



УДК 631.51:631.416.1

## АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРЕНИЙ И ПРИЕМОВ ОБРАБОТКИ

Г.И. Уваров<sup>1</sup>, А.П. Карабутов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: uvarov@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Россия, 308016, г. Белгород, ул. Октябрьская, 58

E-mail: karabut.ap@mail.ru

Изучено содержание в черноземе типичном азота общего, легкогидролизуемого, нитратного, обогащенность азотом гумуса и нитрификационная способность. Установлено, что минеральные удобрения и навоз способствуют обогащению почвы разными формами азота. Азотный режим изменяется меньше под влиянием приемов обработки почвы. Установлена взаимосвязь между содержанием форм азота в почве, гумусом, подвижным фосфором и калием, величиной урожая пшеницы и качеством зерна.

Ключевые слова: азот почвы, формы азота, удобрения, приемы обработки почвы.

### Введение

Черноземные почвы, как правило, обеспечены общими запасами азота [1]. Однако это совсем не значит, что доступных для растений форм данного элемента достаточно для формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур. По данным мониторинга пахотные почвы Белгородской области на 73% имеют среднюю обеспеченность легкогидролизуемой формой азота, и за период 2000–2009 гг. в земледелии области сложился отрицательный баланс [2]. Из этого следует, что доступный азот для сельскохозяйственных растений в пахотных почвах области в настоящее время находится в первом минимуме.

Известно, что содержание подвижных форм азота в почвах в сильной степени зависит от метеорологических условий теплого периода и агротехнических мероприятий. Самым радикальным приемом увеличения в почве минерального азота является внесение удобрений [3, 4]. На основании длительных стационарных опытов с удобрениями, проведенными в Центрально-Черноземном регионе, установлено, что органико-минеральные удобрения увеличивают в почве содержание минерального, легко- и трудногидролизуемого азота [5].

Активно повлиять на азотный режим почвы можно приемами основной обработки. Вспашка способствует увеличению в почве нитратного азота, в то время как безотвальные приемы обработки осложняют азотное питание культурных растений [6, 7].

Все это обязывает исследователей обращать внимание на азотный режим почв ЦЧР и возможности его регулирования доступными агротехническими приемами. В связи с этим мы поставили цель установить особенность азотного режима чернозема типичного под влиянием удобрений и приемов обработки почвы. Задачи исследований включали определение общего азота, обогащенность азотом гумуса, легкогидролизуемого и нитратного азота, способность почвы к нитрификации. Отдельно проведен корреляционный анализ связи между содержанием форм азота в почве с другими показателями плодородия, величиной урожая и качеством продукции.

### Методика исследований

Исследования проведены в лаборатории плодородия почв и мониторинга Белгородского НИИ сельского хозяйства. Стационарный полевой опыт заложен на черноземе типичном среднемощном малогумусном тяжелосуглинистом, сформированном на лессовидном суглинке. На момент закладки опыта (1987 г.) в пахотном слое содержалось 4,7–5,6 % гумуса. Подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) находилось, соответственно, 6,7–7,8 мг и 9,2–12,1 мг на 100 г почвы. Гидролитическая кислотность изменялась в пределах 2,9–4,1 ммоль на 100 г почвы.

Объектом исследований являлся 5-польный зернопропашной севооборот с чередованием культур: горох – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – кукуруза на силос. Севооборот развернут в пространстве и во времени, а в 2010–2011 гг. завершилась его четвертая ротация.

Действие удобрений испытывали на фонах приемов основной обработки почвы: вспашки, безотвальной и мелкой обработки. Схема с удобрениями включала варианты с оди-



нарными и двойными дозами минеральных (азофоска и диаммофоска) и навоза, рассчитанных соответственно на простое и расширенное воспроизводство плодородия почвы. Одна доза навоза составляла 8 т/га севооборотной площади.

В процессе исследований проводились следующие определения: общий гумус по Тюри-ну (ГОСТ 26213-91), общий азот по Кьельдалю (ГОСТ 26107), обогащённость гумуса азотом (C/N) расчётным методом, нитрификационная способность почвы по существующей методике [8], щёлочногидролизующий азот по Корнфилду (ГОСТ 26107), азот нитратный по ГОСТ 26951-86, корреляционный анализ по Б.А. Доспехову [9].

### Результаты и их обсуждение

Вначале рассмотрим результаты определения общего азота в черноземе типичном. Экспериментальные данные свидетельствуют, что на абсолютном контроле (без удобрений) максимальное содержание его было по мелкой обработке почвы. Применение минеральных удобрений, особенно внесённых в двойных дозах, увеличивает содержание общего азота по сравнению с контролем (табл. 1).

Органическая система удобрения, рассчитанная на простое и расширенное воспроизводство плодородия почвы, приводит к заметному накоплению общего азота. Особенно это выражено при внесении навоза в дозе 16 т/га севооборотной площади.

Накопление общего азота в почве происходило более активно при совместном применении минеральных удобрений и навоза, особенно в случае двойных доз. Так внесение двойной дозы минеральных удобрений на фоне 16 т/га навоза повысило содержание общего азота в слое 0–30 см относительно контроля на 0.047%. В слое 30–50 см его стало больше на 0.011% в абсолютном выражении.

Обеспеченность гумуса азотом (C:N) была рассчитана на основании определения содержания в почве общего гумуса и азота. Исследования показали, что анализируемая почва имеет среднюю обогащённость гумуса азотом [10]. Наибольшее влияние на соотношение углерода к азоту оказывают удобрения.

Насыщение гумуса азотом наблюдается при внесении минеральных удобрений. Доля азота в гумусе возрастает с увеличением дозы удобрений. Длительное действие минеральных удобрений, особенно в двойных дозах, снизило соотношение углерода к азоту в слое 0–30 см на 0.4 ед., но не привело к существенным различиям в слое 30–50 см.

Более того, минеральные удобрения способствовали снижению соотношения гумуса к азоту как отдельно, так и совместно с навозом. В последнем случае соотношение углерода к азоту снизилось в слое 0–30 см в среднем на 0.5 ед., а в слое 30–50 см на 0.4 ед. Внесение навоза практически не способствовало насыщению гумуса азотом, так как при этом содержание гумуса увеличилось, и соотношение C:N возросло в слое почвы 0–30 см на 0.5 ед.

Таблица 1

#### Влияние удобрений и приемов обработки на содержание форм азота и нитрификационную способность почвы (по завершении 4-ой ротации севооборота)

Внесено удобрений		Глубина почвы, см	Азот общий, %			Обогащённость гумуса азотом (C:N), %			Азот легкогидролизующий, мг/кг			Нитрификационная способность почвы, N-NO <sub>3</sub> , мг/кг		
навоз, т/га	минеральные, доза		В <sup>1</sup>	Б	М	В	Б	М	В	Б	М	В	Б	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0-30	0.295	0.297	0.304	9.9	9.9	9.9	148	146	150	21.0	21.3	21.5
		30-50	0.274	0.279	0.280	9.5	9.4	9.4	123	130	130	7.8	7.8	7.9
	1	0-30	0.310	0.310	0.316	9.7	9.7	9.6	161	166	167	31.0	30.6	29.9
		30-50	0.278	0.277	0.280	9.6	9.7	9.6	130	136	138	12.6	12.0	11.7
	2	0-30	0.318	0.322	0.324	9.6	9.5	9.5	171	177	176	34.6	35.1	33.7
		30-50	0.286	0.287	0.290	9.5	9.4	9.4	140	144	144	14.0	15.1	15.9
8	0	0-30	0.306	0.298	0.300	10.4	10.5	10.5	165	163	161	36.5	37.2	37.3
		30-50	0.295	0.294	0.298	9.3	9.4	9.2	135	133	136	26.2	25.1	24.0
	1	0-30	0.332	0.321	0.328	9.7	9.8	9.7	177	172	174	40.3	40.8	41.5
		30-50	0.290	0.291	0.294	9.8	9.7	9.7	143	140	145	29.5	33.4	30.5
	2	0-30	0.340	0.337	0.340	9.6	9.5	9.4	186	183	184	45.8	44.8	43.4
		30-50	0.293	0.295	0.297	9.8	9.7	9.6	152	150	150	37.4	35.7	35.5
16	0	0-30	0.315	0.308	0.310	10.4	10.4	10.3	175	170	172	37.8	41.5	37.7



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(16)		30-50	0.299	0.302	0.300	9.4	9.3	9.4	145	144	144	27.5	27.0	26.6
	1	0-30	0.333	0.330	0.331	9.9	9.8	9.8	188	182	187	41.2	42.3	42.3
		30-50	0.290	0.287	0.290	9.8	9.9	9.9	157	153	155	37.2	37.5	36.4
	2	0-30	0.347	0.345	0.345	9.6	9.5	9.5	199	194	196	42.7	43.9	45.5
		30-50	0.305	0.300	0.301	9.5	9.6	9.6	163	160	164	36.6	36.7	35.6

Примечание: В<sup>1</sup> - вспашка, Б – безотвальная обработка, М – мелкая обработка.

В таблице 1 приведены данные определения содержания щелочногидролизуемого азота в почве перед посевом озимой пшеницы. В слое почвы 0–30 см чернозема типичного на контрольном варианте отмечена низкая обеспеченность. В слое 30–50 см величина азота снижается примерно на 15–20 мг/кг. На содержание легкогидролизуемого азота влияют больше удобрения, чем приемы основной обработки почвы.

Обеспеченность легкогидролизуемым азотом отмечается на всех удобренных вариантах опыта средняя. При этом на фоне двойных доз удобрений содержание этой формы азота возрастает и приближается к повышенной степени. Максимальное содержание щелочногидролизуемого азота в почве наблюдается при совместном внесении двойной дозы органических и минеральных удобрений. Установлено, что с увеличением количества вносимых удобрений влияние приемов основной обработки почвы на содержание легкогидролизуемого азота нивелируется.

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что изучаемые приёмы привели к изменению нитрификационной способности почвы. При этом наиболее заметное влияние оказали удобрения. Наиболее активно проходит процесс нитрификации в пахотном слое почвы (см. табл. 1).

При внесении минеральных удобрений нитрификация увеличилась в слое 0–30 см в 1.4, а в слое 30–50 см - в 1.7 раза. Нитрификационная способность почвы значительно повышалась при внесении навоза, что особенно выражено в варианте с внесением 16 т/га севооборотной площади. Причём активность возросла не только в обрабатываемом слое, но и в подпахотном. Так если в слое 0-30 см она в среднем увеличилась в 1.8 раза, то в подпахотном слое в 3.4 раза. Приемы обработки в этом случае мало влияли на нитрификационную способность почвы.

Совместное внесение минеральных удобрений и навоза в одинарных, двойных дозах и их комбинациях привело к ещё более значительному росту нитрификационной способности почвы. При одинарных дозах минеральных удобрений на фоне 8 и 16 т/га навоза нитрификационная способность почвы в пахотном слое увеличилась в 1.9 раза, а в подпахотном в 4.3 раза. При внесении двойных доз минеральных удобрений количество нитратного азота после компостирования в слое 0-30 см в среднем увеличилось в 2 раза и в слое 30–50 см в 4.6 раза.

Таким образом, процесс нитрификации проходит более интенсивно в подпахотном слое почвы. Минеральная, органическая и особенно органо-минеральная системы удобрения позволяют увеличить данный показатель. Приемы обработки не оказывают влияния на активность бактерий, способных накапливать азот нитратов.

Наблюдения за содержанием нитратного азота в почве под озимой пшеницей в начале вегетации позволили выявить следующие особенности. Содержание данной формы азота в слое почвы 0–30 см по вариантам опыта было в основном низкое (менее 20 мг/кг почвы). Исключение составляет вариант совместного внесения навоза и минеральных удобрений в двойных дозах. На абсолютном контроле содержание нитратного азота в слое 0–30 см в начале вегетации колебалось в пределах 7.1–8.0 мг/кг и незначительно снижалось к уборке. С глубиной его количество уменьшалось. Это было выражено и в целом для слоя почвы 0–100 см (табл. 2).

Применение одинарной дозы минеральных удобрений увеличивало содержание нитратного азота в среднем по приемам обработки в слое 0–30 см до 10.4 мг/кг, а двойной дозы - до 13.8 мг/кг. Примерно такое же количество их обнаруживается и в слое почвы 50–100 см. Происходит миграция нитратов в нижние слои почвы.

При совместном внесении минеральных удобрений и навоза содержание нитратного азота возрастает в слое почвы 0–30 см, примерно в 1.5–2.5 раза, а в целом в метровом слое - в 3.2 раза. Кроме того, чётко прослеживается закономерность локализации основной части минерального азота (80-90%) в начале вегетации озимой пшеницы в слоях 0–30 и 50–100 см. Наибольшие значения доступной растениям формы азота отмечались по мелкой обработке почвы, наименьшие – по вспашке.

Таблица 2

**Влияние приемов обработки и удобрений на содержание нитратного азота в посевах озимой пшеницы, мг/кг по завершении 4-ой ротации севооборота**

Внесено удобрений		Глубина почвы, см	Прием обработки почвы и срок определения (1 – в начале вегетации, 2 – перед уборкой)					
навоз, т/га	минеральные, доза		вспашка		безотвальная		мелкая	
			1	2	1	2	1	2
0	0	0-30	8.0	7.1	7.5	6.8	7.1	6.5
		30-50	6.0	3.6	5.7	5.1	5.4	4.0
		50-100	6.8	2.7	6.5	3.9	5.7	2.7
		0-100	7.0	4.5	5.3	6.3	6.1	4.4
	1	0-30	11.4	10.5	10.7	9.0	12.4	11.3
		30-50	6.7	5.1	7.2	7.6	6.6	9.3
		50-100	11.3	4.4	10.0	11.3	9.1	10.2
		0-100	10.4	6.7	9.7	9.3	9.6	10.3
	2	0-30	13.2	19.5	12.4	12.6	12.0	12.9
		30-50	8.8	6.3	8.5	7.6	8.0	10.2
		50-100	16.2	5.2	16.9	15.1	14.3	11.7
		0-100	13.8	10.3	13.9	11.8	13.4	13.2
8	0	0-30	9.0	7.6	8.4	8.9	8.7	9.3
		30-50	6.6	3.1	6.8	5.3	6.9	7.1
		50-100	7.5	2.8	7.4	4.2	6.8	3.2
		0-100	7.8	4.5	7.6	6.1	7.4	7.5
	1	0-30	11.4	11.0	10.9	11.2	12.5	11.2
		30-50	8.9	5.5	8.6	6.3	8.0	8.9
		50-100	13.9	7.6	12.5	7.8	9.3	10.1
		0-100	12.2	8.0	11.2	8.4	9.4	10.0
	2	0-30	17.9	18.6	16.3	13.9	18.6	17.2
		30-50	11.9	13.9	10.8	12.1	9.6	14.0
		50-100	14.4	10.7	13.0	13.5	12.3	14.0
		0-100	15.0	14.4	13.6	13.2	13.7	15.0
16	0	0-30	9.0	10.7	9.3	8.9	9.8	11.2
		30-50	7.4	7.8	8.6	5.3	7.9	6.5
		50-100	8.6	4.9	8.2	4.2	8.6	4.0
		0-100	8.5	7.8	8.7	6.1	8.8	7.2
	1	0-30	16.8	17.7	15.3	14.4	17.5	17.0
		30-50	13.6	12.6	12.3	8.9	11.5	10.9
		50-100	15.6	6.8	14.5	10.3	13.0	10.1
		0-100	15.6	12.3	14.3	11.2	14.1	12.6
	2	0-30	22.7	28.2	21.8	22.9	23.3	18.6
		30-50	13.8	19.1	14.1	19.3	13.3	15.2
		50-100	17.9	12.3	16.5	17.0	14.3	13.3
		0-100	18.5	19.7	17.6	19.7	16.8	15.7

Преимущество приемов рыхления почвы без оборота пласта в накоплении азота объяснимо тем, что растительные остатки предшествующей культуры (гороха) и удобрений заделываются в поверхностном слое почвы. В дальнейшем, за счёт большей интенсивности разложения фитомассы, содержание нитратов увеличивается. Вспашка обеспечивает более равномерное распределение растительных остатков по обрабатываемому слою и менее интенсивную их минерализацию.

Содержание нитратов к уборке озимой пшеницы выравнивалось по всем приемам основной обработки почвы и изменялось при внесении удобрений. Однако распределение их по слоям почвы по вспашке было более равномерным, в то время, как по безотвальной и мелкой обработкам наблюдалось увеличение в слое 0–10 см.

Нами определены коэффициенты парной корреляции между формами азота, показателями плодородия почвы, урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы (табл. 3).



Таблица 3

**Коэффициенты парной корреляции (r) между формами азота, показателями плодородия почвы, урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы**

Показатели	Запасы влаги в почве	Содержание в почве гумуса и подвижных элементов			Гидролитическая кислотность	Урожайность	Содержание в зерне			
		гумуса	фосфора	калия			протеина	азота	фосфора	калия
Азот общий	-0.96	0.23	0.86	0.72	0.04	0.59	0.45	0.45	0.11	-0.39
Нитрификационная способность	-0.59	0.43	0.70	0.57	0.26	0.49	0.27	0.28	0.71	0.21
Азот гидролизуемый	-0.38	0.87	0.79	0.67	0.06	0.64	0.05	0.07	0.88	0.48
Азот нитратов	-0.91	0.17	0.84	0.71	-0.13	0.48	0.57	0.58	0.12	-0.42

Так связь между запасами влаги в почве и содержанием форм азота обратная. С увеличением влажности почвы содержание форм азота снижается. Установлена сильная обратная связь между запасами влаги и такими формами азота, как общий и нитратный. Содержание щелочно-гидролизуемой формы азота в большей степени зависит от содержания в почве гумуса.

Установлена прямая связь между содержанием различных форм азота и содержанием подвижного фосфора и калия в почве. Связь между кислотностью почвы и общим азотом слабая. Накопление нитратного азота в почве приводит к подкислению почвы.

Связь между содержанием азота в почве и урожайностью озимой пшеницы средняя прямая. Это означает, что с увеличением содержания азота в почве повышается и урожай зерна. Установлена высокая корреляционная зависимость между урожайностью и содержанием в почве общего и гидролизуемого азота.

Азотный режим почвы оказывает влияние на качество зерна озимой пшеницы. Накопление общего и нитратного азота в почве приводит к повышению содержания протеина и азота, но снижает содержание калия в зерне. Содержание фосфора в зерне имеет сильную прямую связь с нитрификационной способностью почвы и содержанием гидролизуемого азота.

**Заключение**

Накопление общего азота в почве происходит более активно при совместном применении минеральных удобрений и навоза. Приемы обработки почвы не влияли на содержание данной формы азота.

Наибольшее влияние на соотношение углерода к азоту оказывают удобрения, чем приемы обработки почвы. Насыщение гумуса азотом наблюдается при внесении минеральных удобрений и навоза. Доля азота в составе гумуса возрастает с увеличением дозы удобрений.

На содержание легкогидролизуемого азота влияют больше удобрения, чем приемы основной обработки почвы. Максимальное содержание данной формы азота в почве наблюдается при совместном внесении двойной дозы навоза и минеральных удобрений.

Применение органо-минеральных удобрений способствует усилению процесса нитрификации в обрабатываемом слое почвы в среднем в 2 раза и в 4.5 раза в подпахотном. Приемы обработки не влияли на данный показатель. Содержание доступного растениям азота возрастает при совместном внесении минеральных удобрений и навоза в слое почвы 0–30 см, примерно, в 1.5-2.5 раза, а в целом в метровом слое в 3.2 раза. Отмечена локализация основной части минерального азота в начале вегетации озимой пшеницы в слоях 0–30 и 50–100 см.

Корреляционный анализ подчёркивает взаимосвязь между содержанием форм азота в почве, гумусом, подвижным фосфором и калием, величиной урожая пшеницы и его качеством.

**Список литературы**

1. Щербаков А.П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ – М.: Колос, 1983. – 189 с.
2. Лукин С.В., Четверикова Н.С., Ероховец М.А. Агроэкологическая оценка содержания азота в сельскохозяйственных растениях и почвах Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». – 2011. – № 21 (116). Вып. 17. – С. 95–101.
3. Уваров Г.И. Агроэкологические проблемы плодородия почв лесостепи. – Белгород, 2005. – 203 с.



4. Уваров Г.И., Карабутов А.П. Изменение свойств в черноземе типичном при применении удобрений в длительном полевом опыте // *Агрохимия*. – 2012. – № 4. – С. 14–20.
5. Минакова О.А. Агроэкологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР: Автореф. дис...докт. с.-х. наук. – Воронеж: ВГАУ, 2011. – 49 с.
6. Хабиров И.К., Простякова З.Г. Изменение азотного режима чернозёма типичного при минимальной обработке почвы // *Почвоведение*. – 1997. – № 7. – С. 866–869.
7. Уваров Г.И., Соловиченко В.Д. Азотный режим чернозема типичного при возделывании культур в севообороте // *Агрохимия*. – 2009. – № 4. – С. 5–10.
8. Агрохимические методы исследования почв. – М.: «Наука», 1975. – 656 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
10. Орлов Д.С. Химия почв. – Изд-во Московского университета, 1985. – 376 с.

## THE CHERNOZEM NITROGEN MODE DEPENDING ON THE FERTILIZERS AND PROCESSING METHODS

**G.I. Uvarov<sup>1</sup>, A.P. Karabutov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Belgorod State National Research University, 85, Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia*

<sup>2</sup> *Belgorod Agricultural Research Institute of RAA, 58, Otyabrskaya St., Belgorod, 308016, Russia*

*E-mail: uvarov@bsu.edu.ru;  
karabut.ap@mail.ru*

The total nitrogen content in the typical black earth is studied, as well as that of hydrolytic and nitrate one, nitrogen and humus richness and nitrifying ability. Chemical fertilizers and manure proved to contribute to the enrichment of the soil by various forms of nitrogen. Nitric conditions vary less under the influence of the tillage methods. The correlation is stated between the content of the nitrogen forms in the soil, humus, mobile phosphorus and potassium, and the harvest volume and the quality of wheat.

Key words: nitrogen, nitrogen forms in the soil, fertilizers, tillage methods.