

РГБ ОД

10 МАЯ 2000

На правах рукописи

ГОЛОВНИНА Наталья Олеговна

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ПОЧВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 03.00.16 — экология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

МОСКВА 2000

Работа выполнена в Институте фундаментальных проблем биологии РАН.

Научный руководитель — доктор биологических наук, профессор **В. Н. Башкин**.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук профессор **А. Д. Фокин**; доктор биологических наук **В. М. Семенов**.

Ведущее учреждение — Всероссийский научно-исследовательский институт Охраны природы Госкомприроды РФ.

Защита состоится 5 АПРЕЛЯ 2000 г. в 14³⁰ ч на заседании диссертационного совета Д 120.35.08 в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

Адрес: 127550, Москва, Тимирязевская ул., 49.

Ученый совет МСХА.

С диссертацией можно ознакомиться в ЦНБ МСХА.

Автореферат разослан 2 МАРТА 2000 г

Ученый секретарь
диссертационного совета —
кандидат биологических наук



А. В. Чичев

17032.35, 0

179(2р344-Чичев)032, 0

Актуальность темы. Соединения азота играют важнейшую роль в создании биомассы и функционировании агроэкосистем. Успешное решение проблемы рационального использования природного ресурса азота, включая ее экологические аспекты, возможно только при изучении процессов трансформации азота как во внутриземельном цикле агрогеоценозов, так и в сопряженных с ними экосистемах. Для поддержания оптимального почвенного ресурса азота и нормирования антропогенных нагрузок необходимо выявление количественных параметров интенсивности этих процессов и разработка на их основе критериев оценки функционирования агроландшафтов.

Оценка азотного режима почв должна основываться на определении того пула азота почвы, который способен к активной биогенной трансформации. Количественным критерием азота, активно участвующего в биогеохимическом круговороте, может служить величина азотминерализующей способности почв (Башкин, Кудеяров, 1987). Подобно большинству биогеохимических показателей величина азотминерализующей способности почвы зависит от ландшафтно-геохимической организованности биосферы.

Цели и задачи исследований. Целью данной работы было оценить возможность использования величины азотминерализующей способности почв (АМС) для решения проблем эколого-агрогеохимического мониторинга и выявить факторы, определяющие количественные изменения пула мобильного азота на примере различных сельскохозяйственных и природных ландшафтов Московской области.

В основные задачи исследований входило:

1. Определить величину азотминерализующей способности почв различных элементарных ландшафтов Московской области (элювиальный, трансэлювиальный, аккумулятивный) в условиях их почвенно-геохимических сопряжений.
2. Сравнить полученные значения азотминерализующей способности почв агроландшафтов и их естественных ландшафтов-аналогов.
3. Оценить влияние почвенно-геохимических и биогеохимических факторов на величину азотминерализующей способности почвы.

Научная новизна. Впервые, на примере ландшафтов Московской области, дана оценка изменений азотминерализующей способности почв агрогеоценозов и их аналогов - естественных биогеоценозов. Показано, что изменение этих величин зависит от природной организованности территории, типа элементарного

ландшафта, типа почв и содержания в почве подвижных форм микроэлементов. В модельных экспериментах выявлено, что изменение микроэлементного режима почвы оказывает влияние на интенсивность процесса мобилизации почвенного азота, что отражается на поступлении его в растения.

Защищаемые положения. Изменение величины азотминерализующей способности почвы согласуется с общими принципами трансформации вещества в условиях почвенно-геохимических сопряжений и может служить комплексным показателем для характеристики биогеохимического цикла азота в естественных и агроэкосистемах.

При оценке внутрипочвенной трансформации азота и поступления этого элемента в растения следует учитывать содержание микроэлементов в почве, так как последние в силу своей биофильности оказывают влияние на азотный режим почвы и метаболизм растений.

Практическая значимость. Полученные закономерности изменения азотминерализующей способности почв могут быть использованы для оценки пула мобильного азота почвы в условиях сопряженных ландшафтов, что позволяет повысить информативность прогноза азотного режима агроэкосистем и дифференцировать выбор вносимых доз удобрений с учетом биологических источников азота и ландшафтно-геохимической структуры территории.

Декларация личного участия. Данная работа выполнена автором в лаборатории биогеохимии агроландшафтов ИФПБ РАН в рамках исследований по агрогеохимическому районированию территории Московской области. Лично автором проведено определение величин азотминерализующей способности почв различных ландшафтов исследуемого региона, а также проведены модельные и вегетационные эксперименты по детальной оценке факторов, влияющих на азотминерализующую способность почвы. Автором проанализировано более 5000 почвенных и 500 растительных образцов. В работе использованы экспериментальные данные внутрипрофильного распределения азотистых соединений в почвах Московской области и содержания $N-NO_3$ в почвенно-грунтовых водах, полученные к.г.и Припутиной И. В.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 164 страницах и состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы, который включает 127 отечественных и 67 зарубежных источников.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на Всесоюзной конференции “Проблемы рационального использования и охраны окружающей среды” (Минск, 1990); Всесоюзного совещания “Проблема азота в интенсивном земледелии” (Новосибирск, 1990); Всесоюзной школе-конференции молодых ученых (Курск, 1991); Всесоюзной научной конференции “Биология почв антропогенных ландшафтов” (Днепропетровск, 1995); Международном симпозиуме “Тяжелые металлы в окружающей среде” (Пушино, 1996); II и IV открытых научных конференциях молодых ученых г. Пушино (1997, 1999); на расширенном заседании Отдела экологической безопасности ИФПБ РАН (Пушино, 1999); на расширенном заседании лаборатории “Охраны почв и земледелия” ВНИИ Охраны природы Госкомприрода РФ (Москва, 1999).

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ.

Содержание работы

Введение. Рассмотрена необходимость сопряженного исследования биогеохимических циклов азота и микроэлементов и использования понятий и методов геохимии ландшафтов при эколого-агрогеохимическом исследовании. Сформулированы актуальность, цель и научная новизна представленной работы.

Глава 1. Литературный обзор

Дана оценка современных литературных данных, рассматривающих вопросы экологии, агрохимии, биогеохимии азота и микроэлементов (Cu, Zn, Mo). Рассмотрены теоретические концепции и методологические подходы к оценке пула мобильного азота почвы. Обосновано использование величины азотминерализующей способности почвы при изучении трансформации азотистых соединений в агроэкосистемах.

Глава 2. Объекты и методы исследований

Полевые исследования проводились в летние периоды 1988-1992 годов на территории Московской области, характеризующейся разнообразием природных условий и сложной сельскохозяйственной структурой, что

позволило рассмотреть 145 элементарных геохимических ландшафтов и 29 ландшафтно-геохимических сопряжений (катен). Изучаемые ландшафты по условиям миграции вещества подразделялись на автономные (Э - элювиальные) и подчиненные - (траслювиальные - Т-Э, трансэлювиально-аккумулятивные - Т-Э-А, супераккумулятивные или аккумулятивные - А). Для каждого ландшафта оценивались величина азотминерализующей способности, содержание соединений азота и подвижных форм микроэлементов в почвах. Для определения азотминерализующей способности почвы использовались смешанные почвенные образцы из горизонтов 0-10 и 10-20 см (всего 300 почвенных образцов). Вегетационные исследования проводились в условиях фитотрона ИФПБ РАН в 1989-1992 гг., где моделировались условия умеренно жаркого лета. Почва отбиралась из различных элементарных ландшафтов одной катены. В качестве растения-индикатора использовался райграс пастбищный (*Lolium multiflorum*), сорт Вик-66. В почву вносили NPK, Cu, Mo, Zn по следующим схемам: контроль - $N_0P_0K_0Cu_0Mo_0Zn_0$; $N_{(20)}+м/э$ - $N_{20}P_{20}K_{20}Cu_4Mo_2Zn_8$; $N_{(40)}+м/э$ - $N_{40}P_{40}K_{40}Cu_8Mo_4Zn_{16}$; $м/э$ - $N_0P_0K_0Cu_8Mo_4Zn_{16}$ (мг/кг). В качестве азотного удобрения использовали $^{15}NH_4^{15}NO_3$, с исходным обогащением 30 ат. %.

Химико-аналитические работы включали в себя анализ содержания азотистых, фосфорных и калийных соединений в почвах и растениях. Величину азотминерализующей способности почвы определяли по соответствующей методике (Башкин, Кудяров, 1987), в основе которой лежит определение мобилизуемого азота почвы при компостировании почвенных образцов в течение четырех недель с набором азотных удобрений в возрастающих дозах. Используя математическое выражение зависимости накопления доступного азота в почве при компостировании от доз азотных удобрений, устанавливали ее азотминерализующую способность. Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия, а также общее содержание углерода в почве определяли по стандартным методикам (Аринушкина, 1970). Концентрацию изотопа азота ^{15}N в почве и растениях определяли на оптическом анализаторе МСД-8 в ЛСХИ. Содержание микроэлементов в почвенных и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом (Perken Elmer). Анализ механического состава и кислотности почв (pH_{KCl}) проведен в ХАК ИФПБ РАН.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием процедур корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов пакета SAS, SC. Полученные результаты оценивались при заданном уровне значимости $p < 0,01$.

Глава 3. Природные условия и антропогенные факторы, определяющие структуру ландшафтов Московской области

Рассмотрены геолого-геоморфологические и почвенно-геохимические условия исследуемой территории, определяющие наряду с биоклиматическими факторами направленность геохимических процессов, способствующих пространственной дифференциации элементов в экосистемах. Показано, что интенсивное сельскохозяйственное использование территории усиливает природную дифференциацию ландшафтов Московской области.

Глава 4. Влияние агрогеохимических факторов на азотминерализующую способность почв Московской области

4.1. Азотминерализующая способность почв и содержание азотистых соединений в почвенно-геохимических catenaх

Биогеохимическая трансформация азотистых соединений в почве осуществляется в ходе противоположно направленных процессов - биогенной аккумуляции и разложения азотсодержащих компонентов органического вещества с последующей миграцией мобильного азота в сопряженные среды. Количественным критерием оценки мобильного азота почв может служить величина их азотминерализующей способности. Результаты многочисленных полевых экспериментов показали, что АМС характеризует интенсивность процессов трансформации азота в почвах и уровень их плодородия (Башкин, 1986; Хабиров и др., 1993).

В экосистемах Московской области минимальные значения АМС (12-15 мг N/kg) выявлены для дерново-подзолистых и серых лесных ильозерообразованных почв, а для выщелоченных черноземов характерны максимальные величины АМС (325-356 мг N/kg). Среднее содержание $N_{\text{обц}}$, $N-NH_4^+$ и $N-NO_3^-$ в гумусовых горизонтах почв исследуемых ландшафтов колебалось в пределах 750-2670, 4,2-9,7 и 10,8-29,8 мг/kg почвы, соответственно. Наблюдаемое варьирование показателей содержания азота в почве определяется сложностью и неоднородностью почвенного покрова области, а также высокой биогеохимической мобильностью соединений азота. Для более корректной оценки азотного режима различных ландшафтов были учтены естественные геоморфологические условия формирования и функционирования исследуемых ландшафтов в пределах их почвенно-геохимического сопряжения (катены). Тип элементарного геохимического ландшафта использовался в качестве фактора структурирования при статистической обработке данных. Достоверность различий показателей оценивалась по критерию Дункана (Афифи, Эйзен, 1982; SAS..., 1991).

Таблица 1. Содержание азотистых соединений и азотминерализующая способность почвы в различных типах элементарных ландшафтов (мг N/kg почвы)

Тип элементарного ландшафта	Агроландшафты		Естественные ландшафты	
	среднее	D	среднее	D
	<u>Нобш.</u>			
Э	840	AB	1540	B
T-Э	750	A	960	A
T-Э-A	910	B	1620	B
A	1680	C	2070	C
	<u>АМС</u>			
Э	119	B	90	B
T-Э	53	A	64	A
T-Э-A	156	BC	106	B
A	188	C	142	C
	<u>N-NO₃⁻</u>			
Э	27,8	A	20,8	A
T-Э	10,8	A	19,5	A
T-Э-A	25,6	A	19,6	A
A	29,8	A	25,6	A
	<u>N-NH₄⁺</u>			
Э	9,6	A	8,9	A
T-Э	6,5	A	8,7	A
T-Э-A	7,2	A	7,4	A
A	9,7	A	9,3	A

D – ранжирование по критерию Дункана;

Э (n = 78); T-Э (n = 46); T-Э-A (n = 46); A (n = 71)

Полученное статистическое распределение величин АМС в почвах агро- и биогеоценозов различных типов элементарных ландшафтов было следующим: $T-\bar{X} < \bar{X} < A$ (табл. 1). Минимальные величины АМС были в трансэлювиальных ландшафтах, что обусловлено влиянием как биотических, так и абиотических факторов. Как известно, транзитные ландшафты характеризуются максимальной выраженностью миграционных потоков вещества (Глазовская, 1988), вследствие чего возможно общее снижение в составе гумуса лабильных фракций, доступных для быстрой минерализации. Сельскохозяйственное использование данных ландшафтов существенно изменяет физико-химические и биологические показатели почв (Акентьева, 1975; Хазнев и др., 1979; Гантимурова и др., 1985; Орлов, 1992 и др.), что также отражается на АМС этих почв. Для аккумулятивных ландшафтов характерны максимальные значения АМС. В отдельных катенах эти величины превосходили соответствующие минимальные значения в 4-6 раз. Наблюдаемые различия, вероятно, связаны с процессами, определяющими интенсивность биогеохимического круговорота азота. Во-первых, формирующиеся в условиях супераквального ландшафта пойменные почвы обладают более высоким плодородием по сравнению, например, с дерново-подзолистыми, составляющими основной почвенный фон области. Известно, что наряду с такими специфическими для пойм условиями почвообразования как аллювиальность, важнейшую роль в формировании плодородия пойменных почв играет их высокая биогенность (Добровольский, 1971, 1985; Евдокимова, 1971; Титлянова, 1979; Бабьева, 1983; Гришина, 1985 и др.). Во-вторых, пойменные почвы интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве, особенно овощных культур, под которые традиционно вносятся повышенные дозы азотных удобрений. Это увеличивает приход азота в супераквальных ландшафтах и способствует повышению уровня минерализации азотсодержащих органических соединений. В-третьих, дополнительное поступление азота в аккумулятивные ландшафты возможно вследствие латеральной миграции и связанному с этим биогеохимическому потоку азотистых соединений в катенах (Башкин и др., 1990).

Аналогичные закономерности выявлены при анализе распределения содержания общего азота в различных элементарных ландшафтах. Максимальные суммарные концентрации азота характерны для почв супераквальных позиций, а минимальные - для трансэлювиальных. В отличие от АМС и $N_{\text{общ}}$ четкой зависимости в распределении минеральных форм азота почвы в данных сопряженных системах не выявлено (табл.1).

Фитогеохимические исследования показали, что содержание азота в сельскохозяйственных растениях одного и того же вида изменялось в зависимости от того, к какому элементарному ландшафту приурочен агроценоз.

Таким образом, изменение величин азотминерализующей способности почв согласуется с общими закономерностями распределения вещества в почвенно-геохимических катенах и связано с единой направленностью процессов миграции соединений.

Таблица 2. Доля мобильного азота, рассчитанного по величине АМС, и актуального содержания минерального азота ($N_{\text{моб}} = N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$) от общего содержания азота в почвах элементарных ландшафтов (%)

Тип элементарного ландшафта	$(\text{АМС}/N_{\text{общ}}) \times 100$		$(N_{\text{моб}}/N_{\text{общ}}) \times 100$	
	агро-ландшафт	естественный ландшафт	агро-ландшафт	естественный ландшафт
Э	14,2	5,8	4,5	1,9
Т-Э	7,0	6,6	2,3	2,9
Т-Э-А	17,1	6,5	3,3	1,6
А	11,2	6,8	2,4	1,7
Среднее	12,4	6,0	3,1	1,9

Как показал анализ полученных результатов, доля минерального азота в его общих запасах в почве ($N_{\text{моб}} = N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$) в 2-4 раза ниже, чем доля пула мобильного азота (табл. 2). Поэтому истинные размеры образования минерального азота и его круговорота в почве невозможно оценить, основываясь только на данных о концентрации $N_{\text{моб}}$. Минеральные соединения азота имеют более сложное пространственное и внутривершинное распределение, а их концентрации в почвах отражают определенное равновесие между процессами минерализации и иммобилизации азота. Таким образом, при мониторинге азотистых соединений в экосистемах наиболее информативным показателем является АМС, которая характеризует пул мобильного азота почвы в целом.

4.2. Изменение величины азотминерализующей способности почвы в агроландшафтах

Для оценки сельскохозяйственного воздействия на азотный режим почв в ландшафтах Московской области изучались агроландшафты и их естественные ландшафты-аналоги. Исследования показали, что общее содержание азотистых соединений в почвах агроландшафтов существенно ниже, чем в их естественных ландшафтах-аналогах (табл.1). Средние величины $N_{\text{общ}}$ для почв каждого типа

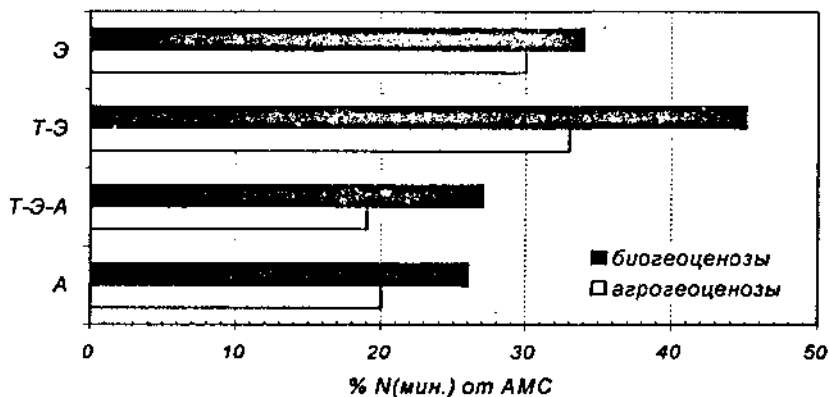


Рис. 1. Доля минерального ($N_{\text{мин}}$, горизонт 0-20см.) от общего пула мобильного азота (среднестатистические данные)

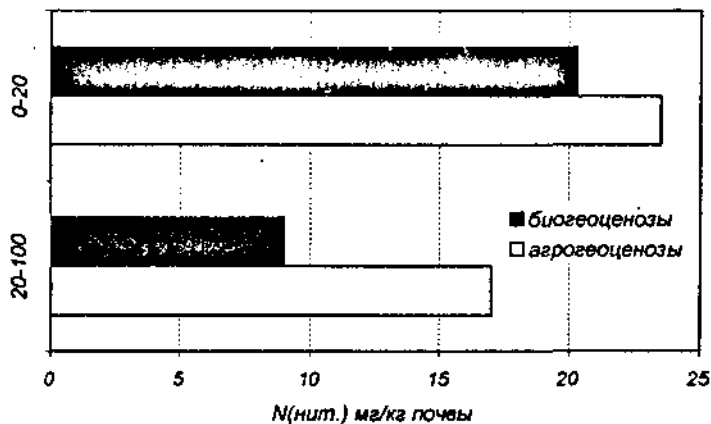


Рис. 2. Среднестатистическое содержание $N\text{-NO}_3^-$ в условном почвенном профиле (биогеоценозы $n=232$; агрогеоценозы $n=592$)

Таблица 3. Азотминерализующая способность и содержание азотистых соединений в почвах различных элементарных ландшафтов

Почва	ЭЛ	Растительность	АМС	мг N/кг				С (%)	С/Н
				N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N _(суп)	N _(обш)		
дерново-подзолистая (среднесуглинистая)	Э	лес	82,3	6,5	13,7	20,4	1400	1,12	8,5
	Э	кормовая свекла	125,9	24,8	12,4	27,2	1042	0,91	8,7
дерново-подзолистая (легкосуглинистая)	Э	лес	35,9	1,3	3,4	4,7	1020	0,58	5,6
	Э	многолетние травы	78,6	6,5	7,7	14,2	891	0,72	8,8
темно-серая лесная	Э	лес	102,5	8,4	6,2	14,6	1790	2,35	13,1
	Э	озимая пшеница	76,3	3,9	3,4	17,3	1549	1,89	12,2
серая лесная	Т-Э	естественный луг	64,2	7,8	3,2	11,0	1690	1,25	7,4
	Т-Э	ячмень	26,9	5,9	3,4	2,5	1072	1,32	12,3
чернозем выщелоченный	Т-Э	естественный луг	208,3	7,7	27,6	35,3	2470	4,49	18,2
	Т-Э	ячмень	83,4	20,4	17,7	38,1	1986	3,51	17,7

ЭЛ- тип элементарного ландшафта (Э- элювиальный, Т-Э - трансэлювиальный)

элементарного агроландшафта колебались в пределах 750-1680 мг N/кг, а для естественных ландшафтов - в пределах 960-2670 мг N/кг. Аналогичная тенденция наблюдалась для органического углерода, содержание которого в почвах агроландшафтов в большинстве случаев было ниже, чем в естественных ландшафтах-аналогах. В то же время, доля мобильного азота от его общих запасов в почвах агроландшафтов выше по сравнению с этой величиной в естественных ландшафтах-аналогах (табл. 2). Отсюда следует, что уровень почвенного азота, активно трансформируемого в процессе его биогеохимического круговорота, возрастает в почвах агроландшафтов.

Доля минерального азота от общего пула мобильного азота в почвах агроландшафтов заметно ниже, чем в их естественных ландшафтах-аналогах, и эта разница наиболее ярко выражена для транзитных ландшафтов (рис. 1). Различие обусловлено повышенной интенсивностью процессов трансформации вещества в агроэкосистемах (накопление азота биомассой растений, денитрификация и др.), а также его повышенной радиальной и латеральной миграцией. Так, например, если для верхних (0-20см) горизонтов почв био- и агрогеоценозов содержание $N-NO_3^-$ характеризуется близкими значениями, то в горизонтах 20-100см наблюдается значительное увеличение $N-NO_3^-$ в агрогеоценозах по сравнению с биогеоценозами (рис. 2).

Как уже отмечалось, почвенный покров Московской области достаточно разнообразен. Наряду с дерново-подзолистыми, составляющими основной почвенный фон изучаемого региона, представлены серые лесные почвы, а также черноземы выщелоченные и оподзоленные. Проведенные исследования показали, что агротехногенное воздействие на почвы различного генезиса неоднозначно влияет на величину их азотминерализующей способности.

В дерново-подзолистых почвах агроландшафтов АМС выше, чем в их естественных ландшафтах-аналогах, тогда как сельскохозяйственное использование темно-серых лесных почв и черноземов приводит к снижению этой величины (табл. 3). Отмеченные изменения, по-видимому, обусловлены существенной трансформацией органического вещества почв при их окультуривании, по-разному проявляющейся в почвах различного генезиса (Кауричев, 1983; Фокин и др., 1984; Орлов, 1992 и др.). Изменения, прежде всего, сказываются на содержании легкоминерализуемых азотсодержащих соединений почвы (Акентьева, 1975 и др.) и на составе активно функционирующего микробиоценоза почв (Звягнцев и др., 1989; Кураков и др., 1989 и др.). При окультуривании дерново-подзолистых почв внесение минеральных и особенно органических удобрений, регулирование кислотности почвы, проведение других агротехнических мероприятий способствуют повышению плодородия данных почв и улучшению питательного статуса по

сравнению с их естественными аналогами. В то же время, интенсивное и часто экологически необоснованное использование почв, обладающих высоким естественным потенциалом плодородия, таких как темно-серые лесные почвы и черноземы, приводит к их истощению, что подтверждает выводы, полученные другими исследователями (Фокин, 1984; Орлов, 1992; Полянская и др., 1997; Курганова, 1999 и др.).

4.3. Азот-минерализующая способность почв и содержание нитратного азота в почвенно-грунтовых водах

Воздействие азота, дополнительно поступающего в экосистему, следует рассматривать как мощный антропогенный фактор, существенно изменяющий естественный биогеохимический круговорот азота. В период проведения полевых исследований обнаружены водоисточники, в которых содержание нитратов близко к ПДК ($\geq 7,5$ мг $\text{N-NO}_3^-/\text{л}$) и является критическим, а также водоисточники, в которых концентрация нитратного азота превышает ПДК в 1,5-2,5 раза (до 24 мг $\text{N-NO}_3^-/\text{л}$). Известно, что потери азота удобрений с внутрпочвенным стоком редко превышают 1-5% от внесенного количества (Варюшкина, 1975; Смирнов, 1985; Кудеяров, Кузнецова, 1990, 1991; Соколов и др., 1990; Никитишен и др., 1990; Сирота, 1986, 1990; Кидин, 1993 и др.). Следовательно, из азотных удобрений вымывается такое количество нитратного азота, которое вряд ли может привести к реально обнаруживаемому уровню N-NO_3^- в поверхностных и грунтовых водах.

Таким образом, наблюдаемое накопление нитратного азота в почвенно-грунтовых водах происходит преимущественно за счет азота почвенного происхождения, что подтверждается выявленной зависимостью между величинами АМС почв и содержанием нитратного азота в почвенно-грунтовых водах. Для разных элементарных ландшафтов получены следующие коэффициенты корреляции: Э (0,37; $n=56$); Т-Э (0,48; $n=36$); Т-Э-А (0,61; $n=40$); А (0,62; $n=58$). Более тесная связь между содержанием нитратного азота в почвенно-грунтовых водах и АМС почв наблюдалась для аккумулятивных ландшафтов, в которых почвенно-грунтовые воды, как правило, расположены близко от поверхности. Отсюда следует, что нерациональное применение азотных удобрений в условиях аккумулятивных ландшафтов, почвы которых обладают высокой АМС, ведет к экологически неблагоприятному расходу естественных запасов азота. В этом случае радиальный миграционный поток азотистых соединений может усиливаться за счет дополнительного поступления вещества из вышерасположенных участков в результате латеральной миграции. Скорость латерального потока и интенсивность радиальной миграции азотистых соединений определяется совокупностью как внешних, так и

внутренних факторов (расчлененностью рельефа, вносимыми агрохимикатами, физико-химическими почвенными характеристиками, физиологическим фактором и т.д.). Поэтому коэффициенты корреляции, полученные в результате полевых наблюдений при разнообразии почвенных условий такого региона как Московская область, не могут быть высокими. Однако данные зависимости достоверны на достаточно “жестком” уровне значимости ($p < 0,01$), что дает основание признать существование данной закономерности.

В связи с этим, практика применения азотных удобрений должна основываться на экологически безопасных нормах, сроках и способах внесения удобрений с учетом почвенно-геохимических условий элементарных агроландшафтов и их сопряжений. Количественное определение реального пула мобильного азота почвы является не только важным условием эффективного и экологически безопасного применения азотных удобрений, но и дает возможность прогнозировать последствия их влияния на экосистему в целом.

4.4. Азотминерализующая способность почв и содержание в почвах подвижных форм микроэлементов

Установленные нами особенности распределения азотминерализующей способности почвы в пределах почвенно-геохимических катен аналогичны распределению в тех же почвах микроэлементов (Учватов, 1994). Сопряженный анализ величин АМС и содержания микроэлементов в почвах различных ландшафтных позиций позволил получить следующие уравнения множественной регрессионной зависимости АМС (y) от содержания подвижных форм элементов (x) в почве ($n = 148$):

$$y = 52,696 + 52,885Cu - 0,591Mn - 0,564(N_{\text{моб}}) + 4,907(NH_4^+_{\text{обм}}) + 66,098Mo - 17,954Co + 1,844(NO_3^-), \quad [1]$$

где коэффициент детерминации $r^2 = 0,612$, соответствующие значения критерия Т: 3,95; -1,99; 1,64; -1,31; 1,24.

Как видно из уравнения [1] основным предиктором величины азотминерализующей способности почвы является содержание меди в подвижной форме.

Наиболее тесная связь между величинами АМС выявлена для элювиальных ландшафтов ($n = 37$):

$$y = 64,81 + 44,65Cu - 1,12Mn - 21,59Co - 2,44(N_{\text{моб}}) + 5,79(NH_4^+_{\text{обм}}) + 3,43Mo, \quad [2]$$

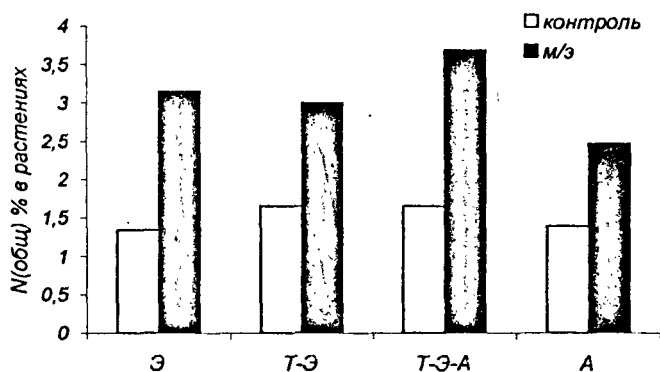


Рис. 3. Содержание общего азота в растениях в зависимости от вносимых микроэлементов (в начале вегетационного периода, первый укос)

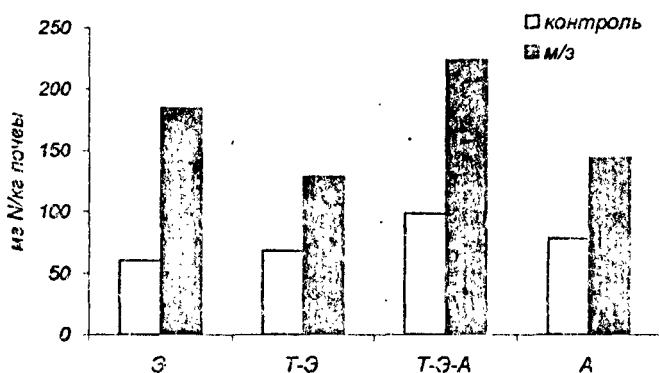


Рис. 4. Величина АМС почвы в зависимости от вносимых микроэлементов (в начале вегетационного периода, первый укос)

Контроль - $N_0P_0K_0Cu_0Zn_0Mo_0$, M/Z - $N_0P_0K_0Cu_0Zn_{15}Mo_4$ (мг/кг)

Э, Т-Э, Т-Э-А, А – почвы, отобранные из различных элементарных ландшафтов

где $r^2 = 0,81$; T: 4,23; 2,02; -1,2; 1,01; 0,9.

Проведенные модельные эксперименты при компостировании почвы с внесением В, Zn, Cu, Mo, Cd, Fe, Co, Mn показали, что АМС зависит от дозы их внесения. Увеличение содержания того или иного элемента в почве может изменить естественный режим и направленность внутрипочвенных процессов, что отражается на величине азотминерализующей способности почвы.

4.5. Зависимость величины азотминерализующей способности почвы от режима азотного питания и содержания микроэлементов (Cu, Zn, Mo) в системе почва-растение

В вегетационном эксперименте показано, что изменение АМС в течение вегетации растений зависит от свойств почвы, режима азотного питания растений и содержания в почве микроэлементов. Более интенсивное поступление азота удобрений в растения наблюдалось в начальный период вегетации. Динамика этого процесса и конечный вынос $N_{уд}$ зависели от почвенных условий и уровня вносимых доз. Между величинами АМС и накоплением $N_{уд}$ в растениях установлена достоверная обратная корреляционная зависимость ($r = -0,83$; $n=32$).

Одновременное внесение в почву макро- и микроэлементов приводило к росту величины азотминерализующей способности почвы по сравнению с контрольным вариантом. Отдельное внесение микроэлементов в почву приводило к увеличению накопления азота растениями во всех вариантах (рис. 3). При этом величина азотминерализующей способности почвы была значительно выше контрольных вариантов (рис. 4). Это свидетельствует о том, что дополнительное внесение Cu, Zn, Mo изменяет интенсивность процессов минерализации азотсодержащих органических веществ почвы, что, в свою очередь, отражается на поступлении почвенного азота в растения. В начальный период вегетации растений отмечалась тесная корреляционная зависимость между азотминерализующей способностью почвы и содержанием подвижных форм микроэлементов, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером+ЭДТА (рН4,5) Cu (0,94), Zn (0,79). В свою очередь, к концу вегетации зафиксирована связь АМС с содержанием металлов в почве, извлекаемые HCl (1н) Cu (0,53), Zn (0,54). По-видимому, изменение азотного режима почвы определяется не только запасами микроэлементов, присутствующих в почве, но и формами, определяющими их подвижность.

Таким образом, при оценке внутрипочвенной трансформации азота и поступлении этого элемента в растения следует учитывать содержание

микроэлементов в почве, так как последние, в силу своей биофильности, могут оказывать значительное влияние на метаболизм азота в системе почва-растение.

Выводы

1. Величина азотминерализующей способности почв является комплексным показателем для характеристики основных процессов биогеохимического цикла азота. Выявлено, что минимальные величины азотминерализующей способности характерны для почв трансэлювиальных ландшафтов, а максимальные – для аккумулятивных ландшафтов.
2. Длительное сельскохозяйственное использование почв различного генезиса на территории Московской области привело к существенным изменениям их углеродного и азотного режимов, что и определяло наблюдаемые различия между величинами азотминерализующей способности почв агроландшафтов по сравнению с их естественными аналогами. В агроландшафтах дерново-подзолистых почв уровень азотминерализующей способности увеличивался по сравнению с их естественными ландшафтными аналогами, тогда как в почвах, обладающих большим естественным потенциалом плодородия (темно-серые лесные, черноземы), наблюдалась противоположная тенденция.
3. Полученная зависимость между величинами азотминерализующей способности почв и содержанием нитратного азота в почвенно-грунтовых водах свидетельствует о том, что поступление нитратного азота в почвенно-грунтовые воды происходит за счет азота почвенного происхождения. Таким образом, при высокой азотмобилизующей способности почв в условиях их интенсивного сельскохозяйственного использования возможен экологически неблагоприятный расход естественных запасов почвенного азота.
4. Выявлено, что агротехногенное использование почв сопровождается уменьшением общего содержания азотистых соединений в гумусовых горизонтах исследуемого региона, однако, доля мобильного пула азота от общих запасов этого элемента в почвах агроландшафтов возрастает. Показано увеличение содержания нитратного азота в нижних горизонтах почв агроценозов по сравнению с биогеоценозами.
5. Аппроксимирована взаимосвязь между величинами АМС и содержанием мобильных форм микроэлементов, которая свидетельствует о том, что при

оценке азотного режима почв следует учитывать наличие в них подвижных форм микроэлементов.

- б. В модельных экспериментах показано, что изменение азотного режима как почвы, так и растений связано с уровнем содержания подвижных форм микроэлементов в почве. Дополнительное внесение Cu , Zn , Mo влияет на величину азотминерализующей способности почвы, что может отражаться на поступлении почвенного азота в растения.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Башкин В. Н., Головинина Н. О., Козлов М. Я. Влияние ландшафтно-геохимических условий на азотминерализующую способность почв // Сборник научных трудов «Гумус и азот в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР», Ленинград, 1990, с. 11—15.

2. Bashkin V. N., Golovnina N. O., Trillinberg T. P. Modelling ecologically optimal fertilizer use and ecosystem productivity on the base of nitrogenmineralizing capacity determination // Poda, 1990, p. 34—46.

3. Башкин В. Н., Учватов В. П., Припутнина И. В., Лучицкая О. А., Козлов М. Я., Волошина О. Н., Головинина Н. О. Экологически оптимальная биопродуктивность агроландшафтов // Экспериментальная экология, М.: Наука, 1991, с. 214 — 246.

4. Галиулин Р. В., Галиуллина Р. А., Головинина Н. О., Семенова Н. А., Башкин В. Н. Действие азотных удобрений на биохимические свойства почвы // Химизация сельского хозяйства. 1991, № 9, с. 41 — 43.

5. Башкин В. Н., Головинина Н. О. Способ прогнозирования поведения азота в агроландшафтах // Бюл. открытий и изобретений, 1992, № 29.

6. Головинина Н. О. Агроэкологическая оценка азотминерализующей способности почв // Химизация сельского хозяйства. 1992, № 2, с. 21 — 24.

7. Башкин В. Н., Учватов В. П., Галиулин Р. В., Припутнина И. В., Лучицкая О. А., Головинина Н. О., Галиуллина Р. А. Эколого-агрогеохимическая оценка использования водоохраных зон // Эколого-агрогеохимическое районирование Московской области, Пущино, 1992, с. 44 — 82.

8. Головинина Н. О. Изменение азотного режима в системе почва-растение в зависимости от содержания азота и микроэлементов (Cu , Zn , Mo) в почве // Тяжелые металлы в окружающей среде, Пущино, ОНТИ, 1997, с. 15 — 24.

9. Головинина Н. О. Влияние биогеохимических условий на уровень минерализации азотсодержащих органических соединений // Физико-химические и экологические проблемы почвоведения, Пущино, 1999, с.5—6; а также 11 тезисов конференций, включая 7 международных.