

К ВОПРОСУ О РАВНОЦЕННОСТИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ НИТРАТНЫМ И АММОНИЙНЫМ АЗОТОМ

© 2021 г. В. В. Окорков

Верхневолжский федеральный аграрный научный центр
601261 Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, Россия

E-mail: okorkovvv@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.01.2021 г.

После доработки 20.08.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Исследования по влиянию удобрений на изменение в почве минеральных форм азота и их доступность растениям выполнены на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, различающихся гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами. На среднесуглинистых серых лесных почвах Владимирского ополья, обладающих емкостью катионного обмена, равной 25.2–27.0 мг-экв/100 г почвы, выявлена определяющая роль нитратного азота, накапливающегося в ранний период вегетации культур, в их питании и продуктивности. Из-за низкой степени перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу (водную вытяжку 1 : 1) его роль в их питании в несколько раз более низкая, чем N-NO₃. В легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах с ЕКО 13.3–18.7 мг-экв/100 г почвы при действии куриного помета выявлена существенная роль N-NH₄ в питании растений азотом. При последствии куриного помета степень перехода аммонийного азота в жидкую фазу снижалась. На более легких почвах степень перехода N-NH₄ почвы в жидкую фазу возрастала до очень высокой при уменьшении как ЕКО, так и содержания частиц физической глины.

Ключевые слова: серая лесная и дерново-подзолистая почвы, нитратный и аммонийный азот, степень перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу, гранулометрический состав почвы, емкость катионного обмена.

DOI: 10.31857/S0002188121120103

ВВЕДЕНИЕ

На дерново-подзолистых [1–4] и серых лесных почвах Верхневолжья [5–7] выявлена определяющая роль азотных удобрений в повышении урожайности полевых культур различных севооборотов. На серых лесных почвах главенствующее влияние на урожай и его качество оказывали запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы, накопленные в ранних фазах роста и развития возделываемых культур. В какой-то мере это объясняется тем, что при температурах >10°C растения потребляют преимущественно нитратную форму азота [8]. Однако исследованиями Д.Н. Прянишникова [9] выявлена возможность поглощения растениями как нитратного, так и аммонийного азота. Оптимум поглощения N-NH₄ наблюдают при pH ≈ 7.0, N-NO₃ – при слабокислой реакции среды. Эти исследования проведены преимущественно в водных культурах. В полевых же условиях отмечают весьма сложные процессы трансформации вносимых удобрений, которые далеки от наблюдаемых в водных культурах.

На серых лесных почвах Верхневолжья в 8- и 7-польных севооборотах установлена тесная или гиперболическая связь средней ежегодной их продуктивности с величиной средних запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур [10]. Такие же взаимосвязи наблюдали между первым параметром и суммой запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе почвы (мобильным фондом азота) в тот же срок. Содержание аммонийного азота в ней оценивали расчетным путем. При этом коэффициент использования запасов N-NO₃ был в 3–5 раз более высоким, чем N-NH₄. Об этом судили по размерам снижения запасов этих форм азота в середине вегетации культур по сравнению с ее началом [10]. Более высокое использование растениями азота нитратов почвы можно объяснить полным его нахождением в жидкой фазе почвы, аммонийного азота – частичным. Слабое влияние аммонийного азота почвы на урожайность культур зернотравнопро-

пашного севооборота было установлено ранее в работе [11].

В настоящее время в агрохимических исследованиях аммонийный азот почвы определяют после вытеснения его 1 М раствором KCl [12], т.е. сумму ионов NH_4^+ , поглощенных обменным комплексом и находящихся в жидкой фазе. В то же время концентрацию и запасы аммонийного азота в жидкой фазе почвы можно непосредственно определить и с помощью ионоселективного электрода на ионы NH_4^+ .

Цель работы – оценка влияния запасов нитратного и аммонийного азота, формирующихся в ранние сроки вегетации возделываемых культур при применении различных доз азота минеральных и органических удобрений, в процессе питания ими растений в зависимости от физико-химических свойств и гранулометрического состава почв Верхневолжья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполняли на серых лесных и дерново-подзолистых почвах Верхневолжья. Серые лесные почвы Верхневолжья (на примере серых лесных почв Владимирского ополья) в слое 0–40 см характеризовались средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом [10]. Верхние пахотные горизонты опытного стационара имели высокую емкость катионного обмена (25.2–27.0 мг-экв/100 г почвы), варьирующую гидролитическую кислотность (3.2–4.6 мг-экв/100 г), содержание гумуса 2.88–3.51%. Степень насыщенности основаниями менялась от 83.0 до 87.3%. Почвообразующая порода представлена лессовидными карбонатными покровными отложениями тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава.

В илистой фракции пахотного слоя содержание смешано-слоистых образований (слюда-сметиты и хлорит-сметиты), которые способны к набуханию и пептизации, изменялась от нескольких до 25–30% [13, 14]. В иллювиальных горизонтах концентрация этих глинистых минералов увеличивалась до 30–64%. В пахотном слое по сравнению с иллювиальными горизонтами в илистой фракции было заметно повышено содержание гидрослюды (47–75 против 28–43%), в меньшей мере – хлоритов и каолинитов (20–30 против 18–24%).

Стационарный опыт, заложенный в 1991–1993 гг. [11], развернут в 3-х полях. В 1-й ротации чередование культур было следующим: 1 – занятой пар (викоовсяная смесь), 2 – озимая рожь,

3 – картофель, 4 – овес с подсевом трав, 5 – травы 1-го года пользования, 6 – травы 2-го года пользования, 7 – озимая рожь, 8 – ячмень. Повторность опыта трехкратная, площадь делянок 100 м² (5 м × 20 м). Площадь учетной делянки при уборке зерновых – 44 м², картофеля – 28 м². Урожайность однолетних и многолетних трав учитывали парцеллярным способом.

В занятом пару 1-й ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза КРС (0, 40, 60 80 т/га), вносимого под озимую рожь после уборки занятого пара, и минеральных удобрений, их сочетания на агрохимические свойства серых лесных почв. Содержание азота в 1 т навоза КРС, внесенного в 1-й по 4-ю ротациях, составило соответственно 4.5, 4.2, 4.6 и 4.4 кг. Во 2-й по 4-ю ротации исследования вели при последствии известкования.

В 1-й ротации в качестве одинарной дозы удобрений под зерновые, однолетние и многолетние травы вносили P40K40 и N40P40K40, под картофель – P60K80 и N60P60K80. Под травы 1-го года пользования во всех ротациях в качестве двойной дозы применяли N40P80K80.

Во 2-й ротации одинарную и двойную дозы NPK под однолетние травы заменили на N60 и N75, фосфорно-калийные удобрения не применяли. Под яровую пшеницу, идущую после трав 2-го года пользования, в качестве одинарных доз использовали P60K60 и N60P60K60. В 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота под зерновые культуры и травы 1-го и 2-го года пользования в качестве одинарных доз использовали P40K40 и N40P40K40.

Исследование по влиянию куриного помета на изменение различных форм азота и физико-химических свойств верхних слоев почвы выполняли на дерново-слабоподзолистой почве Пошехонского р-на Ярославской обл. Верхний гумусовый горизонт почвы (0–28 см) представлен крупно-пылеватым легким суглинком (содержание частиц <0.01 мм равно 22.4, ила – 6.9%), в A2B горизонте (28–43 см) содержание физической глины увеличилось до 33.6, ила – до 19.9%. Содержание гумуса в верхнем слое было равно 1.05%, в A2B-горизонте – 0.54%. Емкость катионного обмена в них соответственно составила 13.3 и 18.7, в более глубоких слоях увеличивалась до 23.9–25.9 мг-экв/100 г почвы [15]. Почвообразующая карбонатная порода представлена среднесуглинистыми крупно-пылеватыми отложениями. В илистой фракции преобладали гидрослюды и слюды.

Таблица 1. Математические зависимости влияния удобрений на среднюю продуктивность культур севооборотов, ц з.е./га (на фоне известкования)

Ротация, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, $n = 16$	R^2	ЭМУ навоза по азоту
1-я, 1991–2000 гг.	$Y = 31.0 + 0.313x_1 + 0.114x_2$	0.947	0.61
	$Y = 30.7 + 0.313x_1 + 0.184x_2 - 0.0009x_2^2$	0.971	0.42, 0.52, 0.48*
2-я, 1999–2008 гг.	$Y = 33.6 + 0.324x_1 + 0.0895x_2$	0.891	0.86
	$Y = 32.5 + 0.324x_1 + 0.173x_2 + 0.041x_3 - 0.0014x_2^2$	0.965	0.54, 0.60, 0.68*
	$Y = 33.4 + 0.324x_1 + 0.175x_2 - 0.0011x_2^2$	0.939	0.51, 0.55, 0.60*
3-я, 2007–2015 гг.	$Y = 33.1 + 0.256x_1 + 0.122x_2$	0.929	0.46
	$Y = 31.9 + 0.256x_1 + 0.180x_2 + 0.060x_3 - 0.0014x_2^2$	0.972	0.38, 0.45, 0.52*
4-я, 2014–2020 гг.	$Y = 37.2 + 0.360x_1 + 0.107x_2$	0.920	0.76
	$Y = 36.3 + 0.360x_1 + 0.199x_2 + 0.040x_3 - 0.0017x_2^2$	0.974	0.52, 0.61, 0.72*
Средние за 1–2-ю ротации при дозах навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0.47, 0.55, 0.56*
Средние за 3–4-ю ротации при дозах навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0.45, 0.53, 0.62*

*Приведены рассчитанные данные при дозах внесения навоза КРС 40, 60 и 80 т/га за ротацию. x_1 – среднегодовая доза применения навоза КРС, т/га; x_2 – среднегодовая доза внесения азота N_{aa} , кг/га; x_3 – среднегодовая доза применения РК удобрений в расчете на P_2O_5 , кг/га.

На легких дерново-подзолистых почвах Мещеры изучали взаимосвязь между содержаниями аммонийного азота почвы в 1 М КС1 и водной (1 : 1) вытяжках [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщение результатов изучения изменения средней ежегодной продуктивности севооборотов [5, 10, 11] в зависимости от систем удобрения показало определяющее влияние азота минеральных удобрений и навоза на этот параметр (табл. 1). На их долю приходилось от 89 до 95% вариации средней продуктивности севооборотов. Учет применения фосфорно-калийных удобрений повышал тесноту связи на 4.3–7.4%.

Так как с ростом доз азота минеральных удобрений их повышающее урожайность культур действие снижается (при постоянстве действия органических удобрений), то эквивалент минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту не является постоянной величиной. Он возрастал с 0.38–0.54 до 0.45–0.61 и 0.48–0.72 для доз внесения навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию севооборота. Расчет ЭМУ навоза по азоту, исходя из линейных зависимостей средней продуктивности севооборота от среднегодовых доз применения удобрений, превышал этот параметр. Более высокое влияние на продуктивность и урожайность культур севооборотов азота минеральных удобрений по сравнению с азотом органических может

свидетельствовать о существенном вкладе внесенных органических удобрений в повышение и сохранение содержания гумуса в почве.

С целью выявления роли подвижных форм азота в питании возделываемых культур была изучена динамика содержания и запасов нитратного и аммонийного азота в слое 0–40 см почвы в течение вегетации. Азотные минеральные удобрения в подкормку многолетних трав и озимых культур вносили после схода снега и подсыхания почвы, под яровые зерновые и однолетние травы – после закрытия влаги. В ранневесенний период при быстром нарастании температур воздуха и оптимальной влажности почвы происходила трансформация внесенных азотных минеральных удобрений в нитратную форму, а органического вещества удобрений и почвы – в аммонийную и нитратную формы. Поэтому к периоду отрастания трав и озимых культур, всходов яровых зерновых культур и однолетних трав обычно формировались их максимальные запасы. В последующий период до колошения зерновых культур, бутонизации и цветения бобовых в посевах многолетних трав происходило интенсивное поглощение элементов питания возделываемыми культурами (конец июня–начало июля). Запасы подвижных форм азота в почве резко снижались. Ко времени уборки они чаще всего несколько возрастали.

Показано (табл. 2), что запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы в период всходов или воз-

обновления вегетации культур были наиболее высокие (42.2–160 кг/га). В вариантах без применения азотных минеральных и органических удобрений они были наименьшими (42.2–44.1 кг/га). Несколько повышались они при применении навоза КРС в разных дозах (до 46.5–51.3 кг/га) и его сочетания с фосфорно-калийными удобрениями (до 47.1–56.8 кг/га). Наиболее существенное увеличение этой формы азота происходило при использовании одинарной дозы NPK (до 90 кг/га), ее сочетании с органическими удобрениями (97.5–111 кг/га). При применении двойной дозы NPK эти параметры возросли до 123 и 144–160 кг/га соответственно.

Во 2-й срок наблюдений (колошение, бутонизация и цветение) по сравнению с 1-м отметили снижение запасов N-NO₃ до 18.1–50.6 кг/га (или в 2.1–3.2 раза), обусловленное интенсивным поглощением N-NO₃ вегетирующими растениями. После уборки урожая запасы этой формы азота несколько возросли.

Запасы N-NH₄ в слое 0–40 см в 1-й срок наблюдений варьировали в более узких пределах (от 96 до 136 кг/га). С повышением уровня интенсификации они увеличились всего в 1.4 раза, в то время как запасы N-NO₃ – в 3.8 раза. Во 2-й срок отбора образцов по сравнению с 1-м снижение запасов N-NH₄ составило всего 8.0–33.1 кг/га. Это было обусловлено как поглощением аммонийного азота растениями, так и внутриагрегатным его вхождением в поглощающий комплекс в более засушливый период вегетации культур [7]. После их уборки по сравнению со 2-м сроком запасы N-NH₄ в почве повышались до уровня, который был близок к исходным запасам (1-й срок).

Сравнение данных табл. 1 и 2 показало, что определяющее влияние на продуктивность культур севооборота оказывали запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы, накопленные в ранний период вегетации культур. Их снижение во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м росло с повышением продуктивности севооборота. В этот период размеры снижения запасов N-NH₄ в 1.7 (без удобрений), в 2.0–2.3 (при применении органических удобрений), в 6.9–7.6 (NPK), в 2.2–3.4 (NPK + навоз) раза были более низкие, чем запасов N-NO₃. Поэтому взаимосвязь продуктивности севооборота с запасами нитратного азота в слое 0–40 см в ранний период вегетации культур можно описать разными функциями, различающимися теснотой связи (табл. 3). В 1-й и 2-й, 3-й

ротациях более тесная связь этих параметров ($R^2 > 0.9$) была установлена по квадратичной, степенной и гиперболической зависимостям, в 4-й ротации – квадратичной.

Определяющая роль нитратного азота в питании растений обусловлена полным нахождением его в жидкой фазе почвы. Аммонийный же азот переходит в нее частично. В работе [10] было предложено определять содержание и запасы N-NH₄ расчетным путем, считая одинаковыми коэффициенты использования растениями нитратного и аммонийного азота жидкой фазы. Коэффициент использования запасов нитратного азота находили делением размеров снижения их во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м на их исходные запасы (1-й срок). Запасы N-NH₄ в жидкой фазе почвы рассчитывали делением размеров снижения запасов аммонийного азота во 2-й срок по сравнению с 1-м (табл. 2) на коэффициент использования нитратного азота. Сумму нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе называли мобильным фондом (МФ) азота. Уравнения взаимосвязи и их теснота между средней продуктивностью севооборота и МФ азота представлены в табл. 4.

Теснота связи средней продуктивности севооборотов со средними запасами нитратного азота в ранний период вегетации культур (табл. 3), с одной стороны, а также с МФ азота в тот же срок наблюдений, с другой стороны (табл. 4), была близкой. Это позволило использовать для прогнозирования урожайности отдельных культур на серых лесных почвах Верхневолжья только величины запасов нитратного азота [17].

В настоящее время имеется возможность более корректно судить о содержании N-NH₄ в жидкой фазе почвы при прямом определении ионов NH₄⁺ с помощью ионоселективного электрода. Для этой цели использовали пленочный электрод ЭЛИС-121 NH₄.

На образцах конца 2-й ротации 8-польного севооборота (2007 г.) в работе [16] была изучена взаимосвязь между содержаниями аммонийного азота в почве (солевая вытяжка 1 М раствором KCl) и водной вытяжке при соотношении почва : вода = 1 : 1. Анализы выполнены в 2018 г. В слое 0–20 см содержание аммонийного азота в почве в вариантах опыта варьировало от 4.17 до 6.92, в водной вытяжке – от 0.137 до 0.413 мг/100 г почвы, в слое 20–40 см – соответственно от 2.70 до 5.64 и от 0.053 до 0.261 мг/100 г почвы. Для слоев 0–20 и 20–40 см почвы установлена тесная линейная связь между содержаниями аммонийного азота в

Таблица 2. Влияние систем удобрения на средние ежегодные запасы N-NO₃ и N-NH₄ в слое 0–40 см почвы под культурами 7-польного севооборота в различные периоды их вегетации (2007–2015 гг.), кг/га [10]

Вариант	Всходы или возобновление вегетации (1-й срок)		Колошение и бутонизация (2-й срок)		После уборки		Снижение запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м			
	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	кг/га			
							%			
1. Контроль без удобрений и известкования	42.2	98.1	18.1	84.3	25.6	97.9	24.1	13.8	57	14.1
2. Фон известкования	42.4	98.2	19.8	84.8	28.7	102	22.8	13.4	54	13.6
3. Фон + РК	44.1	96.0	18.9	83.2	28.7	98.9	25.1	12.8	57	13.3
4. Фон + NPK	90.0	107	28.7	98.9	37.8	104	61.3	8.0	68	7.5
5. Фон + 2 NPK	123	118	44.8	107	52.3	109	78.2	11.4	64	10.7
6. Фон + Нав40	46.5	104	20.6	92.2	31.2	98.8	26.0	11.3	56	10.9
7. Фон + Нав60	50.6	106	22.3	91.7	34.1	106	28.3	14.2	56	13.4
8. Фон + Нав80	51.3	105	19.9	90.6	33.8	98.5	31.5	14.0	61	13.4
9. Фон + Нав40 + РК	47.1	109	19.4	95.9	27.8	100	27.7	13.1	59	12.0
10. Фон + Нав40 + NPK	97.5	114	33.0	92.1	39.9	104	64.5	20.0	66	17.5
11. Фон + Нав40 + 2NPK	144	123	46.9	92.4	57.0	109	97.1	30.2	67	24.6
12. Фон + Нав60 + РК	51.0	111	20.8	94.2	33.7	108	30.2	16.3	59	14.8
13. Фон + Нав60 + NPK	101	115	35.3	89.8	41.1	111	65.7	25.1	65	21.8
14. Фон + Нав60 + 2NPK	150	136	48.3	106	53.9	118	102	30.5	68	22.4
15. Фон + Нав80 + РК	56.8	102	23.9	82.1	33.7	112	32.9	20.2	58	19.8
16. Фон + Нав80 + NPK	111	116	33.4	93.3	43.7	117	77.6	22.6	70	19.5
17. Фон + Нав80 + 2NPK	160	127	50.6	93.8	57.9	113	109	33.1	68	26.1

Примечание. Нав – навоз, т/га. То же в табл. 5.

Таблица 3. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y , ц з.е./га) с соответствующими запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур (x , кг/га)

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R	R^2
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992–2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33.3 + 0.0844(x - 44)$	0.926	0.856
Квадратичная	$Y_{1-2} = 32.7 + 0.234(x - 44) - 0.0008(x - 44)^2$	0.953	0.908
Степенная	$Y_{1-2} = 31.0(x - 44)^{0.062}$	0.955	0.912
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 47.4 \frac{x}{20.2 + x}$	0.998	0.996
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007–2015 гг.			
Линейная	$Y_3 = 33.7 + 0.104(x - 42)$	0.945	0.893
Квадратичная	$Y_3 = 33.0 + 0.253(x - 42) - 0.0007(x - 42)^2$	0.962	0.926
Степенная	$Y_3 = 28.8(x - 40)^{0.088}$	0.987	0.975
Гиперболическая	$Y_3 = 51.3 \frac{x}{24.7 + x}$	0.998	0.996
4-я ротация 7-польного севооборота, 2014–2020 гг.			
Линейная	$Y_4 = 37.7 + 0.091(x - 40)$	0.911	0.831
Квадратичная	$Y_4 = 36.2 + 0.293(x - 40) - 0.001(x - 40)^2$	0.959	0.919
Степенная	$Y_4 = 34.0(x - 40)^{0.061}$	0.908	0.824

Таблица 4. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y , ц з.е./га) с мобильным фондом азота (z , кг/га) в ранний период вегетации культур

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R	R^2
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992–2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33.1 + 0.0722(z - 69)$	0.923	0.851
Степенная	$Y_{1-2} = 28.6(z - 69)^{0.075}$	0.942	0.886
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 51.0 \frac{z}{42.6 + z}$	0.996	0.993
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007–2015 гг.			
Степенная	$Y = 26.7(z - 60)^{0.102}$	0.963	0.928
Гиперболическая	$Y = 53.7 \frac{z}{41.2 + z}$	0.995	0.991

почве (метод индофеноловой зелени) и водной вытяжке:

$$Y_{0-20} = 0.133 + 0.078(x - 4), \quad (1)$$

$$n = 17, \quad r^2 = 0.871,$$

$$Y_{20-40} = 0.048 + 0.053(x - 2.5), \quad (2)$$

$$n = 17, \quad r^2 = 0.832,$$

где Y_{0-20} и Y_{20-40} – содержание N-NH₄ в водной вытяжке (1 : 1) соответственно в слоях почвы 0–20 и 20–40 см, мг/100 г почвы; x – содержание

N-NH₄ в почве в соответствующих ее слоях, мг/100 г почвы.

Степень перехода N-NH₄ почвы в жидкую фазу (w , %) варьировала от 3.3 до 6.1% в слое 0–20 см, и от 1.7 до 4.6% в слое 20–40 см.

В почвенных образцах, отобранных в середине вегетации овса (1994–1995 гг.) и ячменя (1998–1999 и 2006–2007 гг.) с полей 1 и 2, в 2019 г. также были проведены исследования взаимосвязи содержания аммонийного азота в почве и водной вытяжке [7]. Было выявлено, что после длительного хранения образцов содержание N-NH₄ в их

Таблица 5. Взаимосвязь содержания аммонийного азота в слое 0–20 см в водной (1 : 1) и солевой вытяжках в почве под ячменем на поле № 1 в 2020 г. (4-я ротация, средние 1-го и 2-го сроков наблюдения)

Вариант	Запасы N-NH ₄ в слое 0–40 см почвы, кг/га	Содержание N-NH ₄ в слое 0–20 см почвы		
		Солевая вытяжка	Водная вытяжка (1 : 1)	Доля N-NH ₄ в водной вытяжке, %
		мг/100 г почвы		
1. Контроль	45.6	1.01	0.0072	0.71
2. Известь (фон – Ф)	59.9	1.08	0.0110	1.02
3. Ф + РК	49.7	0.90	0.0085	0.94
4. Ф + NPK	44.9	1.02	0.0144	1.41
5. Ф + 2NPK	51.6	1.03	0.0190	1.84
6. Нав40	47.0	0.86	0.0051	0.59
7. Нав60	53.7	1.14	0.0120	1.05
8. Нав80	55.0	1.25	0.0073	0.58
9. Нав40 + РК	61.7	1.18	0.0068	0.58
10. Нав40 + NPK	56.9	0.95	0.0188	1.98
11. Нав40 + 2 NPK	64.2	1.48	0.0239	1.62
12. Нав60 + РК	47.0	1.00	0.0138	1.38
13. Нав60 + NPK	55.8	1.08	0.0138	1.28
14. Нав60 + 2NPK	61.4	1.11	0.0244	2.20
15. Нав80 + РК	58.9	1.16	0.0204	1.76
16. Нав80 + NPK	57.0	1.10	0.0187	1.70
17. Нав80 + 2NPK	50.0	1.02	0.0241	2.36
Средние	54.1	1.08	0.0147	1.35

солевой вытяжке увеличивалось в 1.5–3.0 раза и более, чем в год отбора и анализа образцов. Различия были больше в острозасушливые годы. Это позволило предположить, что в такие годы может происходить интенсивное внутриагрегатное поглощение ионов аммония обменным комплексом серых лесных почв Владимирского ополья.

Доля перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота в середине вегетации возделываемых культур в слое 0–20 см почвы варьировала от 2.5 до 5.8%, в среднем составила 4.4% [7]. В то же время снижение запасов N-NH₄ во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м в слое 0–40 см было более высоким (от 7.5 до 15.6%). Эти различия свидетельствовали о том, что уменьшение запасов N-NH₄ во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м (табл. 2) происходило не только в результате использования аммонийного азота растениями, но и за счет его внутриагрегатного поглощения обменным комплексом почвы во 2-й срок наблюдений.

По сравнению с 1-й и 2-й ротациями в 3-й ротации резко снизилась степень перехода аммонийного азота в жидкую фазу (с 4.4 до 2.5%) [7], в

4-й ротации – как содержание и запасы N-NH₄ в почве, так и степень его перехода в жидкую фазу (табл. 5). В 4-й ротации по сравнению с 3-й в слое 0–40 см почвы произошло уменьшение запасов аммонийного азота более чем в 2 раза (табл. 2, 5).

Последствие органических удобрений и действие минеральных повышало степень перехода N-NH₄ почвы в жидкую фазу (табл. 6). Для слоев 0–20 и 20–40 см почвы в образцах 2007 и 2020 гг. была установлена тесная линейная связь содержания N-NH₄ в почве ($6.92 > x > 0.77$, мг/100 г почвы) с размерами его перехода в водную вытяжку (W , %):

$$W = 0.28 + 0.743x, \quad n = 68, \quad t_{\text{сущ}} = 26.2, \quad r^2 = 0.912, \quad \text{доверительный интервал} = 0.98. \quad (3)$$

Она подтвердила высокую прочность связи ионов аммония поглощающим комплексом серых лесных почв ополья, характеризующихся средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом с высоким содержанием в илстой фракции гидрослюд и смешано-слоистых глинистых образований (слюда-сметиты и хлорит-сметиты).

Таблица 6. Влияние удобрений на степень перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу в слое 0–20 см почвы (2020 г., ячмень, 1-й и 2-й сроки наблюдений), %

Доза навоза, т/га	0	PK	NPK	2NPK	Средние применения навоза
0	1.02	0.94	1.41	1.84	1.30
40	0.59	0.58	1.98	1.62	1.19
60	1.05	1.38	1.28	2.20	1.48
80	0.58	1.76	1.70	2.36	1.60
Средние применения минеральных удобрений	0.81	1.16	1.59	2.00	

Примечание. В контроле степень перехода N-NH₄ почвы в жидкую фазу составила 0.71%.

Таблица 7. Математические зависимости взаимосвязи среднегодовых доз азота внесенных органических (x₁, кг/га) и минеральных (x₂, кг/га) удобрений с запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации полевых культур (Y, кг/га)

Ротация севооборотов, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, n = 17	R ²	Увеличение запасов N-NO ₃ от 1 кг N навоза, кг
1-я и 2-я, 1992–2008 гг.	$Y = 44.7 + 0.18x_1 + 1.26x_2$	0.996	0.18
	$Y = 45.1 + 1.26x_2 + 0.0045x_1^2$	0.997	0.10, 0.15, 0.20*
3-я, 2007–2015 гг.	$Y = 38.2 + 0.351x_1 + 1.274x_2$	0.987	0.35
	$Y = 41.8 + 0.186x_1 + 0.981x_2 + 0.0023x_3^2 + 0.0063x_1x_2$	0.998	–
4-я, 2014–2020 гг.	$Y = 42.4 + 0.39x_1 + 1.30x_2$	0.994	0.39
	$Y = 42.9 + 0.39x_1 + 1.06x_2 + 0.0034x_2^2$	0.996	0.39
	$Y = 44.7 + 1.072x_2 + 0.0079x_1^2 + 0.0033x_2^2$	0.996	0.20, 0.30, 0.40*

*Приведены рассчитанные данные в зависимости от доз внесения навоза КРС 40, 60 и 80 т/га за ротацию.

Из-за невысокой степени перехода аммонийного азота в жидкую фазу серых лесных почв ополья его роль в питании растений азотом существенно более низкая, чем нитратного. В то же время, как следует из данных табл. 1 и 3, угловые коэффициенты при “x” в линейных уравнениях зависимости продуктивности севооборотов от запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы, когда в его накоплении участвовали органические и азотные минеральные удобрения, в среднем в 1.17–1.21 раза более низкие, чем при “x₂” (влияние только азота внесенных минеральных удобрений, табл. 1). Поэтому была проведена оценка влияния среднегодовых доз азота с внесенными органическими и минеральными удобрениями на запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур (табл. 7). Показано, что 1 кг азота внесенных органических удобрений в слое 0–40 см почвы в 1-й и 2-й ротациях обеспечивал накопление 0.18 кг нитратного азота, а 1 кг азота минеральных – 1.26 кг. В 3-й и

4-й ротациях севооборота величина накопления нитратного азота от 1 кг азота навоза повысилась с 0.18 до 0.35 и 0.39 кг, 1 кг азота аммиачной селитры – с 1.26 до 1.27 и 1.30 кг соответственно.

Более низкие размеры накопления N-NO₃ в 1-й и 2-й ротациях севооборота от 1 кг азота органических удобрений были обусловлены тем, что содержание и запасы N-NH₄ в почве были более высокими (174–201 кг/га) [7], чем в 3-й (96–136 кг/га) и 4-й (45–62 кг/га) ротациях (табл. 2 и 5). Соответственно в 1-й и 2-й ротациях были более высокими и размеры перехода N-NH₄ в жидкую фазу. Это вело к их активной нитрификации в ущерб процесса трансформации органических удобрений. Высокое содержание N-NH₄ в почве в течение 1-й и 2-й ротаций севооборота было следствием избыточного применения удобрений на почвах Владимирского ополья в конце 1980-х гг. Влияние нитратного азота, полученного при трансформации оставшихся в почве запасов

Таблица 8. Распределение запасов нитратного азота в слоях 0–40 и 0–100 см почвы в ранний период вегетации культур в 1-й ротации 8-польного севооборота

Вариант	Запасы N-NO ₃ в период отрастания озимой ржи, 1997–1999 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов N-NO ₃ в слое 0–40 см от их запасов в слое почвы 0–100 см, %	Запасы N-NO ₃ в период всходов ячменя, 1998–2000 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов N-NO ₃ в слое 0–40 см от их запасов в слое почвы 0–100 см, %
	0–40 см	0–100 см		0–40 см	0–100 см	
Фон (известь)	41	100	41	58	106	55
Ф + навоз 60 т/га	40	86	46	66	106	62
Ф + навоз 60 т/га + N40P40K40	63	103	61	141	204	69
Ф + навоз 60 т/га + N80P80K80	121	157	77	167	241	69

Примечание. Предшественником озимой ржи были травы 2-го года пользования.

N-NH₄ и азота органических удобрений приписывалось действию навоза КРС на продуктивность культур севооборота в 1-й и 2-й ротациях (табл. 1). В результате этого ЭМУ навоза по азоту составлял 0.47–0.56.

В 4-й ротации запасы аммонийного азота в почве резко снизились, уменьшались и размеры его перехода в жидкую фазу почвы. Поэтому до периода активной вегетации полевых культур более интенсивно проходила трансформация азота навоза в аммонийную и нитратную формы. Отчасти этому способствовало и изменение климатических условий в сторону потепления.

Показано, что с повышением доз применения органических удобрений возрастало накопление нитратного азота от 1 кг азота. Очевидно, рост концентрации органического вещества обеспечивал повышение микробиологической активности серой лесной почвы.

От 1 кг азота минеральных удобрений происходило увеличение запасов N-NO₃ > 1 кг, что было связано с явлением образования экстра-азота. Он формируется при трансформации мобильного пула азота [10, 18], в котором определяющая роль принадлежит азоту минеральных удобрений.

Из сравнения данных табл. 1 и 7 видно, что ЭМУ навоза по азоту существенно больше, чем увеличение запасов N-NO₃ от 1 кг азота органических удобрений в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота. Это обусловлено тем, что внесенные органические удобрения в летне-осенний период активно минерализуются, и в весенний период нитратный азот интенсивно передвигается глубже 40 см с талыми водами [19]. Азотные минеральные удобрения вносили весной после стока талых вод, и размеры их передвижения в подпахотные слои заметно снижались. Это под-

тверждено данными распределения нитратного азота в 1-метровом слое почвы (табл. 8). При применении азотных удобрений (N_{аа}) большая часть нитратного азота (61–77%) в ранний период вегетации культур распределялась в слое 0–40 см почвы. Но даже при применении азотных удобрений в слое 40–100 см почвы может находиться 23–39% запасов нитратного азота, которые используются возделываемыми культурами в более поздние сроки их вегетации. Это объясняет различия угловых коэффициентов при “х” (табл. 3) и “х₂” (табл. 1) линейных зависимостей средней продуктивности севооборотов от среднегодовых запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы и доз внесения азота аммиачной селитры.

Так как в самой аммиачной селитре половина азота представлена нитратным, другая половина – аммонийным азотом, то эффективность азота навоза по сравнению с аммонийным азотом селитры в 3-й и 4-й ротациях составила:

$$\frac{0.35}{0.64} \dots \frac{0.39}{0.65}, \text{ или } 0.55\text{--}0.60.$$

Эта величина близка к показателям ЭМУ навоза по азоту, представленным в табл. 1. За 3-ю и 4-ю ротации она повышалась с ростом доз навоза КРС от 40 до 80 т/га за ротацию от 0.45 до 0.62. За 1-ю и 2-ю ротации данные ЭМУ навоза по азоту также были близкими (0.47–0.56).

В работе [15] на дерново-слабоподзолистой почве легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава Ярославской обл. изучали влияние куриного помета на изменение физико-химических и агрохимических свойств. В слое 0–40 см почвы выявлено высокое комплексное действие этого удобрения: повышение рН_{KCl} и снижение гидролитической кислотности, повышение обеспеченности подвижными формами фосфора и

Таблица 9. Степень перехода N-NH₄ в жидкую фазу (почва : вода = 1 : 1) с твердой поверхности в связи с некоторыми свойствами дерново-подзолистых почв (Владимирская обл., пос. Головино)

Горизонт	Глубина слоя, см	H_f мг-экв/100 г почвы	S	$H_{обм}$	Фракция <0.01 мм, %	N-NH ₄ в вытяжке, мг/100 г почвы		Степень перехода N-NH ₄ в жидкую фазу (w, %)	
						солевой	водной	эксперимент	рассчитанная
Поле 1									
Апах	0–20	1.92	7.0	0.12	7.64	2.13	0.184	8.4	10.2
А1А2	20–40	1.75	4.6	0.04	8.20	3.04	0.352	11.6	10.8
–	40–60	1.22	6.8	0.06	5.44	1.76	0.234	13.3	11.7
–	60–80	1.05	2.0	0.06	3.28	3.12	0.577	18.5	19.6
Разрез № 2, 2018 г.									
Апах	0–23	2.10	9.6	0.14	4.60	1.80	0.162	9.0	8.1
А2	33–53	0.35	1.6	0.02	2.48	0.78	0.200	25.6	22.5
А2В	53–80	0.35	1.6	0.02	1.36	0.90	0.212	23.6	24.4
В	100–115	2.45	8.8	0.46	22.5	4.98	0.418	8.4	8.8
Разрез № 3, 2018 г.									
Апах	0–23	4.20	10.4	0.06	12.2	5.42	0.442	8.2	9.6
А1А2	23–30	2.97	5.0	0.04	10.5	4.80	0.453	9.4	8.7
А2	30–46	0.86	1.6	0.06	6.76	2.49	0.325	13.0	14.8
В	46–63	1.48	4.6	0.12	8.92	4.12	0.314	7.6	10.3
С	120–140	1.57	7.7	0.10	15.4	3.81	0.377	9.9	7.0

Примечание. H_f – гидролитическая кислотность, S – сумма поглощенных оснований, $H_{обм}$ – обменная кислотность, Апах и А1А2 – пахотный и переходный горизонты, А2 и А2В – элювиальный и переходный горизонты, В – иллювиальный горизонт, С – подстилаяющая порода.

обменным калием, запасами аммонийного и нитратного азота. Это позволило повысить урожайность яровых зерновых культур до 5–9 т/га.

Для слоев 0–20, 20–30 и 30–40 см почвы было изучено действие и последствие куриного помета, внесенного в слой 0–20 см, на степень перехода N-NH₄ в жидкую фазу (водную вытяжку 1 : 1, w, %) от содержания его в почве ($18 > x > 0.5$ мг/100 г почвы). В составе илстой фракции преобладали гидрослюды и слюды. Степень перехода “w” варьировала при действии помета от 0.3 до 33%, при его последствии – до 2.7%. Связь между параметрами была следующей:

$$W = 0.67 + 1.70x, \quad n = 58, \quad (4)$$

$$t_{сущ} = 18.9, \quad r^2 = 0.865.$$

Более высокая величина углового коэффициента при “x” (1.70) для дерново-подзолистой почвы, чем для серой лесной (0.74, уравнение 3), свидетельствовала о менее прочной связи ионов аммония с ППК первой почвы. Очевидно, что роль аммонийного азота почвы в питании культур возрастает с ростом степени его перехода в жидкую фазу: слабая – <5%, средняя – от 5 до 10%, высокая – от 10 до 15%, очень высокая – >15%.

Для изученных дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистого состава почв соответствующие параметры степени перехода аммонийного азота в жидкую фазу будут достигаться при содержании N-NH₄ в почве <2.5, от 2.5 до 5.5, от 5.5 до 8.5 и >8.5 мг/100 г. Подобные исследования были проведены и для легких дерново-подзолистых почв Мешеры (табл. 9) [16].

Изученные почвы характеризовались варьированием по профилю емкости катионного обмена (сумма поглощенных оснований и гидролитической кислотности) от 2.0 до 14.6 мг-экв/100 г, физической глины – от 1.4 до 22.5%, содержанием аммонийного азота – от 0.78 до 5.0 мг/100 г почвы.

Переход N-NH₄ почвы в жидкую фазу без применения удобрений варьировал от средней (Апах-горизонты и слои почвы глубже 1 м) до высокой и очень высокой степени (в слоях (20–30)–(46–80) см). Степень перехода возрастала с уменьшением емкости катионного обмена и содержания частиц <0.01 мм. Взаимосвязь между этими параметрами была на уровне средней ($r = 0.622, n = 13$). Это позволяло рассматривать их в качестве самостоятельных взаимодействующих факторов.

Коррелятивная связь степени перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу (w , %) как с емкостью поглощения (x_1 , мг-экв/100 г почвы), так и содержанием в ней фракции <0.01 мм (x_2 , %) описана следующим уравнением:

$$w = 30.5 - 1.945x_1 - 2.05x_2 + 0.183x_1x_2, \quad (5)$$

$$n = 13, \quad r^2 = 0.907.$$

Рассчитанные по уравнению 5 величины степени перехода $N-NH_4$ почвы в водную вытяжку для дерново-подзолистых почв были близки к экспериментальным данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для серых лесных почв Владимирского ополья выявлено определяющее влияние применения подстилочного навоза КРС и азотных удобрений в составе полного минерального на продуктивность культур 8- и 7-польных севооборотов. Доля вариации от их использования менялась от 89.1 до 94.7%, а от фосфорно-калийных удобрений не превышала 7.4%. Эквивалент минеральных удобрений (ЭМУ) доз навоза 40, 60 и 80 т/га, внесенных в занятом пару, составлял соответственно 0.38–0.54, 0.45–0.61 и 0.48–0.72.

В результате трансформации внесенных в пару органических удобрений, аммиачной селитры, применяемой весной в подкормку озимых зерновых культур и многолетних трав, перед посевом яровых зерновых культур и однолетних трав, в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур резко повышались запасы $N-NO_3$ в вариантах с применением азотных минеральных удобрений. Но в середине вегетации возделываемых культур они снижались в несколько раз из-за высокого поглощения растениями. Максимальное снижение запасов аммонийного азота за указанные сроки в 3-й ротации не превышало 26.1%, что подтверждало слабую роль этой формы азота в питании растений.

Основная доля азота удобрений и почвы подвергалась нитрификации в ранние весенние сроки при быстром нарастании температуры воздуха и высокой влажности почвы. Накопленные в ранний период вегетации культур запасы $N-NO_3$ определяли в основном продуктивность культур. За этот период в слое 0–40 см почвы в среднем за 3-ю и 4-ю ротации 7-польного севооборота 1 кг азота навоза КРС обеспечивал накопление 0.35–0.39 кг $N-NO_3$, а 1 кг азота аммиачной селитры – 1.27–1.30 кг $N-NO_3$. Влияние на продуктивность культур севооборота 1 кг азота органических удобрений составляло 55–60% эффекта $N-NH_4$ аммиачной селитры. В опыте это совпадало с ЭМУ навоза по азоту.

На средне- и тяжелосуглинистых серых лесных почвах слабое влияние $N-NH_4$ почвы на продуктивность возделываемых культур было обусловлено высокой прочностью связи ионов NH_4^+ их поглощающим комплексом, характеризующимся высокой емкостью катионного обмена и преобладанием в илистой фракции гидрослюды и смешано-слоистых образований (слюда-сметиты и хорит-сметиты). В слоях 0–20 и 20–40 см серой лесной почвы установлена тесная положительная связь содержания $N-NH_4$ почвы (x , мг/100 г) с его переходом в жидкую фазу (w , %, водную вытяжку 1 : 1). Степень перехода не превышала 5.4%.

Для легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых почв Ярославской обл., характеризующихся емкостью катионного обмена 13.3–18.7 мг-экв/100 г почвы и высоким содержанием во фракции частиц <0.01 мм гидрослюды и слюды, также наблюдали тесную линейную связь между указанными параметрами (x и w). Высокая ($15 > w > 10$) и очень высокая ($w > 15\%$) степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу отмечена лишь в год действия куриного помета. При его последствии величина w снижалась до 2.7% и менее (низкая степень перехода).

На легких дерново-подзолистых почвах (с содержанием физической глины $<22.5\%$) Мещеры даже без применения удобрений степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу изменялась от средней (от 5 до 10%) до высокой и очень высокой. Она увеличивалась с уменьшением емкости катионного обмена и содержания фракции <0.01 мм.

Для диагностики минерального питания растений и оценки обеспеченности подвижными формами азота в Нечерноземье средне-, тяжелосуглинистых и глинистых почв необходимо учитывать лишь содержание $N-NO_3$, легко- и среднесуглинистых кроме концентрации $N-NO_3$ в год действия органических удобрений необходимо учитывать также содержание $N-NH_4$, легких песчаных и супесчаных почв – суммарное содержание $N-NO_3$ и $N-NH_4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2013. 296 с.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13.
3. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. 2020. № 6. С. 14–21.
4. Романенков В.А., Беличенко М.В., Рухович О.В., Никитина Л.В., Иванова О.И. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных

- опытах Агрохимслужбы и Географической сети Российской Федерации // Агрохимия. 2020. № 12. С. 28–37.
5. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние запасов подвижных форм азота в серых лесных почвах Ополя на продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2016. № 1. С. 17–26.
 6. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Удобрение и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья // Агрохимия. 2018. № 2. С. 56–70.
 7. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А. Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота в почвах Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2020. № 1 (91). С. 4–12.
 8. Гамзиков Г.П. Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применение азотных удобрений // Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики питания растений и технологии применения удобрений на их основе. Мат-лы симп. (Немчиновка, 8–9 июня 1999 г.). М.: ВНИПТИХИМ, 2000. С. 33–45.
 9. Прянишников Д.Н. Избр. соч. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. М.: Изд-во сел.-хоз. лит-ры, журн. и плакатов, 1963. 647 с.
 10. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль, 2017. 176 с.
 11. Окорков В.В. Удобрения и плодородие серых лесных почв Владимирского ополя. Владимир: ВООО ВОИ, 2006. 356 с.
 12. Практикум по агрохимии / Под ред. Ягодина Б.А. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
 13. Дубровина И.В., Градусов Б.П. Химико-минералогическая характеристика почв Владимирского ополя // Почвоведение. № 3. 1993. С. 64–73.
 14. Чижикова Н.П., Окорков В.В., Карпова Д.В. Оценка резервов элементов питания Владимирского ополя в связи с их минералогическим составом // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Мат-лы 1-й Всерос. открыт. конф. / Отв. ред. Иванов А.Л. М., 2015. С. 448–461.
 15. Окорков В.В., Шукин Н.Н. Влияние куриного помета на изменение плодородия дерново-подзолистой почвы // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сб. докл. XV Международ. науч.-практ. конф. Курск. отд-я МОО "Общество почвоведов имени В.В. Докучаева". 2020. С. 282–286.
 16. Окорков В.В. Различия в использовании растениями нитратного и аммонийного азота почвы // Проблемы и вопросы современной науки. Реценз. сб. научн. тр. Июнь 2019 г. № 2 (3). Ч. 1. М.: Научн.-изд. центр Международ. объедин. акад. наук (НИЦ МОАН), 2019. С. 66–76.
 17. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота и урожайность овса на серых лесных почвах Верхневолжья // Агрохимия. № 2. 2020. С. 3–13.
 18. Окорков В.В. Модели продуктивности зернового севооборота на серых лесных почвах Верхневолжья // Рос. сел.-хоз. наука. 2018. № 1. С. 30–34.
 19. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А., Семин И.В. Использование местных органических удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополя // Агрохимия. 2013. № 4. С. 34–47.

To the Question about the Equivalence of Plant Nutrition Nitrate and Ammonia Nitrogen

V. V. Okorkov

*Volga Federal Agricultural Research Center
p. Noviy, Suzdal district, Vladimir region 601261, Russia
E-mail: okorkovvv@yandex.ru*

Studies on the effect of fertilizers on changes in the mineral forms of nitrogen in the soil and their availability to plants were carried out on gray forest and sod-podzolic soils that differ in granulometric composition and physic and chemical properties. On the medium-loamy gray forest soils of the Vladimir Opolye, with a cation exchange capacity of 25.2–27.0 mg-eq/100 g of soil, the determining role of nitrate nitrogen accumulated in the early growing season of crops in their nutrition and productivity was revealed. Due to the low degree of transition of ammonium nitrogen of the soil to the liquid phase (water extract 1 : 1) its role in their nutrition was several times lower than N-NO₃. On light and medium-loamy sod-podzolic soils with an cation exchange capacity (CEC) of 13.3–18.7 mg-eq/100 g of soil, a significant role of N-NH₄ in their nitrogen nutrition was also revealed by the action of chicken manure. According to the aftereffect of chicken manure, the degree of transition of ammonium nitrogen to the liquid phase decreased. On lighter soils, the degree of transition of N-NH₄ of the soil to the liquid phase increased to very high with a decrease in both the CEC and the content of physical clay particles.

Key words: gray forest and sod-podzolic soils, nitrate and ammonium nitrogen, the degree of transition of ammonium nitrogen of the soil to the liquid phase, granulometric composition of the soil, the cation exchange capacity.