

## Содержание и потребление фосфора и калия в почвах Оренбургского Зауралья в зависимости от агротехнических приёмов

*И.Н. Бесалиев, д.с.-х.н., ФГБНУ Оренбургский НИИСХ*

Оренбургское Зауралье — основной район производства яровой твёрдой пшеницы в области.

Основным предшественником для данной культуры является чёрный пар. Паровые поля обычно хорошо обеспечены азотом, поэтому внесение азотных удобрений нецелесообразно. В паровые поля необходимо вносить фосфорные удобрения [1–3].

Как отмечает Ю.И. Южаков [4], почвы Зауралья не только сравнительно обеднены общим фосфором, но в них содержится соответственно меньше и форм, непосредственно доступных растениям. Эффективность фосфорных удобрений повышалась при совместном внесении с азотными и калийными — отчасти благодаря растворяющему воздействию соединений азота и калия на фосфаты, установленному автором ранее [5].

Доза фосфора 40 кг/га по чистому пару не даёт устойчивой по годам прибавки урожайности, а увеличение дозы фосфора до 80 кг/га не ведёт к дальнейшему её повышению в сравнении с дозой 60 кг/га [6].

Д.Н. Прянишников [7] установил, что для обеспечения систематического роста урожая необходимо возвращать в почву 100–110% фосфора от его выноса.

В микрополевым опыте по изучению эффективности различных дозировок фосфора ( $P_{40}$ ,  $P_{60}$ ,  $P_{80}$ ,  $P_{160}$ ,  $P_{240}$ ,  $P_{480}$ ) [8] на южном карбонатном чернозёме Северного Казахстана установлено, что внесение в почвы  $P_{40}$  приводит к увеличению подвижного фосфора на 0,2 мг на 100 г сухой почвы, а внесение  $P_{80}$  — на 0,7 мг по сравнению с контролем. Эти дозы не оказывает заметного влияния на содержание подвижного фосфора в почве, поэтому в целях создания лучших условий питания растений необходимо повторное внесение фосфорных удобрений в первом поле каждую ротацию.

**Цель исследования** — установить параметры оптимальных концентраций запасов и расходов фосфора и калия для формирования повышенной урожайности яровой твёрдой пшеницы по пару в условиях Оренбургского Зауралья на чернозёме южном.

**Материал и методы исследования.** Материалом для исследования служили результаты полевых экспериментов на Восточном опорном пункте ФГБНУ «Оренбургский НИИ сельского хозяйства» в ФГУП «ОПХ «Советская Россия» (Адамовский район). Почвы — чернозём южный и чернозём южный солонцеватый малогумусный с содержанием азота (по Кьельдалю) 4,3–9,3 мг, фосфора — 0,80–1,87 мг (по П.П. Мачигину) на 100 г почвы.

Содержание фосфора и калия определяли после посева и перед уборкой яровой твёрдой пшеницы послойно (0–30, 30–60 и 60–100 см) ионометрическим методом. Схема опыта:  $3A \times 3B \times 2C$ , где фактор А — срок сева:

1-й — при наступлении физической спелости почвы;

2-й — через 7 дн.;

3-й — через 14 дн.;

фактор В — нормы высева:

1-я — 2,5 млн всхожих семян на 1 га;

2-я — 3,5 млн всхожих семян на 1 га;

3-я — 4,5 млн всхожих семян на 1 га;

фактор С — удобрения:

1-й уровень — контроль — без удобрений;

2-й —  $P_{40}$  — 40 кг д.в. суперфосфата.

Повторность опыта — 3–4-кратная. Учётная площадь делянки составляла 180 м<sup>2</sup>.

Объектом исследования являлась яровая твёрдая пшеница сорта Оренбургская 10.

Обработку пара проводили в соответствии с существующими рекомендациями. Для посева применяли сеялки СЗС-2,1 с катками, перед посевом проводили закрытие влаги боронами ЗБЗСС-1,0.

Уход за посевами состоял в рыхлении межделя-  
ночных и выпалыванию крупностеблевых сорняков.  
Уборку участков осуществляли методом сплошной  
уборки комбайном «Сампо-500».

Наблюдения и исследования выполнены в со-  
ответствии с ГОСТами, общепринятыми методами  
и методиками.

Условия лет экспериментов были различными  
как по гидротермическим коэффициентам периода  
вегетации, так и по запасам влаги к сеvu (табл. 1).

Условия 2001 г. были благоприятными в первой  
половине вегетации, ГТК за май-июнь составил  
1,04 при сумме осадков в июне 165,3% от нормы.  
Во второй половине вегетации был недобор осад-  
ков (в июне – 17,8%, в августе – 23,8% нормы).

Условия 2002 г. были неблагоприятными. За  
май-июнь осадков выпало меньше нормы на  
34,3 мм, средняя температура воздуха также была  
ниже среднемноголетних значений. За июль-  
август осадков выпало на 20,1 мм больше нормы,  
но сумма температур воздуха превышала норму.  
ГТК за период вегетации был средним. Наиболее  
благоприятные условия вегетации отмечались в  
2003 г. Первая половина вегетации (май-июнь)  
характеризовалась избыточным (218% к норме)  
увлажнением при недостатке тепла (сумма тем-  
ператур на 9,4% меньше нормы).

Во второй половине вегетации сумма осадков  
была немного (на 7%) ниже нормы, а сумма тем-

ператур на 5,8% превысила среднемноголетние  
показатели.

В целом условия лет периода исследования от-  
ражали особенности климата зоны.

**Результаты исследования.** В условиях Оренбург-  
ского Зауралья при внесении дополнительного  
фосфора по пару в дозе P<sub>40</sub> содержание подвижных  
форм данного элемента повышается в слое почвы  
0–30 см в посевах первого срока сева на 0,5 мг на  
100 г сухой почвы (14,3%), второго срока сева – на  
0,4 мг на 100 г сухой почвы (12,1%) и третьего сро-  
ка – на 0,3 мг на 100 г сухой почвы (8,6%) (табл. 2).

В слое почвы 30–60 см дополнительное фосфор-  
ное удобрение увеличивает количество доступного  
фосфора на 0,4 мг (19,0%), 16,7 мг (16,7%) и на  
2,0 мг (10,0%) на 100 г сухой почвы соответственно  
при первом, втором и третьем сроках сева. При  
сравнении сроков сева незначительное преимуще-  
ство обнаруживается в посевах первого срока сева.

Урожайность яровой твёрдой пшеницы в усло-  
виях Оренбургского Зауралья, согласно нашим  
расчётам, существенно зависит от содержания  
фосфора в горизонте почвы 0–30 см (табл. 3).

Рост урожайности идёт последовательно за  
увеличением количества подвижного фосфора и в  
рамках наших данных при его количестве 6,15 мг  
на 100 г сухой почвы в слое 0–30 см возможно  
формирование урожайности твёрдой пшеницы до  
3,86 т с 1 га (рис.).

1. Запасы продуктивной влаги и ГТК в годы проведения опытов  
(по данным Восточного опорного пункта «Советская Россия»)

Год	Запас влаги к сеvu в слое 0–100 см, мм	Гидротермический коэффициент, ед. за период				
		май – июнь	июль – август	май – август	сентябрь	май – сентябрь
2001	148,0	1,04	0,36	0,70	1,34	0,75
2002	161,8	0,85	0,53	0,69	0,88	0,67
2003	169,9	1,28	0,53	0,90	0,28	0,80
Средний многолетний	112,6	0,59	0,62	0,61	0,62	0,61
Средний за годы опытов	159,9	1,06	0,47	0,76	0,83	0,74

2. Содержание фосфора в почве после посева яровой твёрдой пшеницы при разных  
сроках сева, нормах высева и фонах в Оренбургском Зауралье

Норма высева, млн всх. семян на 1 га	Содержание фосфора в почве при разных сроках сева и фонах, мг на 100 г почвы									Среднее по норме высева, фону и слою почвы		Среднее по норме высева и слою почвы
	первый			второй			третий			К	P <sub>40</sub>	
	К	P <sub>40</sub>	среднее	К	P <sub>40</sub>	среднее	К	P <sub>40</sub>	среднее			
Слой почвы 0–30 см												
2,5	3,3	4,0	3,7	3,6	3,4	3,5	3,3	4,4	3,9	3,4	3,9	3,7
3,5	3,8	4,2	4,0	2,6	4,0	3,3	3,5	3,4	3,5	3,3	3,9	3,6
4,5	3,5	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7
Среднее по сроку сева и слою почвы	3,5	4,0	3,8	3,3	3,7	3,5	3,5	3,8	3,7	3,4	3,8	3,6
Слой почвы 30–60 см												
2,5	2,1	2,2	2,2	1,6	2,1	1,9	1,8	2,3	2,1	1,8	2,2	2,0
3,5	2,2	2,7	2,5	1,6	2,6	2,1	1,7	2,2	2,0	1,8	2,5	2,2
4,5	1,9	2,5	2,2	2,1	1,7	1,9	2,5	2,6	2,6	2,2	2,3	2,2
Среднее по сроку сева и слою почвы	2,1	2,5	2,3	1,8	2,1	2,0	2,0	2,4	2,2	1,9	2,3	2,1



Рис. – Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от содержания фосфора в слое почвы 0–30 см в Оренбургском Зауралье

Изменения количества фосфора в более глубоких слоях почвы (30–60 и 60–100 см) не отразились на урожайности изучаемой культуры.

Также не обнаружилась существенная зависимость её урожайности и от содержания калия в горизонтах почвы ниже пахотного, хотя и для слоя почвы 0–30 см связь средней степени (табл. 4). Только в 33,41% случаев урожайность твёрдой яровой пшеницы детерминируется количеством данного элемента в верхнем слое почвы.

Расход фосфора из различных слоёв почвы в опыте в значительной степени зависел от условий лет, а точнее, от условий увлажнения почвы в различные годы (табл. 5).

В благоприятном по увлажнению году (2003) с равномерным выпадением осадков по периоду вегетации фосфор почвы активно использовался и максимальный расход из слоя почвы 0–30 см доходил до 58,8 кг на 1 га, а из слоя 30–60 см – до 49,3 кг на 1 га. Внесение дополнительного фосфора с удобрением в большинстве случаев увеличивало потребление его из почвы.

3. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от содержания фосфора в разных слоях почвы в Оренбургском Зауралье (2001–2003 гг.)

№ п/п	Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	v, %	η <sub>yx</sub>	F	
					факт.	теор.
1	Содержание фосфора в слое почвы 0–30 см, мг/100 г сухой почвы (x <sub>1</sub> )	<u>2,00–6,15</u> 3,36±0,79	23,7	–	–	–
2	Урожайность, т с 1 га (y <sub>1</sub> )	<u>2,35–3,78</u> 3,01±0,32	10,8	0,839	3,31	1,76
y <sub>1</sub> = 0,665 + 1,287x <sub>1</sub> <sup>0,5</sup> ± 0,18 т с 1 га, для 70,43% случаев						
3	Содержание фосфора в слое почвы 30–60 см, мг/100 г сухой почвы (x <sub>2</sub> )	<u>1,05–3,05</u> 2,09±0,54	25,9	–	–	–
4	Урожайность, т с 1 га (y <sub>2</sub> )	<u>2,71–3,37</u> 3,00±0,15	5,2	0,292	1,07	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера						
5	Содержание фосфора в слое почвы 60–100 см, мг/100 г сухой почвы (x <sub>2</sub> )	<u>0,50–1,90</u> 1,08±0,35	32,8	–	–	–
6	Урожайность, т с 1 га (y <sub>2</sub> )	<u>2,40–3,39</u> 3,00±0,23	7,5	0,243	1,04	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера						

4. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от содержания калия в разных слоях почвы в Оренбургском Зауралье (2001–2003 гг.)

№ п/п	Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	v, %	η <sub>yx</sub>	F	
					факт.	теор.
1	Содержание калия в слое почвы 0–30 см, г/100 г сухой почвы (x <sub>1</sub> )	<u>28,8–51,75</u> 44,16±5,60	12,7	–	–	–
2	Урожайность, т с 1 га (y <sub>1</sub> )	<u>2,41–3,32</u> 2,97±0,22	7,4	0,578	1,47	1,46
y <sub>1</sub> = 0,9995 · x <sub>1</sub> <sup>0,293</sup> ± 0,186 т с 1 га, для 33,41% случаев						
3	Содержание калия в слое почвы 30–60 см, г/100 г сухой почвы (x <sub>2</sub> )	<u>19,75–35,25</u> 29,89±3,44	11,5	–	–	–
4	Урожайность, т с 1 га (y <sub>2</sub> )	<u>2,27–3,43</u> 2,99±0,25	8,5	0,446	1,22	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера						
5	Содержание калия в слое почвы 60–100 см, г/100 г сухой почвы (x <sub>2</sub> )	<u>19,75–37,55</u> 30,31±3,70	12,2	–	–	–
6	Урожайность, т с 1 га (y <sub>2</sub> )	<u>2,40–3,43</u> 3,00±0,24	8,1	0,348	1,11	1,46
Функция не удовлетворяет критерию Фишера						

В годы проявления факторов неблагоприятности расход фосфора существенно снижался, а в некоторых случаях он отсутствовал. Так, в 2002 г. при нехватке осадков за май-июнь и достаточном увлажнении за июль-август потребление фосфора шло в основном из подпахотного слоя горизонта (30–60 см). В благоприятный год повышалась активность потребления подвижного фосфора равномерно как из пахотного, так и более глубокого слоя. Снижение расходов почвенного фосфора особенно заметно из слоя 0–30 см. Засушливость периода вегетации 2001 г. снизила активность потребления фосфора, но он использовался и с глубины 60 см, и в этом году проявилось положительное влияние фосфорного фона на потребление фосфора. Расход фосфора был выше в ранних сроках сева твёрдой пшеницы.

Относительные расходы фосфора (в % к весенним запасам) были невелики и составляли по горизонту 0–30 см 4,7–11,2% на неудобренном пару и 1,8–15,2% по пару с дополнительным фосфором в дозе P<sub>40</sub>. В слое почвы 30–60 см эти расходы были выше и изменялись в горизонте почвы 0–30 см от 2,0 до 10,3% на пару без удобрения и от 16,0 до 23,5% по удобренному пару. Относительные расходы снижались в поздних сроках сева твёрдой пшеницы. Расход калия из почвы также в существенной степени определялся условиями лет (табл. 6).

Наиболее высокое потребление данного элемента из слоя почвы 0–30 см наблюдалось в год с достаточным увлажнением (2003). Дополнительное фосфорное удобрение увеличивало потребление калия из почвы. В 2002 г. отмечалось снижение потребления калия в сравнении с 2003 г., а в 2001 г. при наиболее резком проявлении засушливости расходы калия отсутствовали. Наиболее активно данный элемент расходовался из пахотного слоя почвы. Относительные расходы калия также были выше из верхнего слоя и изменялись от 6,4 до 8,7% по срокам сева на пару без удобрений и от 8,7 до 12,5% на удобренном пару. Из слоя почвы 30–60 см эти расходы составляли 3,0–6,4% на неудобренном пару и 6,0–7,6% на пару с внесением P<sub>40</sub>.

Таким образом, расходы фосфора и калия из почвы в условиях Оренбургского Зауралья определяются условиями увлажнения периода вегетации. В благоприятный год фосфор используется активно как из пахотного, так и из подпахотного горизонтов почвы. Калий преимущественно потребляется из слоя почвы 0–30 см.

Внесение дополнительного фосфорного удобрения в дозе P<sub>40</sub> по почвозащитному пару оказалось эффективным во всех вариантах его применения (табл. 7).

5. Расходы фосфора из слоёв почвы при разных сроках сева и удобрении P<sub>40</sub> по годам опытов в Оренбургском Зауралье

Год	Расходы фосфора при разных сроках сева и удобрении, кг с 1 га						Средние по годам опытов и слоям почвы	
	первый		второй		третий		К	P <sub>40</sub>
	К	P <sub>40</sub>	К	P <sub>40</sub>	К	P <sub>40</sub>		
Слой почвы 0–30 см								
2001	+6,6	-7,2	-9,6	-13,8	-9,9	-15,4	-4,3	-12,1
2002	-16,8	-1,2	-9,0	+22,2	+7,8	+27,0	+6,0	+16,0
2003	-7,8	-58,8	-22,0	-37,8	-28,2	-19,2	-19,3	-38,6
Средний по слою почвы	-6,0	-22,3	-13,5	-9,8	-10,1	-2,5	-5,9	-11,6
Слой почвы 30–60 см								
2001	+0,7	-21,4	-3,6	-12,9	-6,8	-13,5	-3,2	-15,9
2002	-15,0	-10,7	-10,0	-3,6	-10,7	-12,6	-11,9	-9,0
2003	-5,7	-3,72	-10,0	-49,3	33,6	-22,9	-16,4	-36,5
Средний по слою почвы	-6,7	-23,1	-7,9	-21,9	-17,0	-16,3	-10,5	-20,5

6. Расходы калия из слоёв почвы при разных сроках сева и удобрении P<sub>40</sub> по годам опытов в Оренбургском Зауралье

Год	Расходы калия при разных сроках сева и удобрении, кг с 1 га						Средние по годам опытов и слоям почвы	
	первый		второй		третий		К	P <sub>40</sub>
	К	P <sub>40</sub>	К	P <sub>40</sub>	К	P <sub>40</sub>		
Слой почвы 0–30 см								
2001	+184,2	-11,7	+94,8	+104,4	+71,8	+40,5	+116,9	+44,4
2002	-298,8	-169,8	-325,2	-243,0	-161,1	-243,0	-261,7	-218,6
2003	-214,8	-459,0	-80,4	-294,0	-349,7	-266,4	-215,0	-339,8
Средний по слою почвы	-109,8	-213,5	-103,6	-144,2	-146,3	-156,3	-119,9	-171,3
Слой почвы 30–60 см								
2001	+174,5	+106,5	+156,6	+173,7	+124,5	+104,7	+151,9	+128,3
2002	-203,1	105,8	-114,4	-125,8	-81,5	-176,6	-133,0	-136,1
2003	-240,2	-295,3	-165,1	-281,7	-158,7	-190,9	-111,3	-256,0
Средний по слою почвы	-89,6	-98,2	-41,0	-77,9	-38,6	-87,6	-92,3	-87,9

7. Эффективность дозы фосфора  $P_{40}$  по почвозащитному пару при разных сроках сева и нормах высева твёрдой пшеницы в Оренбургском Зауралье, т с 1 га

Срок сева	Норма высева, млн всх. семян на 1 га	Прибавка или снижение урожайности на фоне $P_{40}$ к соответствующим вариантам на неудобренном фоне, ц с 1 га			Среднее по сроку сева и норме высева	
		2001 г.	2002 г.	2003 г.	т с 1 га	%
1-й	2,5	+1,9	+0,9	+3,2	+2,0	7,2
	3,5	+0,9	+1,0	+4,3	+2,1	6,4
	4,5	+2,0	+0,8	+3,2	+2,0	6,5
Среднее по годам и сроку сева		+1,6	+0,9	+3,6	+2,0	-
2-й	2,5	+2,5	+1,2	+3,4	+2,4	8,9
	3,5	+0,8	+1,1	+4,8	+2,2	7,1
	4,5	+2,4	+1,0	+1,6	+1,7	5,7
Среднее по годам и сроку сева		+1,9	+1,1	+3,3	+2,1	-
3-й	2,5	+1,1	+1,2	+2,5	+1,6	5,4
	3,5	+1,6	+0,9	+5,1	+2,5	7,1
	4,5	-0,9	+0,7	+2,7	+0,8	4,3
Среднее по годам и сроку сева		+0,6	+0,9	+3,4	+1,6	-
Среднее по норме высева						
	2,5	+1,8	+1,1	+3,0	+2,0	-
	3,5	+1,1	+1,0	+4,7	+2,3	-
	4,5	+1,2	+0,8	+2,5	+1,5	-
Среднее по годам						
		+1,4	+1,0	+3,4	-	-

В наиболее благоприятном 2003 г. при средней прибавке урожайности по опыту 3,4 ц с 1 га по вариантам норм высева 3,5 млн дополнительный сбор зерна составил 4,3 ц с 1 га при первом сроке сева, при втором 4,8 ц с 1 га и при третьем – 5,1 ц с 1 га. Увеличение или снижение нормы высева относительно 3,5 млн в 2003 г. снижало прибавки урожайности от внесения  $P_{40}$  до 1,6–3,2 ц с 1 га.

В неблагоприятный год (2002) прибавки снизились до 0,8–1,2 ц с 1 га, они не зависели от нормы высева. Сроки сева в этом году были также мало-значимы с тенденцией к росту прибавок в посевах второго срока сева.

В средние по благоприятности годы (2001 г.) прибавки урожайности от фосфорного удобрения были выше в посевах первого – второго сроков сева при увеличении нормы высева до 4,5 млн всхожих семян на гектар (прибавки в пределах 2,0–2,5 ц с 1 га).

Таким образом, эффективность дополнительного внесения фосфора ( $P_{40}$ ) по почвозащитному пару в значительной мере зависит от благоприятности периода вегетации твёрдой пшеницы.

**Выводы.**

1. В условиях Оренбургского Зауралья урожайность яровой твёрдой пшеницы имеет высокую коррелятивную связь с содержанием в слое почвы 0–30 см, подвижного фосфора ( $\eta=0,839$ ) и среднюю – обменного калия ( $\eta=0,578$ ).

2. В благоприятный год расходы фосфора активны как из пахотного, так и подпахотного горизонтов почвы.

3. В Оренбургском Зауралье внесение фосфора в дозе  $P_{40}$  по почвозащитному пару обеспечивает прибавку урожайности яровой твёрдой пшеницы

0,19 т с 1 га. В благоприятный год прибавка возрастает до 0,34 т с 1 га, в неблагоприятный год снижается 0,10 т с 1 га.

4. Посев в ранние сроки, но не позднее 7 дней после наступления физической спелости почвы, обеспечивает дополнительную прибавку урожайности от фосфорного удобрения на 0,04–0,05 т с 1 га в сравнении со сроками сева через 14 дней.

5. Увеличение и уменьшение нормы высева твёрдой пшеницы относительно 3,5 млн всхожих семян на гектар ведёт к снижению эффективности фосфорного питания.

6. Увеличение количества фосфора в зерне твёрдой пшеницы не способствует увеличению энергии прорастания и всхожести семян.

**Литература**

1. Глуховцева Н.И. Повышение качества зерна пшеницы. Куйбышев, 1977. 34 с.
2. Волынкин В.И. Условия азотного питания зерновых культур на чернозёмах в первый, второй и третий годы после внесения мочевины // Вопросы химизации земледелия Зауралья. Южно-Уральский НИИЗ. Челябинск, 1971. Вып. 1. С. 146–158.
3. Кушниренко Ю.Д. Некоторые закономерности и вынос из почвы элементов питания яровой пшеницы // Вопросы химизации земледелия Зауралья. Челябинск, 1971. Вып. 1. С. 79–115.
4. Южаков Ю.И. Фосфор в почвах Зауралья // Вопросы химизации земледелия Зауралья. Челябинск, 1976. Вып. 2. С. 30–35.
5. Южаков Ю.И. Влияние удобрений на фосфорный режим важнейших почв лесостепного Зауралья: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 1971.
6. Собянин Б.Н. Предшественник, удобрение и урожай яровой пшеницы // Вопросы химизации земледелия Зауралья. Челябинск, 1980. Вып. 4. С. 89–99.
7. Прянишников Д.Н. Азот в земледелии СССР // Популярная агрохимия. М., 1965.
8. Сычев Т.Л., Чмыль Т.И. Влияние времени взаимодействия удобрений и почвы на содержание подвижного фосфора // Пути повышения урожайности зерновых культур при почвозащитном земледелии: сб. науч. трудов. Целиноград, 1984. С. 106–112.