

МИКРОБНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ

Захарова Ольга Алексеевна¹, Садовая Ирина Игоревна², Евдокимова Ольга Валерьевна³, Ломова Юлия Валерьевна⁴

^{1,2,4}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университета имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия

¹ol-zahar-ru@yandex.ru

Аннотация. В статье изложены результаты агрохимического и микробиологического обследования чернозема выщелоченного, представленные в сравнении двух агроценозов в севообороте с возделыванием озимой ржи и внесением органического удобрения на основе отходов животноводства. Показана взаимосвязь микрофлоры и трансформации разных форм азота, выраженная статистической обработкой в виде кривой.

Проблема и цель. Азот – основное питательное вещество для растений и исследование его метаболизма при взаимодействии с микрофлорой является актуальной задачей. Цель исследований - установить степень и характер взаимосвязи между численностью микроорганизмов и содержанием подвижных форм азота.

Методология. Исследования проведены в течение 4-х лет по общепринятым методикам. Схема опыта включала разные варианты, из которых оптимальным явился с внесением органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 15 т/га под озимую рожь в севообороте. На результаты получен патент 2787398 С1, бронзовая медаль на конкурсе Архимед-2024. Статистическая обработка результатов проведена на компьютерной программе Statistika 10.

Результаты. Установлена криволинейная связь роста микрофлоры и накопления азота минерального в почве. Максимальная доля участия в преобразовании азота в почве установлена у бактерий, выросших на МПА. Доля участия этого фактора в накоплении азота аммония составила 29,9%,

азота нитратов – 53,2%. Доля участия зимогенной микрофлоры в накоплении азота нитратов высокая.

Заключение. Рост численности микрофлоры (в частности, на МПА и КАА) и накопления аммония и нитратов сопряжены друг с другом и имеют до определенного момента прямолинейный характер, после максимального достижения численности он изменяется на криволинейный.

Ключевые слова: озимая рожь, органическое удобрение на основе отходов животноводства, азот минеральный, микроорганизмы, чернозем выщелоченный, взаимозависимость.

Original article

MICROBIAL TRANSFORMATION OF NITROGEN COMPOUNDS IN LEACHED CHERNOZEM

Zakharova Olga Alekseevna¹, Sadovaya Irina Igorevna², Evdokimova Olga Valerievna³, Lomova Yulia Valerievna⁴

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Medical University Named after Academician I.P. Pavlov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russia

¹ol-zahar-ru@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of agrochemical and microbiological examination of leached chernozem, presented in comparison of two agrocenoses in crop rotation with cultivation of winter rye and application of organic fertilizer based on livestock waste. The relationship between microflora and transformation of different forms of nitrogen, expressed by statistical processing in the form of a curve, is shown.

Problem and purpose. Nitrogen is the main nutrient for plants and the study of its metabolism in interaction with microflora is an urgent task. The purpose of the research was to establish the degree and nature of the relationship between the number of microorganisms and the content of mobile forms of nitrogen.

Methodology. The studies were conducted over 4 years using generally accepted methods. The experimental design included different options, of which the optimal one was the application of organic fertilizer based on livestock waste at a dose of 15 t / ha under winter rye in crop rotation. The results were awarded patent 2787398 C1 bronze medal at the Archimedes-2024 competition. Statistical processing of the results was performed using Statistika 10 computer program.

Results. A curvilinear relationship between the growth of microflora and the accumulation of mineral nitrogen in the soil was established. The maximum share of participation in the transformation of nitrogen in the soil was found in bacteria grown on MPA. The share of participation of this factor in the accumulation of ammonium nitrogen was 29.9%, nitrate nitrogen - 53.2%. The share of participation of zymogenic microflora in the accumulation of nitrate nitrogen was high.

Conclusion. The growth of the number of microflora (in particular on MPA and CAA) and the accumulation of ammonium and nitrates were associated with each other and had a rectilinear character up to a certain point, after reaching the maximum number it change to a curvilinear character.

Keywords: winter rye, organic fertilizers based on animal waste, mineral nitrogen, microorganisms, leached chernozem, interdependence.

Введение

Микроорганизмы играют важную роль в круговороте азота [3, 5]. Так, различают группы азотфиксаторов, нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий, иммобилизаторов и др. Микрофлора почвы способствует поддержанию стабильности её химических показателей, снижая концентрации азотсодержащих веществ, губительные для других живых организмов. Между микрофлорой и азотом есть взаимосвязь [2], которую можно установить при обработке данных статистическим анализом. Любые изменения технологии возделывания сельскохозяйственных культур разрушают сложившийся почвенный микробиоценоз и создают новый, который имеет почвенно-микробиологическое обоснование. Как отмечал Е.Н. Мишустин, реальную помощь в разработке приемов по сохранению и восстановлению плодородия почвы без учета микробиологической деятельности невозможно [2, 4]. Учитывая это, нами в данной статье рассмотрен только один аспект по микробной трансформации соединений азота в черноземе выщелоченном. Это и явилось целью исследований.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в ООО «ЛАГ — Сервис АГРО» Захаровского района Рязанской области на черноземе выщелоченном. Захаровский район относится ко второму агроклиматическому району (II). Это переходная зона от лесной к лесостепной [6]. Характеристика климатических особенностей свидетельствует об удовлетворительных условиях для возделывания такой нераспространенной сейчас сельскохозяйственной культуры как озимая рожь сорта Веснянка [3, 5]. Площади посевов озимой ржи в Рязанской области минимальны и составляют около 300 тыс. га. Однако для ООО «ЛАГ — Сервис АГРО» культура имеет большое значение, так как содержащиеся в хозяйстве лошади получают зерно озимой ржи в рационе, а солома используется на подстилку. Основным лимитирующим фактором выступал невысокий уровень плодородия почвы (таблица 1), который восполнялся внесением органического удобрения на основе отходов животноводства.



Рисунок 1 – Лошадь на соревновании

Figure 1 – Horse in competition

В ООО «ЛАГ – Сервис Агро» Захаровского района Рязанской области содержатся лошади орловской рысистой и ахалтекинской пород, участвующие в скачках (рисунок 1), в рацион которых вводится зерно озимой ржи, а резаная солома идет на подстилку. С 2020 года хозяйство получило статус Конный завод ООО «ЛАГ – СервисАгро».

Основным лимитирующим фактором выступал невысокий уровень плодородия почвы (таблица 1), поэтому для восстановления агрохимических свойств почвы было внесено органическое удобрение их расчета 1 раз в 3 года. Этот фактор является наиболее значимым вследствие обогащения почвы питательными веществами для микроорганизмов, хотя на процесс трансформации азота микроорганизмами оказывают влияние температура и влажность почвы, pH, приемы обработки и др.

Таблица 1 - Результаты агрохимического анализа чернозема выщелоченного в ООО «ЛАГ — Сервис АГРО» Захаровского района

Показатели				
P ₂ O ₅ , мг/100г	K ₂ O, мг/100г	N _{подв.} , мг/100г	Гумус, %	pH _{KCl}
Слой почвы 0–25 см				
10,05±0,37	8,85±0,18	5,50±0,3	3,5...3,7	5,2...5,0±1,6
Слой почвы 25-50 см				
8,40±1,3	6,60±0,6	3,00±0,89	3,2...3,4	5,3...4,7±0,56

Приведенные в таблице 1 значения свидетельствуют о бедности почвы. Содержание NPK в почве невысокое и по классификации Сычева она относится ко 2 классу, pH_{KCl} – слабокислая, что включает почву в 3 класс по группировке. Содержание гумуса меньше минимального – до 3,7%. Для восполнения дефицита питания растениям, нами 1 раз в 3 года вносилось органическое удобрение на основе перепревшего конского навоза с добавлением торфа, микробиологического препарата и извести [5, 6]. Содержание разных форм азота в органическом удобрении ниже санитарной нормы. В хозяйстве был поставлен мелкоделяночный полевой опыт с вариантами в 3-х кратной повторности, что показано в таблице 2.

Таблица 2 – Варианты мелкоделяночного полевого опыта

Контроль	Фон	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
без удобрения	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	конский навоз, 15 т/га	фон N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀ + конский навоз, 15 т/га	органическое удобрение на ООЖ, 10 т/га	фон N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀ + органическое удобрение на ООЖ*, 10 т/га	органическое удобрение на ООЖ, 15 т/га	фон N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀ + органическое удобрение на ООЖ, 15 т/га

* органическое удобрение на ООЖ- основе отходов животноводства

На 1 делянку 9 м² как фон вносились минеральные удобрения дозами, показанными в таблице 3. Параллельно проведены исследования в агроценозе севооборота с возделыванием озимой ржи.

Таблица 3 – Дозы минеральных удобрений в расчете на площадь делянки 9 м²

Наименование удобрения	Доза на делянку, г
Нитроаммофоска	324±15,63
Суперфосфат двойной	216±13,84
Хлористый калий	81±6,72

Агротехника в опыте – зональная.

Методика агрохимических исследований общепринятая.

Учет численности основных групп микроорганизмов производился по методикам ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии путем посева почвенной суспензии на селективные питательные среды: бактерии, усваивающие органический азот - на МПА; минеральный азот - на КАА; олигонитрофилы - на среде Эшби; грибы - на среде Чапека; актиномицеты - на КАА. Почва для проведения микробиологических исследований отбиралась методом конверта стерильной лопаткой [3].

Результаты исследований и их обсуждение

«Для предотвращения негативных последствий нарушения цикла азота необходимо точное описание микробиологических процессов превращения соединений азота в природе» [1].

В севообороте при возделывании озимой ржи содержание разных форм азота – на 24%, 19,5% и 36% соответственно. Вносимое органическое удобрение повлияло на рост растений озимой ржи, после уборки которой в почве остались пожнивные остатки. С одной стороны микроорганизмы-деструкторы растительных остатков нуждаются в источнике азотного питания для нормальной жизнедеятельности, и поскольку содержание азота в сухом веществе соломы мало (отношение C:N — 70–80:1), бактерии дополучают его

из почвы, но, с другой стороны, солома возвращает в почву азот (рисунок 2), с третьей стороны – растет содержание органического вещества. С органическим удобрением в почву поступает конский навоз, обеспечивающий за счет собственных микроорганизмов более интенсивную гумификацию растительных остатков.

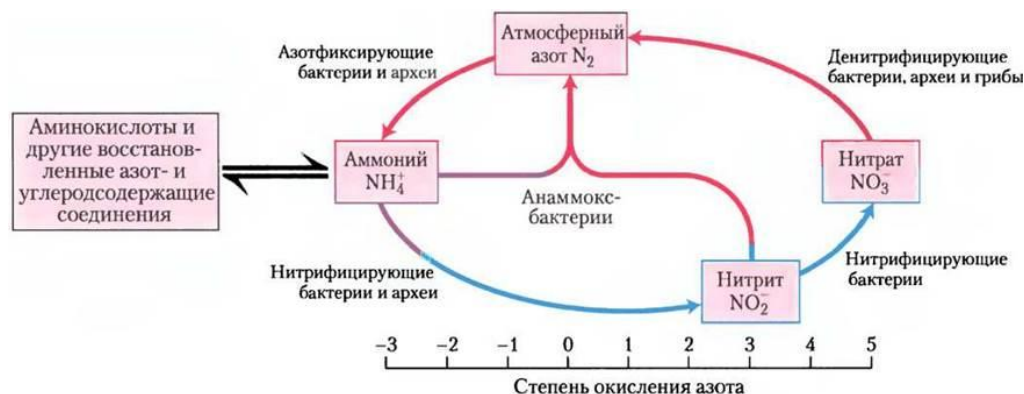


Рисунок 2 - Метаболизм азота

Figure 2 - Nitrogen metabolism

(https://fun-project.ru/biologys/biochemistry/leninger_1/54.html)

Содержание доступных форм азота – аммонийной, нитратной и нитритной высокое, что отображено в таблице 4.

Таблица 4 – Минеральный азот и формы его соединений в слое 0-25 см чернозема выщелоченного, мг/кг

Вариант опыта	Азот			
	нитратный	нитритный	аммонийный	
			необменный (фиксированный)	обменно- поглощенный
Контроль	$\frac{29}{27}^*$	$\frac{0,08}{0,08}$	$\frac{135}{132}$	$\frac{20}{18}$
органическое удобрение на ОЖ, 15 т/га+фон	$\frac{32}{35}$	$\frac{0,11}{0,17}$	$\frac{143}{178}$	$\frac{20}{22}$
НСР ₀₅	1,16	0,1	6,55	1,18

*В числителе – до посева культуры, в знаменателе – после уборки

Как видно из таблицы 4, содержание разных форм N в слое почвы 0 - 25 см основными доступными формами являлись нитратная и аммонийная, так как содержание нитритного азота составляло тысячные доли проценты. Доля фиксированного азота в составе минерального азота составила соответственно 10%; 11%. Так, при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 15 т/га под озимую рожь способствовало повышению содержания общего азота почвы, в том числе изменяло его качественный состав

в сторону увеличения минеральных форм. На контроле виден отрицательный сдвиг: расход всех форм N, что связано с выносом урожая (рисунок 3).

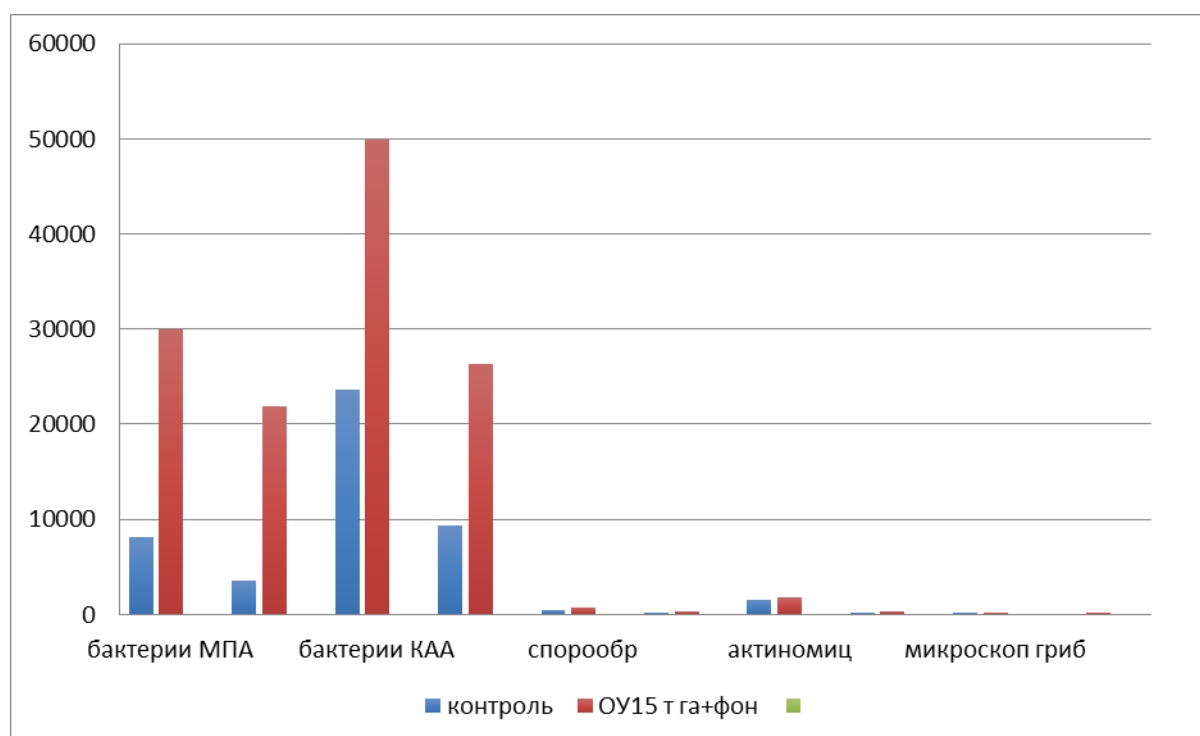


Рисунок 3 - Общая численность бактерий в почве, КОЕ/г
Figure 3 - Total number of bacteria in the soil, CFU/g

Общая численность бактерий на МПА улучшились условия их жизнедеятельности и количество их выросло в 2 раза.

Аналогичная ситуация наблюдается по общей численности бактерий на КАА – амилаолитических микроорганизмов-иммобилизаторов легкодоступного углерода, ассимилирующих минеральные формы азота в почве: выше на 111,6%.

Так, отношение $\frac{КАА}{МПА}$ на варианте с внесением органического удобрения возросло на 12%.

Обитающие в почве бациллы потребляют недоступные для других микроорганизмов азотсодержащего органического вещества. Численность бацилл была на 53% выше, чем на контроле.

Количество актиномицетов, участвующих в глубоком разложении, по сравнению с контролем выросло на 20%, что является следствием активного разложения сложных азотистых и без азотистых соединений в почве.

Численность микроскопических грибов, активно размножающихся на средах, богатых легкоразлагаемыми углеродсодержащими соединениями, и участвующих в первичном разложении растительных остатков, а также аммонификации, в опытном варианте выше на 33,3%.

Вегетационный период у озимой ржи длиннее и растения после перезимовки возвращались к росту и развитию, а в конце сентября вегетация озимой ржи прекратилась.

Обобщая результаты подсчета численности микрофлоры в черноземе выщелоченном, обнаружено достаточное количество питательных веществ при внесении органического удобрения.

Статистический анализ в микробиологии является инструментом для описания и интерпретации полученных данных, обоснования и аргументирования выводов [1]. При внесении органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 15 т/га+фон под озимую рожь гомеостаз нарушен; а поглощаемого биомассой субстрата достаточно для удовлетворения энергетических нужд клеток и их гибель от недостатка питания не наблюдается, о чем свидетельствует рост численности микроорганизмов в июле перед уборкой культур на зерно.

Итак, максимальная доля участия в преобразовании азота в почве установлена у бактерий, выросших на МПА, что согласуется с данными других экспериментаторов [1, 2].



Рисунок 4 - Кривая зависимости накопления азота при росте численности микрофлоры (OX-N_{мин}, OY-OMЧ)

Figure 4 - Curve of dependence of nitrogen accumulation with growth of microflora numbers (OX-N_{min}, OY-OMCH)

При нарастании биомассы бактерий на МПА свыше 4 млн/ г абс.сухой почвы содержание минерального азота увеличивалось до 12 мг/га, на КАА свыше 5 млн/ г абс.сухой почвы – до 5 мг/га.

Закключение

Итак, в результате внесения в почву органического удобрения, в основе которого перепревший конский навоз, установлен рост численности разных групп микроорганизмов, трансформирующих азот. До определенного

накопления разных форм азота в почве характер связи описывается прямолинейно, что способствует активной трансформации азота, а после максимального достижения численности он изменяется на криволинейный, потребление азота микрофлорой падает.

Библиографический список

1. Благодатский С.А. Микробная биомасса и моделирование цикла азота в почве / С.А. Благодатский : Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. д.б.н. Спец.03.02.03 – микробиология, 03.02.13 – почвоведение.- Пушкино, 2011. – 42 с. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005089059.pdf
2. Дымова, Л.В. Взаимосвязь численности микроорганизмов и минеральных форм азота в почве/ Л.В. Дымова, Л.Б. Нестерова //Агрохимический вестник, 2006. - №4. – С. 18. URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=13609144>
3. Захарова, О.А, Активность и механизм разрушения целлюлозы в черноземе выщелоченном / О.А.Захарова, И.И. Садовая, О.В.Евдокимова// Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №2(4). -С.37-45 DOI 10.36508/journal.2024.68.88.005
4. Захарова, О.А, Математическая детерминированная модель для отображения динамики азотного питания / О.А.Захарова, К.Н. Евсенкин // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №2(4). -С. 11-22 DOI10.36508/journal.2024.38.37.003
5. Садовая И.И., Оценка динамики гумуса чернозема выщелоченного в натурных исследованиях и эмпирическими расчетами/ Садовая И.И., Карпенко Н. П. // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №2(4). -С.1-10 DOI 10.36508/journal.2024.10.29.002
6. Черкасов, О.В. Динамика разных форм азота в почве в зоне влияния свиного комплекса и пруда-накопителя / О.В. Черкасов, О.А. Захарова // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №1(3). – С.32-42. DOI 10.36508/journal.2024.69.66.005

References

1. Blagodatskij S.A. Mikrobnaya biomassa i modelirovanie cikla azota v pochve / S.A. Blagodatskij : Avtoreferat dissertacii na soisk. uch. st. d.b.n. Spec.03.02.03 – mikrobiologiya, 03.02.13 – pochvovedenie.- Pushchino, 2011. – 42 s. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005089059.pdf
2. Dymova, L.V. Vzaimosvyaz' chislennosti mikroorganizmov i mineral'nyh form azota v pochve/ L.V. Dymova, L.B. Nesterova //Agrohimicheskij vestnik, 2006. - №4. – S. 18. URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=13609144>
3. Zaharova, O.A, Aktivnost' i mekhanizm razrusheniya cellyulozy v chernozeme vyshchelochennom / O.A.Zaharova, I.I. Sadovaya, O.V.Evdokimova// Setevoy nauchnyj zhurnal RGATU, 2024. - №2(4). -S.37-45 DOI 10.36508/journal.2024.68.88.005
4. Zaharova, O.A, Matematicheskaya determinirovannaya model' dlya otobrazheniya dinamiki azotnogo pitaniya / O.A.Zaharova, K.N. Evsenkin // Setevoy

nauchnyj zhurnal RGATU, 2024. - №2(4). -S. 11-22
DOI10.36508/journal.2024.38.37.003

5. Sadovaya I.I., *Ocenka dinamiki gumusa chernozema vyshchelochnogo v naturnyh issledovaniyah i empiricheskimi raschetami*/ Sadovaya I.I., Karpenko N. P. // *Setevoj nauchnyj zhurnal RGATU*, 2024. - №2(4). -S.1-10 DOI 10.36508/journal.2024.10.29.002

6. Cherkasov, O.V. *Dinamika raznyh form azota v pochve v zone vliyaniya svinokompleksa i pruda-nakopitelya* / O.V. Cherkasov, O.A. Zaharova // *Setevoj nauchnyj zhurnal RGATU*, 2024. - №1(3). – S.32-42. DOI 10.36508/journal.2024.69.66.005