

УДК 631.811:633.13

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗЫ, ВЫНОС И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ОВСОМ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А.

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный научный центр», п. Новый, Владимирская обл.,  
e-mail: okorkovvv@yandex.ru

В четырех ротациях 8- и 7-польных севооборотов изучено влияние удобрений на урожайность овса, химический состав основной и побочной продукции его, вынос основных элементов питания зерном и соломой, коэффициенты использования азота,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  минеральных и последействия органических удобрений. Показана решающая роль азота полного минерального удобрения на урожайность этой культуры. Наиболее окупаемым было применение дозы  $N_{40}P_{40}K_{40}$  и сочетание её с последействием органических удобрений. С ростом доз последействия навоза окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой урожая повышалась в 1,35 раза. Содержание сырого белка в зерне овса увеличивалось с ростом доз азота в составе NPK и органических удобрений. Применение под овес полного минерального удобрения в дозах  $N_{40}P_{40}K_{40}$  и  $N_{80}P_{80}K_{80}$  не обеспечивало положительный баланс азота. Для этого минеральные удобрения необходимо сочетать с органическими. В 8-польном севообороте по пропашному предшественнику коэффициент использования овсом последействия азота навоза при сочетании с  $N_{40}P_{40}K_{40}$  варьировал от 4,4 до 7,2%, с  $N_{80}P_{80}K_{80}$  – от 7,2 до 10,8%. Он возрастал с уменьшением доз навоза. В 7-польном севообороте (1-й год последействия навоза) более высокие коэффициенты использования последействия азота навоза, достигающие 7,4–11,6%, наблюдали при сочетании его с  $N_{40}P_{40}K_{40}$ . При измельчении и запаховании соломы зерновых культур при применении  $N_{40}P_{40}K_{40}$  во всех ротациях наблюдали отрицательный баланс азота и положительный  $K_2O$ , лишь в 4-й ротации – отрицательный баланс  $P_2O_5$ . При сочетании той же дозы NPK с последействием 40–80 т/га навоза, вносимого в занятый пар, баланс всех элементов питания под овсом был близок к нулевому или был положительным.

**Ключевые слова:** серая лесная почва Ополья, овёс, система удобрения, севообороты, эффективное плодородие

## DOSE OPTIMIZATION, REMOVAL AND USE OF NUTRIENTS BY OAT UNDER LONG-TERM USE OF FERTILIZERS

Okorkov V.V., Fenova O.A., Okorkova L.A.

Upper Volga Federal Agricultural Scientific Center, Novij, Vladimir region,  
e-mail: okorkovvv@yandex.ru

In 4 rotations of 8-and 7-field crop rotations, the influence of fertilizers on the yield of oats, the chemical composition of its main and by-products, the removal of the main nutrients by grain and straw, the use coefficients of nitrogen,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  mineral and the aftereffect of organic fertilizers were studied. The decisive role of nitrogen of complete mineral fertilizer on the yield of this crop is shown. The use of a dose of  $N_{40}P_{40}K_{40}$  and its combination with the aftereffect of organic fertilizers was the most recouped. With the increase in doses of manure aftereffect, the payback of 1 kg of mineral fertilizers increased by 1.35 times. The content of crude protein in oat grain increased with increasing doses of nitrogen in the NPK and organic fertilizers. Application under oats of mineral fertilizers in doses  $N_{40}P_{40}K_{40}$  and  $N_{80}P_{80}K_{80}$  did not provide a positive nitrogen balance. To do this, mineral fertilizers should be combined with organic. In the 8-field crop rotation on the tilled predecessor, the coefficient of oat use of the aftereffect of manure nitrogen in combination with  $N_{40}P_{40}K_{40}$  varied from 4.4 to 7.2%, with  $N_{80}P_{80}K_{80}$  – from 7.2 to 10.8%. It increased with decreasing doses of manure. In the 7-field crop rotation (1st year of manure aftereffect), higher manure nitrogen aftereffect utilization rates, reaching 7.4–11.6%, were observed when combined with  $N_{40}P_{40}K_{40}$ . When grinding and plowing straw of grain crops in the application of  $N_{40}P_{40}K_{40}$  in all rotations a negative balance of nitrogen and positive  $K_2O$ , only in the 4th rotation a negative balance of  $P_2O_5$  observed. When combined with the same dose of NPK with the aftereffect of 40–80 t/ha of manure introduced into the occupied fallow, the balance of all nutrients under oats was close to zero or positive.

**Keywords:** gray forest soils of Opolye, oats, fertilization system, crop rotation, effective fertility

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

В севообороте овес лучше размещать после пропашных (картофеля) или зерно-

вых бобовых культур, так как он потребляет много азота. Высокие урожаи овса получают при размещении после зерновых культур, посеянных по удобренным парам [1].

В работах [1, 2] для получения урожайности овса 30–35 и 38–45 ц/га при нормальных и интенсивных технологиях рекомендуется внесение 40–70 и 60–90 кг/га азота минеральных удобрений. В этом случае предшественниками являются озимые и пропашные культуры, под которые рекомендуется внесение 80 т/га органиче-

ских удобрений. При внесении под овес  $N_{30}P_{30}K_{30}$  на плакорных серых лесных почвах Ополя урожайность овса варьировала от 35,0 до 36,4, а на серых лесных почвах со вторым гумусовым горизонтом – от 38,8 до 42,7 ц/га [3]. В то же время на дерново-подзолистых почвах Верхневолжья при этой дозе удобрений урожайность овса повышалась с 17,7 до 21,0 ц/га, а при сочетании с защитой от болезней – до 24,7–27,5 ц/га [4]. Дозы азотных удобрений 45–60 кг/га N под овес на серых лесных почвах рекомендуются и в работе [5].

На дерново-подзолистых почвах Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции ВНИИ люпина [6] в 8-польном зерноотравно-пропашном севообороте изучалось влияние доз азотно-калийных удобрений ( $N_{60}K_{60}$  и  $N_{90}K_{90}$ ) на качество зерна овса, идущего после картофеля. При применении  $N_{90}K_{90}$  по сравнению с контролем в зерне овса наблюдали увеличение содержания сырого белка. По содержанию нитратов в нем превышения ПДК не установлено.

На серых же лесных почвах Верхневолжья данных о влиянии доз вносимых удобрений на химический состав продукции овса, размерах выноса ей элементов питания, их использовании недостаточно для разработки оптимальных доз удобрений под эту культуру.

Цель исследования: на серых лесных почвах Ополя оценить влияние различных доз минеральных и последствий органических удобрений на урожайность и химический состав продукции овса, идущего после удобренных разными дозами навоза озимых (яровых) и пропашных культур, вынос ей основных элементов питания и коэффициенты их использования.

#### Материалы и методы исследования

Многолетний стационарный опыт был заложен на серых лесных почвах в 1991–1993 гг. [7]. В опыте на фоне известности изучали эффективность как видов и доз минеральных удобрений, так и доз подстилочного навоза крупного рогатого скота, и их взаимодействие. В первой ротации 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.

Почва опытных полей – серая лесная среднесуглинистая с содержанием гуму-

са 2,9–4,0%, подвижного фосфора (по Кирсанову) 130–200, обменного калия (по Масловой) 150–180 мг/кг почвы,  $pH_{KCl}$  5,1–5,5;  $N_T$  3,2–3,5, сумма поглощенных оснований 19,4–22,3 мг-экв/100 г почвы. 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 почвы 0–40 см [7].

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. Применяли аммиачную селитру, двойной суперфосфат (простой суперфосфат) и хлористый калий. 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  $N_{40}P_{40}K_{40}$  и  $N_{80}P_{80}K_{80}$  весной вносили только аммиачную селитру в дозах 60 и 75 кг/га азота (PK удобрения не применяли), а после распашки трав 2-го года пользования (2004–2006 гг.) высевали яровую пшеницу. Доза фосфорно-калийных удобрений под нее составила  $P_{60}K_{60}$ , одинарная доза полного минерального –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , двойная доза –  $N_{120}P_{120}K_{120}$ .

В третьей и четвертой ротациях после занятого пара высевали озимую (яровую) пшеницу, исключили пропашную культуру, под зерновые культуры, идущие после трав 2-го года пользования, применяли следующие дозы удобрений:  $P_{40}K_{40}$ ,  $N_{40}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{80}P_{80}K_{80}$ . Во второй и последующих ротациях исследования вели по последствию известкования.

Во всех четырех ротациях солому зерновых культур измельчали и запахивали.

Агрохимические анализы выполняли по методикам, изложенным в работе [8]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT VIUA и EXCEL.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

В 1-й ротации 8-польного севооборота (табл. 1) при варьировании гидротермического коэффициента (ГТК) от 1,05 до 1,48, суммы осадков за период вегетации от 239 до 326 мм, суммы активных температур от 1731 до 2253 °С, средняя урожайность зерна овса в вариантах без удобрений варьировала от 25,6 до 27,1 ц/га з.е. (от 32,0 до 33,9 ц/га зерна) (табл. 2). Рост ГТК с 1,28 до 1,55 и среднегодовых осадков с 275 до 353 мм во 2-й ротации способствовали увеличению средней урожайности овса в соответствующих вариантах с 25,6–27,1 до

33,8–34,3 ц/га з.е. (до 42,2–42,9 ц/га зерна). Это совпадает с отзывчивостью этой культуры на увлажнение.

В соответствии с погодными условиями (величиной ГТК) урожайность овса в 7-польном севообороте по сравнению с 8-польным в вариантах без применения удобрений снизилась с 30,0–30,4 до 26,6 ц/га з.е. Однако в вариантах с применением полного минерального удобрения и сочетанием его с последствием органических удобрений она не уменьшилась или несколько возросла. В итоге практически во всех вариантах окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой зерна овса (кг з.е.) в 3-й и 4-й ротациях была выше, чем в 1-й и 2-й.

**Таблица 1**

Распределение осадков, гидротермический коэффициент (ГТК) и сумма активных температур за годы исследований

Годы исследований	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 °С за май – 1-ю декаду сентября, °С	ГТК	Сумма осадков за год, мм
Среднегодулетние 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

Таблица 2

Влияние удобрений на урожайность зерна овса (ц/га) и их окупаемость

Вариант опыта	8-польный зернотравяно-пропашной севооборот			7-польный зернотравяной севооборот			Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений зерном овса, кг	
	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	33,9	42,2	38,0	29,8	36,9	33,4	–	–
2. Известь (фон – Ф)	32,0	42,9	37,4	29,2	37,2	33,4	–	–
3. P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	34,3	45,2	39,8	29,9	39,5	34,7	2,8	1,9
4. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	42,1	52,2	47,2	39,9	50,6	45,2	8,1	10,0
5. N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	45,0	52,9	49,0	47,9	51,8	49,8	4,8	6,9
6. Навоз 40 т/га (Н40)	34,5	47,2	40,8	35,1	40,4	37,8	–	–
7. Н60	39,1	49,1	44,1	38,2	43,0	40,6	–	–
8. Н80	36,6	48,0	42,3	36,2	45,6	40,9	–	–
9. Н40 + РК	35,5	48,2	41,8	36,0	41,0	38,5	5,5	6,5
10. Н40 + NPK	44,2	53,5	48,8	45,0	52,2	48,6	9,4	12,8
11. Н40 + 2NPK	47,6	53,2	50,4	50,4	54,4	52,4	5,4	8,0
12. Н60 + РК	35,6	50,1	42,8	38,5	44,8	41,6	6,8	10,5
13. Н60 + NPK	45,1	56,1	50,6	45,4	51,9	48,6	11,0	12,8
14. Н60 + 2NPK	45,8	53,8	49,8	49,8	53,6	51,2	5,1	7,5
15. Н80 + РК	38,5	50,5	44,5	38,4	48,4	43,4	8,8	11,0
16. Н80 + NPK	45,2	51,4	48,3	45,6	53,4	49,5	9,0	13,5
17. Н80 + 2NPK	46,0	54,2	50,1	49,9	54,5	52,2	5,2	7,9
НСР <sub>05</sub> , ц/га з.е.	1,9	6,4	4,2	3,5	3,1	3,3	–	–

Примечания. 1. Варианты с 3 по 17 на фоне извести. 2. Одинарная доза NPK составляла N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>, двойная – N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>.

Как на фоне последствий органических удобрений, так и самостоятельно вносимое полное минеральное удобрение было наиболее окупаемым при применении одинарной дозы его. На фоне органических удобрений окупаемость минеральных удобрений была заметно выше, чем одних минеральных. Так, в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота средняя окупаемость 1 кг д.в. полного минерального удобрения (N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>) прибавкой урожая составила 8,1 кг зерна овса. На фоне разных доз навоза для этой дозы NPK она возросла до 9,0–11,0 кг зерна/кг д.в. В 3-й и 4-й ротациях этот параметр в вариантах с последствием навоза возрос до 12,8–13,5 кг зерна/кг д.в. при 10,0 без навоза. Окупаемость одних фосфорно-калийных удобрений и двойной дозы NPK была достоверно более низкой, чем одинарной дозы NPK.

Видно также (табл. 2), что решающее влияние на урожайность овса оказало применение азота минеральных удобрений и последствие навоза.

Из данных табл. 3 следует, что при известковании серых лесных почв Ополья в зерне овса наблюдается тенденция роста сырого белка и снижения содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, слабое влияние на содержание K<sub>2</sub>O и NO<sub>3</sub>. Применение РК удобрений по сравнению с фоном известкования несколько повышало в зерне овса содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, не изменяло содержания нитратов. Полное минеральное удобрение N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> несколько увеличивало содержание нитратов, но уменьшало содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (за 1-ю и 2-ю ротации). При двойной дозе NPK в зерне овса заметно возросло содержание сырого белка и нитратов, в 1-й и 2-й ротациях снизилось содержание K<sub>2</sub>O.

Таблица 3

Влияние удобрений на содержание сырого белка,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  и нитратов в зерне овса в четырех ротациях севооборотов, %

Вариант	Сырой белок, %		$P_2O_5$ , %		$K_2O$ , %		$NO_3$ , мг/кг	
	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации
Контроль	10,1	10,2	0,91	1,08	0,63	0,56	43,2	39,8
Известь	10,4	10,4	0,88	1,05	0,62	0,56	41,6	37,6
РК	9,5	10,4	0,90	1,10	0,62	0,57	43,9	39,6
НПК	10,5	10,9	0,81	1,08	0,63	0,55	47,6	44,5
2 НПК	11,3	12,0	0,87	1,13	0,54	0,59	85,8	55,4
$H_{40}$	10,5	10,6	0,89	1,10	0,58	0,59	42,4	40,3
$H_{60}$	10,1	10,8	0,86	1,11	0,59	0,58	44,1	41,0
$H_{80}$	10,5	10,8	0,86	1,13	0,59	0,58	42,3	39,9
$H_{40}$ + РК	9,9	10,5	0,89	1,10	0,66	0,57	48,2	41,0
$H_{40}$ + НПК	11,1	11,6	0,87	1,10	0,60	0,58	56,5	50,7
$H_{40}$ + 2 НПК	11,9	11,9	0,91	1,10	0,59	0,58	88,2	59,3
$H_{60}$ + РК	10,3	10,7	0,88	1,13	0,63	0,59	47,5	43,8
$H_{60}$ + НПК	11,3	11,7	0,87	1,10	0,58	0,58	55,7	48,7
$H_{60}$ + 2 НПК	12,2	12,1	0,87	1,11	0,64	0,61	101,5	64,1
$H_{80}$ + РК	10,5	10,9	0,88	1,14	0,69	0,59	50,6	49,7
$H_{80}$ + НПК	11,4	11,6	0,85	1,08	0,65	0,57	59,0	54,1
$H_{80}$ + 2 НПК	12,3	12,1	0,90	1,12	0,61	0,59	108,9	64,9

По сравнению с фоном известкования органические удобрения слабо повышали содержание сырого белка, особенно в зернотравном севообороте, и в 3-й и 4-й ротациях – содержание  $P_2O_5$ , не изменяли концентрацию  $K_2O$  и нитратов. С ростом доз органических удобрений при сочетании с РК наблюдали тенденцию роста содержания сырого белка,  $P_2O_5$  (3-я и 4-я ротации), слабое возрастание нитратов с 37,6–41,6 до 49,7–50,6 мг/кг зерна. При сочетании одинарной дозы НПК с возрастающими дозами навоза установлено повышение в зерне овса сырого белка (с 10,4 до 11,7%), нитратов – с 37,6–41,6 до 54,1–59,0 мг/кг зерна. При сочетании  $N_{80}P_{80}K_{80}$  с последствием навоза происходили дальнейший рост в зерне сырого белка (до 12,1–12,3%) и нитратов (с 37,6–41,6 до 64,9–109 мг/кг), содержания  $P_2O_5$  (с 0,88–1,05 до 0,91–1,12%). Резкое повышение содержания нитратов в зерне овса произошло во 2-й ротации, которая характеризовалась более сильным увлажнением вегетационных периодов.

Из данных табл. 4 видно, что средний вынос азота с отчуждаемой продукцией

(зерном овса) по ротациям севооборота варьировал от 56 до 116 кг/га, возрастал с уровнем интенсификации. При этом важно, что в вариантах применения одинарной и двойной доз полного минерального удобрения он превышал дозы внесения в почву азота (табл. 2), т.е. баланс по азоту был отрицательным.

Это подтверждается балансовыми коэффициентами использования азота (отношение хозяйственного выноса азота к дозе его применения), которые были выше единицы [9]. При совместном применении полного минерального удобрения с навозом баланс азота под овсом был положительным. При внесении только 40 т/га навоза в занятом пару в 8-польном севообороте вынос азота культурой превышал его поступление в почву.

Суммарный вынос азота зерном и соломой овса (табл. 5) в 1-й, 3-й и 4-й ротациях севооборотов варьировал от 73,3 до 181 кг/га, а во 2-й в наиболее влажные годы – от 148 до 294 кг/га. В эти годы разностные коэффициенты использования 40 и 80 кг/га азота составили соответственно 175 и 138%. Они

свидетельствовали о высоком потреблении овсом минерального азота в результате интенсивной трансформации легкогидролизуемого азота почвы после пропашной культуры. В 3-й и 4-й ротациях по сравнению

с 1-й и 2-й заметно снизился разностный коэффициент использования азота одинарной дозы NPK (с 127 до 84,2%). Для азота двойной дозы NPK это снижение было невысоким (с 93,2 до 84,5%).

Таблица 4

Влияние удобрений на вынос азота зерном овса по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос N зерном овса, кг/га				Вариант	Вынос N зерном овса, кг/га			
	1-я ротация	2-я ротация	3-я ротация	4-я ротация		1-я ротация	2-я ротация	3-я ротация	4-я ротация
Контроль	59,3	77,8	56,3	60,3	H <sub>40</sub> + NPK	86,4	107	96,5	96,7
Известь	58,9	79,0	55,7	61,0	H <sub>40</sub> + 2NPK	101	112	110	103
PK	57,8	77,1	58,8	63,4	H <sub>60</sub> + PK	63,7	93,5	75,7	76,4
NPK	74,5	103	80,8	85,9	H <sub>60</sub> + NPK	87,9	116	99,6	95,6
2 NPK	88,2	107	106	100	H <sub>60</sub> + 2 NPK	101	112	107	104
H <sub>40</sub>	62,8	88,9	67,3	68,0	H <sub>80</sub> + PK	70,8	95,4	75,9	85,2
H <sub>60</sub>	66,5	92,9	74,3	74,0	H <sub>80</sub> + NPK	89,6	107	97,0	98,3
H <sub>80</sub>	65,8	95,5	70,1	78,7	H <sub>80</sub> + 2 NPK	102	116	115	107
H <sub>40</sub> + PK	61,4	87,0	69,8	68,4					

Таблица 5

Влияние удобрений на вынос азота основной и побочной продукцией и коэффициенты использования его овсом с подсевом многолетних трав по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос N зерном и соломой по ротациям, кг/га				K <sub>исп</sub> N по ротациям, %	
	1-я, 1994–1996 гг.	2-я, 2002–2004 гг.	3-я, 2009–2011 гг.	4-я, 2016–2018 гг.	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации
Контроль	73,3	148	89,1	77,0	–	–
Известь	78,4	162	82,4	77,3	–	–
PK	74,4	164	89,6	79,5	–	–
NPK	110	232	119	108	127	84,2
2 NPK	117	272	159	136	93,2	84,5
H <sub>40</sub>	80,9	176	103	87,6	4,8	8,5
H <sub>60</sub>	92,7	190	115	93,9	8,2	9,0
H <sub>80</sub>	81,7	187	112	102	4,2	7,6
H <sub>40</sub> + PK	83,4	172	104	87,0	4,9	6,0
H <sub>40</sub> + NPK	116	250	147	122	7,0	11,6
H <sub>40</sub> + 2 NPK	142	285	169	138	10,8	3,2
H <sub>60</sub> + PK	87,9	177	119	95,2	5,1	8,4
H <sub>60</sub> + NPK	117	262	156	125	7,2	9,9
H <sub>60</sub> + 2 NPK	145	294	172	145	9,6	4,0
H <sub>80</sub> + PK	91,6	197	121	108	7,3	8,3
H <sub>80</sub> + NPK	117	255	152	128	4,4	7,4
H <sub>80</sub> + 2 NPK	145	294	181	149	7,2	4,8

Примечание. В вариантах 4 и 5 представлены данные по разностным коэффициентам использования азота минеральных удобрений, в 6–17 – разностные коэффициенты использования последствий азота органических удобрений.

Таблица 6

Влияние удобрений на вынос  $P_2O_5$  основной продукцией овса по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос $P_2O_5$ зерном овса, кг/га				Вариант	Вынос $P_2O_5$ зерном овса, кг/га			
	1-я рота-ция	2-я рота-ция	3-я рота-ция	4-я рота-ция		1-я рота-ция	2-я рота-ция	3-я рота-ция	4-я рота-ция
Контроль	32,5	34,3	30,5	45,2	$H_{40} + NPK$	42,5	41,4	46,4	63,6
Известь	29,4	36,0	27,6	45,9	$H_{40} + 2 NPK$	50,0	41,0	53,4	67,6
PK	31,3	40,6	30,5	49,7	$H_{60} + PK$	32,0	43,1	42,5	56,4
NPK	34,5	41,8	41,7	60,1	$H_{60} + NPK$	43,3	43,5	47,7	64,0
2 NPK	42,8	41,8	51,7	66,5	$H_{60} + 2 NPK$	43,5	42,1	52,6	67,8
$H_{40}$	31,1	39,4	35,0	48,3	$H_{80} + PK$	37,0	40,9	41,4	61,5
$H_{60}$	36,0	39,4	40,1	52,4	$H_{80} + NPK$	42,6	39,3	48,1	63,0
$H_{80}$	33,7	38,5	39,0	56,9	$H_{80} + 2 NPK$	46,0	43,5	55,4	70,8
$H_{40} + PK$	32,7	40,9	38,8	49,4					

В 1-й и 2-й ротациях во 2-й год последействия навоза разностный коэффициент использования его азота при применении 60 т/га навоза был выше, чем при применении 40 и 80 т/га навоза. Он был более высоким и при сочетании доз навоза 40 и 60 т/га с минеральными удобрениями. Средний разностный коэффициент использования азота навоза (по трем дозам) закономерно возрастал с 5,8 от влияния РК до 9,2% от влияния 2 NPK, то есть продолжало наблюдаться мобилизующее действие высоких доз минерального азота на почвенный азот. В целом же на серых лесных почвах Ополья на 3-й год действия навоза разностные коэффициенты использования его азота в зернотравяно-пропашном севообороте не превышали 11% (сочетание двойной дозы NPK с 40 т/га навоза).

В 3-й и 4-й ротациях зернотравяного севооборота (2-й год действия навоза) максимальная величина коэффициента использования азота навоза наблюдалась при дозе его внесения 60 т/га (9,0%). При этой дозе навоза выявлен и максимальный коэффициент использования азота навоза (7,8%) на фоне применения четырех доз минеральных удобрений (0, РК, NPK, 2 NPK). По сравнению с применением только навоза РК удобрения несколько снижали коэффициент использования азота навоза (с 8,4 до 7,6%), одинарная доза NPK повышала его до 9,6% а двойная доза NPK снижала до 4,0%. По 2-му году действия навоза коэффициенты использования азота его были ниже 11,6%. По сравнению с 3-м годом действия навоза они были более высокими в вариантах применения одних органических удобрений и сочетания их с РК и одинарной дозы NPK.

Высокая доза азота двойной дозы NPK сдерживала использование его из органических удобрений на 2-й год действия их, но повышала на 3-й год действия.

Из величин балансового коэффициента использования  $P_2O_5$  одинарной дозы NPK по ротациям севооборотов (1-я – 86%, 2-я – 104, 3-я – 104, 4-я – 150%) следует (табл. 6), что в 1-й, 2-й и 3-й ротациях применяемая доза 40 кг/га  $P_2O_5$  в составе полного минерального удобрения обеспечивала близкий к нулевому баланс фосфора. Лишь в 4-й ротации из-за высокого содержания  $P_2O_5$  в зерне овса, связанного с неблагоприятными погодными условиями для оптимального выполнения зерновок овса, наблюдали отрицательный баланс фосфора. С увеличением дозы  $P_2O_5$  в составе двойной дозы NPK балансовый коэффициент использования фосфора становился менее 100%, что свидетельствовало об обогащении серой лесной почвы фосфором. Учитывая восстановительную способность серой лесной почвы Ополья около 25 кг/га  $P_2O_5$  ежегодно [7], следует считать одинарную дозу применения  $P_2O_5$  под овес в составе NPK оптимальной и в 4-й ротации севооборота.

В 8-польном зернотравяно-пропашном севообороте вынос фосфора зерном и соломой овса варьировал от 47,6 до 79,2 кг/га, увеличиваясь с повышением уровня применения удобрений (табл. 7). Разностный коэффициент использования фосфора РК-удобрений составил 9,8%. При применении такой же дозы  $P_2O_5$  в составе NPK наблюдали резкое повышение урожайности этой культуры (табл. 2), что увеличивало вынос  $P_2O_5$  и коэффициент его использования из

минеральных удобрений с 9,8 до 20,2%. Близкую величину его получили и при применении двойной дозы  $P_2O_5$  в составе полного минерального удобрения, что обусловлено дальнейшим ростом урожайности овса, повышением выноса  $P_2O_5$  основной и побочной продукцией.

Средний коэффициент использования фосфора навоза 2-го года последствия за 1-ю и 2-ю ротации в вариантах опыта варьировал от 0 до 6,6%. Он был максимальным при сочетании одинарной дозы NPK с последствием дозы навоза 60 т/га (6,6%). При сочетании РК удобрений с органическими удобрениями его величина была минимальной (0–2,7%), так как в сравнении с РК удобрениями урожайность овса от последствия навоза заметно повышалась лишь во 2-й ротации (табл. 2). Средний коэффициент использования  $P_2O_5$  одних органических удобрений составил 3,5%, сочетания с двойной дозой NPK – 3,8%. В целом по опыту за 1-ю и 2-ю ротации при сочетании органических удобрений с минераль-

ными более полно использовался фосфор последствия 60 т/га навоза (4,8%).

В 3-й и 4-й ротациях коэффициент использования  $P_2O_5$  одинарной дозы NPK достигал 39,4% двойной дозы – 35,6%. Использование  $P_2O_5$  одних фосфорно-калийных удобрений составляло 14,6%. Эти данные совпадают с изменением коэффициента использования этого элемента питания по ротациям севооборотов [7].

В 3-й и 4-й ротациях коэффициент использования  $P_2O_5$  1-го года последствия органических удобрений был максимальным для одних органических удобрений (6,0%), снижался до 5,4% при сочетании с РК удобрениями, до 3,8 и 1,5% при сочетании с одинарной и двойной дозами NPK. Последствие разных доз органических удобрений в сочетании с минеральными было близким ( $K_{исп} P_2O_5$  навоза варьировал от 4,1 до 4,4%). Отметим, что высокий вынос  $P_2O_5$  зерном и соломой овса в 4-й ротации 7-польного севооборота связан со значительным выносом его подгоном и подседом.

Таблица 7

Влияние удобрений на вынос фосфора основной и побочной продукцией и коэффициент его использования овсом по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос $P_2O_5$ зерном и соломой овса по ротациям, кг/га				Разностный $K_{исп} P_2O_5$ по ротациям	
	1-я, 1994–1996 гг.	2-я, 2002–2004 гг.	3-я, 2009–2011 гг.	4-я, 2016–2018 гг.	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации
Контроль	47,6	53,1	45,6	80,9	–	–
Известь	51,0	57,2	43,0	81,2	–	–
РК	53,6	62,4	47,0	88,9	9,8	14,6
NPK	54,8	69,5	59,7	96,0	20,2	39,4
2 NPK	66,3	75,6	72,2	109	21,0	35,6
$H_{40}$	52,4	60,9	53,3	87,9	2,6	6,1
$H_{60}$	61,6	62,5	58,5	87,3	5,4	5,8
$H_{80}$	56,2	61,9	59,2	98,4	2,5	6,0
$H_{40} + РК$	52	62,4	58,1	90,8	0	5,5
$H_{40} + NPK$	63,3	71,9	65,3	102	5,5	4,2
$H_{40} + 2 NPK$	75	75,4	74,1	106	4,4	0,8
$H_{60} + РК$	49,4	67,6	61,6	96,4	1,8	5,8
$H_{60} + NPK$	70,3	73,7	68,0	101	6,6	3,4
$H_{60} + 2 NPK$	79,2	78,1	75,5	111	5,2	1,4
$H_{80} + РК$	62,3	64,5	62,1	99,2	2,7	4,8
$H_{80} + NPK$	72,2	70,0	69,0	107	4,5	3,7
$H_{80} + 2 NPK$	70,8	77,8	76,6	119	1,7	2,4

Примечание. В вариантах 4 и 5 представлены данные по разностным коэффициентам использования  $P_2O_5$  минеральных удобрений, в 6–17 – разностные коэффициенты использования последствия  $P_2O_5$  органических удобрений.



Более высокий коэффициент использования  $P_2O_5$  навоза при сочетании его с одинарной и двойной дозами NPK в 8-польном севообороте, чем в 7-польном, обусловлен более высоким мобилизирующим действием на почву азота минеральных удобрений при возделывании пропашной культуры.

В вариантах применения одинарной и двойной доз полного минерального удобрения балансный коэффициент использования  $K_2O$  был меньше 100% (табл. 8). Это свидетельствовало о том, что после зернового предшественника, солома которого измельчается и запахивается, на серых лесных почвах применение под овёс дозы  $K_2O$  40 кг/га в составе NPK является достаточным для обеспечения положительного или близкого к нулевому баланса  $K_2O$ . После пропашного предшественника с высоким потреблением калия для этого необходимы исследования и по размерам разностного коэффициента использования  $K_2O$  удобрений.

В 1-й и 2-й ротациях  $K_{исп}$   $K_2O$  в вариантах внесения фосфорно-калийных удобрений составил 18,8%. Резко возрастающая урожайность овса при применении той же дозы калия в составе полного минерального удобрения обеспечила более высокое потребление  $K_2O$ , особенно во 2-й ротации, и рост коэффициента использования за 2-ю ротацию до 104% (табл. 9). После пропашной культуры во влажные годы высокая урожайность овса, соответствующая запасам в почве минерального азота, способствовала значительному потреблению  $K_2O$  из почвы. Разностный коэффициент использования  $K_2O$  одинарной дозы NPK достигал 155%, то есть в эти годы значительную часть калия, соизмеримую с размерами ежегодной восстановительной способности (около

80 кг/га) [7], овес использовал из почвы. С учетом её, а также последствий удобрений можно считать, что эта доза калия не лимитировала урожайность этой культуры. При двойной дозе NPK увеличение дозы  $K_2O$  до 80 кг/га снизило  $K_{исп}$  её в среднем за 1-ю и 2-ю ротации до 64,2%.

В 3-й и 4-й ротациях после зернового предшественника коэффициенты использования  $K_2O$  при применении РК и двойной дозы NPK были такими же, как и в 1-й и 2-й ротациях, но заметно снизился  $K_{исп}$  дозы калия в составе одинарной дозы NPK (до 63,8%).

В 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота коэффициенты использования  $K_2O$  навоза 3-го года действия варьировали от 0,2 до 9,2%. Наиболее высокими они были при сочетании органических удобрений с двойной дозой NPK, т.е. в вариантах с наиболее интенсивной трансформацией почвенного азота, наиболее низкими – в вариантах сочетания органических удобрений с РК. Близкие  $K_{исп}$  наблюдались при последствии одних органических удобрений и при их сочетании с одинарной дозой NPK. Более эффективно использовался калий при сочетании 60 т/га навоза с минеральными удобрениями. Коэффициенты использования  $K_2O$  навоза 1-го года последствия были более высокими, чем навоза 2-го года последствия, и варьировали от 3,2 до 12,9%. Коэффициенты использования калия одних органических удобрений, сочетания их с РК и одинарной дозой NPK были близкими (9,2–10,7%). Сочетание двойной дозы NPK с органическими удобрениями снижало их до 6,0%. Коэффициенты использования сочетания навоза с минеральными удобрениями снижались с 9,9 до 7,9% с увеличением доз внесения навоза с 40 до 80 т/га.

Таблица 8

Влияние удобрений на вынос  $K_2O$  зерном овса по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос $K_2O$ зерно овса, кг/га				Вариант	Вынос $K_2O$ зерно овса, кг/га			
	1-я ротация	2-я ротация	3-я ротация	4-я ротация		1-я ротация	2-я ротация	3-я ротация	4-я ротация
Контроль	22,4	25,4	14,4	23,5	$H_{40} + NPK$	28,8	29,4	23,6	34,6
Известь	21,4	24,1	15,2	24,0	$H_{40} + 2 NPK$	30,0	28,7	27,8	36,4
РК	22,7	25,9	15,3	25,8	$H_{60} + РК$	24,9	28,0	20,6	29,9
NPK	28,2	30,1	19,8	32,9	$H_{60} + NPK$	27,1	31,3	23,6	35,9
2 NPK	24,3	28,2	25,0	35,1	$H_{60} + 2 NPK$	33,9	29,1	27,5	37,5
$H_{40}$	20,0	26,8	18,2	27,1	$H_{80} + РК$	30,4	29,4	19,1	34,1
$H_{60}$	23,9	27,5	19,9	28,6	$H_{80} + NPK$	34,0	28,3	24,1	34,8
$H_{80}$	22,0	27,8	19,0	30,2	$H_{80} + 2 NPK$	31,3	29,0	27,9	37,8
$H_{40} РК$	26,3	27,6	18,2	26,8					

Таблица 9

Влияние удобрений на вынос калия основной и побочной продукцией и коэффициент использования овсом по ротациям севооборотов

Вариант	Вынос $K_2O$ зерном и соломой овса по ротациям, кг/га				Разностный $K_{исп}$ $K_2O$ по ротациям	
	1-я, 1994–1996 гг.	2-я, 2002–2004 гг.	3-я, 2009–2011 гг.	4-я, 2016–2018 гг.	Среднее за 1 и 2 ротации	Среднее за 3 и 4 ротации
Контроль	108	153	116	145	–	–
Известь	126	167	106	141	–	–
PK	125	182	109	152	18,8	17,5
NPK	147	229	134	164	104	63,8
2 NPK	140	256	169	179	64,2	63,1
$H_{40}$	114	174	131	164	1,6	12,4
$H_{60}$	121	190	143	153	3,4	8,7
$H_{80}$	130	191	137	168	3,1	7,5
$H_{40}$ + PK	126	184	142	168	0,7	12,9
$H_{40}$ + NPK	139	243	156	175	3,1	11,2
$H_{40}$ + 2 NPK	154	266	179	181	5,2	3,2
$H_{60}$ + PK	110	183	153	167	0,2	10,4
$H_{60}$ + NPK	141	247	165	171	2,7	8,4
$H_{60}$ + 2 NPK	176	284	190	202	9,2	7,6
$H_{80}$ + PK	126	196	151	178	1,7	8,9
$H_{80}$ + NPK	147	238	170	179	1,0	8,0
$H_{80}$ + 2 NPK	160	273	195	209	4,0	7,2

Примечание. В вариантах 4 и 5 представлены данные по разностным коэффициентам использования  $K_2O$  минеральных удобрений, в 6–17 – разностные коэффициенты использования последствий  $K_2O$  органических удобрений.

### Выводы

На серых лесных почвах Ополя при возделывании овса после пропашной культуры в 8-польном и зерновой в 7-польном севооборотах с измельчением и запахиванием соломы зерновых культур без применения органических удобрений наиболее окупаема прибавкой урожая зерна овса доза полного минерального удобрения  $N_{40}P_{40}K_{40}$ . Однако она не обеспечивает положительный баланс азота. При сочетании последствий доз навоза 40–80 т/га под предшественник (картофель, зерновую культуру) с этой дозой NPK повышается окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений в 8-польном севообороте с 8,1 до 11,0, в 7-польном – с 10,0 до 13,5 кг/га зерна.

Определены балансовые и разностные коэффициенты использования азота,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  минеральных удобрений. Для дозы  $N_{40}P_{40}K_{40}$  балансовые коэффициенты использования были выше 100% для азота во всех ротациях, для  $P_2O_5$  – в 4-й ротации,

для  $K_2O$  – ниже 100% во всех ротациях. Для овса, идущего после пропашной культуры, при применении этой дозы создается дефицитный баланс по калию. Однако из-за восстановительной способности серой лесной почвы в отношении  $K_2O$  эта доза не лимитирует урожайность этой культуры.

В 8-польном севообороте по пропашному предшественнику  $K_{исп}$  овсом азота навоза (2-й год последствий) при сочетании с  $N_{40}P_{40}K_{40}$  варьировал от 4,4 до 7,2%, в 7-польном севообороте (1-й год последствий) – с 7,4 до 11,6%. В обоих случаях он уменьшался с ростом доз навоза. Соответствующие  $K_{исп} P_2O_5$  последствия навоза не превышали 6,6 и 4,2%,  $K_{исп} K_2O$  – 3,1 и 11,2%.

### Список литературы / References

1. Ильин Л.И., Окорков В.В., Ненайденко Г.Н. и др. Новые высокопродуктивные технологии возделывания овса в агроценозах Верхневолжья. Владимир, 2011. 40 с.

Ilyin L.I., Okorkov V.V., Nenajdenko G.N., etc. New highly productive technology of cultivation of oats in agrocenoses of Upper Volga. Vladimir, 2011. 40 p. (in Russian).

2. Семин И.В. Эколого-агрохимическая оценка органических и минеральных удобрений на серых лесных почвах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Владимир, 2016. 26 с.
- Semin I.V. Ecological and agrochemical assessment of organic and mineral fertilizers on gray forest soils. Abstract. dis. ... kand. of agricultural sciences. Vladimir, 2016. 26 p. (in Russian).
3. Корчагин А.А., Винокуров И.Ю., Щукин И.М. Эффективность минеральных удобрений на комплексе серых лесных почв Владимирского ополя в зависимости от погодных условий // Владимирский земледелец. 2012. № 1 (59). С. 7–9.
- Korchagin A.A., Vinokurov I.Yu., Shchukin I.M. Efficiency of mineral fertilizers on the complex of gray forest soils of the Vladimir opole depending on weather conditions // Vladimir farmer. 2012. № 1(59). P. 7–9 (in Russian).
4. Леднев А.А. Влияние индуктора болезнестойкости и протравителей на урожайность и качество овса в условиях Верхневолжья // Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса в Верхневолжье. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. ГНУ Владимирский НИИСХ Россельхозакадемии. 28–30 июня 2011 года, г. Суздаль: ГНУ Владимирский НИИСХ РАСХН, 2011. С. 295–302.
- Lednev A.A. Influence of disease resistance inductor and protectants on the yield and quality of oats in the conditions of the upper Volga region // Actual problems of development of agro-industrial complex in the upper Volga region. Collection of reports of the International scientific and practical conference. GNU Vladimir research Institute of agriculture RAAS. 28–30 June 2011. Suzdal: GNU Vladimirskij NIISX RASXN, 2011. P. 295–302 (in Russian).
5. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П., Шеуджен А.Х., Агафонов Е.В., Белоус Н.М., Егоров В.С., Подколзин А.И., Романенков В.А., Торшин С.П., Лапа В.В., Цыганов А.Р., Персикова Т.Ф., Сапаров А.С. Агрохимия. Учебник. М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
- Mineev V.G., Sy'chev V.G., Gamzikov G.P., Sheudzhen A.X., Agafonov E.V., Belous N.M., Egorov V.S., Podkolzin A.I., Romanenkov V.A., Torshin S.P., Lapa V.V., Cyganov A.R., Persikova T.F., Saparov A.S. Agrochemistry. Textbook. M.: Izd-vo VNIIA imeni D.N. Pryanishnikova, 2017. 854 p. (in Russian).
6. Воробьева Л.А., Корнев В.Б., Сердюкова К.А. Действие длительного применения минеральных удобрений на качество зерна овса, возделываемого на дерново-подзолистых песчаных почвах // Фундаментальные исследования по созданию новых средств химизации и наследие академика Д.Н. Прянишникова. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию юбилею академика Д.Н. Прянишникова. М.: ВНИИА, 2015. С. 116–119.
- Vorobyeva L.A., Korenev V.B., Serdyukova K.A. The effect of long-term use of mineral fertilizers on the quality of oat grain cultivated on sod-podzolic sandy soils // Fundamental research on the creation of new means of chemization and the legacy of academician D.N. Pryanishnikov. Abstracts of the international scientific-practical conference devoted to the 150th anniversary of academician D.N. Pryanishnikov. Moscow: VNIIA, 2015. P. 116–119 (in Russian).
7. 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.
- Okorkov V.V., Okorkova L.A., Fenova O.A. Fertilizers and trends in fertility of gray forest soils of the Upper Volga region. Federal State Budgetary Institution «Upper Volga Federal Agricultural Scientific Center». Ivanovo: PresSto, 2018. 228 p. (in Russian).
8. Ягодина Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П., Демин В.А., Петербургский А.В., Кидин В.В., Слипчик А.Ф., Кулюкин А.И., Саблина С.М. Практикум по агрохимии / Под ред. Б.А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
- Yagodin B.A., Deryugin I.P., Zhukov Yu.P., Demin V.A., Peterburgskij A.V., Kidin V.V., Slipchik A.F., Kulyukin A.I., Sablina S.M. Workshop on agricultural chemistry / Under the editorship of B.A. Jagodin. M.: Agropromizdat, 1987. 512 p. (in Russian).
9. Сафонов А.Ф., Гатаулин А.М., Платонов И.Г. Системы земледелия / Под ред. А.Ф. Сафонова. М.: Колос, 2006. 447 с.
- Safonov A.F., Gataulin A.M., Platonov I.G. Farming systems / Under the editorship of A.F. Safonov. M.: Kolos, 2006. 447 p. (in Russian).