозах, насыщенных глифосатсодержащими гербицидами, является весьма актуальным.

Цель нашего исследования состояла в том, чтобы дать оценку многолетнего применения глифосатсодержащего препарата при нулевой обработке (прямом севе) на почву – чернозем обыкновенный в условиях юго-востока Центральной черноземной зоны (ЦЧЗ) России.

### Условия материалы и методы

Многолетнее воздействие глифосатсодержащего препарата на агроценоз оценивали в стационарном опыте, заложенном в 2014 году в отделе адаптивно-ландшафтного земледелия ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева», и в микрополевом опыте.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднегумусный, среднемощный, тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими и агрохимическими характеристиками 30-сантиметрового слоя: гумус (по Тюрину в модификации В.Н. 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, рН солевой вытяжки – 6,99, гидролитическая кислотность – 0,57 мг-экв./100 г почвы.

В стационарном опыте приемы обработки почвы изучаются в зернопропашном севообороте: горох - озимая пшеница - кукуруза на зерно – однолетние травы (гороховая смесь) – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень.

Изучение активности свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов (азотобактера) в почве проводили на вариантах со вспашкой на глубину 20-22 см, поверхностной обработкой на глубину 6-8 см (обычная обработка в ЦЧЗ, без использования глифосатсодержащих препаратов) и нулевой обработкой почвы, предусматривающей ежегодное применение препаратов на основе глифосата – осенью по стерне и весной до всходов культуры. В качестве глифосатсодержащего препарата использовали гербицид Торнадо-500, ВР в норме 2,5 л/га.

Для оценки воздействия повышенных норм глифосата был заложен микрополевым опыт. В нем на фоне нулевой обработки почвы было изучено действие 3,0, 6,0 и 9,0 л/га препарата Торнадо-500, ВР.

Для микробиологических анализов отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого исследуемого объекта. Отбор почвенных образцов в стационарном опыте производили из слоя 0-20 см, два раза за вегетационный период под культурами севооборота на первом поле стационарного опыта. В микрополевым опыте отбор проб осуществляли из поверхностного слоя почвы 0-5 см на третий день после обработки гербицидом. Анализ проводили на свежих образцах, хранившихся не более 24 часов при температуре 5°С. Учет численности азотобактера проводили на почвенных пластинах.

Для статистической обработки экспериментальных данных применяли дисперсионный анализ (Доспехов, 1985) с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2010.

Метеорологические условия в годы проведения исследований были различными по температурному режиму и влагообеспеченности с ГТК за май-август 0,31-1,09, но в целом, аналогичными среднесезонным для юго-востока ЦЧЗ, что позволяет достаточно объективно проанализировать действие изучаемых факторов.

### Результаты и обсуждение

Была изучена динамика одного из наиболее чувствительных [11, 12, 13] и важных показателей как для плодородия [14, 15], так и для индикации почвы на химическое загрязнение [11, 12] – интенсивности развития бактерий рода *Azotobacter*.

По мнению многих исследователей, азотобактер является весьма чувствительным микроорганизмом, реагирующим на изменение агроэкологических условий почвенной среды [11, 12, 13, 14]. Эти микроорганизмы хорошо развиваются в почве с нейтральной реакцией среды, хорошо обеспеченной запасами органических веществ и доступными соединениями фосфора [16, 17]. Азотобактер отрицательно реагирует на ухудшение агрономических качеств почв: реакции почвенной среды, обеспеченности почвы фосфором, некоторыми микроэлементами и доступным ему органическим веществом, чувствителен к недостатку влаги, поставляет в почву биологически активные вещества, подавляет продукты метаболизма фитопатогенных грибов. Поэтому многие исследователи [1, 18] рекомендуют оценивать наличие токсинов в почве по численности колоний азотобактера.

При анализе почвенных образцов, ежегодно отбираемых из слоя 0-20 см чернозема обыкновенного, значительная депрессия микроорганизма при использовании Торнадо 500 ВР при сравнении с фоном (без использования препарата) не выявлена, но прослеживается четкая тенденция к снижению его активности после пятилетнего применения препарата (рис. 1).

В слое с наибольшим воздействием гербицида на почву (0-5 см) отмечается снижение численности азотобактера в четыре раза при сравнении со слоем 20-22 см (74 и 305 КОЕ на 50 г почвы соответственно).

В микрополевых опытах было изучено влияние дозы 500 г/л Торнадо 500 ВР на развитие азотобактера в черноземе обыкновенном в условиях нулевой обработки почвы (табл. 2). Была выявлена четкая зависимость численности бактерий рода азотобактер в черноземе обыкновенном от дозы Торнадо 500 ВР (500 г/л глифосата кислоты) (табл. 1).

Увеличение дозы гербицида в два раза относительно рекомендуемой (3 л/га) в регламенте нормы до 6,0 л/га привело к снижению численности азотобактера в слое почвы 0-5 см в два раза, а увеличение дозы применения препарата в три раза до 9,0 л/га привело к снижению численности азотобактера почти в 20 раз – до 8 КОЕ в 50 г почвы (при 157 КОЕ в 50 г почвы при рекомендуемом регламенте).

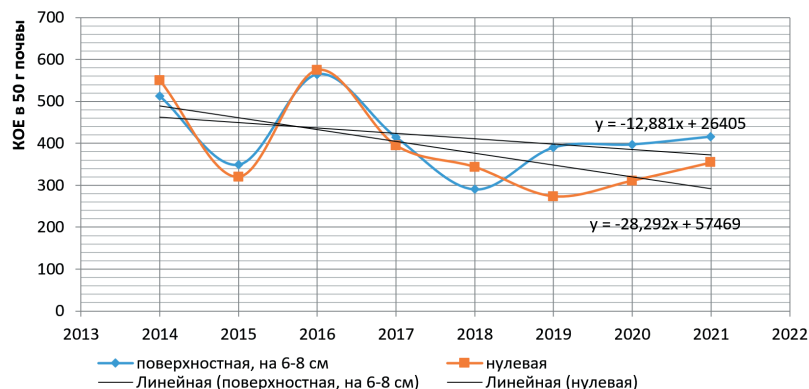


Рис. 1. Развитие азотобактера в слое 0-20 см при различных фонах применения глифосатсодержащего гербицида

Табл. 1.

Развитие азотобактера в слое почвы 0-5 см при применении различных доз Торнадо 500 ВР 2019-2020 гг.

Доза Торнадо 500 ВР	Азотобактер, КОЕ в 50 г почвы
3,0 л/га (контроль)	157
6,0 л/га	83
9,0 л/га	8

Многолетние исследования в условиях стационарного опыта позволили выявить зависимость численности бактерий азотобактер от срока применения глифосат-содержащего препарата (табл. 3). После семилетнего применения Торнадо 500 ВР (500 г/л) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период - после уборки предшественника и перед посевом культуры севооборота (5 л × 7 лет = 35 л/га) – отмечено снижение численности азотобактера на фоне с ежегодным применением удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> под основную обработку почвы почти в три раза. На фоне без применения удобрений – в семь раз при сравнении с почвой, где глифосат-содержащие препараты не применялись.

#### Заключение

Применение глифосат-содержащего гербицида сплошного действия Торнадо 500 ВР оказывает наиболее сильное негативное влияние на почвенную среду в поверхностном слое почвы 0-5 см, тогда как при увеличении изучаемого слоя до 0-20 см действие гербицида на почвенную биоту проявляется значительно меньше. Увеличение нормы применения Торнадо 500, ВР от рекомендуемой (3,0 л/га) в три раза (9,0 л/га) снижает численность азотобактера в слое почвы 0-5 см в 20 раз.

После семилетнего ежегодного применения гербицида Торнадо 500, ВР (500 г/л) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период (всего 35 л/га) происходит снижение численности азотобактера в черноземе обыкновенном на фоне с ежегодным применением удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> под основную обработку почвы почти в три раза, на фоне без применения удобрений - в семь раз по сравнению с почвой, где глифосат-содержащие препараты не применялись.

*Финансирование. Материалы подготовлены в рамках выполнения государственного задания «Разработать рациональные схемы севооборотов, приемы минимализации основной обработки почвы и применения удобрений, отвечающих экологическим и природоохранным требованиям адаптивно-ландшафтного земледелия ЦЧЗ» FGNZ – 2022 - 0001.*

#### Литература

1. Казеев КШ, Лосева ЕС, Боровикова ЛГ, Колесников СИ. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема выщелоченного. *Агрохимия*. 2010;11:39-44.
2. Imfeld G, Vuilleumier S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *Eur J Soil Biol*. 2012;49: 22-30.
3. Жариков МГ, Спиридонов ЮЯ. Изучение влияния глифосат-содержащих гербицидов на агроценоз. *Агрохимия*. 2008;(8):81-89.
4. Jaworski EG. Mode of action of N-phosphonomethyl glycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Agric Food Chem*. 1972;20:195-8.
5. Куликова НА, Лебедева ГФ. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: ЛИБРОКОМ; 2015.
6. Спиридонов ЮЯ, Ларина ГЕ, Протасова ЛД, Верховцева НВ, Степанов АЛ. Опыт многолетнего применения производных глифосата и глюфосината в эконозозе парового поля. *Вестник защиты растений*. 2006;(2); 3-14.
7. Veiga F, Zapata JM, Marcos MLF, Alvarez E. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. *Sci Total Environ*. 2001;271(1-3):135-44.
8. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ. М.: Агрорус; 2006.
9. Мельников НН, Новожилов КВ, Белан СР, Пылова ТН. Справочник по пестицидам. М.: Химия; 1985.
10. Wauchope RD, Buttler TM, Hornsby AG, Augustin-Beckers PWM, Burt JP. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Rev Environ Contam Toxicol*. 1992;123:1-155.
11. Колесников СИ, Казеев КШ, Вальков ВФ. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ; 2000.
12. Коробова ЛН, Шинделов АВ. Микробный отклик выщелоченного чернозема на превышение нормы гербицидной нагрузки. *Вестник Алтайского государственного университета*. 2012;(8):51-4.
13. Полякова АВ. Бактерии азотного обмена как индикатор химического загрязнения. В кн.: *Экология и биология почв*. Ростов-на-Дону; 2003. С. 75.
14. Звягинцев ДГ, Бабьев ИП, Зенов ГМ, ред. *Биология почв: учебник*. Москва: МГУ; 1989.
15. *Виноградский СН. Микробиология почвы. Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований*. М.: Изд-во АН СССР; 1952.
16. Мирчинк ТГ. Почвенные грибы как компонент биогеоценоза. В кн.: *Почвенные организмы как компонент биогеоценоза*. Москва: Наука; 1984. С. 47-56.
17. Молчанов ЮМ. Влияние севооборота и монокультуры на некоторые свойства почвы и потенциальную активность бактерий. В кн.: *Тезисы докладов IV съезда Украинского научного общества*. Киев: Наукова думка; 1985. С.19.
18. Свистова ИД. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощительный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема. *Агрохимия*. 2004;(6):16-23.

#### References

1. Kazeev KSh, Loseva YeS, Borovikova LG, Kolesnikov SI. [The influence of pollution with modern pesticides on the biological activity of leached chernozem]. *Agrokhimiya*. 2010;(11):39-4. (In Russ.)
2. Imfeld G, Vuilleumier S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *Eur J Soil Biol*. 2012;49: 22-30.
3. Zharikov MG, Spiridonov YuYa. [Studying the effect of glyphosate-containing herbicides on agrocenosis]. *Agrokhimiya*. 2008;(8):81-89. (In Russ.)
4. Jaworski EG. Mode of action of N-phosphonomethyl glycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Agric Food Chem*. 1972;20:195-8.
5. Kulikova NA, Lebedeva GF. *Gerbitsidy i Ekologicheskiye Aspekty Ikh Primeneniya*. Moscow: LIBROCOM; 2015. (In Russ.)
6. Spiridonov YuYa, Larina GYe, Protasova LD, Verkhovtseva NV, Stepanov AL. [Experience of long-term use of glyphosate and glufosinate derivatives in a steam field ecocenosis]. *Vetnik Zashchity Rasteniy*. 2006;(2);3-14. (In Russ.)
7. Veiga F, Zapata JM, Marcos MLF, Alvarez E. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. *Sci Total Environ*. 2001;271(1-3):135-44.
8. Anonymous. *Spravochnik Pestitsyдов i Khimikatov, Razreshennykh k Primeneniyu na Territorii RF*. Moscow: Agrorus; 2006. (In Russ.)
9. Melnikov NN, Novozhilov KV, Belan SR, Pylova TN. *Spravochnik po Pestitsidam [Handbook of Pesticides]*. Moscow: Khimiya; 1985. (In Russ.)
10. Wauchope RD, Buttler TM, Hornsby AG, Augustin-Beckers PWM, Burt JP. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Rev Environ Contam Toxicol*. 1992;123:1-155.
11. Kolesnikov SI, Kazeyev KSh, Valkov VF. *Ekologicheskiye Posledstviya Zagrizneniya Pochvy Tiazhtlymi Metallami*. Rostov-on-Don: SKNTs VS; 2000. (In Russ.)
12. Korobova LN, Shindelov AV. [Microbial response of leached chernozem to an excessive norm of herbicidal load]. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2012;(8):51-4. (In Russ.)

Табл. 2.

**Численность азотобактера в слое почвы 0-5 см при различных приемах обработки почвы при применении глифосатсодержащих гербицидов, 2019-2020 гг.**

Вариант опыта	КОЕ в 50 г почвы
<i>Без использования глифосат-содержащего гербицида</i>	
Вспашка на 20-22 см	361
Вспашка на 20-22 см (удобрено)	249
<i>Применение Торнадо 500, КЭ в течение 7 лет</i>	
Нулевая обработка почвы	55
Нулевая обработка почвы (удобрено)	93

- 
13. Polyakova AV. [Nitrogen metabolism bacteria as an indicator of chemical pollution]. In: *Ekologiya i Biologiya Pochv*. Rostov-on-Don; 2003. p. 75. (In Russ.)
  14. Zvyagintsev DG, Babyev IP, Zenov GM, eds. *Biologiya Pochv*. Moscow: MGU; 1989. (In Russ.)
  15. Vinogradsky SN. *Mikrobiologiya Pochvy. Problemy i Metody. Piatdesiat Let Issledovaniy*. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR; 1952. (In Russ.)
  16. Mirchink TG. [Soil fungi as a component of biogeocenosis]. In: *Pochevnyye Orhanizmy Kak Komponenty biogeoTsenoza*. Moscow: Nauka; 1984. P. 47-56. (In Russ.)
  17. Molchanov YuM [The influence of crop rotation and monoculture on some soil properties and the potential activity of bacteria]. In: *Tesisy DopladoV IV Syezda Ukrainskogo Nauchnogo Obschestva*. Kiev: Naukova Dumka; 1985. P.19. (In Russ.)
  18. Svistova ID. [The effect of long-term fertilization on the soil-absorbing complex and microbial community of leached chernozem]. *Agrokimiya*. 2004;(6):16-23. (In Russ.)

---

<>