

УДК 631.811.1:633.13:631.862.1:631.842.4

## ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЗОТА В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2024 г. В. В. Окорков<sup>1,\*</sup>, Л. А. Окоркова<sup>1</sup>, В. И. Щукина<sup>1</sup><sup>1</sup>Верхневолжский федеральный аграрный научный центр  
601261 Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, Россия

\*E-mail: okorkovvv@yandex.ru

В длительном полевом опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние минеральных удобрений и последствий навоза крупного рогатого скота, их взаимодействия на урожайность овса, идущего 2-й культурой после занятого пара, и динамику подвижных форм азота при различных погодных условиях. Установлена определяющая роль азота аммиачной селитры в составе НРК и последствий навоза крупного рогатого скота в повышении урожайности овса. Результаты исследования свидетельствовали о питании культуры преимущественно нитратной формой азота. Между запасами N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0–40 см, формирующимися в результате трансформации азота почвы и удобрений до всходов овса, и его урожайностью выявлена высокая степень взаимосвязи ( $0.981 > R^2 > 0.787$ ). Определены влияние удобрений и погодных условий на формирование запасов нитратного азота в фазах роста и развития овса и их динамика, обеспечивающая достижение высокой урожайности зерна и его качества. В зависимости от погодных условий и систем удобрения рассчитаны коэффициенты использования N-NO<sub>3</sub>, формируемого за вегетационный период овса, на вынос азота зерном (40.7–66.6%), зерном и соломой (58.3–75.0%), зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (71.2–88.6%). В удобренных азотом вариантах в среднем на 4-х уровнях последствий навоза (0, 40, 60 и 80 т/га) наиболее высокими они были при применении одинарной дозы N40P40K40, при применении двойной дозы N80P80K80 – существенно снижались. В среднем на 4-х уровнях внесения минеральных удобрений (0, P40K40, N40P40K40 и N80P80K80) коэффициенты использования образованного за вегетацию N-NO<sub>3</sub> при последствии навоза 60 т/га были максимальными. При сочетании N80P80K80 с последствием органических удобрений 80 т/га возможны наиболее высокие потери N-NO<sub>3</sub> из-за денитрификации и вымывания.

*Ключевые слова:* серые лесные почвы, Владимирское ополье, овес, удобрения, урожайность, нитратный и аммонийный азот, погодные условия, элементы урожая, коэффициент использования N-NO<sub>3</sub>.

DOI: 10.31857/S0002188124020014

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в основе представлений о питании растений подвижными формами азота (аммонийным и нитратным) существует мнение о равноценности этих форм [1, 2]. Однако в ряде работ выявлено, что на среднесуглинистых серых лесных почвах Владимирского ополья [3, 4], легко- и среднесуглинистых почвах Ярославской области [5, 6] происходит интенсивное поглощение ионов аммония почвенным поглощающим комплексом (ППК). В жидкую фазу почвы переходит лишь небольшая доля (несколько процентов

от общего его содержания, вытесняемого 1 М раствором КС1). Переходящий в жидкую фазу аммонийный азот подвергается нитрификации, и образовавшиеся нитраты в основном участвуют в питании растений.

Цель исследования – изучение влияния органических и минеральных удобрений и погодных условий на урожайность овса, идущего после последствий занятого пара после яровой пшеницы, динамики запасов нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–40 см; формирования запасов N-NO<sub>3</sub> в фазах роста и развития культуры и за вегетацию и их использования.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 4-й ротации 7-польного севооборота: занятый пар—яровая пшеница—овес с подсевом многолетних трав (клевер + тимофеевка)—травы 1-го года пользования—травы 2-го года пользования—яровая пшеница—ячмень на 3-й культуре после занятого пара. Стационарный опыт был заложен в 1991—1993 гг. в 3-х закладах (полях) [6].

Почва опытных полей — серая лесная среднесуглинистая со следующей исходной характеристикой пахотного слоя: содержание гумуса — 2.6—3.7%,  $pH_{КС1}$  5.1—5.5; гидролитическая кислотность ( $H_T$ ) — 3.2—3.5, сумма поглощенных оснований — 19.4—22.4 мг-экв/100 г, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) — 130—200, обменного калия (по Масловой) — 150—180 мг/кг почвы.

В начале 1-й ротации было проведено известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га), который вносили после уборки однолетних трав на сено, и влияние ежегодного применения минеральных удобрений (0, РК, NPK, 2NPK), их сочетания на урожайность полевых культур, изменение агрохимических и химических свойств серой лесной почвы. В 4-й ротации исследования вели после последствие известкования, проведенного в 1-й ротации, и органических удобрений (4-я ротация). В опыт был введен и вариант абсолютного контроля (без известки и удобрений).

Под овес применяли следующие дозы минеральных удобрений: P40K40, N40P40K40 и N80P80K80 (двойная доза).

В качестве минеральных удобрений использовали  $N_{aa}$ ,  $P_{cr}$ ,  $K_x$ . Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, азотные — весной под предпосевную культивацию.

Агрохимические анализы почвы выполняли по методикам, изложенным в работе [7]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT VIUA и EXCEL.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия вегетационных периодов 2016—2018 гг. сильно различались. В 2016 г. в мае за 1-ю и 2-ю декады выпало всего 8.6 мм осадков, за 3-ю — 26.9 мм. В конце июня и 1-й декаде июля до фазы выметывания метелки увлажнение почвы было невысоким, что снижало в ней активность микробиологических процессов. Последние возросли к периоду уборки овса. Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) за период от 3-й декады апреля по 1-ю декаду сентября составил 1.28 [6]. За май—июль выпало 151 мм осадков.

В 2017 г. за период с мая до 3-й декады июля осадки выпадали регулярно и обеспечивали высокую активность почвенной микрофлоры и быстрые развитие и рост овса. ГТК за теплый период составил 1.79, осадки за май—июль — 280 мм.

Наиболее неблагоприятно сложились условия увлажнения в 2018 г. Майские осадки обеспечили хорошие условия для роста и развития овса и высокую активность почвенной микрофлоры в начале вегетации. В конце июня и начале июля из-за острозасушливых условий к периоду выметывания овса активность почвенной микрофлоры резко снизилась. За май—июль осадки составили 125 мм. Недостаток влаги в почве овес в определенной мере компенсировал из-за поглощения ее из глубоких слоев. Процессы биологической активности в почве заметно возобновились лишь к концу созревания культуры (ГТК = 0.79) (табл. 1).

Наибольшее количество влаги из слоев почвы 40—100 см (41.6—61.4 мм) овес потреблял в годы с недостаточным выпадением осадков (2016 и 2018 гг.), а также при применении азотных удобрений в 2017 г. По сравнению с фоном известкования полное минеральное удобрение в сочетании с последствием дозы навоза КРС 60 т/га снижало расход влаги на создание 1 ц з.е. с 7.0—8.7 до 4.7—6.9 мм.

Последствие известкования по сравнению с контролем не способствовало росту урожайности зерна овса. В годы исследования в вариантах без применения азотных минеральных удобрений и навоза КРС урожайность зерна овса варьировала в небольших пределах: от 26.7 до 33.0 ц з.е./га. Достоверно она не возрастала и от применения фосфорно-калийных удобрений. В среднем за 3 года последствие органических удобрений, в том числе и в сочетании с фосфорно-калийными удобрениями, увеличивало урожайность этой культуры с 29.8 до 32.3—38.7 ц з.е./га. Наиболее высокий прирост урожайности овса отмечен в вариантах применения полного минерального удобрения и сочетания его с последствием органических удобрений: урожайность возрастала с 29.8 до 40.5—43.6 ц з.е./га (табл. 2).

В соответствии с погодными условиями более высокая урожайность культуры была получена в благоприятном по увлажнению 2017 г. в вариантах, удобренных дозами навоза КРС 60—80 т/га (39.6—45.8 против 31.8—35.9 ц з.е./га з.е.) и полным минеральным удобрением (48.5—52.6 против 35.0—41.3 ц з.е./га)

Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой зерна овса (кг з.е.) была наиболее высокой при применении одинарной дозы N40P40K40. Она варьировала от 4.1 до 13.2 кг з.е. и была максимальной в благоприятном по увлажнению 2017 г.

Определяющее влияние на урожайность овса оказало применение азота в составе минеральных

Таблица 1. Использование влаги овсом за 2016–2018 гг.

Вариант	Запасы влаги в 1-метровом слое почвы, мм		Осадки вегетационного периода, мм	Общий расход влаги, мм	Урожайность, ц з.е./га	Коэффициент водопотребления, мм/ц з.е.	Использование влаги из слоя почвы 40–100 см, мм
	исходные	после уборки					
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 1 (2016 г.)							
Известкование (фон)	281	220	201	262	30.1	8.7	56.1
Ф + навоз 60 т/га	283	216	201	268	31.8	8.4	54.3
Ф + Нав60 + N40P40K40	273	221	201	253	36.8	6.9	61.0
Ф + Нав60 + N80P80K80	279	218	201	262	37.7	6.9	61.4
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 2							
Известкование (фон)	314	286	256	284	32.7	8.7	24.9
Ф + навоз 60 т/га	325	272	256	309	39.6	7.8	42.1
Ф + Нав60 + N40P40K40	321	257	256	320	48.5	6.6	46.9
Ф + Нав60 + 80P80K80	322	252	256	326	50.6	6.4	53.1
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 3							
Известкование (фон)	273	213	127	187	26.7	7.0	41.6
Ф + навоз 60 т/га	277	202	127	202	31.9	6.3	47.1
Ф + Нав60 + N40P40K40	277	211	127	193	39.3	4.9	56.2
Ф + Нав60 + N80P80K80	272	210	127	189	40.4	4.7	45.5

Примечания. Нав – навоз. То же в табл. 2, 4–13. Нумерация вариантов та же в табл. 2, 4–13.

Таблица 2. Влияние удобрений на урожайность овса и их окупаемость по годам

Вариант	Урожайность овса, ц з.е./га				Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений, кг з.е./кг д.в.		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Средняя	2016 г.	2017 г.	2018 г.
1. Контроль	29.2	31.4	28.0	29.5	–	–	–
2. Известь (фон)	30.1	32.7	26.7	29.8	–	–	–
3. P40K40	31.3	33.0	30.5	31.6	1.5	0.4	4.8
4. N40P40K40	35.0	48.6	37.9	40.5	4.1	13.2	9.3
5. N80P80K80	36.4	49.7	38.0	41.4	2.6	7.1	4.7
6. Навоз 40 т/га	31.2	33.2	32.6	32.3			
7. Навоз 60 т/га	31.8	39.6	31.9	34.4			
8. Навоз 80 т/га	33.5	41.4	34.6	36.5			
9. Нав40 + P40K40	33.3	32.3	32.7	32.8			
10. Нав40 + N40P40K40	36.0	50.3	39.2	41.8			
11. Нав40 + N80P80K80	37.4	52.6	40.6	43.5			
12. Нав60 + P40K40	33.5	40.8	33.1	35.8			
13. Нав60 + N40P40K40	36.8	48.5	39.3	41.5			
14. Нав60 + N80P80K80	37.7	50.6	40.4	42.9			
15. Нав80 + P40K40	34.4	45.8	35.9	38.7			
16. Нав80 + N40P40K40	36.6	50.2	41.3	42.7			
17. Нав80 + N80P80K80	39.8	50.3	40.6	43.6			
HCP <sub>05</sub> , ц з.е./га	2.4	3.4	1.6	2.5			
T, %	2.45	2.82	1.59	2.29			

**Таблица 3.** Математические зависимости влияния удобрений на урожайность овса в годы исследования ( $y$ , з.е. ц/га)

Год исследования	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	$R^2$
2016	$y = 30.2 + 0.038x_1 + 0.050x_2 - 0.031x_3$	0.936
	$y = 29.8 + 0.037x_1 + 0.111x_2 + 0.041x_3 - 0.0009x_2^2$	0.977
2017	$y = 34.2 + 0.083x_1 + 0.185x_2$	0.787
	$y = 32.2 + 0.54x_2 + 0.0014x_1^2 - 0.0037x_2^2 - 0.0026x_1x_2 + 0.0011x_1x_3$	0.945
	$y = 32.5 + 0.52x_2 + 0.0016x_1^2 - 0.0034x_2^2 - 0.0018x_1x_2$	0.934
2018	$y = 29.8 + 0.062x_1 + 0.106x_2$	0.834
	$y = 27.7 + 0.084x_1 + 0.25x_2 + 0.071x_3 - 0.0023x_2^2 - 0.0007x_1x_3$	0.975
2016–2018	$y = 31.6 + 0.062x_1 + 0.122x_2$	0.859
	$y = 29.6 + 0.080x_1 + 0.299x_2 + 0.038x_3 - 0.0022x_2^2 - 0.0008x_1x_2$	0.981
	$y = 30.2 + 0.083x_1 + 0.314x_2 - 0.002x_2^2 - 0.0009x_1x_2$	0.969
	$y = 31.1 + 0.060x_1 + 0.278x_2 - 0.0021x_2^2$	0.937

Примечание.  $80 > x_1 > 40$  – последствие доз навоза, т/га,  $80 > x_2 > 40$  – действие доз азота ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ),  $80 > x_3 > 40$  – действие фосфорно-калийных удобрений в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ , кг/га.

удобрений и последствие навоза КРС. В среднем за 3 года на их влияние приходилось 93.7% вариации, а с учетом взаимодействия – 96.9%, на влияние фосфорно-калийных удобрений –  $\approx 1.2\%$  (табл. 3).

В среднем за 2016–2018 гг. последствие азота в составе навоза КРС от действия азота в составе минеральных удобрений составило 11.6% ( $0.062 : 4.4 : 0.122 \times 100$ , где 4.4 – содержание азота в 1 т навоза).

Приведены данные динамики содержания нитратного и аммонийного азота в слое почвы

0–40 см за 2016–2018 гг. Наиболее высокие запасы нитратного азота формировались в фазе всходов (1-й срок), а в фазе выметывания метелки (2-й срок) они были минимальными. В 1-й срок наблюдений по сравнению с фоном известкования они увеличиваются в 2–4 раза при применении азотных минеральных удобрений и при сочетании их с последствием органических. Максимальные размеры запасов нитратного азота в слое почвы 0–40 см достигали 105–177 кг/га (табл. 4).

**Таблица 4.** Влияние удобрений на динамику запасов нитратного азота в почве под овсом в слое 0–40 см по годам и срокам наблюдения, кг/га

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
1	46.8	14.5	24.6	21.0	15.3	24.6	39.4	8.2	18.6
2	51.6	16.3	24.0	21.4	15.4	25.5	37.0	5.7	16.4
3	46.5	13.9	16.3	25.8	15.0	31.9	37.3	6.9	16.6
4	101	17.4	30.7	53.6	19.1	39.6	114	16.5	27.3
5	138	21.2	36.1	78.2	32.2	49.9	145	31.2	33.9
6	46.9	14.1	31.6	38.1	19.1	40.8	37.5	7.0	19.1
7	62.4	15.4	28.2	40.7	26.2	46.9	44.1	7.8	14.0
8	75.7	14.7	37.0	49.8	28.1	53.0	48.1	12.7	35.9
9	56.6	9.1	26.3	46.0	22.9	39.5	53.6	9.1	20.0
10	102	15.8	32.7	65.1	27.5	51.7	110	16.8	23.5
11	152	23.2	34.6	88.1	38.8	56.8	137	23.5	39.6
12	59.9	20.2	36.0	39.9	19.1	34.8	54.2	10.0	21.6
13	104	24.6	36.5	68.7	23.3	44.3	129	14.7	20.2
14	153	20.2	37.5	98.6	34.0	46.9	154	34.2	33.6
15	65.5	14.5	34.8	58.3	21.4	34.6	66.1	15.2	26.9
16	99.4	12.6	33.8	74.0	24.4	66.6	124	23.2	23.9
17	177	41.3	52.9	105	37.0	70.6	167	36.5	40.3

Примечание. 1-й срок – полные всходы, 2-й – выметывание метелки, 3-й – уборка. То же в табл. 5.

**Таблица 5.** Влияние удобрений на динамику запасов аммонийного азота в почве под овсом в слое 0–40 см по годам и срокам наблюдения, кг/га

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
1	49.0	59.4	38.7	34.8	36.0	38.1	44.9	54.9	67.8
2	63.2	62.3	47.2	36.4	37.3	46.1	50.4	64.4	55.4
3	56.6	50.3	47.8	38.6	38.9	38.9	49.1	62.8	57.4
4	60.1	53.9	53.9	34.0	54.6	36.3	55.7	61.6	70.6
5	64.0	60.7	65.3	31.7	44.1	40.7	62.5	62.0	66.0
6	47.7	51.3	48.4	45.3	51.0	50.3	49.9	69.1	61.4
7	60.3	64.3	57.8	37.4	58.5	44.8	62.9	65.2	59.6
8	56.6	61.7	62.8	34.6	46.5	49.7	51.0	64.8	81.7
9	48.9	52.5	55.5	39.6	44.8	47.6	55.1	52.6	80.3
10	63.9	57.8	52.2	36.3	62.7	47.5	55.9	70.9	51.0
11	69.3	72.2	45.0	35.7	69.7	42.7	84.3	65.1	63.3
12	51.7	57.9	44.4	37.2	38.9	52.2	44.4	53.4	63.7
13	70.7	56.3	51.4	51.2	47.0	46.9	63.6	62.2	59.6
14	71.3	59.8	55.4	45.2	67.1	61.3	85.4	62.9	68.4
15	61.8	52.4	62.1	45.6	69.2	58.4	51.2	68.8	66.0
16	64.2	59.8	41.6	62.6	68.3	66.3	48.4	73.9	64.9
17	75.0	66.6	50.6	36.6	51.6	42.2	46.5	67.4	65.5

Запасы аммонийного азота в фазах роста и развития овса в зависимости от уровня интенсификации применения удобрений изменялись в существенно меньшей мере: в зависимости от фазы вегетации – в 1.3–1.5 раза, уровня интенсификации – в 1.2–1.9 раза. Максимальные величины их запасов достигали 85 кг/га (табл. 5).

Закономерности динамики содержания нитратного и аммонийного азота в почвах под овсом и яровой пшеницы [4] были близкими. В то же время при возделывании яровой пшеницы было показано, что на серых лесных почвах Владимирского ополья, характеризующихся высокой емкостью катионного обмена, аммонийный азот, образующийся в процессе трансформации почвенного азота и внесенный с минеральными удобрениями, активно поглощался ППК. В нитрификации участвовал аммонийный азот, находящийся в жидкой фазе (почвенном растворе). Запасы N-NO<sub>3</sub>, формирующиеся в процессе нитрификации и полностью находящиеся в жидкой фазе почвы, участвовали в питании яровой пшеницы азотом и определяли величину урожая и его качество. Непосредственное участие N-NH<sub>4</sub> в питании этой культуры азотом весьма низкое [4]. Это подтверждено и исследованиями [8–9], в которых для почв с высокой емкостью катионного обмена приведены данные о превышении содержания нитратного азота над аммонийным в десятки раз.

В исследовании динамики содержания нитратного азота в почве под овсом была проведена оценка его

образования за вегетацию без учета потерь на денитрификацию и вымывание в более глубокие слои почвы, а также в основных фазах роста и развития культуры [4]. Важно, что перемещающиеся в более глубокие слои почвы нитраты могут быть использованы культурами, т.к. корневые системы, например, овса (табл. 1), проникают до 1-метровой глубины и ниже и потребляют находящуюся там влагу и элементы питания.

Данные об отношении содержания N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0–40 см к содержанию N-NH<sub>4</sub> в водной вытяжке (1 : 1) [4] подтвердили определяющую роль N-NO<sub>3</sub> в питании овса азотом. Они показали, что в среднем для 4-х уровней последствия навоза КРС к фазе всходов это отношение при применении N40P40K40 составляло 44.6, дозы N80P80K80 – 46.5. Это означало, что в 1-м случае доля N-NH<sub>4</sub> в жидкой фазе почвы равнялась 2.2% [1 × 100 : (44.6 + 1)]. Без применения азотных удобрений среднее для 4-х уровней последствия органических удобрений указанное отношение варьировало от 19.4 до 23.8, а доля N-NH<sub>4</sub> в жидкой фазе почвы – от 4.0 до 4.9% (табл. 6).

После уборки овса в условиях достаточного увлажнения при применении доз NPK и 2NPK в 4-х вариантах применения навоза КРС средняя доля N-NH<sub>4</sub> в жидкой фазе почвы варьировала от 4.6 до 4.9%, а без азота N<sub>aa</sub> – от 6.6 до 8.1%. В этом случае трансформация N-NH<sub>4</sub> в нитратную форму будет продолжаться. Можно констатировать, что питание овса азотом происходило за счет поглощения им нитратного азота.

**Таблица 6.** Влияние удобрений на отношение содержания N-NO<sub>3</sub> в почве к содержанию N-NH<sub>4</sub> в водной вытяжке 1 : 1 в слое 0–40 см почвы в фазах всходов и уборки овса в 2018 г.

Доза навоза, т/га	0	PK	NPK	2NPK	Среднее для навоза
Всходы					
0	18.7	18.4	49.2	53.6	35.0
40	17.6	20.8	46.4	44.5	32.3
60	18.0	29.2	43.5	44.0	33.7
80	23.4	26.8	39.2	44.0	33.4
Среднее для минеральных удобрений	19.4	23.8	44.6	46.5	
После уборки					
0	11.7	10.4	17.4	16.1	13.9
40	13.7	10.7	24.0	25.0	18.4
60	10.0	12.2	18.9	21.3	15.6
80	21.5	12.1	17.0	20.5	17.8
Среднее для минеральных удобрений	14.2	11.4	19.3	20.7	

Примечание. Отношение содержания N-NO<sub>3</sub> в почве к содержанию N-NH<sub>4</sub> в водной вытяжке 1: 1 в контроле в 1-й срок составило 14.4, после уборки – 15.8.

Общие размеры формирования запасов N-NO<sub>3</sub> в почве под овсом за вегетационный период 2016 г. находили суммированием выноса азота зерном и соломой, пожнивно-корневыми остатками [10, 11] и запасов N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0–40 см после уборки. За этот период они варьировали

от 120 до 199 кг/га, возрастали от применения одинарной и двойной доз NPK (от 127 на фоне последствия известкования до 149 и 183 кг/га), от доз навоза KPC – до 126–152 кг/га, сочетания NPK с последствием доз навоза – до 199 кг/га (табл. 7).

**Таблица 7.** Размеры формирования запасов N-NO<sub>3</sub> в слое 0–40 см почвы в зависимости от фазы вегетации овса в 2016 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирования	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	84.6	16.4	24.6	126	46.8	32.3	43.2	10.9	57.7	68.3
2	86.6	16.8	24.0	127	51.6	353	44.2	8.9	60.5	66.5
3	87.5	16.1	16.3	120	46.5	32.6	44.6	12.0	58.5	61.5
4	101	16.9	30.7	149	101	83.8	51.5	–32.3	101	48.0
5	122	24.9	36.1	183	138	117	62.2	–55.0	138	45.0
6	86.4	15.0	31.6	133	46.9	32.8	44.1	11.3	58.2	74.8
7	85.0	12.7	28.2	126	62.4	47.0	43.4	–3.6	62.4	63.6
8	96.7	17.8	37.0	152	75.7	61.0	49.3	–11.7	75.7	76.3
9	96.9	17.7	26.3	141	56.6	47.5	49.4	1.9	58.5	82.5
10	108	18.8	32.7	160	102	86.2	55.1	–31.1	102	58.0
11	132	29.1	34.6	196	152	128	67.3	–61.2	152	44.0
12	93.5	17.1	36.0	147	59.9	39.7	47.7	8.0	67.9	79.1
13	122	25.3	36.5	184	104	79.8	62.2	–17.6	104	80.0
14	127	27.5	37.5	192	153	132	64.8	–67.6	153	39.0
15	103	18.9	34.8	157	65.5	51.0	52.5	1.5	67.0	90.0
16	101	17.7	33.8	152	99.4	86.8	51.5	–35.3	99.4	52.6
17	123	22.9	52.9	199	177	136	62.7	–73.1	177	22.0

Примечание. Вынос азота до выметывания метелки принят в размере 51% от выноса зерном и соломой овса [2]. То же в табл. 10, 12.

К периоду всходов в условиях 2016 г. запасы  $N-NO_3$  в слое почвы 0–40 см в вариантах без азотных удобрений (варианты 1–3) изменялись в пределах 46.5–51.6 кг/га, последствия органических удобрений и их сочетания с фосфорно-калийными – 46.9–75.7, в удобренных азотом се-литры – 99.4–177 кг/га.

Снижение запасов  $N-NO_3$  от всходов до выметывания метелки варьировало от 32.3 до 136 кг/га, повышалось с уровнем интенсификации. За этот период до выметывания метелки был рассчитан вынос азота овсом. По данным [2], он составлял 51% от максимального выноса азота урожаем (зерно + солома). В вариантах 1–3 его величина была больше, чем снижение запасов  $N-NO_3$  от всходов до выметывания метелки. Это означало, что к этому периоду растения использовали  $N-NO_3$ , накопившийся ко времени всходов (для варианта 1–32.3 кг/га) и образовавшийся в результате нитрификации в период от всходов до выметывания (43.2–32.3 = 10.9 кг/га). В вариантах с внесением азотных минеральных удобрений размеры выноса азота до выметывания были меньше, чем снижение запасов  $N-NO_3$  от всходов до образования метелки. Следовательно, овес поглощал  $N-NO_3$ , накопившийся до всходов, т.е. дополнительного образования нитратного азота за этот период не отмечено. Образование  $N-NO_3$  до выметывания метелки

в этом случае приравнивали к запасам его до всходов. В 2016 г. основная часть запасов  $N-NO_3$ , образовавшихся до выметывания метелки, была представлена его запасами, сформировавшимися до фазы всходов.

Данные исследования показали, что применение азотных минеральных удобрений резко усиливало нитрификационную активность серых лесных почв в весенний период (до всходов овса). В вариантах 1–3 без азотных удобрений размеры образования  $N-NO_3$  до выметывания варьировали от 57.7 до 60.5 кг/га, последствия навоза КРС – от 58.2 до 75.7 кг/га. Они были в 1.7–2.3 раза более низкими, чем от применения азотных минеральных удобрений и сочетания их с последствием навоза КРС (99.4–177 кг/га).

По разнице между общими размерами запасов  $N-NO_3$ , формируемых за вегетационный период, и образовавшимися до выметывания метелки овса находили размеры образования  $N-NO_3$  от выметывания до уборки. В вариантах 1–3 без азотных удобрений, последствия навоза КРС и сочетания его с фосфорно-калийными удобрениями размеры образования нитратного азота до выметывания метелки (57.7–75.7 кг/га) и от выметывания до уборки были сравнительно близкими (61.5–68.3 кг/га). В вариантах с применением азотных удобрений и сочетания их с последствием навоза размеры

**Таблица 8.** Вынос азота элементами урожая овса (кг/га) и коэффициент использования ими общих запасов  $N-NO_3$ , образованного за вегетационный период в 2016 г., %

Вариант	Зерно	Зерно + солома	Зерно + солома + ПКО	Накопление азота за вегетацию	КИ <sub>1</sub>	КИ <sub>2</sub>	КИ <sub>3</sub>
	кг/га						
1. Контроль	58.4	84.6	101	126	46.3	67.1	80.1
2. Известь	59.8	86.6	103	127	47.1	68.2	81.1
3. P40K40	61.4	87.5	104	120	51.2	72.9	86.7
4. N40P40K40	74.0	101	118	149	49.7	67.7	79.2
5. N80P80K80	82.4	122	147	183	45.0	66.7	80.3
6. Навоз 40 т/га (Нав40)	62.4	86.4	101	133	46.9	65.0	75.9
7. Нав60	64.7	85.0	97.8	126	51.3	67.5	77.6
8. Нав80	68.3	96.7	114	152	44.9	63.6	75.0
9. Нав40 + P40K40	68.6	96.9	115	141	48.6	68.7	81.6
10. Нав40 + N40P40K40	78.3	108	127	160	48.9	67.5	79.4
11. Нав40 + N80P80K80	85.6	132	161	196	43.7	67.3	82.1
12. Нав60 + P40K40	66.2	93.5	111	147	45.0	63.6	75.5
13. Нав60 + N40P40K40	81.0	122	147	184	44.0	66.3	79.9
14. Нав60 + N80P80K80	83.4	127	150	192	43.4	66.1	78.2
15. Нав80 + P40K40	72.7	103	122	157	46.3	65.6	77.7
16. Нав80 + N40P40K40	72.7	101	119	152	47.8	66.4	78.3
17. Нав80 + N80P80K80	86.7	123	146	199	43.6	61.8	73.4

Примечание. КИ<sub>1</sub> – коэффициент использования общих запасов нитратного азота на вынос азота основной продукцией, КИ<sub>2</sub> – зерном и соломой, КИ<sub>3</sub> – зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (ПКО). То же в табл. 9.

**Таблица 9.** Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накапливаемых за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2016 г., %

Доза последствия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	РК	НРК	2 НРК		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ <sub>1</sub> )						
–	47.1	51.2	49.7	45.0	48.2	–
40	46.9	48.6	48.9	43.7	47.0	–1.2
60	51.3	45.0	44.0	43.4	45.9	–3
80	44.9	46.3	47.8	43.6	45.6	–2.6
Среднее для минеральных удобрений	47.6	47.8	47.6	43.9		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ <sub>2</sub> )						
–	68.2	72.9	67.7	66.7	68.9	–
40	65.0	68.7	67.5	67.3	67.1	–1.8
60	67.5	63.6	66.3	66.1	65.9	–3.0
80	63.6	65.6	66.4	61.8	64.4	–4.5
Среднее для минеральных удобрений	66.1	67.7	67.0	65.5		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ <sub>3</sub> )						
–	81.1	86.7	79.2	80.3	81.8	–
40	75.9	81.6	79.4	82.1	79.8	–2.0
60	77.6	75.5	79.9	78.2	77.8	–4.0
80	75.0	77.7	78.3	73.4	76.1	–5.7
Среднее для минеральных удобрений	77.4	80.4	79.2	78.5		

Примечание. Коэффициент использования общих запасов N-NO<sub>3</sub> за период вегетации в абсолютном контроле составил на вынос азота зерном 46.3%, зерном и соломой – 67.1, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 80.1%.

образования N-NO<sub>3</sub> от выметывания до уборки были в несколько раз более низкими, особенно при применении двойной дозы НРК.

В табл. 8 и 9 представлены данные выноса азота элементами урожая овса и коэффициенты использования ими общих размеров формируемого за вегетационный период запаса N-NO<sub>3</sub>. С повышением уровня интенсификации зерно овса выносило от 58.4 до 86.7 кг азота/га, зерном и соломой – 84.6–123, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (ПКО) – 97.8–146 кг/га.

Коэффициент использования накапливаемого азота зерном овса варьировал от 43.4 до 51.3, зерном и соломой – 61.8 до 72.9, зерном, соломой и ПКО – от 75.0 до 86.7%. В среднем для 4-х уровней применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) коэффициент использования формируемого за вегетацию азота при применении фосфорно-калийных удобрений составил 47.8, одинарной дозы НРК – 47.6, двойной дозы НРК – 43.9%. Применение одинарной дозы НРК было наиболее эффективным, т.к. оно по сравнению с РК-удобрениями обеспечивало более высокую продуктивность овса (табл. 2). Доза N40P40K40 была наиболее эффективной и по влиянию на коэффициент использования образуемого N-NO<sub>3</sub> на вынос азота зерном

и соломой, зерном, соломой и ПКО. Наименьшие коэффициенты использования формируемых запасов N-NO<sub>3</sub> на вынос азота зерном и соломой (61.8%), зерном, соломой и ПКО (73.4%) установлены при сочетании двойной дозы НРК с последствием навоза КРС 80 т/га. В последнем случае в почве оставалась как большая доля (табл. 9), так и абсолютное количество не связанного биологически N-NO<sub>3</sub> (табл. 4), что предопределяло более высокие потери азота за счет денитрификации и вымывания.

В мае 2017 г. по сравнению с 2016 и 2018 г. температура воздуха была более низкой на 3.6–3.7°C. Это заметно снизило нитрификационную активность серой лесной почвы и уменьшило запасы N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0–40 см в фазе всходов (табл. 4, 9, 10).

Однако от всходов до выметывания метелки происходило дальнейшее образование нитратного азота (от 17.2 до 39.2 кг/га). В итоге до выметывания метелки образование N-NO<sub>3</sub> составило в вариантах опыта 54.2–132 кг/га. При этом в удобренных азотом вариантах в 2017 г. по сравнению с 2016 г. наблюдали более низкое накопление N-NO<sub>3</sub> в 1-й срок (всходы), дополнительное его образование от всходов до выметывания метелки.

Таблица 10. Размеры формирования запасов N-NO<sub>3</sub> в слое 0–40 см почвы в периоды вегетации овса в 2017 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирования	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	76.3	15.0	24.6	116	21.0	5.7	38.9	33.2	54.2	61.8
2	77.1	14.1	25.5	117	21.4	6.0	39.3	33.3	54.7	62.3
3	77.4	14.0	31.9	123	25.8	10.8	39.5	28.7	54.5	68.5
4	124	19.3	39.6	183	53.6	34.5	63.2	28.7	82.3	101
5	167	33.9	49.9	251	78.2	46.0	85.2	39.2	117	134
6	86.2	18.2	40.8	145	38.1	19.0	44.0	25.0	63.1	81.9
7	105	17.8	46.9	170	40.7	14.5	53.6	39.1	79.8	90.2
8	110	19.2	53.0	176	49.8	21.7	56.1	34.4	84.2	91.8
9	79.3	17.5	39.5	136	46.0	23.1	40.4	17.3	63.3	72.7
10	148	23.9	51.7	224	65.1	37.6	75.5	37.9	103	121
11	158	29.9	56.8	245	88.1	49.3	80.6	31.3	119	126
12	103	16.5	34.8	154	39.9	20.8	52.5	31.7	71.6	82.4
13	139	25.4	44.3	209	68.7	45.4	70.9	25.5	94.2	115
14	175	41.1	46.9	263	98.6	64.6	89.2	24.6	123	140
15	120	20.0	34.6	175	58.3	36.9	61.2	24.3	82.6	92.4
16	163	33.9	66.6	264	74.0	49.6	83.1	33.5	108	156
17	186	45.3	70.6	302	105	68.1	94.9	26.8	132	170

Во влажном 2017 г. размеры формирования N-NO<sub>3</sub> до выметывания и от выметывания до уборки в соответствующих вариантах опыта были близкими, что соответствовало биологическим особенностям культуры овса. От выметывания до уборки овес поглощает около половины азота от максимального выноса [2]. Это объясняет наиболее высокие урожайность и размеры запасов N-NO<sub>3</sub>, формируемых за вегетационный период (табл. 2, 7, 10).

Приведены коэффициенты использования (КИ) запасов N-NO<sub>3</sub>, формируемых за вегетацию овса на вынос азота зерном (40.7–54.6%), зерном и соломой (61.6–68.6%) и зерном, соломой и ПКО (71.2–82.1%). В среднем для 4-х уровней применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) величины КИ<sub>1</sub> были более высокими при использовании Р40К40 и N40Р40К40, а КИ<sub>2</sub> и КИ<sub>3</sub> – при применении обеих доз НРК. В среднем для 4-х уровней применения минеральных удобрений дозы навоза КРС слабее влияли на величину КИ<sub>3</sub>. Все же наиболее высокие величины КИ<sub>1</sub>, КИ<sub>2</sub> и КИ<sub>3</sub> отмечены в вариантах применения навоза КРС в дозе 60 т/га. Наиболее низкие величины КИ<sub>1</sub> определены при сочетании двойной дозы НРК с последствием навоза КРС 80 т/га (40.7%). Среди систем удобрения, обеспечивших высокую урожайность

культуры, относительно низкие величины КИ<sub>2</sub> и КИ<sub>3</sub> наблюдали и при сочетании азотных удобрений с дозой навоза 80 т/га (61.7–61.6 и 74.6–76.5%) (табл. 11).

В наиболее засушливый 2018 г. при близких средних майских температурах воздуха в 2016 и 2018 гг. (14.3–14.4°C) размеры образования запасов N-NO<sub>3</sub> к фазе всходов (табл. 7, 12) и общие размеры их формирования за вегетационный период при применении полного минерального удобрения и сочетании его с последствием навоза КРС также были близкими).

В 2018 г. общие размеры формирования N-NO<sub>3</sub> за вегетацию в вариантах 1–3 без азотных удобрений были более низкими (92.5–98.3 кг/га), чем в 2016 г. (120–127 кг/га). Это было связано с уменьшением доли соломы в урожае 2018 г. В 2016 и 2018 г. размеры накопления N-NO<sub>3</sub> до фазы выметывания метелки и от выметывания до уборки в вариантах 1–3 и применения органических и сочетания их с РК-удобрениями были также сравнительно близкими, а в вариантах с НРК и сочетанием его с навозом от выметывания до уборки они снижались в несколько раз. Следовательно, азотные удобрения способствовали активизации нитрификационных процессов в период до всходов

**Таблица 11.** Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накопленных за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2017 г., %

Доза последействия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
<b>Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ<sub>1</sub>)</b>						
–	53.8	51.5	54.6	49.8	52.4	–
40	45.5	45.4	52.7	50.6	48.6	–3.8
60	48.6	56.3	52.2	45.2	50.6	–1.8
80	48.6	56.2	45.8	40.7	47.8	–4.6
Среднее для минеральных удобрений	49.1	52.4	51.3	46.6		
<b>Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ<sub>2</sub>)</b>						
–	65.9	62.9	67.8	66.5	65.8	–
40	59.4	58.3	66.1	64.5	62.1	–3.7
60	61.8	66.9	66.5	66.5	65.4	–0.4
80	62.5	68.6	61.7	61.6	63.6	–2.2
Среднее для минеральных удобрений	62.4	64.2	65.5	64.8		
<b>Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ<sub>3</sub>)</b>						
–	78.0	74.3	78.1	80.1	77.6	–
40	71.7	71.2	76.8	76.7	74.1	–3.5
60	72.4	77.9	78.5	82.1	77.7	0.1
80	73.3	80.0	74.6	76.5	76.1	–1.5
Среднее для минеральных удобрений	73.8	75.8	77.0	78.8		

Примечание. Коэффициент использования общих размеров накопления N-NO<sub>3</sub> за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 52.8%, зерном и соломой – 65.8, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 78.7%.

**Таблица 12.** Размеры формирования запасов N-NO<sub>3</sub> в слое 0–40 см почвы в периоды вегетации овса в 2018 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирания	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	70.0	8.7	18.6	97.3	39.4	31.2	35.7	4.5	43.9	53.4
2	68.1	8.0	16.4	92.5	37.0	31.3	34.7	3.4	40.4	52.1
3	73.5	8.0	16.6	98.3	37.3	30.4	37.5	7.1	44.4	53.9
4	98.7	15.3	27.3	141	114	97.3	50.3	–47.0	114	27.0
5	117	21.8	33.9	173	145	114	59.7	–54.3	145	28.0
6	90.2	14.7	19.1	124	37.5	30.5	46.0	15.5	53.0	71.0
7	91,8	17.2	14.0	123	44.1	36.3	46.8	10.5	54.6	68.4
8	101	18.4	35.9	155	48.1	35.4	51.5	16.1	64.2	90.8
9	84.8	10.0	20.0	115	53.6	44.5	43.2	–1.3	53.6	61.4
10	109	15.7	23.5	148	110	93.4	55.6	–37.3	110	38.0
11	125	25.2	39.6	190	137	113	63.8	–49.2	137	53.0
12	88.9	12.7	21.6	123	54.2	44.2	45.3	1.1	55.3	67.7
13	114	17.4	20.2	152	129	115	58.1	–56.9	129	23.0
14	134	25.5	33.6	191	154	120	68.3	–51.7	154	37.0
15	99.3	14.9	26.9	141	66.1	50.9	50.6	–0.3	66.1	74.9
16	120	18.9	23.9	163	124	101	61.2	–39.8	124	39.0
17	138	26.5	40.3	205	167	131	70.4	–60.6	167	36.0

**Таблица 13.** Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накопленных за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2018 г., %

Доза последствия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ <sub>1</sub> )						
–	64.9	66.6	59.1	55.2	61.4	–
40	60.9	65.0	63.2	52.6	60.4	–1.0
60	60.6	62.0	63.6	56.5	60.7	–0.7
80	53.1	59.9	62.0	54.2	57.3	–4.1
Среднее для минеральных удобрений	59.9	63.4	62.0	54.6		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ <sub>2</sub> )						
–	73.6	74.8	70.0	67.6	71.5	–
40	72.7	73.7	73.6	65.8	71.4	–0.1
60	74.6	72.2	75.0	70.2	73.0	1.5
80	65.2	70.4	73.6	67.3	69.1	–2.4
Среднее для минеральных удобрений	71.5	72.8	73.0	67.7		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ <sub>3</sub> )						
–	82.3	82.9	80.1	80.4	81.4	–
40	84.7	82.4	84.4	78.9	82.6	1.2
60	88.6	82.9	86.2	83.8	85.4	4.0
80	76.8	80.8	85.3	80.0	80.7	–0.7
Среднее для минеральных удобрений	83.1	82.2	84.0	80.8		

Примечание. Коэффициент использования общих размеров накопления N-NO<sub>3</sub> за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 63.0%, зерном и соломой – 71.9 зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 80.9%.

овса. Дефицит влаги в период от всходов до выметывания метелки резко снижал эти процессы.

В связи с резким уменьшением в урожае овса доли соломы величина КИ<sub>1</sub> в 2018 г. резко возросла (сравнение данных табл. 9, 11, 13).

В среднем для 4-х уровней последствия навоза наиболее высокие величины КИ<sub>2</sub> и КИ<sub>3</sub> наблюдали при применении N40P40K40, а наиболее низкие – при сочетании N80P80K80 с последствием дозы навоза 80 т/га. В среднем для 4-х уровней применения минеральных удобрений наиболее высокие коэффициенты использования N-NO<sub>3</sub>, образуемого за вегетацию овса элементами урожая установлены для последствия навоза 60 т/га.

Анализ данных табл. 7, 10, 12 показал, что в годы исследования в вариантах 1–3 без азотных удобрений, применения навоза KPC и его сочетания с P40K40, а также в 2017 г. во всех вариантах, в том числе и при применении азотных удобрений, отношение образовавшегося N-NO<sub>3</sub> в период до выметывания метелки к величине выноса азота культурой до этой фазы менялось преимущественно от 1.3 до 1.4 в 2016 и 2017 г. и от 1.15 до 1.3 в 2018 г. Очевидно, для указанных вариантов при складывающихся погодных условиях использование нитратного азота было оптимальным. Для 2016 и 2018 г. при применении азотных

минеральных удобрений и их сочетания с последствием навоза (табл. 7, 12) это отношение возрастало до 2-х раз и больше. Следовательно, величину урожая этой культуры лимитировали не запасы N-NO<sub>3</sub>, а недостаток влаги в фазах выхода в трубку и выметывания метелки из-за снижения синтетических процессов и роста интенсивности дыхания при высоких температурах.

Удобрения и погодные условия, влияющие на трансформацию азота почвы и внесенных удобрений, определяли и качество зерна овса, важнейшим показателем которого является содержание в нем общего азота и, соответственно, сырого белка (табл. 14).

Различия средних температур в мае в условиях 2016 и 2017 г. слабо влияли на содержание общего азота в зерне в вариантах без применения минеральных удобрений и внесения фосфорно-калийных. В этих вариантах средние величины этого параметра при 4-х уровнях применения органических удобрений были близкими в оба года (1.61 и 1.62%). Но при благоприятных условиях увлажнения в 2017 г. в середине вегетации овса и пополнения запасов N-NO<sub>3</sub> от всходов до выметывания метелки (табл. 10) привело к более высокому росту содержания азота в зерне от действия одинарной и двойной доз полного минерального удобрения. Если в 2016 г. его содержание

**Таблица 14.** Влияние удобрений на содержание общего азота в зерне овса за годы исследования, %

Доза последействия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
2016 г., ГТК = 1.28						
–	1.59	1.57	1.69	1.81	1.66	–
40	1.60	1.65	1.74	1.83	1.70	0.04
60	1.63	1.58	1.76	1.77	1.68	0.02
80	1.63	1.69	1.59	1.74	1.66	0.00
Среднее для минеральных удобрений	1.61	1.62	1.70	1.79		
2017 г., ГТК = 1.79						
–	1.54	1.54	1.65	2.01	1.68	–
40	1.59	1.53	1.88	1.89	1.72	0.04
60	1.67	1.70	1.80	1.89	1.76	0.08
80	1.65	1.72	1.93	1.96	1.82	0.14
Среднее для минеральных удобрений	1.61	1.62	1.82	1.94		
2018 г., ГТК = 0.79						
–	1.80	1.72	1.76	2.01	1.82	–
40	1.85	1.83	1.91	1.97	1.89	0.07
60	1.87	1.84	1.97	2.14	1.96	0.14
80	1.90	1.88	1.96	2.19	1.98	0.16
Среднее для минеральных удобрений	1.86	1.82	1.90	2.08		

Примечание. Содержание азота в зерне овса в контроле в 2016 г. было равно 1.60, в 2017 г. – 1.56, 2018 г. – 1.75%.

по сравнению с последствием известкования при применении одинарной и двойной доз NPK возрасало от 1.61 до 1.70 и 1.79%, то в 2017 г. – с 1.61 до 1.82 и 1.94% соответственно. В более благоприятном 2017 г. наблюдали и более высокий эффект от последствия органических удобрений. Очевидно, оптимальное увлажнение в 2017 г. обеспечивало повышение как синтетических процессов в растениях и их активный рост, так и благоприятные условия для нитрификации. Более засушливые условия 2018 г. по сравнению с 2016 г. благоприятствовали получению зерна овса с более высоким содержанием азота (сырого белка) как в вариантах без минеральных азотных удобрений, так и при применении полного минерального удобрения, особенно в двойной дозе. В эти годы установлен и высокий эффект последствия органических удобрений, особенно в дозах навоз 60 и 80 т/га.

## ВЫВОДЫ

1. В длительном полевом опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние действия минеральных удобрений и последствия навоза KPC, их взаимодействия на урожайность овса, идущего 2-й культурой после занятого пара (однолетние травы), и динамику содержания подвижных форм азота в почве при различных погодных условиях. Установлено, что основное влияние на повышение урожайности овса оказывало применение полного

минерального удобрения. Более слабое, но достоверное влияние оказало последствие навоза KPC и их взаимодействие. За 3 года самостоятельного влияния фосфорно-калийных удобрений на урожайность культуры не наблюдали. Повышающее урожайность овса влияние NPK и навоза обусловлена преимущественно запасами N-NO<sub>3</sub>, накапливаемого в слое почвы 0–40 см до всходов овса. Между последними и урожайностью овса выявлена высокая степень взаимосвязи, наиболее тесная по квадратичной и степенной зависимостям.

2. Условия увлажнения почвы в течение вегетационного периода овса, температура воздуха в мае и применение азотных минеральных удобрений оказали определяющее влияние на динамику содержания N-NO<sub>3</sub> в почве. Относительно равномерное выпадение осадков в течение вегетационного периода обеспечивало процессы нитрификации до всходов, от всходов до выметывания метелки и от выметывания до уборки овса. Применение аммиачной селитры способствовало более активным процессам нитрификации до всходов овса. Они возрастали с повышением температуры в мае. Дефицит влаги в конце июня и начале июля (трубкавание и выметывание метелки) приводил к практически полному прекращению образования в почве нитратного азота. Выпадающие в конце вегетации осадки обеспечивали возобновление процессов образования нитратов. В вариантах

последствия известкования и навоза КРС, сочетания его с фосфорно-калийными удобрениями до выметывания овса и от выметывания до уборки накапливалось близкое количество N-NO<sub>3</sub> во все годы исследования. Такое же накопление N-NO<sub>3</sub> наблюдали в условиях влажного лета и пониженных температур воздуха в мае и при применении азотных удобрений, что обеспечивало наиболее высокую урожайность овса. При более высоких температурах мая наибольшее количество N-NO<sub>3</sub> в удобренных аммиачной селитрой вариантах накапливалось до выметывания метелки и преимущественно до всходов; по сравнению с этим периодом образование N-NO<sub>3</sub> от выметывания до уборки снижалось в несколько раз.

3. В благоприятных условиях увлажнения установлено, что отношение N-NO<sub>3</sub>, образуемого до фазы выметывания метелки, к выносу им азота за тот же период составляло 1.3–1.4. Это обеспечивало высокие урожайность культуры и качество зерна. Близкие величины указанного отношения установлены во все годы исследования в вариантах абсолютного контроля, фона известкования и внесения P40K40, при последствии навоза КРС и сочетания его с P40K40. В удобренных азотом вариантах в составе полного минерального удобрения при дефиците влаги в фазах выхода в трубку и выметывания метелки отношение образуемого до выметывания метелки нитратного азота к выносу азота овсом резко возрастало до 2.0 и более, и было обусловлено снижением синтетических процессов и повышением интенсивности дыхания. Продуктивность культуры была меньше потенциально возможной, эквивалентной размерам образовавшихся нитратов в период до всходов (выметывания метелки) овса.

4. Определены коэффициенты использования сформированного за вегетацию запаса N-NO<sub>3</sub> на вынос азота зерном, зерном и соломой, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками. Они были более высокими при применении P40K40 и N40P40K40. Однако полное минеральное удобрение N40P40K40 было наиболее окупаемым прибавкой и имело главное значение в повышении урожайности культуры, а одни фосфорно-калийные удобрения были малоэффективными. Минимальные коэффициенты использования образованного за вегетацию N-NO<sub>3</sub> на вынос азота элементами урожая наблюдали при сочетании N80P80K80 с последствием навоза КРС 80 т/га, в том числе для выноса азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками. В этом случае после уборки формировались наиболее высокие запасы биологически несвязанных нитратов, что предопределяло более высокие их потери за счет денитрификации и вымывания. Во все годы исследования наиболее оптимальным было применение навоза КРС в дозе 60 т/га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б. А. Ягодина. М.: Мир, 2003. 584 с.
2. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. Агрохимия: Клас. Универ. учеб-к для стран СНГ / Под ред. В. Г. Минеева. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
3. Окорков В.В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3–14. <https://doi.org/10.31857/S00021881221120103>
4. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Удобрения и питание азотом яровой пшеницы на серых лесных почвах // Агрохим. вестн.. 2023. № 1. С. 35–42. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-006>
5. Шукин Н.Н., Окорков В.В. Влияние действия свежего куриного помета на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность яровой пшеницы и содержание в зерне сырого протеина и нитратов // Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и земледелия. Сб. докл. XVII Международ. научн.-практ. конф. Курского отд-я МОО “Общество почвоведов им. В. В. Докучаева”, посвящ. 40-летию со дня основания лаборатории агропочвоведения ВНИИЗиЗПЭ. Курск, 27–29 апреля 2022 г. Курск: Курский ФАНЦ, 2022. С. 305–311. <https://doi.org/10.18411/978-5-907407-63-3-315>
6. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Серые лесные почвы Владимирского ополья и эффективность использования их ресурсного потенциала. Иваново: ПресСто, 2021. 188 с. <https://doi.org/10.51961/9785604637470>
7. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П. Практикум по агрохимии / Под ред. Б. А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
8. Клостер Н.И., Азаров В.Б., Лоткова В.В., Гребенникова Т.В., Визирская М.М. Эффективность серосодержащих удобрений на озимой пшенице в Центрально-Черноземной зоне России // Агрохим. вестн. 2023. № 1. С. 19–22. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-003>
9. Салина Ю.Б., Шантасов А.М., Горленко М.В., Костина Н.В. Изучение эффективности применения биоугля для повышения плодородия почв Астраханской области // Агрохим. вестн. 2023. № 1. С. 50–55. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-008>
10. Попов П.Д., Хохлов В.И., Егоров А.А. Органические удобрения: Справ-к. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с.
11. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения / Под ред. В. Н. Ефимова. М.: КолосС, 2003. 320 с.

## **Influence of the Dynamics of Stocks of Mobile Forms of Nitrogen in Gray Forest Soil and the Use of Fertilizers on the Yield of Oats under Various Weather Conditions**

**V. V. Okorkov<sup>a, #</sup>, L. A. Okorkova<sup>a</sup>, V. I. Shchukin<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Scientific Center,  
d. Novaya, Vladimir region, Suzdal district 601261, Russia*

*<sup>#</sup>E-mail: okorkovvv@yandex.ru*

In a long-term field experiment on the gray forest soils of the Vladimir opole, the influence of mineral fertilizers and the aftereffect of cattle manure, their interaction on the yield of oats going 2nd crop after the occupied steam, and the dynamics of mobile nitrogen forms under various weather conditions were studied. The determining role of ammonium nitrate nitrogen in the composition of NPK and the aftereffect of cattle manure in increasing the yield of oats has been established. The results of the study indicated that the culture was fed mainly with the nitrate form of nitrogen. A high degree of correlation was revealed between the reserves of N-NO<sub>3</sub> in the soil layer of 0–40 cm, formed as a result of the transformation of soil nitrogen and fertilizers to oat seedlings, and its yield ( $0.981 > R^2 > 0.787$ ). The influence of fertilizers and weather conditions on the formation of nitrate nitrogen reserves in the phases of growth and development of oats and their dynamics, ensuring the achievement of high grain yield and quality, are determined. Depending on weather conditions and fertilizer systems, the coefficients of using N-NO<sub>3</sub> formed during the growing season of oats for nitrogen removal by grain (40.7–66.6%), grain and straw (58.3–75.0%), grain, straw and crop-root residues (71.2–88.6%) are calculated. In nitrogen-fertilized variants, on average, at 4 levels of manure aftereffect (0, 40, 60 and 80 t/ha), they were highest when using a single dose of N40P40K40, when using a double dose of N80P80K80, they significantly decreased. On average, at 4 levels of mineral fertilizer application (0, P40K40, N40P40K40 and N80P80K80), the utilization coefficients of N-NO<sub>3</sub> formed during the growing season with the aftereffect of manure of 60 t/ha were maximum. When N80P80K80 is combined with the aftereffect of organic fertilizers of 80 t/ha, the highest losses of N-NO<sub>3</sub> due to denitrification and leaching are possible.

*Keywords:* gray forest soils, Vladimir opole, oats, fertilizers, yield, nitrate and ammonium nitrogen, weather conditions, crop elements, utilization factor N-NO<sub>3</sub>.