

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЗОТА И УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

© 2020 г. В. В. Окорков<sup>1,\*</sup>, О. А. Фенова<sup>1</sup>, Л. А. Окоркова<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

Поступила в редакцию 13.02.2019 г.

После доработки 02.04.2019 г.

Принята к публикации 10.11.2019 г.

На серых лесных почвах Верхневолжья в течение 4-х ротаций 8- и 7-польного севооборотов изучено влияние действия минеральных удобрений под овес, идущий после зерновых и пропашных культур с разным уровнем применения навоза, на урожайность зерна овса и запасы минеральных форм азота в слое 0–40 см почвы. Выявлена определяющая роль азота, внесенного в составе NPK, и последствие навоза КРС в повышении его урожайности. Она проявлялась через увеличение в почве в ранний период вегетации культуры запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе, сумма которых представляла мобильный фонд азота. Установлена тесная степенная взаимосвязь между урожайностью овса, с одной стороны, и запасами итратного азота и его мобильным фондом, с другой, в этот период. Выявлено, что применение дозы N40P40K40 на изученных почвах было наиболее окупаемым (6.5–8.0 кг з.е./кг д.в.), чем двойной дозы NPK и одних фосфорно-калийных удобрений. После удобренных навозом предшественников окупаемость 1 кг д.в. N40P40K40 возрастала в 1.10–1.35 раза.

**Ключевые слова:** серая лесная почва, овес, минеральные удобрения, последствие навоза, использование влаги овсом, изменение запасов нитратного и аммонийного азота в течение вегетации, вынос азота овсом.

**DOI:** 10.31857/S0002188120020118

### ВВЕДЕНИЕ

Ценной продовольственной культурой в зоне Верхневолжья является овес. Он имеет большое значение при производстве продуктов питания и в животноводстве, где его используют в качестве зеленого корма, фуража, сена, особенно в смеси с однолетними бобовыми культурами (яровой вики и горохом). Смешанные посевы овса с однолетними бобовыми культурами относятся к наилучшим парозанимающим культурам.

В России посевы овса по сравнению с 1990 г. (9.1 млн га) составили в 2002 г. 4.3, в 2013 г. – 3.3 млн га. В 1990 г. урожайность культуры была равна 14.8, в 2002 г. – 15.6, в 2013 г. – 16.4 ц/га. За 2008–2013 гг. урожайность овса менялась от 14.1 до 18.2 ц/га.

В севообороте овес лучше размещать после пропашных (картофеля) или зерновых культур, удобренных навозом, т.к. он потребляет много азота. При размещении овса после озимых, удобренных навозом, при содержании подвижного

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100–150 мг/кг для достижения урожайности овса 30–45 ц/га рекомендуют дробное применение азотных удобрений – N40–60 до посева и по N40 – в подкормку [1]. Показано, что при применении N100 до посева и N40–60 в подкормку после картофеля, идущего после удобренных озимых, можно получить урожай овса 50–60 ц/га. В работе [2] для получения урожайности овса 30–35 и 38–40 ц/га при нормальных и интенсивных технологиях рекомендуется внесение минеральных удобрений в дозах N70 и N90. В этом случае предшественниками являются озимые и пропашные культуры, под которые рекомендуется внесение органических удобрений 80 т/га. В то же время при высокой стоимости минеральных удобрений следует ориентироваться на наиболее окупаемые дозы.

Цель работы – на основе изучения влияния удобрений на содержание подвижных форм азота, их взаимосвязи с урожайностью серых лесных почв Верхневолжья разработать окупаемые дозы

минеральных удобрений под овес, идущий после удобренных навозом озимых (яровых) и пропашных культур.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Многолетний стационарный опыт заложен на серых лесных почвах в 1991–1993 гг. [3]. В опыте на фоне извести изучали эффективность как видов и доз минеральных удобрений, так и доз подстилочного навоза крупного рогатого скота и их взаимодействие. В 1-й и 2-й ротациях наблюдения вели в 8-польном севообороте со следующим чередованием культур: занятой пар (викоовсяная смесь) – озимая рожь – картофель – овес с подсевом трав – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования – озимая рожь – ячмень; в 3-й и 4-й ротациях – в 7-польном. В нем исключили пропашную культуру, озимую рожь заменили на озимую (яровую) пшеницу.

Схема опыта, варианты: 1 – контроль (без удобрений и извести), 2 – известь по полной гидролитической кислотности (фон), 3 – фон + P1K1, 4 – фон + N1P1K1, 5 – фон + N2P2K2, 6 – фон + навоз 1-я доза, 7 – фон + навоз 2-я доза, 8 – фон + навоз 3-я доза, 9 – фон + навоз 1-я доза + P1K1, 10 – фон + навоз 1-я доза + N1P1K1, 11 – фон + навоз 1-я доза + N2P2K2, 12 – фон + навоз 2-я доза + P1K1, 13 – фон + навоз 2-я доза + N1P1K1, 14 – фон + навоз 2-я доза + N2P2K2, 15 – фон + навоз 3-я доза + P1K1, 16 – фон + навоз 3-я доза + N1P1K1, 17 – фон + навоз 3-я доза + N2P2K2.

Почва опытных полей – серая лесная средне-суглинистая с содержанием гумуса 2.9–4.0%, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 130–200, обменного калия (по Масловой) – 150–180 мг/кг почвы,  $pH_{КС1}$  5.1–5.5,  $H_T$  – 3.2–3.5, сумма поглощенных оснований – 19.4–22.3 мг-экв/100 г почвы. В 3-й ротации 7-польного зернотравяного севооборота в вариантах без удобрений содержание подвижного фосфора и обменного калия сохранилось на уровне повышенной степени обеспеченности, в удобренных минеральными удобрениями вариантах – на уровне высокой и очень высокой степени обеспеченности [4].

В начале 1-й ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза (0, 40, 60 и 80 т/га), внесенного после уборки однолетних трав, а также минеральных удобрений (без удобрений, фосфорно-калийные, одинарная и двойная дозы NPK) и их сочетания на изменение агрохимических и физико-химических свойств в слое 0–40 см почвы [3]. Во 2–4-й

ротациях исследования проводили при последствии извести.

Одинарная доза NPK под зерновые культуры, однолетние и многолетние травы была равна 40 кг/га каждого элемента питания, под картофель – 60, 60 и 80 кг/га, под травы 1-го года пользования азот вносили в дозе 40 кг/га и при двойной дозе NPK [3]. Применяли  $N_{aa}$ ,  $P_{cd}$  ( $P_c$ ) и  $K_x$ . Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, азотные – весной под предпосевную культивацию под однолетние травы и яровые зерновые, в подкормку озимых и многолетних трав, под картофель – весной под вспашку.

Во 2-й ротации севооборота (2000–2008 гг.) под однолетние травы вместо N40P40K40 и N80P80K80 весной вносили только  $N_{aa}$  в дозах N60 и N75 (PK-удобрения не применяли), а после распахивания трав 2-го года пользования (2004–2006 гг.) высевали яровую пшеницу. Доза фосфорно-калийных удобрений под нее составила P60K60, одинарная доза полного минерального удобрения – N60P60K60, двойная доза – N120P120K120.

В 3-й и 4-й ротациях под озимую пшеницу после трав 2-го года пользования применяли следующие дозы удобрений: P40K40, N40P40K40, N80P80K80.

Опыт заложен на 3-х полях (закладках) в трехкратной повторности. Площадь делянки 100 м<sup>2</sup> (20 м × 5 м). Расположение делянок рендомизированное. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур – общепринятая для региона. Фосфорно-калийные удобрения под яровые зерновые (овес, ячмень, пшеницу) вносили осенью поверхностно и заделывали вспашкой на глубину 20–22 см (MT3-82, ПЛН-3-35). Весной проводили закрытие влаги зубowymi боронами (MT3-82, БЗСС-3). После разбивки опыта на соответствующие делянки согласно схемы опыта поверхностно вносили  $N_{aa}$ , которую заделывали в почву предпосевной культивацией (MT3-82, КПН-4). Посев овса с подсевом трав выполняли сеялками СЗТ-3,6. Сразу после посева выполняли прикатывание почвы кольчато-шпоровыми катками (MT3-82, ЗККШ-6-1).

По мере необходимости проводили обработки посевов против вредителей (актара 25% в.д.г. – 0.06–0.10 кг/га) и болезней (тилт, к.э. – 0.6–0.8 л/га или альто-супер, к.э. – 0.4–0.5 л/га) [2].

В 1-й и 2-й ротациях севооборота учет урожайности овса выполняли комбайном Сампо-500 с учетной площади 44 м<sup>2</sup>, в 3-й и 4-й – парцеллярным способом. В последнем случае с каждой делянки в 4-х местах отбирали снопы с площадки

**Таблица 1.** Распределение осадков, гидротермический коэффициент (ГТК) и сумма активных температур за годы исследования

Годы исследования	Осенние осадки (2-я декада сентября – 3-я декада октября), мм	Зимние и ранневесенние осадки (1-я декада ноября – 2-я декада апреля), мм	Осадки вегетационного периода (3-я декада апреля – 1-я декада сентября), мм	Сумма температур >10°C за май – 1-ю декаду сентября, °C	ГТК	Сумма осадков за год, мм
Среднемного-летние данные	93	205	296	2077	1.36	594
1993–1994	111	201	260	1731	1.48	573
1994–1995	73	245	326	2253	1.32	644
1995–1996	86	135	239	2164	1.05	460
Средние за 1-ю ротацию	90	194	275	2049	1.28	559
2001–2002	96	189	172	2087	0.82	457
2002–2003	163	171	472	2024	1.97	806
2003–2004	39	152	416	2047	1.87	607
Средние за 2-ю ротацию	99	171	353	2053	1.55	623
2008–2009	66	186	243	2228	1.09	495
2009–2010	155	182	374	2581	1.33	711
2010–2011	68	273	266	2376	1.10	607
Средние за 3-ю ротацию	96	214	294	2395	1.17	604
2015–2016	39	298	318	2347	1.28	655
2016–2017	87	239	347	1835	1.79	673
2017–2018	97	260	208	2327	0.89	514
Средние за 4-ю ротацию	74	266	291	2170	1.32	614

(парцеллы) 1 м<sup>2</sup>. Урожайность овса рассчитывали на стандартную влажность 14%.

Во всех 4-х ротациях солому зерновых культур при сплошной уборке комбайном измельчали и запаховали. Солому овса просто измельчали.

Агрохимические анализы почвы и растений выполняли по методикам, изложенным в работе [5]. Подвижный фосфор в почве определяли по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, обменный калий – по методу Масловой, нитратный азот – потенциометрическим методом с помощью ион-селективного электрода на нитраты, аммонийный азот – фотоколориметрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT VIUA и EXCEL.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 1-й ротации 8-польного севооборота (1993–1996 гг.) (табл. 1) при варьировании гидротермического коэффициента (ГТК) от 1.05 до 1.48, сум-

мы осадков за период вегетации от 239 до 326 мм (табл. 2), суммы активных температур от 1731 до 2253°C средняя урожайность зерна овса в вариантах без удобрений варьировала от 25.6 до 27.1 ц з.е./га (от 32.0 до 33.9 ц зерна/га) (табл. 3). Рост ГТК с 1.28 до 1.55 и среднегодовых осадков с 275 до 353 мм во 2-й ротации (2001–2004 гг.) способствовали увеличению средней урожайности овса в соответствующих вариантах с 25.6–27.1 до 33.8–34.3 ц з.е./га (до 42.2–42.9 ц зерна/га). Это совпало с отзывчивостью этой культуры на увлажнение.

В соответствии с величинами ГТК изменялась средняя урожайность овса в 3-й и 4-й ротациях, идущего после зернового предшественника, удобренного в занятом пару. Определяющее влияние на среднюю продуктивность овса в ротациях севооборотов в неудобренных вариантах оказала величина ГТК (уравнение 1):

$$Y = 19.3 + 27.3(x - 1), \quad n = 8, \quad R^2 = 0.938, \quad (1)$$

где  $1.55 > x > 1.17$  – средний за ротацию гидротермический коэффициент в вегетационный период

**Таблица 2.** Использование влаги овсом с подсевом многолетних трав в зависимости от систем удобрения

Вариант	Запасы влаги в 1-метровом слое почвы, мм		Осадки вегетационного периода, мм	Общий расход влаги, мм	Урожай, ц з.е./га	Коэффициент водопотребления, мм/ц з.е.	Использование влаги из слоя 40–100 см почвы, мм	
	исходные	после уборки					среднее	максимальное
Овес с подсевом многолетних трав, 2002–2004 гг.								
Известкование (фон)	300	267	304	337	34.3	9.8	24	51
Фон + Нав60*	300	266	304	339	39.3	8.6	31	45
Фон + Нав60 + N40P40K40	299	264	304	339	44.9	7.6	28	43
Фон + Нав60 + N80P80K80	295	262	304	338	42.9	7.8	30	47
Овес с подсевом многолетних трав, 2009–2011 гг.								
Известкование (фон)	297	241	235	292	23.4	13.5	47	67
Фон + Нав60	290	232	235	294	30.6	10.9	50	71
Фон + Нав60 + N40P40K40	295	221	235	310	36.3	9.5	59	74
Фон + Нав60 + N80P80K80	292	233	235	295	39.0	8.7	49	63
Овес с подсевом многолетних трав, 2016–2018 гг.								
Известкование (фон)	289	240	195	244	29.8	8.1	41	56
Фон + Нав60	295	230	195	260	34.4	7.5	48	54
Фон + Нав60 + N40P40K40	290	230	195	255	41.5	6.1	55	61
Фон + Нав60 + N80P80K80	291	227	195	259	42.9	6.0	53	61

\*Нав – навоз, т/га. То же в табл. 3, 5–7.

возделывания овса (табл. 1), У – средняя продуктивность овса в соответствующей ротации севооборота в вариантах 1 и 2 (табл. 3), ц з.е./га.

Известно [3], что в отсутствие обменного алюминия в токсичных для растений концентрациях (<3–5 мг/100 г почвы) корневые системы возделываемых культур на серых лесных почвах ополья могут проникать в подпахотные горизонты и использовать из них влагу и элементы питания. Это отмечено и для овса. Показано (табл. 1, 2), что в более влажные годы (2002–2004 гг.) средние размеры потребления влаги из слоев 40–100 см варьировали от 24 до 31 мм. Однако в засушливые 2001–2002 гг. 2-й ротации севооборота поглощение влаги из указанных слоев изменялось от 43 до 51 мм. Наиболее высокие средние и максимальные размеры потребления влаги овсом наблюдали в 3-й ротации 7-польного севооборота при среднем ГТК = 1.17.

В засушливые годы (2009–2011 гг.) установлены и наиболее высокие величины расхода влаги

на создание 1 ц з.е. (8.7–13.5 мм/ц з.е.). При ГТК = 1.32 наблюдали более эффективное использование выпадающих за вегетационный период осадков и запасов почвенной влаги (6.0–8.1 мм/ц з.е.). При большем увлажнении (2002–2004 гг.) размеры использования влаги на создание 1 ц з.е. основной продукции вновь возрастали. Применяемые удобрения, особенно полное минеральное, обеспечивали более экономичное расходование влаги на создание 1 ц з.е. основной продукции (табл. 2).

В соответствии с погодными условиями урожайность этой культуры в 7-польном севообороте по сравнению с 8-польным севооборотом в вариантах без применения удобрений снизилась с 30.0–30.4 до 26.6 ц з.е./га. Однако в вариантах с применением полного минерального удобрения и сочетания его с последствием органических удобрений она не уменьшилась или несколько возросла. В итоге практически во всех вариантах окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений

**Таблица 3.** Влияние удобрений на урожайность зерна овса (ц з.е./га) и их окупаемость

Вариант	8-польный зернотравянопропашной севооборот			7-польный зернотравяной севооборот			Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений 1 кг з.е.	
	1-я ротация, 1994–1996 гг.	2-я ротация, 2002–2004 гг.	Среднее	3-я ротация, 2009–2011 гг.	4-я ротация, 2016–2018 гг.	Среднее	1-я и 2-я ротации	3-я и 4-я ротации
1. Контроль	27.1	33.8	30.4	23.8	29.5	26.6	—	—
2. Известь (фон)	25.6	34.3	30.0	23.4	29.8	26.6	—	—
3. РК	27.5	36.2	31.8	23.9	31.6	27.8	2.2	1.5
4. NPK	33.7	41.8	37.8	31.9	40.5	36.2	6.5	8.0
5. 2 NPK	36.0	42.3	39.2	38.3	41.4	39.8	3.8	5.5
6. Навоз 40 т/га (Нав40)	27.6	37.8	32.7	28.1	32.3	30.2	—	—
7. Нав60	31.3	39.3	35.3	30.6	34.4	32.5	—	—
8. Нав80	29.3	38.4	33.8	29.0	36.5	32.8	—	—
9. Нав40 + РК	28.4	38.6	33.5	28.8	32.8	30.8	4.4	5.2
10. Нав40 + NPK	35.4	42.8	39.0	36.0	41.8	38.9	7.5	10.2
11. Нав40 + 2NPK	38.1	42.6	40.4	40.3	43.5	41.9	4.3	6.4
12. Нав60 + РК	28.5	40.1	34.3	30.8	35.8	33.3	5.4	8.4
13. Нав60 + NPK	36.1	44.9	40.5	36.3	41.5	38.9	8.8	10.2
14. Нав60 + 2NPK	36.6	43.0	39.8	39.0	42.9	41.0	4.1	6.0
15. Нав80 + РК	30.8	40.4	35.6	30.7	38.7	34.7	7.0	8.8
16. Нав80 + NPK	36.2	41.1	38.6	36.5	42.7	39.6	7.2	10.8
17. Нав80 + 2NPK	36.8	43.4	40.1	39.9	43.6	41.8	4.2	6.3
HCP <sub>05</sub> , ц з.е./га	1.5	5.1	3.3	2.8	2.5	2.6		

Примечания. 1. Варианты с 3-го по 17-й – на фоне внесения извести. 2. Урожайность зерна овса в ц/га в 1.25 раза больше, чем в ц з.е./га. 3. Нумерация вариантов та же в табл. 5–7.

**Таблица 4.** Математические зависимости взаимосвязи систем удобрения и урожайности зерна овса (ц з.е./га)

Годы исследования	Уравнение взаимосвязи ( $n = 17$ )	$R$	$R^2$
1994–1996	$27.3 + 0.039x_1 + 0.115x_2$	0.953	0.909
	$26.9 + 0.038x_1 + 0.2261x_2 - 0.0015x_2^2$	0.980	0.959
2002–2004	$36.4 + 0.042x_1 + 0.068x_2$	0.854	0.729
	$34.7 + 0.056x_1 + 0.194x_2 + 0.040x_3 - 0.0017x_2^2 - 0.0007x_1x_2$	0.957	0.916
2009–2011	$25.3 + 0.066x_1 + 0.146x_2$	0.967	0.935
	$23.6 + 0.788x_1^{0.5} + 1.55x_2^{0.5} - 0.058(x_1x_2)^{0.5}$	0.990	0.980
2016–2018	$23.7 + 0.165x_1 + 0.248x_2 - 0.001x_1^2 - 0.0009x_2^2 - 0.0008x_1x_2$	0.994	0.989
	$31.6 + 0.062x_1 + 0.122x_2$	0.927	0.859
	$30.4 + 0.058x_1 + 0.173x_2 + 0.135x_3 - 0.0023x_3^2$	0.976	0.953

Примечание.  $x_1$  – последствие доз навоза, внесенных в занятом пару, т/га;  $x_2$  – доза внесения под овес азотных удобрений, кг N/га;  $x_3$  – доза внесения под овес фосфорно-калийных удобрений в расчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, кг/га.

прибавкой зерна овса (кг з.е.) в 3-й и 4-й ротациях была больше, чем в 1-й и 2-й.

Как на фоне последствия органических удобрений, так и при самостоятельно внесенном

полном минеральном удобрении наиболее окупаемым было применение его одинарной дозы.

На фоне внесения органических удобрений окупаемость минеральных удобрений была заметно

**Таблица 5.** Влияние удобрений на средние запасы нитратного и аммонийного азота под посевами овса в период его вегетации в слое 0–40 см почвы в 1-ю и 2-ю ротации 8-польного зернотравнопропашного севооборота

Вариант, №	Запасы N-NO <sub>3</sub> , кг/га			Размеры снижения запасов N-NO <sub>3</sub> от всходов до выметывания метелки	Запасы N-NH <sub>4</sub> , кг/га			Размеры снижения запасов N-NH <sub>4</sub> от всходов до выметывания метелки
	всходы (нитратная составляющая МФ <sub>N</sub> )	выметывание метелки	уборка		всходы	выметывание метелки	N-NH <sub>4</sub> -составляющая МФ <sub>N</sub>	
1	59	25	31	0.58	114	100	24	0.12
2	68	14	32	0.79	118	104	18	0.12
3	68	15	32	0.78	118	104	18	0.12
4	128	33	55	0.74	130	105	34	0.19
5	211	81	83	0.62	127	101	42	0.20
6	64	16	37	0.75	132	117	20	0.11
7	70	18	36	0.74	136	110	35	0.19
8	78	28	38	0.64	137	113	37	0.18
9	64	17	37	0.73	135	118	23	0.13
10	148	26	74	0.82	143	113	38	0.22
11	202	67	79	0.67	146	120	39	0.18
12	71	21	40	0.70	125	108	24	0.14
13	150	37	52	0.75	140	117	30	0.16
14	192	76	47	0.60	130	109	35	0.16
15	85	21	5	0.75	135	116	25	0.14
16	149	32	70	0.79	143	117	33	0.18
17	204	63	83	0.69	146	123	33	0.16

Примечания. 1. N-NH<sub>4</sub>-составляющая МФ<sub>N</sub> соответствует запасам аммонийного азота в жидкой фазе в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации овса (всходы). 2. Объемную массу в слое 0–20 см почвы принимали равной 1.30, в слое 20–40 см – 1.44 г/см<sup>3</sup>.

больше, чем одних минеральных. Например, в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота средняя окупаемость 1 кг д.в. полного минерального удобрения N40P40K40 прибавкой урожая овса составила 6.5 кг з.е. На фоне разных доз навоза для этой дозы NPK она возросла до 7.2–8.8 кг з.е./кг д.в. В 3-й и 4-й ротациях этот показатель в вариантах с последствием навоза возрос до 10.2–10.8 при 8.0 кг з.е./кг д.в. без навоза. Окупаемость одних фосфорно-калийных удобрений и двойной дозы NPK была существенно более низкой, чем одинарной дозы NPK.

Корреляционно-регрессионный анализ подтвердил решающее влияние азота минеральных и органических удобрений на урожайность овса (табл. 4). На последствие органических, действие азота минеральных удобрений и их сочетания приходилось от 73 до 98% вариации урожай-

ности этой культуры. При этом установлено, что положительное действие и последствие навоза на продуктивность возделываемых культур севооборотов было обусловлено преимущественно улучшением их азотного питания [6, 7].

В связи с этим были обобщены данные о динамике содержания нитратного и аммонийного азота как в течение вегетации овса, так и в ротациях севооборотов, изучена взаимосвязь их запасов с урожайностью культуры (табл. 5). Представлены данные о влиянии удобрений на запасы разных форм азота в серой лесной почве в течение вегетации овса за 1-ю и 2-ю ротации 8-польного севооборота. В вариантах контроля и фона известкования в слое 0–40 см почвы запасы нитратного азота в ранний период вегетации (всходы овса) составляли 59–68 кг/га. Применение РК-удобрений не изменяло их, а внесение возрастающих доз NPK (варианты 4, 5) повысило запасы нит-

**Таблица 6.** Влияние удобрений на средние запасы нитратного и аммонийного азота под посевами овса в течение его вегетации в слое 0–40 см почвы в 3-й и 4-й ротациях 7-польного зернотравяного севооборота

Вариант №	Запасы N-NO <sub>3</sub> , кг/га			Размеры снижения запасов N-NO <sub>3</sub> от всходов до выметывания метелки	Запасы N-NH <sub>4</sub> , кг/га			Размеры снижения запасов N-NH <sub>4</sub> от всходов до выметывания метелки
	всходы (N-NO <sub>3</sub> -составляющая МФ <sub>N</sub> )	выметывание метелки	уборка		всходы—выметывание метелки	уборка	N-NH <sub>4</sub> -составляющая МФ <sub>N</sub>	
1	37	16.4	23.0	0.56	80.4	62.3	32	0.22
2	40	18.1	24.2	0.54	84.5	69.7	27	0.18
3	44	17.6	20.6	0.60	85.0	69.2	26	0.19
4	92	23.4	36.7	0.74	90.4	73.6	23	0.19
5	142	40.2	55.2	0.72	98.0	70.2	39	0.28
6	45	16.8	31.4	0.63	87.2	80.2	11	0.08
7	49	19.3	33.4	0.61	83.2	76.0	12	0.09
8	58	19.2	36.4	0.67	84.6	78.0	10	0.08
9	54	17.4	28.7	0.68	85.8	79.0	10	0.08
10	97	31.3	39.6	0.68	88.9	68.2	31	0.23
11	158	39.4	59.0	0.75	90.2	67.9	30	0.25
12	56	19.8	32.4	0.65	82.9	74.0	14	0.11
13	98	30.6	38.5	0.69	92.9	71.0	32	0.24
14	151	40.6	55.2	0.73	103	77.8	35	0.25
15	65	20.6	35.0	0.68	80.8	67.8	19	0.16
16	114	30.8	48.0	0.73	97.3	74.7	31	0.23
17	170	45.0	62.6	0.74	108	80.4	38	0.26

Примечание. N-NH<sub>4</sub>-составляющая МФ<sub>N</sub> соответствует запасам аммонийного азота в жидкой фазе в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации овса (всходы).

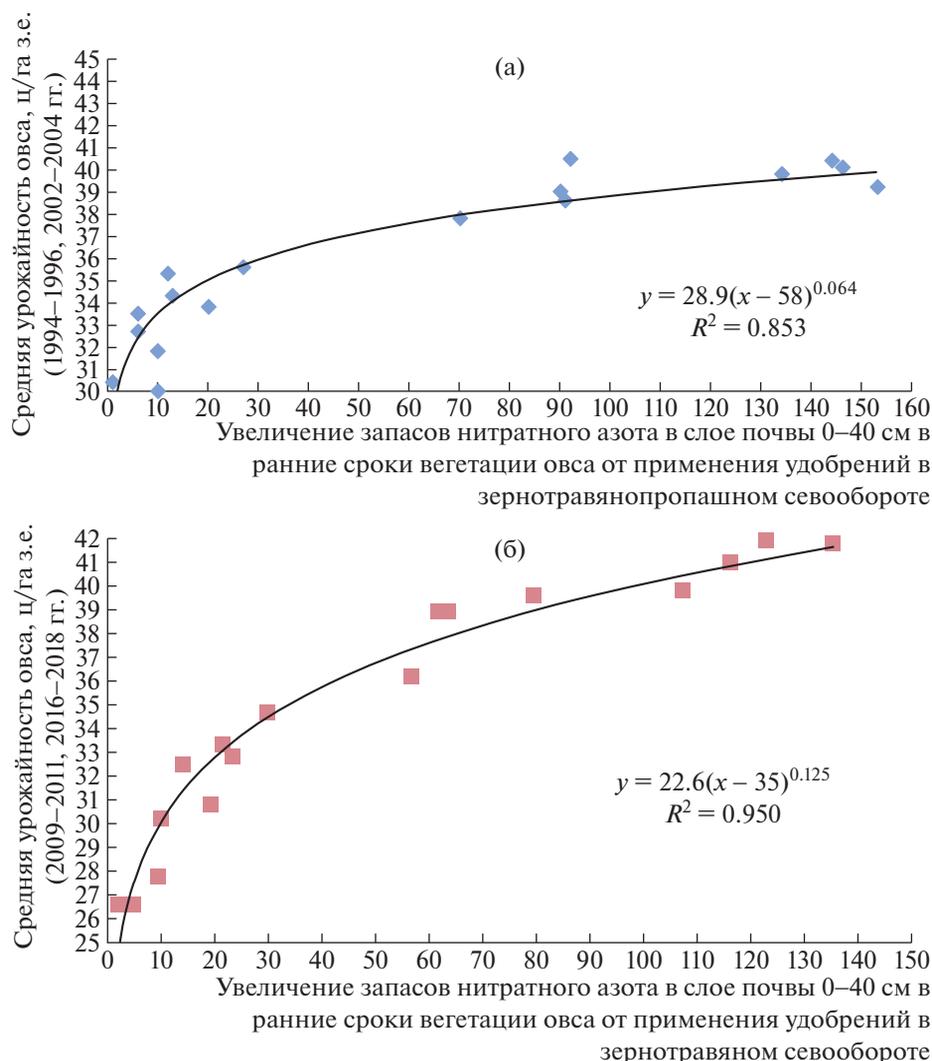
ратного азота до 128 и 211 кг/га соответственно. На 2-й год последействия (после картофеля) навоз слабее увеличивал запасы этой формы азота (с 59–68 до 64–78 кг/га). Сочетание последействия органических удобрений с внесением N40P40K40 по сравнению с одними минеральными удобрениями обеспечивало рост запасов N-NO<sub>3</sub> со 128 до 148–150 кг/га. При сочетании двойной дозы NPK с последействием навоза по сравнению с одними минеральными удобрениями этот показатель не увеличивался.

К периоду выметывания метелки из-за интенсивного потребления нитратов запасы этой формы азота закономерно снижались во всех вариантах опыта (до 14–81 кг/га), к уборке вновь несколько возрастали (до 31–83 кг/га). Размеры снижения запасов N-NO<sub>3</sub> от всходов до выметывания метелки варьировали от 58 до 82%.

Запасы аммонийного азота в слое 0–40 см почвы во время всходов варьировали от 114 до 146 кг/га. К периоду выметывания метелки они

снижались в вариантах опыта всего на 11–22%, вновь увеличивались после уборки овса. Очевидно, снижение запасов аммонийного азота от всходов до выметывания метелки происходило за счет поглощения ионов аммония из жидкой фазы почвы. При этом долю снижения запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе в каждом варианте опыта считали одинаковой и равной снижению запасов нитратного азота за указанный период. Следовательно, разделив размеры снижения запасов аммонийного азота от всходов до выметывания метелки на долю снижения запасов нитратного азота, получили средние исходные запасы аммонийного азота в жидкой фазе в период всходов овса. Суммируя эти запасы с запасами нитратного азота в период всходов, получили запасы азота в жидкой фазе в ранний период вегетации овса, т.е. мобильный фонд азота (МФ<sub>N</sub>).

Такие же расчеты выполнены и для 3-й и 4-й ротаций 7-польного зернотравяного севооборота (табл. 6), когда овес высевали после удобренных навозом озимых (яровых) культур. Для 7- и 8-польно-



**Рис. 1.** Взаимосвязь средней урожайности зерна овса (ц з.е./га): (а) – в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота, (б) – в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота с запасами нитратного азота в ранние сроки вегетации культуры (x, кг/га).

го севооборотов получены близкие размеры снижения запасов N-NO<sub>3</sub> за период всходы–выметывание метелки. Но для 7-польного севооборота наблюдали более высокие относительные размеры снижения запасов N-NH<sub>4</sub> (за исключением вариантов 6–9, 12 и 15). В последних вариантах испытывали последствие органических удобрений и их сочетание с РК-удобрениями. В 7-польном севообороте запасы нитратного и аммонийного азота в ранний период вегетации овса были более низкими, чем в 8-польном севообороте. Более низкие запасы N-NH<sub>4</sub> способствовали повышению коэффициентов их использования овсом. Лишь в вариантах 6–9, 12 и 15 минерализация навоза 1-го года последствия вела к пополнению запасов N-NH<sub>4</sub>, что снижало размеры уменьше-

ния их запасов во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м.

Показано, что аммонийная составляющая мобильного фонда азота (запасы N-NH<sub>4</sub>) в жидкой фазе серой лесной почвы при применении азотных удобрений была в несколько раз меньше нитратной составляющей МФ<sub>N</sub>, что свидетельствовало о решающей роли запасов нитратного азота в получении высоких урожаев овса.

В работах [3, 6, 7] было установлено, что средняя продуктивность севооборота по степенной или гиперболической зависимостям увеличивалась с ростом средних запасов нитратного азота в ранний период вегетации возделываемых культур и мобильного фонда азота. Поэтому была изучена возможность описания взаимосвязи средней

**Таблица 7.** Влияние удобрений на взаимосвязь между мобильным фондом азота и выносом его основной и побочной продукцией в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота

Вариант, №	Мобильный фонд азота	Вынос азота основной и побочной продукцией	Отношение выноса азота основной и побочной продукцией	
	кг/га		к МФ <sub>N</sub>	к запасам N-NO <sub>3</sub> в ранний срок
1	70	83	1.19	2.24
2	67	80	1.19	2.00
3	71	85	1.20	1.93
4	114	113	0.99	1.23
5	181	147	0.81	1.04
6	56	95	1.70	2.11
7	61	105	1.72	2.14
8	68	108	1.59	1.86
9	64	96	1.50	1.78
10	128	135	1.06	1.39
11	188	154	0.82	0.98
12	70	107	1.53	1.91
13	130	140	1.08	1.43
14	186	159	0.85	1.05
15	84	114	1.36	1.75
16	145	140	0.97	1.23
17	208	165	0.79	0.97

продуктивности овса в 8- и 7-польном севооборотах со средними запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации и величинами МФ<sub>N</sub>.

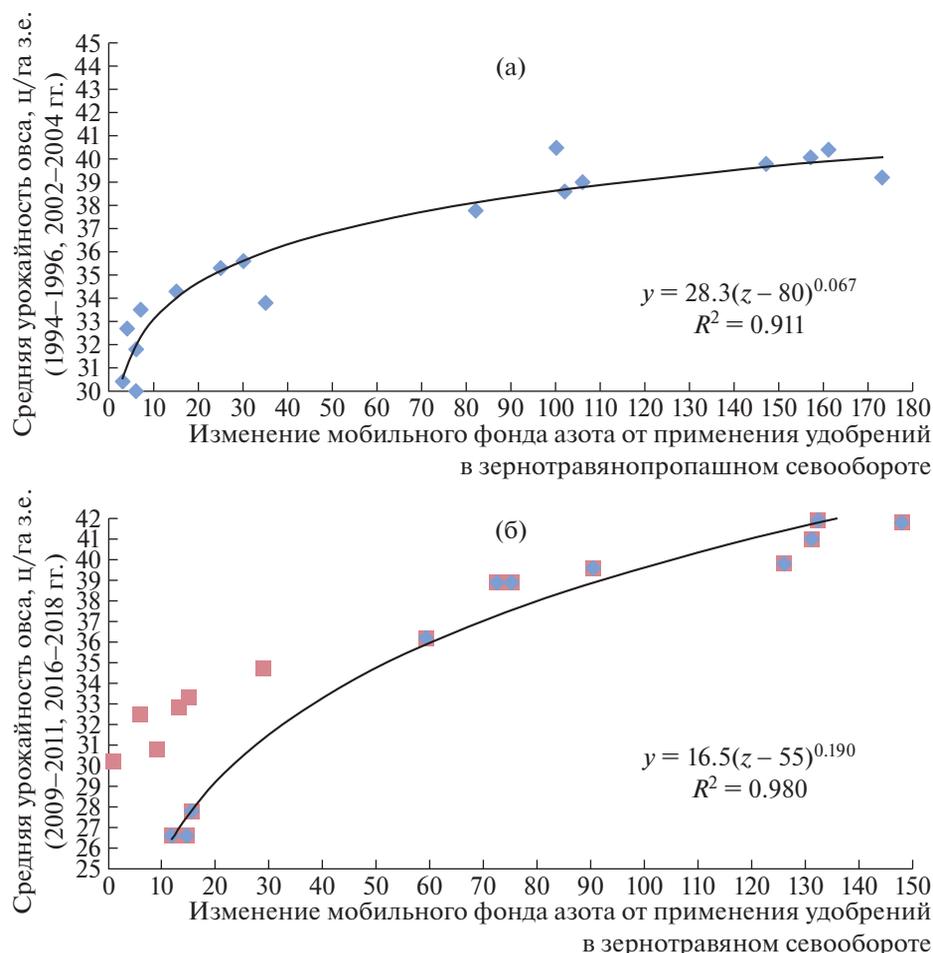
Для 8-польного севооборота ≈85% вариации урожайности овса приходилось на изменение запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы и ≈91% – на изменение мобильного фонда азота (рис. 1, 2). В 7-польном севообороте 95% вариации урожайности овса было обусловлено запасами нитратного азота и для 11-ти вариантов 98% вариации – мобильным фондом азота.

Для вариантов с последствием органических удобрений и сочетанием их с РК-удобрениями для одних и тех величин МФ<sub>N</sub> получена более высокая урожайность овса (рис. 2), чем следует из установленной степенной зависимости от указанного показателя. Как уже было выше сказано, это обусловлено повышающим урожайность овса дополнительным поступлением минерального азота за счет минерализации навоза, внесенного под предшественник.

Для оценки эффективности использования растениями элементов питания удобрений при-

меняют балансовый коэффициент ( $K_6$ ) их использования [4]. Он представляет отношение выноса элемента питания возделываемой культурой к дозе его внесения с удобрением. При  $K_6 = 1$  элемент питания используется полностью, при  $K_6 > 1$  происходит дополнительное поглощение его из почвы, что ведет к снижению ее плодородия; при  $K_6 < 1$  наблюдается обогащение им почвы. Эти же положения верны и для мобильного фонда азота, который выступает в качестве дозы азота, формирующейся в ранний период вегетации культуры.

Показано (табл. 7), что в вариантах без внесения азотных удобрений или навоза (варианты 1–3) МФ<sub>N</sub>, созданный в начале вегетации овса, был недостаточен для обеспечения полного выноса азота урожаем. Особенно заметно это выявлялось при последствии органических удобрений (варианты 6–8) и их сочетании с РК-удобрениями (варианты 9, 12, 15). Это указывало на то, что недостающие количества азота овес поглощает в процессе вегетации из почвы, в которую он поступает в результате трансформации органических форм азота в минеральные. Однако закладка репродуктивных органов овса происходит в ранние фазы его вегетации. Поэтому недостаток азо-



**Рис. 2.** Взаимосвязь средней урожайности зерна овса (ц з.е./га): (а) – в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота, (б) – в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота с мобильным фондом азота ( $z$ , кг/га).

та в этот период препятствует значительному росту урожайности культуры и соответственно выносу ей азота. Например, без применения азотных удобрений вынос азота овсом изменялся от 80 до 85 кг/га, в вариантах последствия навоза – от 95 до 108 кг/га, а при сочетании последствия органических с РК-удобрениями – от 96 до 114 кг/га.

При применении полного минерального удобрения и сочетании его с последствием органических вынос азота увеличивался до 113–165 кг/га. В этом случае отношение выноса азота основной и побочной продукцией к мобильному фонду азота было <1.1.

В работах [3, 6] в целом для севооборота установлено оптимальное отношение выноса азота культурами к величине  $МФ_N$ , которое находилось в пределах 0.95–1.29. Однако для овса оно было >0.97, но <1.10. Оно обеспечивалось применением под овес дозы  $N40P40K40$  и сочетанием этой

дозы  $NPK$  с последствием навоза. Бездефицитный баланс элементов питания должен устанавливаться в целом за ротацию севооборота [8].

В настоящее время широко применяют экспресс-метод определения нитратного азота, с ростом запасов которого в почве увеличивается урожайность овса (рис. 2), с помощью ион-селективного нитратного электрода. Поэтому определили и оптимальное отношение выноса азота основной и побочной продукцией к запасам нитратного азота в ранний период вегетации овса (слой 0–40 см почвы). Оно было >1.23, но <1.43 (табл. 7), что следует учитывать при почвенной диагностике минерального питания овса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на серых лесных почвах Верхневолжья в течение 4-х ротаций 8- и 7-польного севооборотов изучено влияние действия минеральных удобрений под овес, идущий после зер-

новых и пропашных культур с разным уровнем применения навоза, на урожайность зерна овса и запасы минеральных форм азота в слое 0–40 см почвы. Выявлена решающая роль азота, вносимого в составе NPK, и последствия органических удобрений на его урожайность. При высокой и очень высокой степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и обменным калием она проявлялась через увеличение в почве в ранний период вегетации овса запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе, сумма которых представляла мобильный фонд азота. Между урожайностью овса и запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в этот период установлена тесная степенная зависимость. Такая же связь отмечена между первым показателем и мобильным фондом азота.

На серых лесных почвах Верхневолжья при применении дозы N40P40K40 окупаемость 1 кг д.в. была более высокой (6.5–8.0 кг з.е./кг д.в.), чем при использовании двойной дозы NPK (3.8–5.5 кг з.е./кг д.в.) и одних фосфорно-калийных удобрений (1.5–2.2 кг з.е./кг д.в.). После удобрений навозом предшественников окупаемость 1 кг д.в. N40P40K40 повышалась с 6.5–8.0 до 7.2–10.8 кг з.е.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ненайденко Г.Н.* Рациональное применение удобрений в условиях рыночной экономики. Иваново, 2007. 350 с.
2. *Ильин Л.И., Окорков В.В., Ненайденко Г.Н.* Новые высокопродуктивные технологии возделывания овса в агроценозах Верхневолжья. Владимир, 2011. 40 с.
3. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А.* Удобрения и тренды в плодородии серых лесных почв Верхневолжья // Верхневолжский ФАНЦ. Иваново: ПресСто, 2018. 228 с.
4. Системы земледелия / Под ред. Сафонова А.Ф. М.: КолосС, 2006. 447 с.
5. Практикум по агрохимии / Под ред. Кидина В.В. М.: КолосС, 2008. 599 с.
6. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А.* Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль: ВладимирНИИСХ, 2017. 176 с.
7. *Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А.* Влияние запасов минеральных форм азота в серых лесных почвах ополья на продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2016. № 1. С. 17–26.
8. *Окорков В.В.* Оптимизация доз применения удобрений на серых лесных почвах Верхневолжья // Владимир. земледелец. 2018. № 1(83). С. 5–13.

## Influence of Fertilizers on the Content of Mobile Forms of Nitrogen and Yield of Oats on Gray Forest Soils of the Upper Volga Region

V. V. Okorkov<sup>a, #</sup>, O. A. Fenova<sup>a</sup>, and L. A. Okorkova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Upper Volga Federal Agricultural Research Center  
p. Noviy, Suzdal district, Vladimir region 601261, Russia

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

On gray forest soils of the upper Volga region during 4 rotations of 8- and 7-field crop rotations, the effect of mineral fertilizers for oats, coming after grain and tilled crops with different levels of manure application, on the grain yield of oats and reserves of mineral forms of nitrogen in the layer of 0–40 cm of soil was studied. To increase its yield the decisive role of the nitrogen applied in the composition of NPK, and the residual effect of cattle manure revealed. It was manifested through an increase in the soil reserves of nitrate and ammonium nitrogen in the liquid phase in the early vegetation period of the crop, the sum of which is the mobile nitrogen fund. A close power relationship between the yield of oats, on the one hand, and the reserves of nitrate nitrogen and its mobile fund, on the other, during this period, was established. It was found that the use of dose N40P40K40 on the studied soils was the most recouped (6.5–8.0 kg g.u./kg a.s.) than a double dose of NPK and some phosphorus-potassium fertilizers. After manure-fertilized predecessors, the payback of 1 kg of a.s. N40P40K40 increased by 1.1–1.35 times.

*Key words:* gray forest soil, oats, mineral fertilizers, the residual effect of manure, the use of moisture oats, the stocks variation of nitrate and ammonium nitrogen during the growing season, removal of nitrogen by oats.