

УДК 631.416.1 : 631.417.4

А. П. ЩЕРБАКОВ

АЗОТНЫЙ РЕЖИМ В ПОЧВАХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОПЫТАХ С УДОБРЕНИЯМИ В ГДР

Изучены формы органических и минеральных азотных соединений и активность ферментов азотного обмена в почвах. В опыте «Вечная рожь» (Галле, ГДР) наиболее благоприятный режим азотных соединений в почве складывается в варианте «навоз». В опытах в Зеэхаузене (под Лейпцигом, ГДР) установлено, что внесение комбинированных органико-минеральных удобрений также увеличило содержание всех исследованных фракций азота в почве и повысило ее ферментативную активность.

Большой научный и практический интерес представляет изучение динамики азотного режима почв под влиянием антропогенного фактора почвообразования — производственной деятельности человека. Наиболее ценными для проведения таких исследований являются почвы длительных стационарных опытов, где в течение многих десятилетий вносятся в определенных дозах и соотношениях органические и минеральные удобрения, проводятся различные агротехнические мероприятия и т. д.

Одним из старейших в Европе является заложенный в 1878 г. в окрестностях г. Галле стационарный полевой опыт «Вечная рожь» («Ewiger Roggenbau»). Ранее в журнале «Почвоведение» и других изданиях были опубликованы результаты изучения состава гумуса почв указанного опыта, а также содержания общего азота в различных фракциях гумусовых веществ [3, 17]. Состав азотных соединений, особенно органических, в этих почвах до сих пор изучен слабо.

В нашей статье излагаются результаты изучения форм азотных соединений и активности ферментов азотного обмена в почве опыта «Вечная рожь», а также в почвах стационарных (с 1958 г.) опытов с удобрениями в Зеэхаузене.

Смешанные почвенные образцы (из пахотных горизонтов) были отобраны в 1972 г. и любезно предоставлены автору статьи профессором Галльского университета К. Рауэ.

История закладки и детальные схемы опытов на стационаре «Вечная рожь» широко освещены в литературе [2, 16, 18—24], поэтому мы подробно на этом вопросе не останавливаемся. Для изучения азотного режима черноземовидной легкосуглинистой почвы в опыте «Вечная рожь» использовали три основные деланки варианта: 1) навоз (120 ц/га, т. е. 65 кг/га N в органической форме); 2) NPK (20+20 кг/га N, 56 кг/га P₂O₅ и 90 кг/га K₂O); 3) без удобрения.

Опыты в Зеэхаузене заложены на легкосуглинистой поверхностно-оглеенной почве (тип Lehm-Staugley). В опыте F1-07 изучается действие удобрений в пятипольных севооборотах, отличающихся друг от друга долей кормовых культур. Мы проводили исследования азотного режима почв двух довольно контрастных севооборотов: I (без кормовых культур) — картофель, сахарная свекла, яровой ячмень, озимая пшеница, озимая рожь; IV (40% люцерны) — картофель, сахарная свекла, яровой ячмень, люцерна, люцерна.

Содержание общего азота (%) в пахотном горизонте почвы опыта «Вечная рожь»

Вариант	Первоначальные значения *	1929**	1949***	1954****	1972*****
Без удобрения	0,136	0,071	0,086	0,085	0,087
НРК	0,136	0,085	0,095	0,095	0,101
Навоз	0,136	0,109	0,125	0,137	0,140

* По Ромеру и Иле [Roemer, Ihle, 21].

** По Шефферу [Scheffer, 22].

*** По Шмальфусу [Schmalz, 23].

**** По Меркеру [Merker, 16].

***** Данные автора.

В среднем по небобовым культурам вносится 55 кг/га N, 22 кг/га P (=P) и 91 кг/га K (=K). Органическое удобрение внесено в среднем в дозе 80 ц/га стойлового навоза в год (150 ц/га под картофель и 250 ц/га под сахарную свеклу). Удобрённые варианты (навоз+1,5 НРК), на которых проводили наблюдения, получают в среднем на 1 га 128 кг азота в год (45 кг N с навозом и 83 кг N с минеральными удобрениями). Полевой опыт F 1-30, в котором изучается динамика почвенного плодородия, включает удобрённые и неудо­брённые варианты с пропашными культурами (кукурузой, картофелем, сахарной свеклой) и естественной растительностью.

В процессе исследования азотного режима почв был использован ряд методов. Анализы проводили в 3—4-кратной повторности. Общий азот определялся по Кьельдалю. Формы азотных соединений изучали с помощью двухступенчатого кислотного (0,5 н и 5 н H₂SO₄) гидролиза почвы по Шконде и Королевой [5] с предварительным определением минеральных форм азота. Кроме того, определяли подвижный азот по Корнфилду [Cornfield, 14]. В отдельных случаях применяли метод кислотного (6 н HCl) гидролиза почвы по Бремнеру [Bremner, 13], позволяющий определить в кислотном гидролизате почв аммонийный, гексозаминный и аминокислотный азот. Протеолитическую активность почвы изучали по методу Хазиева и Агафаровой [4], активность уреазы — по методу Галстяна и Цюпы [1].

Содержание общего азота в исследуемой почве определяли многие авторы. Часть результатов этих наблюдений приведена в табл. 1. Из этой таблицы хорошо видно, что во все сроки наблюдений максимальное содержание общего азота в почве отмечалось в варианте «навоз». Количество общего азота в варианте «НРК» также больше, чем в контроле, но различия в его содержании невелики. Следует отметить, что в результате длительного применения навоза содержание общего азота в почве опыта достигло первоначального уровня. Причем этот уровень поддерживается уже в течение двух последних десятилетий.

Как же повлияло 94-летнее применение органических и минеральных удобрений на содержание и соотношение отдельных форм азота в почве? Из данных табл. 2 видно, что общее количество азота, перешедшего в гидролизат, составило 79,4—81,2% от общего азота почвы. Абсолютное содержание всех гидролизующих фракций азота в основном соответствует запасам в почве общего азота. Интересно, что при кислотном гидролизе выделяется значительное количество азота в аммонийной форме (22,6—23,9% от общего азота), вопрос о природе которого до сих пор остается до конца невыясненным [13].

Гексозаминный азот составляет в почвах опыта 4,8—6,2%, аминокислотный — 25—30% от общего азота. Значительное количество гидролизующего азота почвы (22,4—26,7% от общего азота) осталось неиден-

Таблица 2

Соединения органического азота в почве (по методу Бремнера)

Вариант	Общий азот	Гидролизуемый азот	Фракции гидролизуемого азота			
			аммонийный	гексозаминный	аминокислотный	неидентифицируемый
Без удобрения	870	691	198	42	218	233
		<u>79,4</u>	<u>22,8</u>	<u>4,8</u>	<u>25,1</u>	<u>26,7</u>
НРК	1007	815	241	59	273	242
		<u>80,8</u>	<u>23,9</u>	<u>5,8</u>	<u>27,1</u>	<u>24,0</u>
Навоз	1400	1137	316	87	420	314
		<u>81,2</u>	<u>22,6</u>	<u>6,2</u>	<u>30,0</u>	<u>22,4</u>

Примечание. Здесь и в других таблицах числитель — мг N на 1 кг почвы, знаменатель — % от общего N почвы.

тифицированным при кислотном гидролизе, что в определенной мере затрудняет интерпретацию полученных аналитических данных. Наиболее благоприятное соотношение азотных соединений складывается в почве удобренных вариантов, в особенности на делянке «навоз», где суммарная величина аммонийного, гексозаминного и аминокислотного азота составляет 58,8% от общего азота. В целом же проявляется относительная устойчивость азотного фонда почвы при длительном внесении в нее органических и минеральных удобрений. Указанное явление было ранее отмечено автором данного метода [15] при изучении форм азота в целинных и окультуренных почвах штата Айова (США).

В практическом отношении более интересной, по нашему мнению, является методика Шконде — Королевой, позволяющая разделить азотный фонд почвы на фракции, различные по своей агрономической ценности. Данный метод был успешно применен нами при изучении азотного режима почв длительных опытов с удобрениями в условиях черноземной зоны [6—8, 11]. Фракция непосредственно доступного растениям минерального азота составляет в изученных почвах 1,5—2% от общего азота (табл. 3), причем максимальное ее количество (28 мг/кг) отмечено в варианте «навоз». Абсолютное содержание остальных фракций азота также более высокое в почве указанного варианта. Максимальная подвижность гидролизуемых форм азота в почве отмечена на удобряемых делянках опыта. Величина негидролизуемого азота, наоборот, более высокая на неудобренном варианте (81,5% от общего азота).

При сравнении данных, полученных с помощью методов Шконде — Королевой и Бремнера, необходимо учитывать, что в первом случае гидролизуемый азот — это лишь отгоняемый со щелочью аммонийный

Таблица 3

Влияние длительного применения навоза и минеральных удобрений на содержание различных форм азота в почве

Вариант	Общий азот	Фракции азота (по Шконде—Королевой)				Подвижный азот по Корнфилду
		минеральный	легкогидролизуемый	трудногидролизуемый	негидролизуемый	
Без удобрения	870	13	70	77	710	53
		<u>1,5</u>	<u>8,1</u>	<u>8,9</u>	<u>81,5</u>	<u>6,1</u>
НРК	1007	20	86	118	783	62
		<u>2,0</u>	<u>8,5</u>	<u>11,7</u>	<u>77,8</u>	<u>6,2</u>
Навоз	1400	28	139	158	1075	91
		<u>2,0</u>	<u>9,9</u>	<u>11,3</u>	<u>76,8</u>	<u>6,5</u>

азот гидролизатов, а негидролизуемый азот представлен неотгоняемым азотом почвенных гидролизатов и стойкими соединениями истинно негидролизуемого остатка. Метод Бремнера предусматривает количественное определение в гидролизате аммонийного, гексозаминного, аминокислотного азота, а также неидентифицируемых органических азотсодержащих соединений. Поэтому количество негидролизуемого азота в данном случае значительно меньше и составляет в изученных почвах 19—21% от общего азота.

В последние годы внимание многих исследователей привлек метод определения потребности почв в азотных удобрениях по Корнфилду. Этот метод хорошо характеризует степень окультуренности почв и обеспеченности их азотом. Метод Корнфилда заслуживает внимания и в связи с тем, что его показатели хорошо коррелируют с содержанием гумуса, общего азота в почве и с ее нитрификационной способностью. Полученные результаты (табл. 3) свидетельствуют о том, что более обеспеченной подвижным азотом является почва делянки «навоз» (91 мг/кг). Разница по этому показателю между «минеральным» и контрольным вариантами оказалась менее значительной.

Таким образом, все три примененных метода позволили установить, что наилучший режим азотных соединений в почве складывается на удобренных вариантах, в особенности на делянке «навоз».

Как известно, азотный режим почв во многом зависит от их микробиологической и ферментативной активности. Исследованиями Мюллера [Müller, 18] показано, что общая микробиологическая активность почвы опыта и активность важнейших физиологических групп почвенных бактерий наиболее высокие на вариантах, длительное время удобрявшихся навозом.

Нами рассмотрены лишь два основных фермента азотного обмена — протеаза и уреаза. Первый участвует в гидролизе пептидных и протеиновых компонентов органического вещества до свободных аминокислот. Уреаза обеспечивает выделение аммиака из мочевины, поступающей в почву в составе растительных остатков, навоза и как азотное удобрение, а также образующейся в самой почве в качестве промежуточного продукта в процессе превращения азоторганических соединений. Данные табл. 4 говорят о заметном повышении протеолитической и особенно уреазной активности почвы, удобрявшейся навозом, по сравнению

Таблица 4
Влияние длительного применения удобрений на активность ферментов азотного обмена в почве

Вариант	Протеаза, мг тирозина на 1 г почвы	Уреаза, мг NH ₃ на 1 г почвы
Без удобрения	0,522	0,360
НРК	0,520	0,395
Навоз	0,725	0,698

с «минеральным» и контрольным вариантами. Весьма характерно, что длительное внесение одних минеральных удобрений слабо повлияло на изменение ферментативной активности исследуемой почвы. В длительных опытах с удобрениями в черноземной зоне СССР наблюдалось даже некоторое снижение активности ряда ферментов в верхнем горизонте почв при систематическом применении минеральных удобрений [6, 9, 10, 12]. По мнению Ярошевич [12], это связано с накоплением ингибиторов, вносимых с минеральными удобрениями в почву или образующихся в ней в результате длительного внесения удобрений.

Полевые опыты, заложенные в Зеехаузене, имеют сравнительно небольшую историю (14 лет). В связи с этим изменения, происшедшие в

азотном фонде почв под влиянием систематического внесения удобрений, менее существенны, чем в вышерассмотренном опыте.

Из табл. 5 видно, что максимальное количество общего азота и всех его фракций содержится в почве удобренных вариантов. Наиболее заметно под влиянием удобрений увеличились запасы минерального азота. Подвижность легко- и трудногидролизуемого азота в почве всех вариантов опыта практически не меняется. Так же как в опыте «Вечная рожь», обращает на себя внимание невысокое относительное содержание трудногидролизуемого азота в исследуемой почве (11,5—12% от общего азота).

Таблица 5

Формы азотных соединений в почве длительного опыта с удобрениями в севообороте (F 1-07)

Вариант	Общий азот, мг/кг	Фракция азота (по Шконде — Королевой)				Подвижный азот по Корнфилду
		минеральный	легкогидролизуемый	трудногидролизуемый	негидролизуемый	
Севооборот I (без кормовых культур)						
Без удобрения	887	14	98	103	672	70
		1,6	11,0	11,6	75,8	7,9
Стойловый навоз + + 1,5/2 NPK	1002	28	106	120	748	77
		2,8	10,6	12,0	74,6	7,7
Севооборот IV (40% люцерны)						
Без удобрения	1002	17	101	116	778	77
		1,7	10,0	11,5	76,8	7,6
Стойловый навоз + + 1,5 NPK	1128	32	118	133	845	86
		2,8	10,5	11,8	74,9	7,6

Введение в севооборот бобовых (40% люцерны) способствовало увеличению общих запасов азота в почве. В опыте F 1-07 аналогичные изменения отмечались ранее Кнаппе с соавт. [2]. Авторы указывают, что внесение соответствующих доз органических и минеральных удобрений в сочетании с посевом бобовых в севообороте может возместить почти весь органически связанный азот, вынесенный из почвы, и одновременно позволит получить высокий урожай. Как следует из табл. 6, введение в севооборот люцерны заметно повысило активность ферментов азотного обмена в почве опыта F 1-07, что, безусловно, явилось одной из причин улучшения азотного режима почвы. Наши исследования включали также длительный опыт по изучению динамики почвенного плодородия F 1-30 (табл. 7).

Данные табл. 7 говорят о том, что совместное внесение в почву навоза и минеральных удобрений увеличило содержание общего азота и всех его гидролизуемых фракций, особенно в почве, находящейся под естественной растительностью.

Однако подвижность фракций минерального и гидролизуемого азота в почве более высокая в опыте с возделыванием пропашных культур, что обусловлено интенсивной обработкой почвы и, следовательно, лучшими условиями минерализации органических соединений азота. В пользу последнего утверждения говорит и повышение по сравнению с другими вариантами содержания минерального азота в почве под пропашными культурами.

Почва опыта с естественной растительностью обладает более высоким потенциальным плодородием. Если в почвах большинства вариантов опытов в Зеэхаузене содержание общего азота колеблется от 0,089 до 0,11%, то в почве указанного опыта оно составляет 0,13—0,15% от веса почвы. Относительное содержание фракции негидролизуемого азо-

Таблица 6

Протеолитическая и уреазная активность почвы длительных опытов с удобрениями в Зеехаузене

Вариант	Протеаза, мг тирозина на 1 г почвы	Уреаза, мг NH ₃ на 1 г почвы
Опыт F 1-07 (севооборот I)		
Без удобрения	0,386	0,398
Навоз + 1,5 NPK	0,484	0,435
Опыт F 1-07 (севооборот IV)		
Без удобрения	0,590	0,446
Навоз + 1,5 NPK	0,594	0,455
Опыт F 1-30 (с пропашными культурами)		
Без удобрения	0,522	0,353
Навоз + NPK	0,656	0,455
Опыт F 1-30 (с естественной растительностью)		
Без удобрения	0,665	0,538
Навоз + NPK	0,740	0,608

Таблица 7

Соединения азота в почве опыта по изучению динамики почвенного плодородия (F 1-30)

Вариант	Общий азот, мг/кг	Фракции азота (по Шконде — Королевой)				Подвижный азот по Корнфилду
		минеральный	легкогидролизуемый	трудногидролизуемый	негидролизуемый	
Опыт с возделыванием пропашных культур						
Без удобрения	922	25	97	105	695	63
		2,7	10,5	11,4	75,4	6,8
Навоз + NPK	970	31	102	112	725	70
		9,2	10,5	11,6	74,7	7,2
Опыт с естественной растительностью						
Без удобрения	1268	21	105	121	1021	81
		1,6	8,3	9,5	80,5	6,4
Навоз + NPK	1512	28	124	147	1213	93
		1,8	8,2	9,7	80,2	6,2

та, характеризующее степень закрепления соединений азота в гумусовых веществах, также наиболее высокое в почве под естественной растительностью (80% от общего азота).

Полученные результаты дополняются данными о ферментативной активности почвы опыта F 1-30 (табл. 6). Совместное внесение органических и минеральных удобрений повысило активность протеазы и уреазы в почве, причем их максимальные значения отмечены на удобряемой деланке под естественной растительностью.

Выводы

1. Результаты полевого опыта «Вечная рожь» свидетельствуют о том, что длительное применение навоза и минеральных удобрений способствует увеличению в почве количества общего азота и его соединений, причем их содержание, как и ферментативная активность почвы, наиболее высокое в варианте «навоз». Правда, в последнем случае в

почву ежегодно вносилось азота больше (65 кг/га), чем в варианте «НРК» (40 кг/га).

2. В опытах в Зеэхаузене выявлено, что внесение комбинированных органо-минеральных удобрений также увеличило содержание всех исследованных фракций азота и активность ферментов азотного обмена в почве по сравнению с почвами неудобренных вариантов. Кроме того, показано, что введение в севооборот люцерны производит аналогичное действие.

Литература

1. Галстян А. Ш., Цюпа Г. П. Некоторые вопросы изучения активности амидаз в почве. Изв. АН АрмССР, 1959, № 10.
2. Кнаппе С., Рерихт Х., Рауэ К. Изменение содержания гумуса в почве в зависимости от типа севооборота и системы удобрений. В сб.: Органические удобрения. М., Изд. ВАСХНИЛ, 1972.
3. Монтуляк Г. С. Динамика органического вещества почвы под бессменной монокультурой ржи. Почвоведение, 1960, № 3.
4. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. «Наука», 1976.
5. Шконде Э. И., Королева И. Е. О природе и подвижности почвенного азота. Агрохимия, 1964, № 10.
6. Щербаков А. П. Действие длительного применения удобрений на формы азотных соединений и энзиматическую активность выщелоченных черноземов. Тр. VIII Международн. конгр. по минеральн. удобр. М., 1976.
7. Щербаков А. П., Алексеева Е. Н., Шилов В. Н. Действие длительного применения минеральных удобрений в свекловичном севообороте на содержание и формы азота в выщелоченном черноземе. Агрохимия, 1973, № 11.
8. Щербаков А. П., Гетманец А. Я. Формы азотных соединений в черноземах некоторых многолетних опытов с удобрениями. Агрохимия, 1976, № 3.
9. Щербаков А. П., Дудкина А. Г. О влиянии удобрений на интенсивность микробиологических и ферментативных процессов в черноземе и его азотный режим. Тез. докл. V съезда Всес. микробиол. о-ва. Ереван, 1975.
10. Щербаков А. П., Дудкина А. Г., Кузнецова Г. И. Влияние удобрений на биологическую активность выщелоченного чернозема. В сб.: Проблемы почвоведения, агрохимии и мелиорации почв. Воронеж, 1973.
11. Щербаков А. П., Меремьянин Ю. Д. Влияние 30-летнего применения разных доз минеральных удобрений в свекловичных севооборотах на азотный режим черноземов лесостепи ПЧО и Украины. В сб.: Почвы Европейской части СССР и пути их рационального использования. Воронеж, 1972.
12. Ярошевич И. В. Влияние длительного систематического применения удобрений на активность некоторых почвенных ферментов. В сб. докл. симпоз. по ферментам почвы. Минск, 1968.
13. Bremner J. M. Organic Forms of Nitrogen. In Methods of Soil Analysis. Madison, Wis., 1965, v. 11.
14. Cornfield A. H. Ammonia released on treating soils with N sodium hydroxide as a possible means of predicting the nitrogen supplying power of soils. Nature, 1960, v. 187, № 4733.
15. Keeney D. R., Bremner J. M. Effect of Cultivation on the nitrogen distribution in Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1964, v. 28.
16. Merker J. Untersuchungen an der Ernte und der Böden des Versuchs Ewiger Roggenbau in Halle. Kühn-Arch., Halle, 1956, Bd 70.
17. Montoulak G. Zur Charakterisierung der organischen Bodensubstanz im mitteldeutschen Ackerbau. Untersuchungen von Parzellen des «Ewiger Roggenbaus» und der Fruchtfolgeversuche der Universität Halle—Wittenberg. Kühn-Arch., Halle, 1959, Bd 72.
18. Müller G. Über die bodenbiologische Dynamik eines 80-jährigen Dauerdüngungsversuches. Zbl. Bacteriol., 1962, Abt. II, Bd 115.
19. Rauche K. Der Einfluss des Futterbaues sowie der organischen und mineralischen Düngung auf den C- und N-Gehalt des Bodens im Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen. Thaer-Arch., Berlin, 1969, Bd 13, H. 5.
20. Rauche K., Lehne I., Laue R. Der Dauerdüngungsversuchs «Ewiger Roggenbau» in Halle und die Bodenfruchtbarkeit. Teil II: Die Stickstoffentzüge und Stickstoff in Boden. Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig, 1966, H. 1.
21. Roemer T., Ihle H. Die Einfeldwirtschaft auf dem Versuchsfelde des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Halle für die Jahre 1879—1921. Kühn-Arch., 1925, Bd 9.
22. Scheffer F. Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des «Ewiger Roggenbaues» in Halle. Arch. Pflanzenbau, 1931, Bd 7.
23. Schmalfuß K. Siebzig Jahre «Ewiger Roggenbau». Kühn-Arch., Halle, 1950, Bd 63.

24. *Wicke H.-J.* Der Einfluß des Futterbaues sowie der organischen und mineralischen Düngung auf die Erträge im Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen. *Thaer-Arch.*, Berlin, 1969, Bd 13, H. 5:

Воронежский
государственный
университет

Дата поступления
22.XI.1976 г.

A. P. SCHERBAKOV

**NITROGEN REGIME OF SOILS IN LONG-TERM EXPERIMENTS
WITH FERTILIZERS (G. D. R.)**

Forms of organic and mineral nitrogen compounds and the activity of ferments of the nitrogen exchange in soil have been studied. In the experiment «Perpetual Rye» (Halle) the most favourable nitrogen regime is observed on the variant «farm manure». In the Seehausen experiment it has been found that the application of combined organo-mineral fertilizers also increased the content of all studied nitrogen fractions in the soil and raised its fermentative activity.
