

**БАЛАНС И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА СЕРЫХ  
ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ОПОЛЬЯ**

**В.В. Окорков**

*Государственное научное учреждение Владимирский научно-  
исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии  
сельскохозяйственных наук*

В настоящее время на серых лесных почвах Ополья, которые занимают около 50 % посевных площадей области, получают более 70 % валовой сельскохозяйственной продукции не только из-за их благоприятных физико-химических и химических свойств пахотного слоя, но и в связи с отсутствием во всем почвенном профиле обменного алюминия в токсичных для культур количествах (4-5 мг/100 г почвы). Кислотность, как гидролитическая, так и обменная, обусловлена ионами водорода, которые менее вредны для корневых систем возделываемых культур. В то же время в дерново-подзолистых почвах на глубине 40-60 см и глубже концентрация обменного А1 значительно выше токсической. В засушливые годы, когда верхний 0-40 сантиметровый слой пересыхает, проникновению корней в глубокие слои почвы в поисках влаги мешает именно эта высокая концентрация А1. Поэтому возделываемые культуры резко снижают свою продуктивность, уменьшается окупаемость применяемых удобрений. На серых же лесных почвах корни возделываемых культур способны проникать в более глубокие слои почвы и использовать из них влагу и элементы питания.

**1. Физико-химическая характеристика дерново-подзолистых почв  
Ивановской и Владимирской областей и серых лесных почв  
Владимирского ополья**

Горизонт, глубина, см	Гумус, с, %	pH <sub>сол</sub>	S	H <sub>г</sub>	H <sub>обм</sub>	Al <sub>обм</sub> , мг/100 г	V, %	Частицы < 0,01 мм, %
			мг-экв/100 г почвы					
<b>Серая лесная почва, разрез № 1 вблизи села Семеновское-Красное</b>								
Апах, 0-25	2,10	5,50	22,5	2,45	0,06	нет	90,4	<b>45,6</b>
A2B, 25-45	0,65	5,20	23,2	1,93	0,05	нет	92,3	<b>50,7</b>
B1, 45-72	0,46	5,95	24,1	1,31	0,06	нет	94,9	<b>47,5</b>
B2, 72-100	0,33	7,30	-	0,44	0,05	нет	98,3	<b>49,1</b>
BC, 100-120	0,33	7,25	-	0,35	0,05	нет	98,8	<b>46,9</b>
<b>Серая лесная почва, разрез № 2, МЮД, понижение</b>								
Апах, 0-32	2,83	6,45	25,5	1,40	0,02	нет	94,8	<b>35,0</b>
A2B, 32-50	1,89	6,10	21,7	2,27	0,02	нет	90,4	<b>43,3</b>
Ah1, 50-60	5,09	4,95	17,6	7,17	0,10	<b>0,36</b>	71,0	<b>44,3</b>
Ah2, 60-80	3,18	4,45	16,9	10,3	0,34	<b>2,34</b>	62,1	<b>43,7</b>
B, 80-100	0,76	4,15	13,9	6,12	1,10	<b>9,09</b>	60,5	<b>48,6</b>
<b>Серая лесная почва, разрез № 3, севернее 0,5 км от г. Владимира</b>								
A1, 0-23	2,23	6,25	22,1	1,92	0,02	нет	92,0	<b>39,6</b>
A2B, 23-35	1,19	6,20	23,7	1,40	0,02	нет	94,4	<b>47,6</b>
B1, 35-53	0,68	5,85	24,7	1,57	0,03	нет	93,9	<b>47,4</b>
B2, 53-80	0,46	5,20	23,3	2,10	0,03	нет	91,7	<b>54,2</b>
BC, 80-100	0,31	5,05	23,7	2,27	0,04	<b>0,09</b>	91,2	<b>61,0</b>
<b>Дерново-сильноподзолистая на моренных суглинках, разрез № 1, (Ивановская ГСХА)</b>								
Апах, 0-25	2,90	6,05	10,2	1,92	0,06	нет	84,2	<b>14,3</b>
A1A2, 25-32	0,42	6,10	3,2	1,05	0,04	нет	75,3	<b>9,00</b>
A2, 32-43	0,27	6,05	2,0	0,87	0,04	нет	69,7	<b>5,9</b>
A2B, 43-64	0,083	4,35	4,0	2,80	0,66	<b>5,58</b>	58,8	<b>7,5</b>
B, 64-76	0,14	4,10	9,2	5,42	1,96	<b>16,74</b>	62,9	<b>32,9</b>
BC, 76-103	0,14	4,15	8,8	4,90	1,46	<b>12,60</b>	64,2	не опр.
<b>Дерново-сильноподзолистая песчаная, разрез № 3, д. Шепелево Владимирской области</b>								
Апах, 0-27	2,07	4,70	5,1	3,85	0,11	<b>0,81</b>	57,0	<b>8,2</b>
A2, 27-45	0,22	4,60	3,1	1,57	0,18	<b>1,53</b>	66,4	<b>2,0</b>
A2B, 45-56	0,11	4,25	6,6	3,32	0,82	<b>7,20</b>	66,5	<b>8,6</b>
B1, 56-70	0,15	4,05	10,1	6,65	2,38	<b>20,79</b>	60,3	<b>27,1</b>
B2, 70-95	0,12	4,00	10,3	6,82	2,88	<b>25,02</b>	60,2	<b>10,1</b>
BC, 95-115	не определяли							<b>19,3</b>

По нашим данным, на серых лесных почвах Ополя из слоя почвы 40-100 см в засушливые годы может использоваться до 70-75 мм влаги. Это позволяет стабилизировать урожаи возделываемых культур на достаточно высоком уровне, повышать окупаемость применяемых удобрений в любые годы. Такое использование влаги из глубоких слоев почвы наблюдается у трав, зерновых и пропашных культур. В избыточно влажные годы использование влаги из слоя почвы 40-100 см заметно уменьшается, снижаясь до нулевых значений. В острозасушливый 2010 год (3-я ротация) яровая пшеница из слоя почвы 40-100 см потребляла 72-98 мм влаги. Потребление возрастало с ростом уровня интенсификации (табл. 2).

## 2. Использование влаги из слоя почвы 40-100 см культурами 7-польного севооборота в 3-й ротации в зависимости от систем удобрения, мм

Культура, годы исследований	Системы удобрения	Закладка (поле)			Среднее по системе удобрения
		1	2	3	
1. Викоовсяная смесь; 2007-2009 гг.	Известь – фон (Ф)	54	<b>5</b>	29	29
	Фон	49	<b>5</b>	37	30
	То же + N60	52	<b>4</b>	37	31
	То же + N75	48	<b>5</b>	41	31
2. 1-я культура после пара; озимая пшеница, яровая пшеница, яровая пшеница; 2008-2010 гг.	Фон	16	43	<b>72</b>	44
	Ф + навоз 60 т	6	47	<b>74</b>	42
	То же + N40P40K40	5	67	<b>87</b>	53
	То же + N80P80K80	15	63	<b>98</b>	59
3. 2-я культура после пара; овес, 2009-2011 гг.	Фон	21	54	<b>67</b>	47
	Ф + навоз 60 т	29	51	<b>71</b>	50
	То же + N40P40K40	36	66	<b>74</b>	59
	То же + N80P80K80	27	56	<b>63</b>	49

Следствием благоприятных свойств подпахотных горизонтов на слабокислых почвах водораздельных участков с уклоном менее 1-2° наблюдается недостаточно высокая эффективность известкования. Это установлено как в ранних опытах М.Ф. Аркадьевой, так и позже заложенных опытах А.А. Григорьева, и связано со слабым влиянием известкования на мощность корнеобитаемого слоя серых лесных почв (табл. 3).

### 3. Влияние доз извести и минеральных удобрений на среднюю продуктивность севооборота на серых лесных почвах, ц/га з.е.

(Окорков В.В., Григорьев А.А., 1997)

Дозы удобрений за севооборот	Доза извести, Нг						Среднее по дозам удобрений	Средняя прибавка, ц/га з.е.
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
0	29,9	32,6	31,7	34,4	34,4	33,4	32,7	-
<b>N180P190K240</b>	<b>37,9</b>	<b>36,7</b>	<b>36,8</b>	<b>37,5</b>	<b>37,6</b>	<b>36,6</b>	<b>37,2</b>	<b>4,5</b>
N360P380K480	36,9	37,2	36,8	37,9	37,7	36,8	37,2	4,5
N540P570 K720	37,1	38,3	36,9	36,9	37,0	37,4	37,3	4,6
Среднее по дозам извести	35,4	36,2	35,5	36,7	36,7	36,0	36,1	-
Средняя прибавка, ц/га з.е.	-	0,8	0,1	1,3	1,3	0,6	-	-

Высокий эффект известкования прогнозируется нами и установлен многими исследователями на дерново-подзолистых почвах. Это обусловлено нейтрализацией кислотности пахотного слоя и передвижением части продуктов взаимодействия извести с ППК в виде  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  в подпахотные горизонты и связыванием в них токсических соединений А1. В результате этого увеличиваются мощность корнеобитаемого слоя почвы и размеры использования влаги из более глубоких слоев почвы, что и сказывается на росте продуктивности сельскохозяйственных культур, ее стабилизации на более высоком уровне, повышении окупаемости удобрений. Для улучшения свойств подпахотных горизонтов более эффективна полная доза известкового материала, которая эквивалентна гидролитической кислотности.

Изучение механизма взаимодействия извести с ППК кислых почв выполнялось в лабораторных условиях (в колонках). Последние исследования показали высокую эффективность сочетания извести и гипсосодержащих мелиорантов на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием обменного алюминия. Дозы их применения рассчитываются по половинной величине гидролитической кислотности каждого мелиоранта.

На серых лесных почвах известкование не изменяет мощности корнеобитаемого слоя; с этим связана недостаточно высокая эффективность этого приема на плакорных равнинных почвах. Здесь рекомендуется поддерживающее известкование дозами 2-3 т/га извести за ротацию 7-8-польных севооборотов.

На серых лесных почвах с уклоном пашни более 2-3 ° развиты процессы водной эрозии. Ранее по области площадь эродированных разной степени почв составляла около 18,1 %, в т.ч. на дерново-подзолистых – около 5 %, а на серых лесных почвах Ополья – более 40 %.

Интенсивное развитие эрозионных процессов связано с высоким содержанием крупной (0,05-0,01 мм, около 40 %) и средней (0,01-0,005 мм,

10-15 %) пыли. Первая фракция пыли не пластична, но обладает слабой водопроницаемостью, не коагулирует электролитами; вторая фракция характеризуется теми же свойствами, но обладает пластичностью. Соотношение этих фракций таково, что вся почвенная масса будет характеризоваться высокой пластичностью и слабой водопроницаемостью, что на склоновых землях ведет к развитию водно-эрозионных процессов.

Основной путь снижения водно-эрозионных процессов на склоновых землях – создание водопрочной *макроструктуры*. Это достигается за счет свежего органического вещества (навоз, корневые остатки многолетних трав, солома, сидераты). При этом водопрочная макроструктура легче создается при внесении известковых материалов. Они заметно повышают и урожай многолетних трав. При известковании улучшается и микроструктура (микроагрегаты от 0,25 до 0,01 мм). *Микроагрегированность* возрастает с повышением рН (за счет известкования), содержания гумуса и наличия в илистой фракции минералов групп монтмориллонита и гидрослюд, гидроксидов полуторных окислов. В илистой фракции серых лесных почв эти группы вторичных минералов (слюда-сметитовые и хлорит-сметитовые минералы) достигают 30-60 %. Предпосылки для создания водопрочной микроструктуры в этих почвах весьма реальны. На склоновых землях для коагуляции почвенных коллоидов и значительного улучшения фильтрационных свойств почвы особое значение имеет известкование в сочетании с гипсованием. В присутствии гипсосодержащих мелиорантов по сравнению с применением одних известковых материалов создается на порядок более высокая концентрация двухвалентных катионов кальция и магния, обладающая высоким коагулирующим действием.

Определяющее влияние на продуктивность культур 8-польного севооборота и большинства культур, исключая многолетние бобовые травы, оказывает *применение азотных удобрений*. Они определяют величину и качество урожая, вынос им остальных элементов питания. Если при внесении в 8-польном севообороте одинарной дозы полного минерального удобрения 1 кг д.в. окупается прибавкой урожая 6,7 кг з.е., то 1 кг д.в. фосфорно-калийных удобрений – 3,6 кг з.е. (табл. 4). Окупаемость удобрений в звене севооборота занятой пар – 1-я культура после пара – 2-я культура после пара более высокая (табл. 5).

#### 4. Продуктивность 8-польного севооборота во 2-й ротации, ц/га з.е.

Вариант	Сумма урожаев, ц з.е.	Средняя продуктивность, ц/га з.е.	Средняя прибавка продуктивности	Окупаемость 1 кг д.в. прибавкой, кг з.е./кг д.в.
Контроль	262,9	32,9	2,0	-
Известь (Ф)	247,2	30,9	-	-
Ф + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	270,7	33,8	2,9	3,6
<b>Ф + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	<b>317,2</b>	<b>39,6</b>	<b>8,7</b>	<b>6,7</b>
Ф + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	333,2	41,6	10,7	4,3
<b>Ф + навоз 60 т/га в занятом пару (Н<sub>60</sub>)</b>	<b>286,5</b>	<b>35,8</b>	<b>4,9</b>	<b>5,4</b>
Ф + Н <sub>60</sub> + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	291,1	36,4	5,5	3,2
<b>Ф + Н<sub>60</sub> + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	<b>336,0</b>	<b>42,0</b>	<b>11,0</b>	<b>5,0</b>
Ф + Н <sub>60</sub> + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	336,3	42,0	11,1	3,3
НСР <sub>05</sub> , ц/га з.е.	-	-	4,3	-

*Примечание.* В 60 т навоза содержалось N252P144K336.

Севооборот: пар занятой ( викоовсяная смесь) - озимая рожь – картофель – овес с подсевом трав – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования – яровая пшеница – ячмень.

#### 5. Влияние систем удобрения на продуктивность звена 3-й ротации севооборота пар занятой – яровая (озимая) пшеница – овес, ц/га з.е.

Вариант	Сено трав, 2007-2009 гг.	Зерно яровой (озимой) пшеницы, 2008-2010 гг.	Зерно овса, 2009-2011 гг.	Суммарная продуктивность, ц з.е.	Суммарная прибавка, ц з.е./%	Окупаемость 1 кг д.в., кг з.е.
Контроль	22,9	39,2	23,8	85,9	1,8/2,1	-
Известь - последствие (фон – Ф)	22,6	38,1	23,4	84,1	-/-	-
Ф + P80K80	23,7	40,1	23,9	87,7	3,6/4,3	2,3
Ф + N140P80K80	29,2	53,5	31,9	114,6	30,5/36,3	<b>10,2</b>
Ф + N235P160K160	30,9	55,2	38,3	124,4	40,3/47,9	<b>7,3</b>

Увеличение дозы полного минерального удобрения в 2 раза закономерно снижает окупаемость 1 кг д.в. туков прибавкой. Окупаемость 1 кг д.в. 60

т/га навоза за севооборот составила 5,4 кг з.е., а 1 кг д.в. сочетания его с одинарной дозой NPK – 5,0 кг з.е.

Анализ полученных данных свидетельствует, что окупаемость прибавкой 1 кг д.в. удобрений (у, кг з.е.) от среднегодовых доз элементов питания (х, кг д.в.) при полной минеральной и органо-минеральной с полным минеральным удобрением системах подчиняется единой закономерности, описываемой линейной зависимостью:

$y = 8,14 - 0,0138 x$ ,  $n = 7$ ,  $r = 0,964$ ,  $r^2 = 0,930$ , доверительный интервал 0,69.

Окупаемость прибавкой единицы питания при органической системе удобрения и ее сочетании с минеральной без азотных удобрений существенно ниже.

Одна из причин более слабой эффективности органических удобрений связана с более медленным освобождением основных элементов питания из навоза, что заметно сказывается на развитии растений в первый период роста. Другая причина обусловлена перемещением накопившихся нитратов глубже 40 см рано весной в период снеготаяния. Весной в период всходов и отрастания растений это будет слабо влиять на повышение кущения и закладку репродуктивных органов зерновых культур. При совместном внесении органических и минеральных удобрений молодые растения в первый период обеспечивают себя азотным питанием из туков, а по мере роста используют питательные вещества из более глубоких слоев почвы и разлагающихся органических удобрений. Таким образом, при совместном внесении данных видов удобрений растения могут лучше обеспечиваться элементами питания в течение всего вегетационного периода.

Применение полного минерального удобрения наиболее окупаемо:

- после занятого пара под озимые и яровые культуры;
- под овес после пропашных культур, озимых и яровых культур, идущих по занятому пару;
- под зерновые по обороту пласта многолетних трав (после яровых и озимых);
- под яровые зерновые после заправленных органическими и минеральными удобрениями озимых;
- из-за сильного пересыхания почвы после трав 2-го года пользования не всегда может быть получена надлежащая густота озимых культур, соответственно высокая окупаемость удобрений (табл. 6, 7).

**6. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений зерновыми культурами во 2-й ротации 8-польного севооборота в кг зерна**

Предшественник	Культура, годы исследований	Вариант	Урожай, ц/га	Прибавка, ц/га	Окупаемость 1 кг д.в. в кг зерна
<b>Пар занятой</b>	Озимая рожь, 2000-2002	Известь	27,4	-	-
		P40K40	31,3	3,9	<b>4,9</b>
		N40P40K40	41,5	14,1	<b>11,8</b>
		N80P80K80	46,0	18,6	<b>7,8</b>
<b>Картофель</b>	Овес Астор, 2002-2004	Известь	42,9	-	-
		P40K40	45,2	2,3	<b>2,9</b>
		N40P40K40	52,2	9,3	<b>7,8</b>
		N80P80K80	52,9	10,0	<b>4,2</b>
<b>Травы 2-го года пользования</b>	Яровая пшеница МиС, 2005-2007	Известь	33,2	-	-
		P60K60	36,5	3,3	<b>2,8</b>
		N60P60K60	42,2	9,0	<b>5,0</b>
		2NPK	45,1	11,9	<b>3,3</b>
<b>Оборот пласта трав</b>	Ячмень, Зазерский 85, 2006-2008	Известь	35,0	-	-
		P40K40	36,5	1,5	<b>1,9</b>
		N40P40K40	46,2	11,2	<b>9,3</b>
		N80P80K80	49,6	14,6	<b>6,1</b>

**7. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений зерновыми культурами в 3-й ротации 8-польного севооборота в кг зерна**

Предшественник	Культура, год исследований	Вариант	Урожай, ц/га	Прибавка, ц/га	Окупаемость 1 кг д.в. в кг зерна
<b>Пар занятой</b>	Озимая пшеница Московская 39, 2008	Известь	45,2	-	-
		P40K40	46,2	1,0	<b>1,2</b>
		N40P40K40	68,7	23,5	<b>19,6</b>
		N80P80K80	70,3	25,1	<b>10,5</b>
<b>Пар занятой</b>	Яровая пшеница, 2009-2010	Известь	34,5	-	-
		P40K40	37,1	2,6	<b>3,2</b>
		N40P40K40	46,0	11,5	<b>9,6</b>
		N80P80K80	47,7	12,5	<b>5,2</b>
<b>Озимая пшеница и яровая пшеница по занятому пару</b>	Овес Астор, 2009-2011	Известь	29,2	-	-
		P40K40	29,9	0,7	<b>0,9</b>
		N40P40K40	39,9	10,7	<b>8,9</b>
		N80P80K80	47,9	18,7	<b>7,8</b>

Прибавка от совместного применения навоза и полного минерального удобрения ниже, чем сумма прибавок от отдельного их внесения. Основная причина этого связана со снижением окупаемости удобрений с ростом доз элементов питания. При внесении их половинных доз может наблюдаться более высокий эффект сочетания, чем отдельного применения.

Далеко не решенным остался вопрос и о равноценности нитратной и аммонийной форм азота в питании растений. Обычно об обеспеченности легких почв таежно-лесной зоны азотом судят по содержанию суммы аммонийного и нитратного азота, считая аммонийный (поглощенный и водорастворимый) и нитратный (находящийся только в жидкой фазе) азот равноценными. Однако на почвах с высокой емкостью поглощения, с наличием монтмориллонитовых и гидрослюдистых глинистых минералов основная часть аммонийного азота, как и калия, должна находиться в поглощенном состоянии. Поэтому использование подвижного аммонийного азота должно быть менее полным, чем нитратного азота. Обсуждаемые вопросы изучались на серых лесных почвах Владимирского ополья.

При применении азотных минеральных удобрений в почве резко возрастают запасы нитратного азота, коэффициент их использования от всходов до колошения достигает уровня 55-63 %. Это увеличение запасов нитратного азота обеспечивает основную прибавку урожаев возделываемых культур севооборота. Величина коэффициента использования запасов нитратного азота будет расти по мере дальнейшей вегетации растений. Наблюдается (табл. 8) небольшое повышающее запасы нитратов действие сочетания навоза с полным минеральным удобрением против одного последнего (минерального).

#### **8. Влияние систем удобрения на средние запасы N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0-40 см под культурами 8-польного севооборота в различные периоды их вегетации за 1992-2008 гг., кг/га**

Вариант	Всходы или возобновление вегетации (1-й срок)	Колошение и бутонизация (2-й срок)	После уборки (3-й срок)	Снижение запасов N-NO <sub>3</sub> во 2-й срок по сравнению с 1-м	
				кг/га	%
Контроль	45	20	31	<b>25</b>	<b>56</b>
Фон известкования	47	24	32	<b>23</b>	<b>49</b>
Фон + РК	46	23	32	<b>23</b>	<b>50</b>
Фон + NPK	100	37	50	<b>63</b>	<b>63</b>
Фон + 2 NPK	150	67	69	<b>83</b>	<b>55</b>
Фон + навоз 60 т/га	50	22	36	<b>28</b>	<b>56</b>
Фон + Н60 + РК	50	23	35	<b>27</b>	<b>54</b>
Фон + Н60 + NPK	104	41	53	<b>63</b>	<b>61</b>
Фон + Н60 + 2NPK	150	67	68	<b>83</b>	<b>55</b>

По многолетним данным (1992-2008 гг.) коэффициент использования запасов аммонийного азота в слое почвы 0-40 см в вариантах без внесения азотных туков составлял около 8 %, в удобренных - достигал 16 % и выше. Близкие коэффициенты использования запасов обменного калия в слое почвы 0-40 см получены в работе (Окорков, 2001). Ионы калия и аммония имеют близкие размеры и подчиняются одним и тем же закономерностям ионного обмена (табл. 9, 10).

**9. Влияние систем удобрения на средние запасы N-NH<sub>4</sub> в слое почвы 0-40 см под культурами 8-польного севооборота в различные периоды их вегетации за 1992-2008 гг., кг/га**

Вариант	Всходы или возобновление вегетации	Колошение и бутонизация	После уборки	Снижение запасов N-NH <sub>4</sub> во 2-й срок по сравнению с 1-м	
				кг/га	%
Контроль	178	164	170	14	<b>7,9</b>
Фон известкования	174	154	179	20	<b>11,5</b>
Фон + РК	182	163	170	19	<b>10,4</b>
Фон + NPK	185	161	167	24	<b>13,0</b>
Фон + 2 NPK	194	169	172	25	<b>12,9</b>
Фон + навоз 60 т/га	188	164	163	24	<b>12,8</b>
Фон + Н60 + РК	190	172	169	18	<b>9,5</b>
Фон + Н60 + NPK	187	161	182	27	<b>14,4</b>
Фон + Н60 + 2NPK	192	171	181	21	<b>10,9</b>

**10. Коэффициенты использования подвижных форм фосфора и калия овсом из слоя почвы 0-40 см в зависимости от их содержания в почве и применения азотных удобрений**

Содержание подвижного P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Кирсанову в слое почвы 0-20 см, мг/кг	Коэффициент использования подвижного P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> почвы, %	Содержание обменного K <sub>2</sub> O по Масловой в слое почвы 0-20 см, мг/кг	Коэффициент использования обменного K <sub>2</sub> O почвы, %
<b>Без применения азотных удобрений</b>			
100-150	6-8	<b>100-150</b>	<b>13-15</b>
150-200	4-6	<b>150-200</b>	<b>10-13</b>
200-250	2-4	<b>200-250</b>	<b>8-10</b>
<b>На фоне N40</b>			
100-150	7-9	<b>100-150</b>	<b>16-18</b>
150-200	5-7	<b>150-200</b>	<b>13-16</b>
200-250	3-5	<b>200-250</b>	<b>11-13</b>
<b>На фоне N80</b>			
100-150	8-10	<b>100-150</b>	<b>19-22</b>
150-200	6-8	<b>150-200</b>	<b>16-19</b>
200-250	4-6	<b>200-250</b>	<b>14-16</b>

По сравнению с 1-й во 2-й ротации севооборота средние по 3-м полям разностные коэффициенты использования основных элементов питания из удобрений заметно возросли (табл. 11). Так, коэффициенты использования азотных удобрений в составе NPK увеличились с 43-44 % до 58-68 %, а фосфорных удобрений – с 19-16 до 27,7-17,7 %, калийных – с

40-57 до 50-68 %. Повысилось использование всех элементов питания из органических удобрений: азота с 8-24 до 36-50 %, фосфора с 12-24 до 21-35 %, калия с 22-31 до 26-39 %. Следовательно, при систематическом применении минеральных и органических удобрений на серых лесных почвах Ополя существенно повышается подвижность (доступность) в почве основных элементов питания. Наиболее высоки коэффициенты использования из удобрений для азота, который находится в 1-м минимуме.

### 11. Разностные коэффициенты использования основных элементов питания за 1-ю (1991-1999 гг.) и 2-ю (1999-2008 гг.) ротации 8-польного севооборота

Вариант опыта	Коэффициент использования, %					
	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	1	2	1	2	1	2
Контроль	-	-	-	-	-	-
Фон известкования	-	-	-	-	-	-
Фон + РК	-	-	1,5	<b>9,9</b>	7,1	<b>34,2</b>
Фон + NPK	43,9	<b>68,0</b>	18,7	<b>27,7</b>	57,2	<b>67,9</b>
Фон + 2 NPK	42,8	<b>57,7</b>	16,2	<b>17,7</b>	39,5	<b>49,7</b>
Фон + навоз 60 т/га	24,2	<b>49,7</b>	24,5	<b>28,9</b>	29,2	<b>38,9</b>
Фон + Н60 + РК	28,4	<b>41,3</b>	6,6	<b>11,8</b>	13,2	<b>20,9</b>
Фон + Н60 + NPK	36,7	<b>53,0</b>	21,4	<b>23,1</b>	37,9	<b>44,1</b>
Фон + Н60 + 2NPK	35,0	<b>50,5</b>	14,0	<b>16,6</b>	26,0	<b>40,1</b>

**Примечание:** 1 – 1-я ротация; 2 – 2-я ротация.

Общий расход влаги из метрового слоя почвы культурами слабо зависит от системы применения удобрений. Однако коэффициент водопотребления (расход влаги на создание 1 ц з.е.) в вариантах полного минерального удобрения снижается в 1,3-1,8 раза по сравнению с фоном известкования. Таким образом, наблюдается более экономное расходование влаги при полной минеральной системе удобрения (табл. 12).

## 12. Использование влаги культурами 7-польного севооборота за 3-ю ротацию из метрового слоя почвы в зависимости от систем удобрения

Культура севооборота	Годы исследований	Система удобрения			
		Известь – фон (Ф)	Ф + навоз 7,5 т/га	Ф + навоз 7,5 т/га + N48P40K42	Ф + навоз 7,5 т/га + N84P80K85
<b>Среднегодовой расход влаги (числитель, мм) и урожайность культур (знаменатель, ц/га з.е.)</b>					
Викоовсяная смесь	2007-2009	247/23,1	249/22,1	250/28,7	250/33,1
1-я КПП	2008-2010	356/38,1	367/47,7	377/54,7	386/57,9
2-я КПП, овес	2009-2011	291/23,4	293/30,6	309/36,2	294/39,0
За звено	2007-2011	298/28,2	303/33,5	312/39,9	310/43,3
<b>Средний коэффициент водопотребления культурами за звено (числитель - мм на 1 ц з.е.; знаменатель - %)</b>					
За звено	2007-2011	<b>10,6/100</b>	<b>9,0/ 85</b>	<b>7,8/74</b>	<b>7,2/ 68</b>

Балансовые исследования за ротацию 8-польного севооборота показали следующее (табл. 13):

- при применении наиболее окупаемой одинарной дозы полного минерального удобрения наблюдается дефицит для азота и калия;
- при внесении одного навоза в дозах от 5 до 10 т/га севооборотной площади не получено положительного баланса ни для одного из элементов питания. Для азота в последней дозе баланс приближается к нулевому;
- лишь при сочетании одинарной дозы полного минерального удобрения с 5-10 т навоза на 1 га севооборотной площади достигается либо положительный, либо близкий к нулевому баланс основных элементов питания;
- среднегодовые размеры симбиотической азотфиксации по вариантам опыта варьировали от 19 до 49,5 кг/га.

**13. Среднегодовой приход с удобрениями и баланс основных элементов питания за 2-ю ротацию 8-польного севооборота на серых лесных почвах, кг/га (среднее для 1-3 полей)**

Вариант опыта	Среднегодовой приход с удобрениями			Среднегодовой баланс		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Контроль	-	-	-	-28,1	-33,1	-73,1
2. Известь (фон – Ф)	-	-	-	-25,2	-30,8	-65,2
3. Ф + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	-	40,0	42,5	-28,0	4,7	-34,7
<b>4. Ф + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	47,5	40,0	42,5	<b>-19,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-39,8</b>
5. Ф + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	84,4	80,0	85,0	-9,8	38,1	-3,2
6. Ф + навоз 40 т/га в занятом пару (Н <sub>40</sub> )	21,0	12,0	28,0	-12,4	-22,6	-45,6
7. Ф + Н <sub>60</sub>	31,5	18,0	42,0	-6,9	-17,0	-33,7
8. Ф + Н <sub>80</sub>	42,0	24,0	56,0	-3,9	-10,6	-17,9
9. Ф + Н <sub>40</sub> + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	21,0	52,0	70,5	-12,2	15,8	-6,7
<b>10. Ф + Н<sub>40</sub> + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	68,5	52,0	70,5	<b>-3,3</b>	<b>12,2</b>	<b>-11,8</b>
11. Ф + Н <sub>40</sub> + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	105,4	92,0	113,0	6,8	49,7	26,2
12. Ф + Н <sub>60</sub> + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	31,5	58,0	84,5	-5,5	21,7	7,3
<b>13. Ф + Н<sub>60</sub> + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	79,0	58,0	84,5	<b>4,5</b>	<b>16,6</b>	<b>1,2</b>
14. Ф + Н <sub>60</sub> + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	115,9	98,0	127,0	13,2	55,6	39,5
15. Ф + Н <sub>60</sub> + P <sub>320</sub> K <sub>340</sub>	42,0	64,0	98,5	4,3	27,0	17,4
<b>16. Ф + Н<sub>60</sub> + N<sub>380</sub>P<sub>320</sub>K<sub>340</sub></b>	89,5	64,0	98,5	<b>9,8</b>	<b>23,6</b>	<b>12,2</b>
17. Ф + Н <sub>60</sub> + N <sub>675</sub> P <sub>640</sub> K <sub>680</sub>	126,4	104,0	141,0	20,8	61,0	49,5

Учитывая выпуск сложных минеральных туков с соотношением элементов питания 1:1:1, а также слабую эффективность азотных удобрений в звене севооборота овес с подсевом трав – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования, были рассчитаны оптимальные дозы как одних минеральных удобрений, так и на фоне разных доз навоза, вносимых в паровом поле (солома зерновых культур измельчалась и запахивалась). Система удобрения предусматривала обеспечение высокой симбиотической фиксации азота многолетними травами. При минеральной системе удобрения коэффициент возврата для азота составил 82-85 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 103-109, K<sub>2</sub>O – 58 % (табл. 14).

На фоне 40 т/га навоза коэффициент возврата для азота близок к 100 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – к 103-106, K<sub>2</sub>O – к 80 %, а на фоне 60 т/га навоза – соответственно к 104-106, 103-108 и 90-93 %. Наиболее напряженный баланс получен для калия, но для этого элемента допустим коэффициент возврата около 85 %. В этих системах окупаемость 1 кг д.в. удобрений прогнозируется в пределах 5,9 - 7,0 кг з.е.

**14. Оптимальные дозы минеральных удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополья при разном уровне применения органических удобрений, кг/га д.в.**

Культура	Без органических удобрений			60 т навоза на 1 га за севооборот		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Викоовсяная смесь	60	0	0	60	0	0
2. Озимая рожь	40-50	40	40	40	0	0
3. Картофель	100	60-70	90	60	40	70
4. Овес с подсевом трав	0	40	40	0	30	40
5. Травы 1-го года пользования	0	50	50	0	40	40-50
6. Травы 2-го года пользования	0	40	40	0	40	40
7. Яровая пшеница	40	50-60	60	40	40-50	60
8. Ячмень	40-50	50	40	50	40-50	40
Сумма за севооборот	280-300	330-350	360	250	230-250	280-300
Сумма симб. азота	390	-	-	370	-	-
Элементы питания навоза	-	-	-	300	150	330
Планируемый вынос элемента урожая	815	320	620	870-880	370	680
Планируемый баланс элемента	-125... -145	10...30	-260	40-50	10...30	-70... -50
Коэффициент возврата, %	<b>82-85</b>	<b>103-109</b>	<b>58</b>	<b>104-106</b>	<b>103-108</b>	<b>90-93</b>