

УДК 631.461:631.43

С. И. Новосёлов*Марийский государственный университет, Йошкар-Ола***ВЛИЯНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА АММОНИФИЦИРУЮЩУЮ И НИТРИФИЦИРУЮЩУЮ
СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ**

Целью данной работы являлось выявление оптимальных для аммонифицирующих и нитрифицирующих процессов агроэкологических условий дерново-подзолистой почвы. В работе приведены результаты по изучению влияния температурных условий (от -10 до $+45$ °С), влажности (0 до 30 % к абс. сухой почве) и плотности (от $1,1$ до $2,0$ г/см³) на аммонифицирующую и нитрифицирующую способность почвы. Установлено, что наилучшими условиями для нитрифицирующей и аммонифицирующей способности дерново-подзолистой почвы являются: температура почвы $+15$ °С; влажность почвы 20–25 % и плотность почвы $1,1$ г/см³. При отрицательных температурах (-10 – -5 °С) содержание нитратного азота было невысоким и не превышало $43,9$ мг/кг, а содержание аммонийного азота не превышало $16,0$ мг/кг. С повышением температуры почвы до $+15$ – 25 °С возрастала нитрифицирующая активность почвы и содержание нитратного азота. Максимальное содержание нитратного и минерального азота наблюдалось при температуре почвы $+15$ °С и составляло соответственно $74,4$ и $81,3$ мг/кг. Низкий уровень влажности почвы 5; 10 % (15–30 % ПВ) создавал неблагоприятные условия для развития бактериальной микрофлоры. С увеличением влажности численность бактерий возрастала. Наиболее благоприятные условия для аммонифицирующих бактерий складывались при влажности почвы 20 % (60 % ПВ); для нитрифицирующих бактерий – 25 % (75 % ПВ). Дальнейшее увеличение влажности почвы снижало количество бактерий, что обуславливалось вытеснением воздуха почвы и подавлением аэробных микробиологических процессов. С увеличением плотности почвы с $1,1$ до $2,0$ г/см³ содержание нитратного азота в почве снижалось. Максимальное содержание нитратного азота $63,5$ мг/кг было при плотности $1,1$ г/см³, а наименьшее – $32,1$ мг/кг при плотности $2,0$ г/см³. Нитрифицирующая способность почвы снижалась аналогичным образом. Уплотнение почвы приводило к увеличению содержания аммонийного азота и аммонифицирующей способности.

Ключевые слова: нитрифицирующая и аммонифицирующая способность почвы, микроорганизмы, минеральный азот, температура, влажность и плотность почвы.

Агротехнические приемы, применяемые при возделывании сельскохозяйственных культур оказывают существенное влияние на физические и агрохимические свойства почвы, ее микробиологическую активность [9]. С деятельностью почвенной микрофлоры связаны процессы синтеза и разложения гумуса, мобилизации в почве труднодоступных для растений питательных веществ, трансформации удобрений, вносимых в почву [7]. Важными характеристиками почвы, которые определяют азотный режим и условия азотного питания растений, являются аммонифицирующая и нитрифицирующая способность. Они достаточно чувствительны к смене экологической обстановки и во многом зависят от почвенных и климатических условий. Установлено, что внесение умеренных доз минеральных и органических удобрений активизирует данные процессы [7]. Высокие

дозы минеральных удобрений и пестицидов снижают их активность [2; 3]. Важную роль для этих процессов играет реакция среды [5, 11]. Исследованиями установлено, что при известковании активизируется деятельность нитрификаторов, усиливаются процессы минерализации органических соединений, в результате чего улучшается азотное питание растений. Существенное значение на активность нитрифицирующих и аммонифицирующих бактерий оказывает плотность почвы, которая определяет условия воздушного режима. Исследованиями ряда авторов [4; 9] установлено, что увеличение уровня техногенной нагрузки приводит к снижению их активности. Таким образом, жизнедеятельность микроорганизмов неразрывно связана с окружающей их средой и экологическая обстановка, складывающаяся в той или иной почве, оказывает существенное влияние

на нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы. Оптимальные почвенные показатели для существования аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий в зависимости от складывающихся условий могут меняться. Исследования по выявлению их для условий дерново-подзолистой почвы востока Нечерноземной зоны представлены в данной статье.

Материал и методы. Исследования проводили на кафедре агрохимии и земледелия Марийского государственного университета. В модельном опыте изучали влияние температуры, влажности и плотности на нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы.

Исследуемые факторы:

температура почвы: -10; -5; 0; +15; +25; +35; +45 °С;

влажность почвы: 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30 % к абс. сухой почве;

плотность почвы: 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 2 г/см³.

Для проведения исследований использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую малогумусную почву. При закладке опыта почва имела следующие агрохимические показатели: рН сол. – 6,7, содержание гумуса – 1,98 %, гидролизуемого азота – 72 мг/кг; подвижного фосфора и калия 325 и 213 мг/кг. Содержание минеральных форм азота составляло: нитратного – 42,5 мг/кг, аммонийного – 12,7 мг/кг, минерального 55,2 мг/кг. Полевая влагоёмкость почвы ПВ составляла 33,3 %.

Нитратный азот определяли потенциометрически с использованием ионно-селективного электрода, а аммонийный – колориметрически с реактивом Несслера. Нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы определяли после двухнедельного компостирования [1,6]. Для моделирования почвенных условий почву уплотняли ручным прессом до расчетных значений. Необходимую влажность создавали высушиванием или увлажнением почвы до расчетных значений. Влияние температуры изучали путем помещения образцов в холодильные шкафы и термостаты, установленные на заданную температуру.

Учет численности микроорганизмов проводили путем посева различных разведений на агаризованные питательные среды. Аммонифицирующие бактерии, использующие органические формы азота, учитывали на мясопептонном агаре; нитрифицирующие бактерии – на агаризованной среде Скермана [10].

Результаты и их обсуждение. Изучение влияния температуры на нитрифицирующую и аммо-

нифицирующую способность почвы показало, что при отрицательных температурах (-10 ... -5 °С) содержание нитратного азота было невысоким и не превышало 43,9 мг/кг, что объясняется пассивностью нитрифицирующих микроорганизмов. В этих же вариантах содержание аммонийного азота не превышало 16,0 мг/кг (табл. 1). С повышением температуры почвы до +15–35 °С возрастало содержание нитратного азота, а аммонийного – снижалось. Максимальное содержание нитратного и минерального азота наблюдалось при температуре почвы 15 °С и составляло соответственно 74,4 и 81,3 мг/кг. При данной температуре была наибольшей и нитрифицирующая способность почвы – 31,9 мг/кг. При температуре +45 °С, с уменьшением численности микроорганизмов, произошло резкое увеличение содержания аммонийного азота в почве. Очевидно, это объясняется их гибелью и высвобождением азота в аммонийной форме.

Таблица 1

Влияние температуры на нитрифицирующую и аммонифицирующую способность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, (мг/кг абс. сухой почвы)

°С	Содержание через 14 суток			Нитрифицирующая способность	Аммонифицирующая способность	Микроорганизмы	
	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N – мин.			аммонифицирующие, млн кл./г	нитрифицирующие, тыс кл./г
-10	43,3	16,0	59,3	0,7	3,3	20,0	22,3
-5	43,9	16,1	60,0	1,4	3,4	5,0	19,3
0	46,9	16,0	62,9	4,4	3,3	0,8	0,3
+15	74,4	6,9	81,3	31,9	-5,8	4,2	11,7
+25	65,0	6,8	71,8	22,5	-6,0	8,9	18,0
+35	65,8	7,4	73,2	23,3	-5,3	5,9	13,3
+45	44,3	41,5	85,8	1,8	28,8	3,2	5,0

Зависимость содержания минерального азота в почве от температуры носила криволинейный характер и описывалась уравнением регрессии второго порядка (1).

$$N - \text{мин. мг/кг} = 64,6 + 0,55X - 0,004X^2 \quad (r = 0,87) \quad (1)$$

(X – температура почвы, °С)

Проведение корреляционно-регрессионного анализа показало, что связь численности изучаемых групп микроорганизмов с температурой почвы была сильной, а зависимость описывалась уравнением

второй степени. Максимальная численность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий была при температуре +25 °С.

Исследования показали, что процесс нитрификации начинается уже при влажности почвы 5 % (15 % ПВ). При дальнейшем увеличении влажности почвы содержание N-NO₃⁻ возрастало, достигая максимума при влажности 20–25 % (60–75 % ПВ), (табл. 2). При этом содержание аммонийного азота снижалось. Дальнейшее увеличение влажности почвы до 30 % (91 % ПВ) приводило к торможению процесса нитрификации, что отразилось на снижении содержания нитратного и увеличении содержания аммонийного азота в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

Таблица 2

Влияние влажности на нитрифицирующую и аммонифицирующую способность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, (мг/кг абс. сухой почвы)

%	Содержание через 14 дней			Нитрифицирующая способность	Аммонифицирующая способность	Микроорганизмы	
	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N – мин.			аммонифицирующие, млн кл/г	Нитрифицирующие, тыс кл/г
0	41,9	15,2	57,1	-0,6	2,5	0,1	4,3
5	45,1	12,6	57,7	2,6	-0,1	2,8	6,7
10	49,5	13,3	62,8	7,0	0,6	3,3	7,6
15	69,0	7,5	76,5	26,5	-5,2	6,1	9,0
20	74,0	4,7	78,7	31,5	-7,9	12,7	15,7
25	77,5	4,8	82,3	35,0	-7,9	10,4	16,7
30	50,3	6,1	56,4	7,8	-6,6	9,8	9,4

Зависимость содержания минерального азота от влажности почвы описывалась уравнением регрессии второго порядка (2).

$$N - \text{мин. мг/кг} = 50,90 + 2,78X - 0,08X^2 \quad (r = 0,77) \quad (2)$$

(X – влажность почвы, %)

Влияние влажности почвы на микрофлору было неоднозначным (табл. 2). Отсутствие влаги в почве тормозило развитие микроорганизмов. Низкий уровень влажности почвы 5; 10 % (15–30 % ПВ) создавал неблагоприятные условия для развития бактериальной микрофлоры. С увеличением влажности численность бактерий возрастала. Наиболее благоприятные условия для аммонифицирующих бактерий складывались при влажности почвы 20 % (60 % ПВ); для нитрифициру-

ющих бактерий – 25 % (75 % ПВ). Дальнейшее увеличение влажности почвы снижало количество бактерий, что обуславливалось вытеснением воздуха почвы и подавлением аэробных микробиологических процессов. Зависимости между численностью микроорганизмов и влажностью носили криволинейный характер и описывались уравнением второй степени.

Увеличение плотности почвы негативно отражалось на содержании нитратного азота и ее нитрифицирующей способности (табл. 3). С увеличением плотности почвы с 1,1 до 2,0 г/см³ содержание нитратного азота в почве снижалось, что связано с уменьшением количества воздуха в почве, приводящее к ухудшению условий для развития нитрификаторов. Максимальное содержание нитратного азота 63,5 мг/кг было при плотности 1,1 г/см³, а наименьшее – 32,1 мг/кг при плотности 2,0 г/см³. Нитрифицирующая способность почвы снижалась аналогичным образом. Уплотнение почвы приводило к увеличению содержания аммонийного азота и аммонифицирующей способности, так при плотности 1,1 г/см³ содержание аммонийного азота составляло 7,1 мг/кг, а при плотности 2,0 г/см³ – 13,8 мг/кг.

Зависимость содержания минерального азота в почве от ее плотности была прямолинейной и описывалась уравнением регрессии первого порядка (3).

$$N - \text{мин. мг/кг} = 92,270 - 22,94X \\ (X - \text{плотность почвы, г/см}^3) \quad (r = 0,93) \quad (3)$$

Таблица 3

Влияние плотности на нитрифицирующую и аммонифицирующую способность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, (мг/кг абс. сухой почвы)

г/см ³	Содержание через 14 суток			Нитрифицирующая способность	Аммонифицирующая способность	Микроорганизмы	
	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N – мин.			аммонифицирующие, млн кл/г	нитрифицирующие, тыс кл/г
1,1	63,5	7,1	70,6	21,0	-5,6	8,5	18,0
1,2	50,8	12,4	63,2	8,4	-0,3	8,2	17,0
1,3	44,9	13,4	58,3	2,4	0,7	7,2	10,3
1,4	45,3	13,4	58,7	2,8	0,7	5,0	9,7
1,5	46,2	13,4	59,6	3,7	0,7	3,5	9,7
1,6	44,5	13,4	57,9	2,0	0,7	3,2	7,0
2,0	32,1	13,8	45,9	-10,4	1,1	2,0	2,3

Уплотнение почвы оказывало негативное воздействие на микрофлору дерново-подзолистой почвы (табл. 3). При увеличении плотности почвы с 1,1 до 2,0 г/см³ численность бактерий снижалась прямо пропорционально. При этом наиболее чувствительными были нитрификаторы. При увеличении плотности почвы до 2,0 г/см³ их количество снизилось в 7,8 раза.

Обобщение проведенных исследований позволило рассчитать уравнение множественной регрессии зависимости содержания минерального азота в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве от ее температуры, влажности и плотности (4).

$$N - \text{мин. мг/кг} = 86,81 + 0,34 X_1 + 0,48 X_2 - 32,64 X_3 \quad (4)$$

(X_1 – температура почвы, °С;

X_2 – влажность почвы, %;

X_3 – плотность почвы, г/см³).

Данное уравнение позволяет прогнозировать содержание минерального азота в зависимости от конкретных значений температуры, влажности и плотности почвы.

Аммонификация и нитрификация – процессы микробиологические и зависят от численности нитрифицирующих и аммонифицирующих бактерий. Результаты корреляционно-регрессионного анализа подтвердили существенную среднюю связь между нитрифицирующей способностью и численностью нитрификаторов (5), аммонифицирующей способностью и численностью аммонифицирующих бактерий в почве (6).

$$\text{Нитрифицирующая способность мг/кг} = 4,03 X - 0,135X^2 - 12,78 \quad (5)$$

(X – количество нитрифицирующих бактерий, тыс кл/г)

$$\text{Аммонифицирующая способность мг/кг} = 8,16 - 2,24 X + 0,09X^2 \quad (6)$$

(X – количество аммонифицирующих бактерий, млн кл/г)

Выводы

1. Изменение показателей физических свойств дерново-подзолистой почвы влияло на развитие нитрифицирующих и аммонифицирующих бактерий, нитрифицирующую и аммонифицирующую способность и содержание минерального азота.

2. Максимальное содержание нитратного и минерального азота, наибольшая нитрифицирующая способность были при температуре почвы 15 °С и составляли соответственно 74,4 мг/кг, 81,3 мг/кг и 31,9 мг/кг.

3. Оптимальные для развития аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий условия увлажнения складывались при влажности почвы 20 – 25 % (60–75 % ПВ). При данной влажности была наибольшая нитрифицирующая способность и максимальное содержание в почве нитратного и минерального азота.

4. Уплотнение почвы оказывало негативное воздействие на микрофлору дерново-подзолистой почвы. При увеличении плотности почвы с 1,1 до 2,0 г/см³ снижалась численность бактерий, нитрифицирующая и аммонифицирующая способность, уменьшалось содержание минерального азота в почве.

5. Зависимости содержания минерального азота в почве от ее температуры и влажности носили криволинейный характер и описывались уравнением регрессии второго порядка, а от плотности имели прямолинейный характер и описывались уравнением регрессии первого порядка.

6. Лучшие условия для нитрифицирующего и аммонифицирующего процессов дерново-подзолистой почвы складывались при температуре почвы +15 °С; влажности почвы 20–25 % и плотности почвы 1,1 г/см³.



1. Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Изд. 3-е перераб. и доп. Л.: Колос, 1976. 280 с.

2. Алметов Н. С., Горячкин Н. В. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предшественников, удобрений и биопрепарата // Вестник Марийского государственного университета. 2013. № 11. С. 7–9.

3. Гордеева Т. Х. Экологическая оценка влияния агротехнических мероприятий на микробоценоз ризосферы озимой ржи: автореф. ... дис. канд. биол. наук. СПб. 1998. 22 с.

4. Гришина Л. А. Влияние пестицидов на нитрификационную способность почвы // Агрохимия. 1986. № 8.

5. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: МГУ, 1986. 256 с.

6. Кореньков Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 1985. 221 с.

7. Методические указания по определению нитрификационной способности почв. М., 1984. 16 с.

8. Минеев В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.

9. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Микробиология. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с.

10. Новоселов С. И., Завалин А. А., Гордеева Т. Х. и др. Влияние средств химизации и обработки почвы на урожайность озимой ржи и микробоценоз дерново-подзолистой суглинистой почвы // Агрохимия. 1997. № 8. С. 31–36.

11. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. М.: Колос, 1983. 296 с.

12. Шильников И. А., Лебедева Л. А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 169 с.
1. Aleksandrova L. N., Najdenova O. A. Laboratorno-prakticheskie zanjatija po pochvovedeniju. Izd. 3-e pererab. i dop. L.: Kolos, 1976. 280 p.
2. Almetov N. S., Gorjachkin N. V. Urozhajnost' i kachestvo zerna jarovoj pshenicy v zavisimosti ot predshestvennikov, udobrenij i biopreparata. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. No. 11. Pp. 7–9.
3. Gordeeva T. H. Jekologicheskaja ocenka vlijanija agrotehnicheskikh meroprijatij na mikrobocenozi rizosfery ozimoz rzhii: avtoref. ... dis. kand. biol. nauk. SPb. 1998. 22 p.
4. Grishina L. A. Vlijanie pesticidov na nitrifikacionnuju sposobnost' pochvy. *Agrohimiya*. 1986. No. 8.
5. Zvjagincev D. G. Pochva i mikroorganizmy. M.: MGU, 1986. 256 p.
6. Koren'kov D. A. Produktivnoe ispol'zovanie mineral'nyh udobrenij. M.: Rossel'hozizdat, 1985. 221 p.
7. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju nitrifikacionnoj sposobnosti pochv. M., 1984. 16 p.
8. Mineev V. G. Agrohimiya, biologija i jekologija pochvy. M.: Rosagropromizdat, 1990. 206 p.
9. Mishustin E. N., Emcev V. T. Mikrobiologija. M.: Agropromizdat, 1987. 368 p.
10. Novoselov S. I., Zavalin A. A., Gordeeva T. H. i dr. Vlijanie sredstv himizacii i obrabotki pochvy na urozhajnost' ozimoz rzhii i mikrobocenozi dernovo-podzolistoj suglinistoj pochvy. *Agrohimiya*. 1997. No. 8. Pp. 31–36.
11. Sjegi J. Metody pochvennoj mikrobiologii. M.: Kolos, 1983. 296 p.
12. Shil'nikov I. A., Lebedeva L. A. Izvestkovanie pochv. M.: Agropromizdat, 1987. 169 p.

Статья поступила в редакцию 22.11.2015 г.

S. I. Novoselov

Mari State University, Yoshkar-Ola

INFLUENCE OF AGROECOLOGICAL CONDITIONS ON AMMONIFYING AND NITRIFYING ABILITY OF THE SOIL

The purpose of this work was identification of optimum agroecological conditions of the cespitose and podsolc soil for ammonifying and nitrifying processes. Results on studying of influence of temperature conditions (from -10 to $+45$ °C), humidity (0 to 30 % are given in work to the dry soil) and density (from $1,1$ to $2,0$ g/cm³) on ammonifying and nitrifying ability of the soil. It is established that the best conditions for nitrifying and ammonifying ability of the cespitose and podsolc soil are: soil temperature $+15$ °C; humidity of the soil 20–25 % and density of the soil is $1,1$ g/cm³. At negative temperatures (-10 – -5 °C) the content of nitrate nitrogen was low and didn't exceed 43,9 mg/kg, and the content of ammoniacal nitrogen didn't exceed 16,0 mg/kg. With temperature increase of the soil to $+15$ – 25 °C nitrifying activity of the soil and the content of nitrate nitrogen increased. The maximum content of nitrate and mineral nitrogen was observed at a temperature of soil of $+15$ °C and made respectively 74,4 and 81,3 mg/kg. Low level of humidity of the soil 5; 10 % (15–30 % of PV) created adverse conditions for development of bacterial microflora. With increase in humidity the number of bacteria increased. Optimum conditions for ammonifying bacteria developed at humidity of the soil of 20 % (60 % of PV); for nitrifying bacteria of – 25 of % (75 % of PV). The further increase in humidity of the soil reduced quantity of bacteria that was caused by replacement of air of the soil and suppression of aerobic microbiological processes. With increase in density of the soil with $1,1$ the content of nitrate nitrogen in the soil decreased to $2,0$ g/cm³. The maximum content of nitrate nitrogen of 63,5 mg/kg was at the density of $1,1$ g/cm³, and the smallest – 32,1 mg/kg at the density of $2,0$ g/cm³. Nitrifying ability of the soil decreased similarly. Consolidation of the soil led to increase in the content of ammoniacal nitrogen and ammonifying ability.

Keywords: nitrifying and ammonifying ability of the soil, microorganisms, mineral nitrogen, temperature, humidity and density of the soil.