

улучшения структурно-агрегатного состава и влагообеспеченности пахотного слоя при применении удобрений.

Литература

1. Белоус Н.М., Торилов В.Е., Соколов Н.А. Биологизация – основа преодоления деградации почвенного плодородия Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. – 2018. – № 5 (69). – С. 3-11.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
3. Еремин Д.И., Каюгина С.М. Агрофизические свойства темно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. – 2022. – № 2 (42). – С. 3-10.
4. Еремичева Д.В., Котченко С.Г. Влияние многолетней вспашки на агрофизические свойства темно-серых лесных почв лесостепной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 12. – С.3-11.
5. Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Попов Ф.А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 5. – С. 467-477.
6. Конищев А.А., Гарифуллин И.И., Конищева Е.Н. Анализ приемов повышения продуктивности зерновых культур для снижения межвидовой вариации их урожайности // Агрохимия. – 2024. – № 2. – С. 95-102.

7. Недбаев В.Н. Влияние окультуривания на изменение содержания гумуса и агрофизических показателей темно-серой лесной оподзоленной почвы Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2. – С. 25-29.
8. Посевные площади Российской Федерации. – М.: Росстат, 2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// posev-4cx_2024.xlsx](https://posev-4cx_2024.xlsx). (Дата обращения 06.12.2024)
9. Пилипенко Н.Г. Влияние длительного применения элементов биологизации на основные показатели плодородия почв и продуктивность севооборота на малогумусном малокарбонатном черноземе Забайкалья // Агрохимия. – 2022. – № 2. – С. 3-12.
10. Постников П.А., Масленина Н.В., Васина О.В., Тиханская Е.Л. Агротехнологическая оценка возделывания ярового ячменя в условиях Среднего Урала // Вестник Новосибирского аграрного университета. – 2023. – № 2 (67). – С.93-103.
11. Семинченко Е.В. Содержание и динамика поступления в почву основных элементов питания в растительных остатках и зерне полевых культур // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2024. – Т. 16. – № 2. – С. 253-270.
12. Трусова В.И., Дронова Н.В., Балюнова Е.Л. Влияние предшественников на изменение агрофизических свойств почвы в посевах озимой пшеницы // Плодородие. – 2021. – № 4 (121). – С. 36-39.

THE INFLUENCE OF THE NUTRITION BACKGROUND ON THE PROPERTIES OF DARK GRAY FOREST SOIL AND YIELD IN BARLEY IN CROP ROTATIONS

P.A. Postnikov, V.V. Popova, Candidate of Agricultural Sciences, O.V. Vasina, D.A. Pecherskikh
Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 620142, Yekaterinburg,
112-a Belinsky str. *E-mail: postnikov.ural@mail.ru

In 2021-2024, the impact of nutrition backgrounds and predecessors, on changes in the agrophysical properties of dark gray forest heavy loamy soil was assessed. Factor A – predecessors (peas, clover, annual herbs, rapeseed). Factor B – nutrition background (control, mineral – N30P30K30, organomineral – N24P24K24 + green manure, straw). It was found that, on average, for 4 years under peas and clover, the use of mineral fertilizers and their combinations with organic ones increased the share of the most agronomically valuable soil aggregates with a size of 0.25-10 mm by 5.9-9.5% relative to the control. The plowing of green manure and straw in crop rotations reduced the soil density in the spring period in relation to the control by 0.03-0.06 g/cm³. The largest reserves of productive moisture in the meter layer in the control before sowing were found under clover (112.1 mm), the use of fertilizers smoothed out differences in moisture availability between predecessors. Due to unfavorable hydrothermal conditions, clover, as a precursor, was inferior to peas and annual grasses by 0.16-0.31t/ha against the background of the use of fertilizers in grain additions.

Keywords: barley, predecessor, mineral fertilizers, structural and aggregate composition, density, reserves of productive moisture, yield.

УДК 631.41:631.452:631.454:631.81:633.16

DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.08

РОЛЬ НИТРАТНОГО АЗОТА В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЯ ЯЧМЕНЯ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ

В.В. Окорков, д.с.-х.н., В.И. Щукина, ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»,
601261, Владимирская обл., Суздальский р-он, поселок «Новый», ул. Центральная, д.2
E-mail: okorkovvv@Yandex.ru

Оценены на серой лесной почве Владимирского ополья при преимущественном питании ячменя нитратным азотом размеры его формирования за вегетацию и отдельные её фазы. Установлено, что высокая эффективность минеральной и органоминеральной систем удобрения по сравнению с органической обусловлена повышением в 1,6-1,7 раз скорости трансформации в нитратную форму азота почвы и удобрений вносимыми азотными минеральными удобрениями в ранний период вегетации культуры. Последующие размеры формирования N-NO₃, зависящие от погодных условий, могут вносить существенные коррективы в величину урожая и его качество. Определены коэффициенты использования формируемых за вегетацию запасов N-NO₃ на вынос азота элементами урожая ячменя. По сравнению с одинарной дозой N₄₀P₄₀K₄₀ при применении двойной дозы указанные параметры снижались, что вело к росту потерь N-NO₃ за счет денитрификации и вымывания. Разработан алгоритм оценки мобилизационного пула азота от применения удобрений, установлены его тесная связь с мобильным фондом азота, зависимость последнего от погодных условий.

Ключевые слова: серая лесная почва, Владимирское ополье, урожайность ячменя, полное минеральное удобрение, навоз КРС, нитратный азот, мобилизационный пул и мобильный фонд азота.

Для цитирования: Окорков В.В., Щукина В.И. Роль нитратного азота в формировании урожая ячменя на серой лесной почве Владимирского Ополя // Плодородие. – 2025. – №3. – С. 33-39. DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.08.

Исследования в длительном стационарном полевом опыте на серой лесной почве Ополя показали, что в

результате интенсивного применения органических и минеральных удобрений до 1991 г. на этих почвах ещё в

течение двух ротаций 8-польного севооборота сохранялись высокие запасы аммонийного азота. В слое почвы 0-40 см они составляли 170-200 кг/га [1]. В этом случае обеспечивались достаточно высокая степень перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу, существенная роль этой формы азота в питании возделываемых культур. Но уже в 3- и 4-й ротациях 7-польного севооборота запасы аммонийного азота в слое почвы 0-40 см снижались до 40-68 кг/га. На основании введенного параметра NAR, характеризующего соотношение содержания нитратного азота в почве и $N-NH_4$ в водной вытяжке 1:1, была доказана определяющая роль нитратного азота в непосредственном питании полевых культур азотом [1]. Кроме того, на основании последнего положения в работе был предложен алгоритм формирования запасов нитратного азота ($N-NO_3$) за вегетацию культуры и за отдельные периоды её. Продолжая эти и более ранние исследования [2], в работе [3] предложено оценивать величину формирования $N-NO_3$ за вегетацию культуры (мобильный фонд азота культуры) по мобилизационному пулу азота. Величину мобилизационного пула азота находили суммированием ежегодных доз применения азотных минеральных удобрений под культуру и половины запасов азота, содержащегося во вносимом навозе КРС, деленных на число полей в севообороте. Однако, учитывая положительное влияние навоза на урожай последующих культур [4, 5], предложено корректировать ежегодный вклад органических удобрений в мобилизационный пул и мобильный фонд азота на основе эквивалента минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту. Это позволяет оценить планируемую урожайность культуры поглощением нитратного азота, размеры которого определяются производством мобильного фонда азота на коэффициент использования его на вынос азота зерном или зерном и соломой. Для оптимизации расчета доз удобрений важно установить и вклад органических удобрений в мобилизационный пул азота и по различным предшественникам.

Цель исследований – оценить влияние минеральных азотных удобрений и последствий навоза КРС на урожайность ячменя, возделываемого по обороту пласта многолетних бобово-злаковых трав после яровой пшеницы, на формируемые запасы $N-NO_3$ за вегетацию культуры, вклад навоза в мобилизационный пул азота на серой лесной почве Владимирского ополья в зависимости от погодных условий.

Методика. Исследования проводили в 7-польном севообороте в стационарном опыте, заложенном во Владимирском ополье в 1991-1993 г. в трех полях [1].

Почва серая лесная среднесуглинистая со следующей характеристикой пахотного слоя: содержание гумуса – 2,6-3,7%, pH_{KCl} 5,1-5,5, гидролитическая кислотность – 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 за ротацию), который вносили после уборки однолетних трав на сено, и влияние ежегодного применения минеральных удобрений (0, $P_{40}K_{40}$, $N_{40}P_{40}K_{40}$, $N_{80}P_{80}K_{80}$), их сочетания на урожайность полевых культур, изменение агрохимических и физико-химических свойств серой лесной почвы.

В 1- и 2-й ротациях исследования проводили в 8-польном севообороте: 1 – занятый пар (однолетние травы – викоовсяная смесь); 2 – озимая рожь; 3 – картофель; 4 – овёс с подсевом трав (клевер + тимopheевка); 5 – травы 1-го года пользования; 6 – травы 2-го года пользования; 7 – озимая рожь (яровая пшеница); 8 – ячмень. В 3-5-й ротациях из севооборота удалили картофель, озимую рожь после многолетних трав заменили на яровую пшеницу.

Во 2-5-й ротациях исследования вели по последствию известкования. Солому зерновых культур измельчали, оставляли на почве после овса, запахивали после уборки других культур.

Схема применения удобрений под ячмень представлена ниже.

№ варианта	Удобрения	№ варианта	Удобрения
1	Контроль (б/у)	10	Фон + N_{40} + $N_{40}P_{40}K_{40}$
2	Фон – последствие известности по 1 г.к. (в 1991-1993 г.)	11	Фон + N_{40} + $N_{80}P_{80}K_{80}$
3	Фон + $P_{40}K_{40}$	12	Фон + N_{60} + $P_{40}K_{40}$
4	Фон + $N_{40}P_{40}K_{40}$	13	Фон + N_{60} + $N_{40}P_{40}K_{40}$
5	Фон + $N_{80}P_{80}K_{80}$	14	Фон + N_{60} + $N_{80}P_{80}K_{80}$
6	Фон + последствие навоза КРС, 40 т/га (N_{40})	15	Фон + N_{80} + $P_{40}K_{40}$
7	Фон + N_{60}	16	Фон + N_{80} + $N_{40}P_{40}K_{40}$
8	Фон + N_{80}	17	Фон + N_{80} + $N_{80}P_{80}K_{80}$
9	Фон + N_{40} + $P_{40}K_{40}$		

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 приведены данные по влиянию удобрений на среднюю урожайность зерна ячменя, являющегося замыкающей 7-польный севооборот культурой, за 3- и 4-ю ротации. За эти годы питание ячменя осуществлялось преимущественно нитратным азотом, что позволяло по его запасам в слое почвы 0-40 см в разные фазы культуры, выносу азота урожаем и накоплению пожнивно-корневыми остатками оценивать формирование $N-NO_3$ за периоды вегетации и в целом за вегетацию [1].

1. Средняя (за 6 лет) урожайность зерна ячменя (за 3- и 4-ю ротации) по фону известкования под влиянием удобрений, ц/га

Доза навоза КРС за ротацию, т/га	Минеральные удобрения				Среднее по навозу, $HCP_{05} = 1,6$ ц/га
	0	$P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{40}K_{40}$	$N_{80}P_{80}K_{80}$	
Контроль (б/у)	30,0	35,9	42,8	44,5	38,3
40	35,8	37,2	42,3	45,0	40,1
60	37,2	38,5	43,8	45,7	41,3
80	37,6	38,5	43,4	46,0	41,4
Среднее по минеральным удобрениям, $HCP_{05} = 1,6$ ц/га	35,2	37,5	43,1	45,3	

Примечание. Средняя урожайность на контроле без известки и удобрений – 30,0 ц/га.

За годы исследований (2013-2015 и 2020-2022) урожайность ячменя в вариантах контроля и фона известкования (вар. 1 и 2) варьировала от 17,5 (2022 г.) до 49,5 ц/га (2015 г.). Гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову в 2015 г. составлял 1,34, в 2022 г. – 0,54. В варианте наиболее интенсивного применения удобрений (навоз, 80 т/га за ротацию + $N_{80}P_{80}K_{80}$) урожайность

культуры составила в 2015 г. 61,1 ц/га, в 2022 г. – 32,1, а в 2021 г. (ГТК = 1,04) – 29,1 ц/га. В вариантах без удобрений урожайность по годам изменялась в 2,8 раза, а в варианте интенсивного их применения – в 2,1 раза.

Различия в урожайности ячменя в 2021 и 2022 г. объясняются крайне неравномерным выпадением осадков в 2021 г.

В 2021 г. при ГТК 1,04 температура мая, июня, июля и августа была, соответственно, на 2,3; 4,0; 2,6 и 3,3 °C выше, чем по многолетним данным. В то же время в течение 34 дней (с середины июня до конца 2-й декады июля) эффективных осадков не было. Недостаток влаги в июне не позволил сформировать эффективную вторичную корневую систему. Использование влаги из слоя почвы 40-100 см варьировало от 17 до 29 мм [1]. Выпавшие в августе обильные осадки не оказали положительного влияния на урожайность культуры.

2. Запасы нитратного азота в слое почвы 0-40 см по срокам наблюдения за ячменем, кг/га

Вариант опыта	Среднее за 6 лет		
	1-й срок (всходы)	2-й срок (ко-лошение)	3-й срок (уборка)
1. Контроль	61,0	28,0	47,5
2. Последствие известкования (фон) – Ф	64,0	29,3	43,4
3. Ф + P ₄₀ K ₄₀	63,6	25,6	41,5
4. Ф + N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	137,0	49,4	73,7
5. Ф + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	174,0	74,1	110,0
6. Ф + последствие 40 т/га навоза (N ₄₀)	67,0	27,0	55,0
7. Ф + H ₆₀	74,2	28,8	45,7
8. Ф + H ₈₀	71,7	25,5	47,0
9. Ф + H ₄₀ + P ₄₀ K ₄₀	65,4	26,3	40,1
10. Ф + H ₄₀ + N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	145,0	57,2	58,1
11. Ф + H ₄₀ + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	190,0	77,0	91,4
12. Ф + H ₆₀ + P ₄₀ K ₄₀	73,4	26,7	57,5
13. Ф + H ₆₀ + N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	152,0	64,4	67,0
14. Ф + H ₆₀ + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	196,0	79,9	82,4
15. Ф + H ₈₀ + P ₄₀ K ₄₀	85,8	34,4	47,8
16. Ф + H ₈₀ + N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	165,0	74,6	65,6
17. Ф + H ₈₀ + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	216,0	88,1	108,3

В мае 2022 г. средняя температура воздуха была на 1,9 °C ниже, чем по многолетним данным. В июне, июле

и августе она была, соответственно, на 2,1; 2,8 и 4,7 °C выше нормы. За май, июнь, июль и август выпало, соответственно, 79,0; 41,6; 36,1 и 9,6% осадков от норм за эти месяцы. С 3 июня по 15 июля эффективных осадков не было. Сумма осадков за период вегетации составила 104,1 мм, а ГТК – 0,54. Из слоя почвы 40-100 см ячмень использовал 45-56 мм [1].

В среднем за 6 лет урожайность ячменя по четырем дозам применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) достоверно возрастала от фосфорно-калийных удобрений (P₄₀K₄₀). Однако резкое повышение её на 7,9 ц/га наблюдалось при одинарной дозе N₄₀P₄₀K₄₀. От увеличения дозы НРК в 2 раза дальнейший рост урожайности составил 2,2 ц/га.

Определяющая роль азота в повышении продуктивности возделываемых культур в различных севооборотах на дерново-подзолистых почвах Центральных областей Нечерноземной зоны и Верхневолжского региона установлена в работах [6-8], на дерново-подзолистых тяжелоуглинистых почвах Предуралья [9], серых лесных почвах [10].

От последствия доз навоза КРС прибавки зерна ячменя варьировали от 1,8 до 3,1 ц/га. Достоверных различий от последствия доз навоза не установлено.

За 6 лет окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой урожая составила при применении фосфорно-калийных удобрений 7,4 кг зерна, N₄₀P₄₀K₄₀ – 10,7, N₈₀P₈₀K₈₀ – 6,0 кг зерна.

В среднем за 6 лет запасы N-NO₃ в слое почвы 0-40 см в фазе всходов ячменя в вариантах без применения минеральных удобрений (вар. 1 и 2) составили 61-64 кг/га (табл. 3), варьируя по годам от 32,5 до 79,0 кг/га (в 2,4 раза). В варианте наиболее интенсивного применения удобрений (вар. 17) они увеличивались в 3,4-3,5 раза с колебаниями по годам от 179 до 275 кг/га (в 1,5 раз). Для 3-й ротации (2013-2015 г.) и 2020 г. они возрастали в варианте 17 с повышением температуры воздуха в 3-й декаде апреля, для 2021 и 2022 г. – с повышением выпадающих осадков за 2- и 3-ю декады апреля.

3. Размеры формирования N-NO₃ в слое почвы 0-40 см по периодам вегетации ячменя за 2013 г., кг/га

№ варианта опыта	Накопление N в биомассе		Запасы в период уборки	Общие размеры формирования	Запасы в фазе всходов	Прирост запасов от всходов до колошения	Накопление N в урожае до колошения	Образование		
	зерно и солома	познивнокорневые остатки						от всходов до колошения	от посева до колошения	от колошения до уборки
1	74,5	27,6	42,5	145	58,6	-33,5	52,2	18,7	77,3	67,7
2	78,8	24,4	29,1	132	57,7	-29,6	55,1	25,5	83,2	48,8
3	90,8	26,1	36,3	153	59,7	-29,7	63,6	33,9	93,6	59,4
4	110	32,0	42,6	185	137	-107	76,6	0	137	48,0
5	142	38,6	52,3	233	188	-161	99,4	0	188	45,0
6	81,6	25,7	47,8	155	56,8	-32,8	57,1	24,3	81,1	73,9
7	88,6	28,1	38,0	155	58,6	-33,8	62,0	28,2	86,8	68,2
8	91,4	29,0	40,6	161	56,6	-32,0	64,0	32,0	88,6	72,4
9	84,9	25,8	28,6	139	56,6	-35,8	59,4	23,6	80,2	58,8
10	107	30,1	34,1	171	139	-109	74,9	0	139	32,0
11	143	31,7	49,8	224	187	-162	100	0	187	37,0
12	79,8	21,4	58,4	160	57,8	-31,1	55,9	24,8	82,6	77,4
13	126	32,6	63,1	222	135	-103	88,2	0	135	87,0
14	150	38,6	42,3	231	185	-157	105	0	185	46,0
15	87,5	25,9	41,2	155	61,5	-33,7	61,2	27,5	89,0	66,0
16	112	31,7	65,4	209	140	-112	78,4	0	140	69,0
17	148	41,1	56,3	245	189	-163	104	0	189	56,0

Примечание. В размеры образования N-NO₃ от колошения до уборки включено накопление азота в ПКО. Размеры накопления азота в ПКО оценивались произведением накопления азота в соломе на отношение массы ПКО, приходящейся на 1 ц урожая [12], к соотношению массы соломы к зерну.

Урожайность зерна ячменя в среднем за 6 лет тесно коррелировала с запасами нитратного азота в слое почвы 0-40 см в фазе всходов:

$$Y = 30,0 + 0,0816 x, n = 17, R^2 = 0,812;$$

$$Y = 12,2 x^{0,250}, n = 17, R^2 = 0,805;$$

$$Y = -0,0005 x^2 + 0,215 x + 23,1, n = 17, R^2 = 0,851.$$

Наиболее тесная взаимосвязь наблюдалась по квадратичной зависимости. По квадратичной взаимосвязи максимальная урожайность 46,2 ц/га достигалась при запасах нитратного азота в слое почвы 0-40 см 215 кг/га, т.е. в варианте наиболее интенсивного применения удобрений. В варианте сочетания 60 т/га навоза КРС с одинарной дозой NPK урожайность ячменя составила 44,2 ц/га, что всего на 2,0 ц/га ниже, чем при сочетании 80 т/га навоза с двойной дозой N₈₀P₈₀K₈₀.

Очевидно, накопленные запасы N-NO₃ до всходов создают разные стартовые условия для роста и развития растений. Однако последующие размеры формирования N-NO₃, зависящие от погодных условий (температура воздуха и выпадение осадков), могут вносить существенные коррективы в величину урожайности культуры и качество урожая.

Используя представления о питании растений преимущественно нитратным азотом, особенно величину отношения содержания нитратного азота в почве к содержанию N-NH₄ в водной вытяжке 1:1 [1], были получены данные о размерах формирования N-NO₃ в различные периоды вегетации ячменя и за вегетацию. В таблице 3 приведены данные за 2013 г. Они складывались из размеров выноса азота зерном и накопления в соломе, пожнивно-корневых остатках и запасов N-NO₃ в уборку. Вынос азота урожаем до колошения составлял 70% от его выноса зерном и соломой [11]. Размеры формирования N-NO₃ за 2020-2022 г. приведены в работе [1].

Из данных таблицы 4 следует, что в вариантах без навоза и азотных удобрений (вар. 1-3) доля образования N-NO₃ в фазе всходов от формируемых за вегетацию варьировала от 40,4 до 44,5%, по последствию доз навоза КРС 40-80 т/га за ротацию и сочетанию их с P₄₀K₄₀ – от 35,2 до 37,7%, т.е. последствие навоза по сравнению с вариантами без навоза и азота не повышало относительную долю образования N-NO₃ к фазе всходов от формируемых за вегетацию.

4. Средние по четырем дозам навоза (0, 40, 60 и 80 т/га за ротацию) величина и доля образования N-NO₃ по фазам вегетации ячменя от формируемых за вегетацию в зависимости от применения удобрений за 6 лет в 3- и 4-й ротациях

Фаза вегетации	Без применения минеральных удобрений		P ₄₀ K ₄₀		N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	
	N-NO ₃ , кг/га	% образования	N-NO ₃ , кг/га	% образования	N-NO ₃ , кг/га	% образования	N-NO ₃ , кг/га	% образования
Всходы	69,2	41,4	72,0	41,8	149,6	68,7	194,3	71,1
От всходов до колошения	25,0	15,0	27,2	15,8	9,2	4,2	12,8	4,7
От колошения до уборки	73,0	43,6	73,2	42,4	59,0	27,1	66,2	24,2
Сумма за вегетацию	167,2	100	172,4	100	217,8	100	273,3	100

В то же время при применении одинарной дозы NPK и сочетания её с навозом этот параметр резко возрос до 67,0-81,3%, а двойной дозы NPK – до 77,1-83,5%.

В среднем за 6 лет по четырем дозам навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) доля образования N-NO₃ в фазе всходов без применения минеральных удобрений составила

41,4%, при внесении P₄₀K₄₀ – 41,8, одинарной и двойной доз NPK – 68,7 и 71,1% (табл. 5). При этом при применении полного минерального удобрения резко увеличивались и размеры формируемых за вегетацию запасов N-NO₃ (с 69,2 до 149,6 и 194,3 кг/га).

5. Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накапливаемых за период вегетации, на вынос и накопление азота элементами биомассы ячменя за 2013-2015 и 2020-2022 г., %

Доза последствие навоза, т/га	Минеральные удобрения				Средний по навозу	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
Средний коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ ₁)						
0	37,8	41,0	38,8	33,4	37,8	-
40	37,7	41,7	39,0	33,8	38,0	0,2
60	40,2	38,4	37,0	34,8	37,6	-0,2
80	39,4	39,8	37,5	31,9	37,2	-0,4
Средний по минераль- ным удобрениям	38,8	40,2	38,1	33,5		
Средний коэффициент использования на вынос азота зерном и накопление в соломе (КИ ₂)						
0	55,2	59,4	56,2	51,3	55,5	-
40	55,3	60,2	58,2	52,8	56,6	1,1
60	58,8	55,4	56,7	55,0	56,5	1,0
80	58,6	58,6	55,7	50,2	55,8	0,3
Средний по минераль- ным удобрениям	57,0	58,4	56,7	52,3		
Средний коэффициент использования на вынос азота зерном и накопление в соломе и пожнивно- корневых остатках (КИ ₃)						
0	70,1	74,0	69,9	63,6	69,4	-
40	68,5	75,3	72,4	65,7	70,5	1,1
60	73,0	69,2	70,9	69,1	70,6	1,2
80	74,0	73,5	70,3	63,1	70,2	0,8
Средний по минераль- ным удобрениям	71,4	73,0	70,9	65,4		

Примечание. Средний коэффициент использования общих размеров формирования $N-NO_3$ за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 35,5%, зерном и накоплением в соломе – 53,8, зерном и накоплением в соломе и пожнивно-корневых остатках – 69,0%.

Относительные и абсолютные размеры трансформации азота почвы и органических удобрений к фазе всходов были существенно ниже, чем с использованием азотных минеральных удобрением. Это объясняет слабую роль навоза КРС по сравнению с полным минеральным удобрением в повышении урожайности культуры [1]. В вариантах без минеральных удобрений и применения $P_{40}K_{40}$ трансформация азота почвы в нитратную форму от фазы колошения до уборки наиболее высокая, а с полным минеральным удобрением – наиболее низкая.

Так как из вносимых азотных удобрений (аммиачная селитра) ионы NH_4^+ интенсивно поглощаются ППК [1], то, очевидно, ускоряющее трансформацию азота почвы и удобрений действие обусловлено преимущественно нитратным азотом. Оно в первую очередь повышает процессы аммонификации и последующую нитрификацию аммонийного азота. Это явление играло важнейшую роль в процессах трансформации органического вещества и азота на серых лесных почвах Ополья в зависимости от микрорельефа. В пониженных элементах микрорельефа за счет поверхностного стока влаги происходило накопление нитратного азота, который ускорял трансформацию азота органического вещества почвы в аммонийный азот и нитраты. В результате этого из-за роста урожайности и более интенсивной трансформации легкогидролизуемых форм азота почвы понижений (особенно со вторым гумусовым горизонтом) формировался менее подвижный гумус.

В среднем за 6 лет разностный коэффициент использования азота одинарной дозы NPK на вынос азота зерном ячменя составил 69,5%, двойной дозы NPK – 42,5%. В то же время по исследованиям с изотопом ^{15}N [13] при применении N_{aa} в дозе 45 кг/га коэффициент использования азота удобрения составил 42%, в дозе 90 – 45%, т.е. в меньшей мере зависел от применяемых доз аммиачной селитры.

В работе [1] коэффициент использования азота, формируемого за вегетацию ячменя, на вынос азота зерном ячменя в благоприятных условиях увлажнения в 2020 г. для азота одинарной дозы NPK составил 43,7%, для двойной дозы его – 39,8%, в острозасушливом 2022 г. – соответственно 29,3 и 20,5%. В этой работе в зависимости от доз применения полного минерального удобрения были рассчитаны коэффициенты использования запасов $N-NO_3$, формируемых за вегетацию культуры, на вынос азота зерном яровой и озимой пшеницы, овса. Для

двойной дозы полного минерального удобрения они были примерно на 10-12% ниже, чем для одинарной.

В среднем за 6 лет коэффициент использования запасов $N-NO_3$, формируемых за вегетацию культуры, на вынос азота зерном ячменя (KI_1) варьировал (табл. 6). Для двойной дозы NPK происходило заметное снижение KI_1 до 31,9-34,8%. Это обусловлено снижением роста приростов урожайности культуры с увеличением формируемых за вегетацию запасов $N-NO_3$ из-за неблагоприятных условий увлажнения [1].

При применении двойной дозы полного минерального удобрения более низкими были средние коэффициенты использования образующегося за вегетацию нитратного азота и на вынос азота зерном и накопление в соломе (KI_2), зерном и накопление в соломе и пожнивно-корневых остатках (KI_3).

В среднем по четырем дозам внесения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га за ротацию) в вариантах применения одинарной дозы NPK размеры неиспользованного нитратного азота составляли 29,1%, а двойной дозы его – 34,6%, т.е. возросли в 1,19 раз. В последнем случае возможны более высокие потери нитратов из-за их денитрификации и вымывания.

Применение навоза КРС меньше влияло на коэффициенты использования $N-NO_3$, формируемого за вегетацию культуры, на вынос и накопление азота элементами её биомассы.

Образующиеся за вегетацию культуры запасы $N-NO_3$ (мобильный фонд азота) в работах [2] предложено оценивать по взаимосвязи их с мобилизационным пулом азота (S_N , кг/га). Его величина представляла сумму ежегодного применения под культуру азота минеральных удобрений и половины запасов азота в навозе, деленной на число полей в севообороте [3]. Однако, учитывая длительность действия навоза [4, 5], в таблицах 6 и 7 представлены размеры формирования запасов $N-NO_3$ по годам за вегетацию ячменя в зависимости от систем и среднегодовой вклад навоза КРС в мобилизационный пул азота. Ежегодный вклад навоза КРС в мобилизационный пул азота оценивали по величине эквивалента минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту. Вклад азота навоза в S_N в этом случае был близок также к разнице между средними запасами $N-NO_3$ в вариантах с навозом и сочетанием его с $P_{40}K_{40}$ и вариантом без азотных удобрений и навоза. Содержание азота в навозе составило 0,45%.

6. Размеры формирования запасов $N-NO_3$ за вегетацию ячменя, идущего по обороту пласта трав, за годы исследований в зависимости от систем удобрения, кг/га

Вариант	S_N	2013 г., ГТК = 1,74	2014 г., ГТК = 1,22	2015 г., ГТК = 1,34	2020 г., ГТК = 1,31	2021 г., ГТК = 1,04	2022 г., ГТК = 0,54	2013-2015, 2020-2022 г.
1. Контроль (без N и навоза)	0	143	140	147	178	177	117	150
2. $N_{40}P_{40}K_{40}$	40	185	195	184	219	258	235	213
3. $N_{80}P_{80}K_{80}$	80	233	216	209	274	330	334	266
4. Навоз, 40 т/га (H_{40})	14,3	155	176	147	185	242	143	175
5. H_{60}	21,4	155	162	150	196	214	143	170
6. H_{80}	28,7	161	172	158	210	216	159	179
7. $H_{40} + P_{40}K_{40}$	14,3	139	162	152	179	199	147	163
8. $H_{40} + N_{40}P_{40}K_{40}$	54,3	171	211	183	243	220	232	210
9. $H_{40} + N_{80}P_{80}K_{80}$	94,3	224	233	214	301	278	350	267
10. $H_{60} + P_{40}K_{40}$	21,4	160	179	164	201	250	163	186
11. $H_{60} + N_{40}P_{40}K_{40}$	61,4	222	218	190	252	260	238	230
12. $H_{60} + N_{80}P_{80}K_{80}$	101,4	231	230	210	290	271	365	266
13. $H_{80} + P_{40}K_{40}$	28,7	155	171	161	213	224	156	180
14. $H_{80} + N_{40}P_{40}K_{40}$	68,7	209	206	194	255	230	236	222
15. $H_{80} + N_{80}P_{80}K_{80}$	108,7	245	244	218	294	385	377	294

При применении минеральных удобрений и последствии навоза средняя за 6 лет величина мобильного фонда азота возрастала в 2 раза (со 150 до 294 кг/га), что и отражалось на урожайности зерна ячменя в зависимости от систем удобрения (см. табл. 2).

Из таблицы 7 видно, что в годы исследований наблюдалась весьма тесная взаимосвязь между мобильным фондом азота (Y , кг/га) и его мобилизационным пулом (S_N , кг/га). Коэффициент детерминации варьировал от 0,599 до 0,972, а средняя величина его за 6 лет составила 0,959.

ЭМУ навоза по азоту для ячменя, идущего замыкающей 7-польный севооборот культурой, варьировал от 3,3 до 11,3%, в среднем за 6 лет составил 8,0%.

При величине углового коэффициента при S_N выше 1,0 наблюдается более интенсивное формирование мобильного фонда азота за счет экстра-азота. Формирование экстра-азота наблюдали в 2013 г. при ГТК = 1,74, в 2020-2022 г. при ГТК менее 1,31.

Между величиной ГТК (x) и угловым коэффициентом при S_N (Y) наблюдалась достоверная квадратичная взаимосвязь:

$$Y = 4,73 - 5,38x + 1,88x^2, n = 6, R^2 = 0,916, \text{ дов. инт.} = 0,44.$$

7. Взаимосвязь мобилизационного пула азота S_N с запасами $N-NO_3$, формируемыми за вегетацию ячменя, идущего по обороту пласта трав, за годы исследований, кг/га

Год исследований	ГТК	Уравнение взаимосвязи, $n = 15$	R^2	ЭМУ, %	S_N для доз навоза КРС		
					40 т/га	60 т/га	80 т/га
2013	1,74	$Y = 143 + 1,04 S_N$	0,918	4,3	7,8	11,7	15,6
2014	1,22	$Y = 148 + 0,815 S_N$	0,907	11,2	20,2	30,3	40,4
2015	1,34	$Y = 149 + 0,753 S_N$	0,972	3,3	6,0	9,0	12,0
2020	1,31	$Y = 176 + 1,23 S_N$	0,976	6,6	11,8	17,7	23,6
2021	1,04	$Y = 187 + 1,13 S_N$	0,599	11,1	20,0	30,0	40,0
2022	0,54	$Y = 92,0 + 2,38 S_N$	0,898	11,3	20,4	30,7	40,8
2013-2015, 2020-2022	-	$Y = 150 + 1,26 S_N$	0,959	8,0	14,3	21,4	28,7

Минимальное значение коэффициента при S_N составило 0,88 при ГТК = 1,43. Расчеты показали, что формирование экстра-азота происходило как при благоприятных условиях увлажнения (ГТК выше 1,68), так и при ГТК ниже 1,18 (за исключением 2020 г.). В первом случае формированию экстра-азота благоприятствовал более длительный благоприятный период трансформации азота почвы и удобрений, что вело к повышению урожайности культуры, во втором – более высокая скорость их трансформации. Однако в последнем случае его использование менее эффективно.

Выводы. 1. За годы исследований (2013-2015, 2020-2022) урожайность зерна ячменя, являющегося замыкающей 7-польный севооборот культурой, в вариантах контроля и последействия известкования варьировала от 17,5 (2022 г.) до 49,5 ц/га (2015 г.), т.е. в 2,8 раза. Гидротермический коэффициент по Селянинову в 2015 г. составил 1,34, в 2022 г. – 0,54. В вариантах наиболее интенсивного применения удобрений (80 т/га навоза КРС за ротацию + $N_{80}P_{80}K_{80}$) урожайность культуры в 2015 г. возросла до 61,1 ц/га, в 2022 г. – до 32,1 ц/га. За 6 лет по четырем дозам навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) урожайность ячменя возрастала от внесения $P_{40}K_{40}$ на 2,3 ц/га, одинарной дозы $N_{40}P_{40}K_{40}$ – на 7,9, двойной дозы НРК – на 10,1 ц/га. С ростом доз последействия навоза

прибавки возрастали с 1,8 до 3,1 ц/га (без достоверных различий от доз). Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой урожая составила при применении РК удобрений 7,4 кг зерна, $N_{40}P_{40}K_{40}$ – 10,7, $N_{80}P_{80}K_{80}$ – 6,0 кг. Урожайность зерна ячменя в среднем за 6 лет тесно коррелировала с запасами $N-NO_3$ в фазе всходов.

2. В среднем за 6 лет запасы $N-NO_3$, формируемые за вегетацию ячменя, варьировали от 150 (вариант без азота и навоза) до 294 кг/га (навоз, 80 т/га + $N_{80}P_{80}K_{80}$). Установлено, что в вариантах без применения минеральных удобрений и использования навоза КРС к фазе всходов количество формируемых запасов $N-NO_3$ от образующих за вегетацию в 1,6-1,7 раз было более низким, чем при внесении полного минерального удобрения, в т. ч. и в сочетании с навозом, а абсолютные запасы – в 2,2-2,7 раз. Это определяет преимущество минеральной и органо-минеральной систем удобрения по сравнению с органической в повышении урожайности ячменя.

3. Установлены коэффициенты использования (КИ) формируемых за вегетацию ячменя запасов $N-NO_3$ на вынос и накопление азота элементами урожая. Средний за 6 лет КИ их на вынос азота зерном варьировал от 31,9 до 41,7%. В среднем по четырем уровням применения навоза КРС при использовании $N_{40}P_{40}K_{40}$ он составил 38,1%, а $N_{80}P_{80}K_{80}$ – 33,5%. Такие же закономерности от доз минеральных удобрений получены и для КИ, образующихся за вегетацию культуры запасов $N-NO_3$ и на вынос азота зерном и накопление в соломе; зерном и накопление в соломе и пожнивно-корневых остатках. Более низкие КИ на вынос азота элементами урожая при двойной дозе НРК свидетельствовали о более высоких потерях нитратов за счет денитрификации и вымывания.

4. Разработан алгоритм оценки мобилизационного пула азота от применения азота минеральных и органических удобрений, установлены его тесная связь с мобильным фондом азота и зависимость последнего от погодных условий. Более высокие размеры формирования мобильного фонда азота наблюдались при ГТК выше 1,68 и ниже 1,18. В последнем случае его использование было менее эффективным.

Литература

- Окорков В.В., Окоркова Л.А., Коновалова Л.К. Серые лесные почвы Владимирского ополья и оценка ресурсного потенциала: удобрение и питание полевых культур / МИНОБНАУКИ РФ, ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». – Суздаль-Воронеж, 2023. – 241 с.
- Окорков В.В. Модели продуктивности зернового севооборота на серых лесных почвах Верхневолжья // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 1. – С. 30-34.
- Окорков В.В. Агрохимические аспекты влияния доз удобрений на урожай основной продукции однолетних трав и зерновых культур на серых лесных почвах Верхневолжья // Владимирский земледелец. – 2024. – № 3(109). – С. 23-33.
- Системы земледелия / А.Ф. Сафонов, А.М. Гатаулин, И.Г. Платонов и др. / Под ред. А.Ф. Сафонова. – М.: КолосС, 2009. – 447 с.
- Ягодина Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Мир, 2003. – 584 с.
- Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.
- Ненайденко Г.Н. Рациональное применение удобрений в условиях рыночной экономики. – Иваново: Ивановская ГСХА, 2007. – 350 с.
- Лукин С.М., Марчук Е.В., Золкина Е.И., Климкина Ю.М. Продуктивность зернопропашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия. – 2028. – № 2. – С. 71-78.
- Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишкова Д.Г., Казакова И.В. Азотный режим дерново-подзолистой почвы при длительном применении различных видов и сочетаний минеральных удобрений // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 4. – С. 43-47.

10. Никитишин В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. – М.: Наука, 1984. – 212 с.
11. Агрохимия: Классический университетский учебник для стран СНГ. / В.Г. Минеев, В.Г. Сычёв, Г.П. Гамзиков и др. Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.

12. Органические удобрения: Справочник /П.Д. Попов, В.И. Хохлов, А.А. Егоров и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 207 с.
13. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. – М.: Изд-во ВНИИА, 2022. – 256 с.

TO ASSESS THE ROLE OF NITRATE NITROGEN IN THE FORMATION OF BARLEY YIELD ON GRAY FOREST SOIL OF THE VLADIMIR OPOLYE

V.V. Okorkov, V.I. Shchukina, Upper Volga Federal Agricultural Science Center, Vladimir oblast, p. Novyi, 601261 Russia
e-mail: okorkovvv@yandex.ru

The size of $N-NO_3$ formation during the growing season and its individual phases are estimated on the gray forest soil of the Vladimir Opolye region with a predominant diet of barley with nitrate nitrogen. It has been established that the high efficiency of mineral and organic and mineral fertilizer systems compared with organic ones is due to a 1.6-1.7-fold increase in the rate of transformation of soil nitrogen and fertilizers into the nitrate form by nitrogen mineral fertilizers applied in the early growing season of the crop. Subsequent sizes of $N-NO_3$ formation, depending on weather conditions, can make significant adjustments to the size of the crop and its quality. The coefficients of utilization of $N-NO_3$ reserves formed during the growing season for nitrogen removal by elements of the barley harvest have been determined. Compared with a single dose of $N40P40K40$, when using a double dose, these parameters decreased, which led to an increase in $N-NO_3$ losses due to denitrification and leaching. An algorithm has been developed for estimating the nitrogen mobilization pool from the use of fertilizers, its close relationship with the mobile nitrogen fund, and the latter's dependence on weather conditions.
Keywords: gray forest soil, Vladimir Opolye, barley yield, complete mineral fertilizer, cattle manure, nitrate nitrogen, mobilization pool and mobile nitrogen fund.

УДК 631.895:631.582:631.422

DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.09

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

А.Б. Тиранов, к.э.н., А.В. Григорьев, Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН
173516, Новгородская обл., Новгородский р-он, п/о Борки, ул. Парковая, д. 2
E-mail: zevs1947@yandex.ru

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук – филиал Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (тема № FFZF-2025-0009, рег. № 1022041500149-1).

Исследовали в условиях Новгородской области приёмы использования в технологических операциях по возделыванию кормовых культур в севообороте микробиологических удобрений Азотовита и Фосфатовита на дерново-подзолистой почве (84% посевной площади). Установлено, что в среднем за ротацию севооборота в варианте 4 оптимальная продуктивность составила 5 тыс. т к. е/га, переваримого протеина – 0,5 т/га. Благодаря усилению почвенного питания за ротацию севооборота: двойное использование стеблей озимой ржи, ячменя и сидерата в качестве органических удобрений, что в пересчёте на стандартный коровий навоз эквивалентно внесению ежегодно по 12-14 т/га, и минеральных удобрений на планируемый урожай баланс гумуса в почве увеличился более чем на 4 т/га. Достигнут положительный баланс основных макроэлементов в почве: по азоту +5 кг/га, фосфору +47 кг/га и калию +61 кг/га.

Ключевые слова: баланс элементов питания, севооборот, минеральные и микробиологические удобрения, продуктивность.

Для цитирования: Тиранов А.Б., Григорьев А.В. Эффективность комплексного действия удобрений на продуктивность кормового севооборота и баланс элементов питания дерново-подзолистой почвы// Плодородие. – 2025. – №3. – С. 39-43. DOI: 10.25680/S19948603.2025.144.09.

Дерново-подзолистые почвы в общем почвенном покрове Новгородской области занимают более 65 % и имеют естественное низкое почвенное плодородие (по данным ФГУ станции агрохимической службы «Новгородская»). По степени окультуренности около 50 % почв сельскохозяйственных угодий слабоокультуренные. Систематическое повышение плодородия таких почв невозможно без хорошо организованного применения органических и минеральных удобрений [13].

По данным ВИУА, применение органоминеральной системы удобрения на дерново-подзолистых почвах

имеет некоторые преимущества перед минеральной. Если принять урожай без удобрений за 100 %, то при удобрении почвы навозом он составит 162 %, эквивалентным количеством NPK – 170, по органоминеральной системе – 174 %. При этом в литературных источниках указывается, что значение органоминеральной системы повышается по мере увеличения доз минеральных удобрений [2, 5].

Определение баланса питательных веществ в почве позволяет рационально планировать производство