

## Влияние минеральных удобрений на плодородие выщелоченного чернозёма, урожайность и качество зерна яровой пшеницы

*Х.С. Юмашев, к.с.-х.н., И.А. Захарова, к.б.н., ФГБНУ Челябинский НИИСХ*

Величина валовых сборов зерновых и кормовых культур неразрывно связана с увеличением объёмов применения минеральных и органических удобрений. В связи с этим ещё на заре индустриализации государства с развитием коллективных форм собственности перед исследователями встали вопросы эффективного использования агрохимических средств применительно к различным регионам страны. Начиная с 40-х гг. прошлого столетия в СССР начали разворачиваться научно-исследовательские работы при МТС и совхозах, что послужило основой создания Географической сети опытов с удобрениями. Основанием для проведения этих опытов стало выступление Д.Н. Прянишникова в Госплане СССР с докладом о химизации земледелия, широком применении удобрений [1].

**Материал и методы исследования.** Агрохимические исследования в Челябинском НИИСХ начали проводиться в 1940-е гг. На первом этапе исследования носили фрагментарный, рекогносцировочный характер в краткосрочных опытах, где эффективность удобрений оценивалась в основном по полученным прибавкам урожая, без увязки с плодородием почвы, погодными условиями и др. существенными факторами, влияющими на урожайность полевых культур.

В этот период было проведено множество полевых, вегетационных и вегетационно-полевых опытов, в которых наряду с изучением эффективности минеральных удобрений проводились исследования с органическими, органоминеральными и бактериальными формами удобрений.

На первый план выдвигалась задача установления состава и рациональных доз удобрений под ведущие зерновые культуры, а также определения эффективности основных элементов питания применительно к зональным особенностям региона.

Однако в краткосрочных опытах в недостаточной мере учитывались факторы взаимодействия элементов питания и их запасы в почве, взаимное влияние полевых культур и элементов питания при возделывании их в севооборотах. Ответ на эти вопросы могли дать только длительные стационары, где более полно характеризуется всё многообразие почвенно-климатических условий выращивания полевых культур [2].

С этой целью в 1972 г. под руководством заслуженного агронома РФ Ю.Д. Кушниренко был заложен длительный стационарный опыт по изучению влияния доз и соотношений удобрений

при их систематическом внесении на продуктивность плодосменного севооборота и монокультур, который впоследствии был включён в реестр длительных опытов Геосети РФ. В 1993 г. в данном стационаре произошла реконструкция, плодосменный севооборот был преобразован в зернопаротравяной севооборот.

Схема стационарного опыта включала по четыре уровня использования азота и фосфора. На вариантах со средними нормами азота и фосфора дополнительно вносился калий. Пространственная реализация схемы осуществлялась в двух блоках с равной суммой эффектов в обоих блоках по принципу ортогональности.

**Результаты исследования.** Систематическое внесение минеральных удобрений сопровождается изменением всех показателей плодородия почв, в том числе и их физико-химических свойств. Физико-химические свойства почвы оказывают влияние не только непосредственно на рост и развитие растений, но и на превращение в почве удобрений [3–6].

За 25 лет систематического внесения фосфорных удобрений в выщелоченном чернозёме было внесено около 1000–3000 кг/га д.в. фосфора. Исследование проводили на различных севооборотах, в частности плодосменном с чередованием культур горох – пшеница – кукуруза – ячмень и зернопаротравяном севообороте: пар – озимая рожь – горох – пшеница – однолетние травы на зелёный корм – ячмень.

В результате этого произошли значительные изменения в обеспеченности почвы подвижным фосфором. При внесении 1000 кг/га удобрения содержание доступного растениям фосфора выросло до 155 мг/кг почвы, при внесении 3000 кг/га – до 218 мг/кг. При этом затраты фосфора на повышение содержания подвижного фосфора на 1 мг/кг составляли 11,4–28,6 кг/га. На фоне азотного удобрения затраты фосфорного удобрения на повышение содержания подвижного фосфора увеличивались, что связано с большим выносом данного элемента питания из-за более высокого уровня урожайности в этих вариантах (табл. 1).

Аналогичные результаты по изменению фосфатного режима почв при применении удобрений получили в своих исследованиях А.В. Соколов, И.Н. Чумаченко и др. [7–9].

Исследованиями, проведёнными на дерново-подзолистых почвах, не выявлено существенного изменения кислотности почвы и суммы поглощённых оснований под действием минеральных удобрений [10]. В чернозёмных почвах с нестабильным водным режимом и ограниченным

1. Изменение содержания подвижного фосфора при длительном применении фосфорных удобрений в плодосменном севообороте

Вариант	Доза удобрения, кг/га д.в.			Внесено фосфора, кг/га	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		Затраты фосфорных удобрений на повышение содержания P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 1 мг/кг почвы, кг
	азот	фосфор	калий		исходное	на 25-й год ежегодного внесения фосфорных удобрений	
0	–	–	–	–	67	76	–
N <sub>1</sub>	20	–	–	–	67	83	–
N <sub>2</sub>	40	–	–	–	67	59	–
N <sub>3</sub>	60	–	–	–	67	66	–
P <sub>1</sub>	–	40	–	1000	67	155	11,4
P <sub>2</sub>	–	80	–	2000	67	137	28,6
P <sub>3</sub>	–	120	–	3000	67	218	19,9
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	20	40	–	1000	67	142	13,3
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	40	80	–	2000	67	110	46,5
N <sub>3</sub> P <sub>3</sub>	60	120	–	3000	67	204	21,9
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	40	80	40	2000	67	136	30,0

2. Изменение физико-химических свойств выщелоченного чернозёма при длительном применении минеральных удобрений в севообороте

Вариант	Доза удобрения, кг/га д.в.		Показатель по годам					
			1971 – исходное			2017		
	азот	фосфор	pH <sub>KCl</sub>	Hг, мг-экв/100 г	S <sub>осн.</sub> , мг-экв/100 г	pH <sub>KCl</sub>	Hг, мг-экв/100 г	S <sub>осн.</sub> , мг-экв/100 г
0	–	–	6,15	1,9	34,0	5,79	3,31	36,08
N <sub>1</sub>	25	–	6,15	1,9	34,0	5,61	4,12	35,50
N <sub>2</sub>	60	–	6,15	1,9	34,0	5,39	5,01	34,98
N <sub>3</sub>	90	–	6,15	1,9	34,0	5,45	4,34	32,24
P <sub>1</sub>	–	32	6,15	1,9	34,0	5,62	3,95	36,21
P <sub>2</sub>	–	65	6,15	1,9	34,0	5,66	3,57	35,89
P <sub>3</sub>	–	98	6,15	1,9	34,0	5,50	4,34	34,98
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	25	32	6,15	1,9	34,0	5,59	4,29	34,71
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	60	65	6,15	1,9	34,0	5,64	3,92	33,29
N <sub>3</sub> P <sub>3</sub>	90	98	6,15	1,9	34,0	5,19	5,61	34,06

промачиванием подкисление под влиянием удобрений достигает значительных размеров, но наблюдается только в верхних (пахотном и подпахотном) слоях почвы [10].

В результате исследований, проведенных в Челябинском НИИСХ на выщелоченном чернозёме, выявлено, что под действием длительного применения азотно-фосфорных удобрений изменилась кислотность почвенного раствора: гидролитическая кислотность возросла в 2 раза, причём с увеличением дозы удобрения соответственно возрастала и кислотность; обменная кислотность почвы за этот же период исследований возросла на 8–16 %. Сумма поглощённых оснований под действием удобрений изменялась незначительно, небольшое снижение суммы поглощённых оснований наблюдалось при внесении повышенной дозы азотного удобрения (табл. 2).

Большое значение для повышения отдачи от удобрений, по мнению ряда авторов, имеет соотношение между азотом и другими элементами питания и в первую очередь между азотом и фосфором [11–15].

В плодосменном севообороте с чередованием культур горох – яровая пшеница – кукуруза –

ячмень яровая пшеница размещалась после гороха. В этих условиях при низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором яровая пшеница слабо отзывалась на азотное удобрение, при этом прибавка урожая зерна от азота не превышала 2,5 ц/га. Между дозами азота не было выявлено достоверных различий (табл. 3).

При внесении 60 кг/га д.в. азотного удобрения на фоне 120 кг/га д.в. фосфорного урожай зерна пшеницы увеличился до 28,8 ц/га.

В целом в севообороте яровая пшеница, размещённая после бобового предшественника, слабо отзывалась на азотное питание. Прибавка урожая в среднем по всем дозам фосфора не превышала 2,9–4,4 ц/га, при этом с повышением дозы азота от 20 до 60 прибавка урожая возрастала незначительно.

В плодосменном севообороте в результате длительного применения фосфорных удобрений созданы варианты с различным уровнем обеспеченности почвы подвижным фосфором. На вариантах с ежегодным внесением 40 кг/га д.в. фосфора содержание подвижного фосфора возросло до 90 мг/кг почвы при уровне 60 мг/кг на контрольном варианте; на вариантах с ежегодным

3. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы в плодосменном севообороте, ц/га (1972–1992 гг.)

Фактор А, доза фосфора, кг/га д.в.	Фактор В, доза азота, кг/га д.в.				Среднее по фактору А	Прибавка урожая	НСР <sub>0,5</sub> главных эффектов фактора А
	0	20	40	60			
0	20,5	$\frac{22,3}{1,8}$	$\frac{21,8}{1,3}$	$\frac{23,0}{2,5}$	21,9	–	0,88
40	$\frac{23,1}{2,6}$	$\frac{25,9}{5,4}$	$\frac{27,7}{7,2}$	$\frac{27,7}{7,2}$	26,1	+4,2	
80	$\frac{22,7}{2,2}$	$\frac{26,9}{6,4}$	$\frac{27,6}{7,1}$	$\frac{28,0}{7,5}$	26,3	+4,4	
120	$\frac{23,8}{3,3}$	$\frac{26,6}{6,1}$	$\frac{28,2}{7,7}$	$\frac{28,8}{8,3}$	26,8	+4,9	
Среднее по фактору В Прибавка урожая	22,5 –	25,4 + 2,9	26,3 + 3,8	26,9 + 4,4	25,3		
НСР <sub>0,5</sub> главных эффектов фактора В НСР <sub>0,5</sub> частных различий для азота	0,72 1,44						

Примечание: в знаменателе – дополнительный сбор зерна к контролю, ц/га

4. Влияние азотных удобрений и последствие ранее внесённых фосфорных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы в зернопаротравяном севообороте, ц/га (в среднем за 2002–2018 гг.)

Фактор А последствие фосфора	Фактор А, доза азота, кг/га д.в.				Среднее по фактору А	Прибавка урожая	НСР <sub>0,5</sub> главных эффектов фактора А
	0	30	60	90			
0	22,2	$\frac{25,0}{2,8}$	$\frac{25,9}{3,7}$	$\frac{25,3}{3,1}$	24,6	–	1,00
40	25,5	$\frac{30,5}{5,0}$	$\frac{29,3}{3,8}$	$\frac{30,8}{5,3}$	29,0	+ 4,4	
80	24,9	$\frac{30,2}{5,3}$	$\frac{28,7}{3,8}$	$\frac{30,1}{5,2}$	28,5	+ 3,9	
120	27,7	$\frac{29,6}{1,9}$	$\frac{30,7}{3,0}$	$\frac{31,1}{3,4}$	29,8	+ 5,2	
Среднее по азоту Прибавка урожая	25,1 –	$\frac{28,8}{+ 3,7}$	$\frac{28,7}{+ 3,6}$	$\frac{29,3}{+ 4,3}$	28,0		
НСР <sub>0,5</sub> главных эффектов фактора В НСР <sub>0,5</sub> частных различий для азота	1,00 1,99						

Примечание: в знаменателе – дополнительный сбор зерна к контролю, ц/га

внесением 80 кг/га д.в. фосфорных удобрений – до 80 мг/кг д.в.; на варианте с внесением 120 кг/га д.в. за этот период содержание подвижного фосфора увеличилось до 160 мг/кг почвы.

Учитывая данное обстоятельство, в многолетнем стационаре было принято решение временно прекратить внесение фосфорных удобрений, а изучение эффективности азотных удобрений вести на фоне последствие остаточного фосфора.

Исследование, проведённое в 2002–2018 гг., показало, что яровая пшеница, размещённая в севообороте после гороха, довольно слабо отзывается на азотное удобрений. Прибавка урожая от азотного удобрения на фоне низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором составляла 13–16 %, в то время как на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором прибавка составляла от 15 до 21 %, а на фоне повышенной обеспеченности – снижалась до 6–12 % (табл. 4).

Урожайность яровой пшеницы в зернопаротравяном севообороте была на 10,6 % выше,

чем в плодосменном севообороте и составляла 28,0 ц/га. Прибавка урожая зерна яровой пшеницы от азотного удобрения была равна 3,6–4,3 ц/га, что соответствовало уровню плодосменного севооборота. Прибавка урожая от последствие остаточного фосфора была на уровне 3,9–5,2 ц/га и достоверно не различалась в зависимости от уровня фосфорного питания.

Изучением качественных показателей зерна яровой пшеницы выявлено, что содержание белка и клейковины зависит от типа минерального питания. Так, верхние точки на графике (рис. 1) соответствуют азотно-фосфорному питанию, при этом азотное и фосфорное питание уступает совместному применению азота и фосфора. Включение калия в систему питания приводит к снижению содержания белка и клейковины по отношению к азотно-фосфорному и азотному питанию.

**Вывод.** Длительное внесение азотно-фосфорных удобрений приводит к изменению плодородия почвы. Фосфорные удобрения спо-

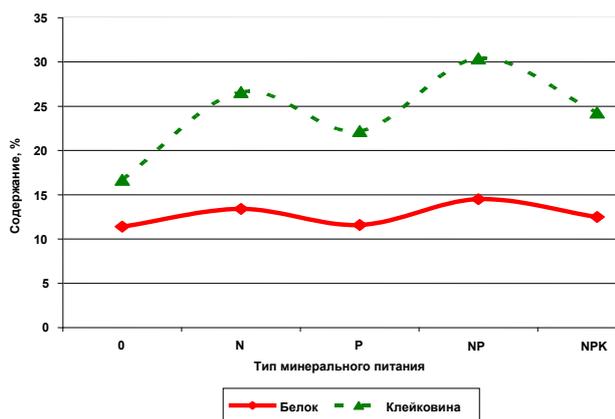


Рис. 1 – Качество зерна яровой пшеницы в зависимости от типа минерального питания

способствуют увеличению содержания подвижного фосфора, азотно-фосфорные удобрения влияют на рост кислотности почвы. Прибавки урожая зерна яровой пшеницы при применении азотно-фосфорных удобрений в различных севооборотах существенно не различались. Высококачественное зерно яровой пшеницы обеспечивается азотно-фосфорным питанием.

### Литература

1. Прянишников Д.Н. Избр. соч. Т. 1. Агрохимия. М., 1952. 692 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1978. 416 с.
3. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. М.: КолосС, 2010. 687 с.
4. Агробиологический цикл фосфора / А.Л. Иванов и др. М.: Россельхозиздат, 2010. 512 с.
5. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота сибирских почв при длительном применении удобрений // Состояние и пути повышения

эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями: матер. Всерос. конф. учрежд.-участн. Географической сети опытов с удобрениями, 26–27 июня 2012 года / под ред. академика РАСХН В.Г.Сычева. М.: ВНИИА, 2012. С. 7–10.

6. Шейджен А.Х., Онищенко Л.М., Исапова Ю.А. Агрохимические свойства чернозёма выщелоченного при длительном применении удобрений // Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями: матер. Всерос. конф. учрежд.-участн. Географической сети опытов с удобрениями, 26–27 июня 2012 года / под ред. академика РАСХН В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2012. С. 10–13.
7. Ваулин А.В., Коваленко А.А., Варламов В.А. Изменение фосфатного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при внесении высоких доз фосфорных удобрений // Агрохимический вестник. 2010. № 6. С. 10–12.
8. Соколов А.В. Агрохимия фосфора. М.: Изд-во академии наук СССР, 1950. 152 с.
9. Чумаченко И.Н. Фосфор в жизни растений и плодородии почв. М.: ЦИНАО, 2002. 124 с.
10. Жукова Л.М., Доброхотова И.Н., Никитина Л.В. Влияние систематического внесения удобрений на физико-химические свойства дерново-подзолистых, серых лесных и выщелоченных чернозёмов // Труды ВИУА. Плодородие почв и эффективность удобрений. М., 1986. С. 104–113.
11. Прошкин В.А. Современные модели прогноза эффективности минеральных удобрений по агрохимическим свойствам почвы // Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями: матер. Всерос. конф. учрежд.-участн. Географической сети опытов с удобрениями, 26–27 июня 2012 года / под ред. академика РАСХН В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2012. С. 117–120.
12. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Усовершенствованные приёмы применения удобрения в адаптивно-ландшафтном земледелии. Куртамыш, 2010. 298 с.
13. Осипов А.И., Соколов О.А. Роль азота в плодородии почв и питании растений. СПб., 2001. 356 с.
14. Постников П.А., Попова В.В. Воздействие предшественников и удобрений на урожай зерновых культур в севооборотах // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. № 70. С. 214–218.
15. Specht G. Die eingliederung der periodischen dungung in die Pruchtfolgen leichter Sandboden // Deutsch. Landwirtschaft. 1963. B. 14. № 3.