

УДК 631.559:633.11«321»:631.811

УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПРИ ЭФФЕКТИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ[§]

© 2024 г. О. В. Волынкина*

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

*E-mail: kniish@ketovo.zaural.ru

Обобщение результатов 4-х полевых опытов, агрохимические и агротехнические характеристики которых существенно отличались, показало общие и предельные приросты урожайности сельскохозяйственных культур при применении минеральных удобрений. Опыты проведены в разных почвенно-климатических зонах Курганской обл.: на тяжелосуглинистом обыкновенном чернозёме в одном из хозяйств Альменевского р-на и на 2-х опытных полях Курганского НИИСХ – Центральном (на среднесуглинистом выщелоченном черноземе) и Шадринском (на тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе). Вид обработки почвы: в 3-х опытах – вспашка и севооборот, в 4-м – бессменная пшеница на стерновом фоне. Фосфорное удобрение давало высокие прибавки урожайности на фонах с содержанием подвижного P_2O_5 в слое 0–20 см почвы от 30 до 50 мг/кг, при содержании 74 мг P_2O_5 /кг действовало слабо. При испытании доз азота и фосфора первый их уровень обеспечивал наибольшую и лучше окупаемую предельную прибавку в сравнении с приростами от следующих доз удобрения. Удобрение оказывало положительное влияние на урожайность пшеницы и белковость зерна. Достижение 3-го класса качества зерна относилось к 60–90% лет в опытных вариантах при 40–50% лет в контроле. Вполне определенно можно заключить, что на фонах с содержанием в почве 74 мг P_2O_5 /кг следует обходиться только азотным удобрением; дозу азота снижать до N_{40-50} , дозу фосфора – до P_{15-20} с применением припосевного способа внесения фосфорного удобрения. При этих условиях рентабельность удобрения повышалась до 45–73% по сравнению с низкими и отрицательными показателями в других вариантах.

Ключевые слова: эффективность удобрений, технология выращивания культур, севооборот, предельная прибавка от удобрения, рентабельность.

DOI: 10.31857/S0002188124080045, **EDN:** CEGRCE

ВВЕДЕНИЕ

Выявление роли разных факторов, определяющих урожайность в одном из опытов в ЦЧР [1] показало, что погодные условия влияли на 51%, удобрения – на 30% и обработка почвы – на 3%. В других работах удобрения имели большую долю участия в продуктивности культур – до 45–50% [2]. Эффективная система применения минеральных удобрений предусматривает следующие цели:

[§] Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002 “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, интегрированной защиты растений, биологизации, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ и баз данных, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

повышение урожайности сельскохозяйственных культур с улучшением его качества при высокой оплате удобрений приростом урожая; при этом должны быть предусмотрены сохранение или повышение плодородия почвы и охрана окружающей среды [3]. Авторы методики проектирования системы удобрений [4] подчеркивали принцип индивидуальности участка, для которого предназначена система. Точное земледелие означает не только дифференцированное внесение удобрений, но и уточнение оптимальных доз удобрений в полях севооборота. В опыте [5] в Тюменской обл. оценили пестроту почвенного покрова поля по величине содержания питательных веществ, коэффициент вариации был равен 26%. При сравнении урожайности яровой пшеницы на фонах применения средней дозы удобрений для всего поля и дифференцированного внесения она оказалась больше при традиционном способе. При дифференцированном способе сбор зерна был несколько меньше,

и вариабельность величины урожайности повысилась с 10 до 19%.

Применение фосфорного удобрения существенно повышает содержание подвижного фосфора в почве, что отмечено во многих работах, в которых изучили связь изменений средних доз фосфора, внесенных в пятилетия за 1970–2010 гг., и содержания подвижного фосфора, определенного в циклах обследования почв [6–9]. Показано, что с уменьшением объема внесения фосфорного удобрения содержание подвижного P_2O_5 в почве сохранялось на уровне 100–116 мг/кг, что объясняется значительным последствием фосфорных удобрений [10, 11].

Для нахождения оптимальных доз более информативным оказалось знание предельного прироста урожая от каждого шага повышения дозы в полевом опыте. Добавление переменных средств к основным ресурсам выгодно до тех пор, пока дополнительный доход превышает дополнительный расход [12]. Оптимальной окупаемостью считается получение 9–10 кг дополнительного зерна на 1 кг д.в. удобрений [13]. Нахождение хорошо оплачиваемых прибавкой урожая доз азота или фосфора более удобно в полевых стационарных опытах с большим набором доз. В таких экспериментах виден эффект предельной дозы, которая равняется шагу ее изменения. В почвах пашни Курганской обл. достаточно только обменного калия, а для улучшения питания растений азотом и фосфором необходимо применение минеральных удобрений [14]. Цель работы – показать оплату разных доз удобрений предельными прибавками урожайности пшеницы в различных севооборотах и в ее бессменных посевах при изучении состава удобрения и возрастающих его доз в 4-х опытах: в хозяйстве “Могучий” Альменевского р-на Курганской обл., на Центральном и Шадринском (северо-запад области) опытных полях Курганского НИИСХ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале УрФАНИЦ УрО РАН – в лабораториях агрохимии и земледелия.

Агроклиматические показатели центральной и северо-западной зон Курганской обл. следующие: осадки за год в первой из них – 350–369 мм, за вегетацию – 190–207 мм, во второй – соответственно 350–422 и 200–228 мм; период с температурой воздуха $>10^\circ\text{C}$ – 130–134 и 122–133 сут. Для лучшего восприятия материала опыты пронумерованы. Опыт 1 в Альменевском р-не проводил В.И. Волынкин с помощниками на сменяемых участках в 1977–1979 гг. Опыт 2 – стационарный, заложен В.И. Волынкиным в 1971 г. на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ. Севооборот зернопропашной: кукуруза–две пшеницы–овес. С 1993 г. по настоящее время исполнитель опыта – О.В. Волынкина.

С 1971 по 1998 гг. сравнивали эффективность 3-х доз одного азота с фосфором, ежегодно вели вспашку. Изучали дозы азота – N40–80–120 на кукурузе и N20–40–60 на зерновых культурах, в среднем в севообороте – N25–50–75. Опыт 3 тоже стационарный, заложен В.И. Овсянниковым в 1972 г. на Шадринском опытном поле, 40 лет исследования вели сотрудники Г.Н. Харин и В.П. Новоселов. Опыт 4 (исполнитель О.В. Волынкина) с бессменной пшеницей после стерни создан на базе опыта 2 в 1999–2000 гг. Те же вопросы стали исследовать при новой технологии, распространившейся в производственной практике. Дозы азота N20–40–60, фосфора – P20. Агрохимические свойства почвы 2-х опытных полей показаны в табл. 1. Повышение содержания подвижного P_2O_5 до 74 мг/кг в Шадринском опыте произошло по мере постепенного зафосфачивания почвы пашни опытного поля, где опыты с удобрениями начаты были в 1916 г.

Таблица 1. Агрохимические показатели почвы опытных полей Курганского НИИСХ (слой 0–20 см)

Показатель	Поле	
	Центральное	Шадринское
Подтип чернозема	Выщелоченный	Выщелоченный
Гранулометрический состав	Среднесуглинистый	Тяжелосуглинистый
pH _{KCl} 1972/2008 г.	6.3/5.2	6.5/5.1
Содержание гумуса, %	4.5	5.3–7.4
P_2O_5 по Чирикову, мг/кг	37–50	74
K_2O по Чирикову, мг/кг	250–300	120–150
N- NO_3 под посевом 1-й после пара культуры, кг/га, слой 0–100 см	117	85
N- NO_3 под посевом 2–3-й культуры, кг/га, слой 0–100 см	42–55	49–58

Состав и дозы удобрений сравнили в зернопаровом и зернопропашном севооборотах и в посеве бессменной пшеницы. Обработка почвы: в 3-х опытах — вспашка, в опыте 4 — с осени стерневой фон. Повторность вариантов трехкратная. Общая площадь делянок — 200–240–270 м², учетная 80–90 м². Удобрения — аммиачная селитра и двойной суперфосфат, в последние годы — аммофос. Их вносили весной дисковой сеялкой СЗ-3.6 на глубину 5 см до применения новых порций удобрений. Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур. Зерновые культуры в севооборотах сеяли сеялкой СЗ-3.6, кукурузы — сажалкой СУПК; в повторных посевах пшеницы после стерни — стерневой сеялкой СКП-2.1 с сошником культиваторного типа. Урожай зерновых культур учитывали напрямую комбайном Samro-500 с отбором образца зерна для определения влажности и сорности бункерной массы. Кукурузу скашивали с площадки 14 м², взвешивали, определяли влажность для пересчета урожая на сухое вещество. Анализ данных опытов проведен автором статьи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Опыт 1. Результаты трехлетних испытаний доз суперфосфата в опыте на тяжелосуглинистом обыкновенном солонцеватом черноземе сельскохозяйственного предприятия “Могучий” Альменевского р-на Курганской обл. представлены в табл. 2.

В почве участка под опытом отмечено низкое содержание подвижного Р₂О₅ по Чирикову — 36 мг/кг. Альменевский р-н входит в центральную зону до Р15, внесенной в рядки при посеве, прибавка 6.2 ц/га означала высокую окупаемость — 41 кг зерна/кг д.в. суперфосфата. Дальнейшее повышение дозы оказалось нецелесообразным. Этот вывод особенно ценен при анализе оплаты затрат на удобрение в рублях, т.к. цены на удобрения выросли,

а на зерно пшеницы — снизились. В 2022 г. при стоимости 1 т аммофоса 57 тыс. руб., зерна пшеницы 10–12 тыс. руб., 1 кг фосфора обходился 114 руб., 1 кг зерна — 10–12 руб., т.е. превышение цены удобрения над стоимостью зерна было равно 9.5 раза. Покупка аммофоса для применения Р15 составила 1740 руб./га, а с расходами на перевозку, внесение и уборку дополнительного урожая — 3639 руб./га. Доход от увеличения урожая 6200 руб./га означал прибыль 2561 руб./га и рентабельность 70%. При применении 2-й дозы Р15 доход был меньше — 2200 руб./га, затраты — 2359 с отрицательными величинами прибыли и рентабельности: —159 руб./га и —6.7%.

Опыт 2. При аналогичной оценке эффектов от применения доз азотного удобрения по величине предельных прибавок выявлена окупаемость каждого шага роста дозы азота. Исследование вели в севообороте кукуруза—две пшеницы—овес, оплата удобрений резко снижалась при повышении дозы азота до 3-го уровня. Очевидной эта закономерность была при рассмотрении изменений предельных прибавок урожая сухого вещества кукурузы. На рис. 1 приведены прибавки урожая сухого вещества кукурузы в зависимости от 3-х доз N40 без фосфора и на его фоне.

Растения хорошо отзывались на включение в удобрение фосфора, что было обосновано низким содержанием подвижного Р₂О₅ в среднесуглинистом выщелоченном черноземе участка под опытом (37–40 мг/кг по Чирикову). От совместного внесения азота и фосфора эффект повышался почти вдвое.

Первая доза азота N40 на фоне Р40 повысила сбор сухого вещества кукурузы на 11.9 ц/га, 2-я — 9, 3-я — только на 2.3 ц/га. Постепенно оплата предельной дозы N40 на фосфорном фоне снижалась (в кг сухого вещества/кг азота) с 29.8 до 22.5 и 5.8. Окупаемость смесей удобрений N40Р40 и N80Р40 составила 14.9 и 17.4 кг/кг.

Таблица 2. Оплата разных доз припосевного внесения фосфора общей и предельной прибавками урожайности 1-й пшеницы после пара (1977–1979 гг.), кг/кг д.в.

Доза	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га		Окупаемость 1 кг д.в. прибавкой, кг/кг	
		общая	предельная	общей	предельной
Контроль	24.2	—	—	—	—
Р15	30.4	6.2	6.2	41	41
Р30	32.6	8.4	2.2	28	15
Р45	33.5	9.3	0.9	20	6
Р60	34.7	10.5	1.2	16	10
Р90	34.2	10.0	–0.5	11	–3
НСР ₀₅		0.9–2.7			

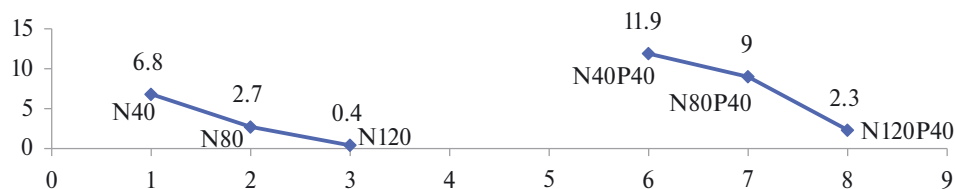


Рис. 1. Предельные прибавки урожайности сухого вещества кукурузы при увеличении доз удобрений на N40 без фосфора и на его фоне (1971–1998 гг., в контроле — 41.9 ц с.в./га, HCP_{05} = 11 ц с.в./га, Центральное опытное поле), ц/га.

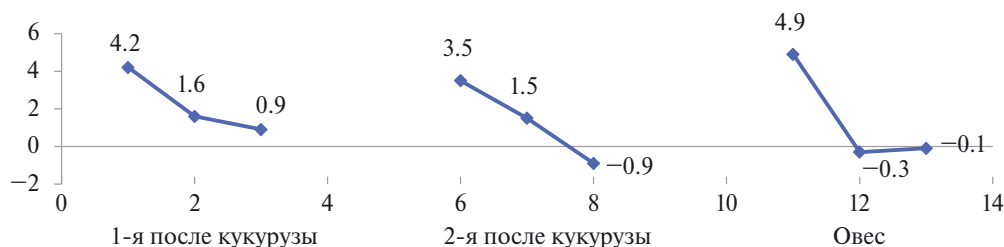


Рис. 2. Предельные прибавки зерна при увеличении доз удобрения на N20 при применении N20–40–60 на фоне P40 в посевах зерновых культур в зернопропашном севообороте (1971–1998 гг., урожайность пшеницы в контроле = 16.8, 15.8, овса — 23.8 ц/га, HCP_{05} + 1.7, 2.3, 1.3 ц/га), ц/га.

Для зерновых культур эффективность азота в дозах N20–40–60 на фоне P40 свидетельствовала о выгодном уровне применения азота в посевах пшеницы после кукурузы только при применении 1-й и 2-й из испытанных доз и лишь 1-й дозы — на овсе (рис. 2).

При развитой корневой системе овса его урожайность была значительно больше, чем пшеницы. Прирост урожайности овса останавливался после применения 1-й дозы удобрения. В посеве 1-й пшеницы после кукурузы 1-я доза азота N20 на фосфорном фоне оплачивалась высоко — 21 кг зерна/кг азота (420 кг зерна : 20), 2-я — 8 (160 : 20) и 3-я доза — всего 4.5 (90 : 20). В посеве 2-й пшеницы после кукурузы закономерности изменения оплаты 3-х доз с шагом N20 на фоне P40 были похожими лишь для 1-й и 2-й доз азота. С переходом к 3-й дозе эффект был отрицательным при окупаемости 17.5, 7.5 и —4.5 кг/кг. В посеве овса оплата 1-й дозы азота достигла 24.5 кг/кг, далее она резко снижалась.

Опыт 3. По-другому действовали удобрения на тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе Шадринского опытного поля Курганского НИИСХ, где содержание подвижного фосфора составляло 74 мг/кг (табл. 1). По откорректированной для местных условий шкале Чирикова показатель 74 мг/кг означал класс повышенной обеспеченности. Поэтому внесение фосфорного удобрения в дозе P30 дало небольшую среднюю прибавку 1.6 ц/га даже в посеве 1-й пшеницы после пара, где обычно фосфор обеспечивает высокий эффект.

При добавлении к фосфору азота в варианте N40P30 отмечено его слабое влияние на 1-ю культуру после пара. От совместного применения фосфора и азота получен прирост 3.4 ц/га к контролю, от азота по отношению к фону P30 — 1.8 ц/га при урожайности 1-й пшеницы в контроле 24.7 ц/га. В паровом поле на Шадринском опытном поле в среднем накапливалось нитратного азота 85 кг/га в 1-метровом слое почвы при 117 кг/га на Центральном опытном поле (табл. 1). Тем не менее, применение азота в 1-м посеве после пара было малоэффективным. Предельные прибавки урожая 1-й пшеницы при переходе от варианта P30 к насыщению севооборота дозами N40–80–120P30 (непосредственно в посеве 1-й пшеницы вносили N40) показаны на рис. 3.

С удалением во времени посева от пара фон P30 действовал также слабо, повышая урожайность пшеницы на 0.3–0.6 ц/га и в повторных посевах — на 0.5 ц/га, но при этом высокоэффективным становился азот. В посеве 2-й пшеницы после пара средняя прибавка от применения N40P30 была равна 8.6 ц/га, а предельный прирост к фону P30 — 8.0 ц/га (рис. 4).

При применении 2-х следующих доз N40 предельные прибавки урожайности снижались до 3.0 и 0.2 ц/га. Оплата доз в кг зерна на 1 кг азота уменьшалась с 20 до 7.5 и 0.5 кг зерна.

В конце севооборота в 1-метровом слое почвы содержание нитратного азота было значительно меньше — 49–58 кг/га, повышалась засоренность

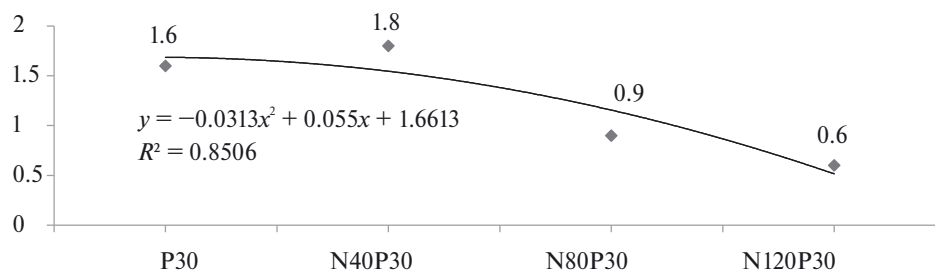


Рис. 3. Предельные прибавки урожая зерна 1-й пшеницы после пара при увеличении доз азота с шагом N40 в вариантах P30N40–80–120 по сравнению с фоном P40 (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг., урожайность в контроле = 24.7 ц/га, HCP_{05} = 1.1–1.9 ц/га), ц/га.

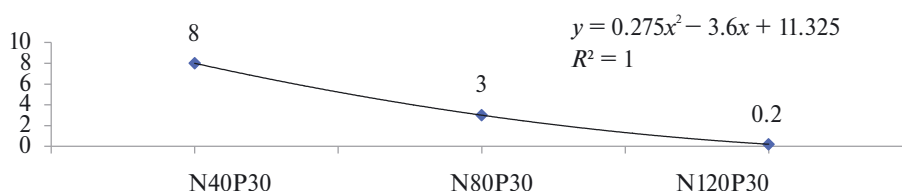


Рис. 4. Предельный прирост урожая зерна 2-й пшеницы после пара при увеличении доз азота с шагом N40 в вариантах N40–80–120P30 по сравнению с фоном P30 (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг., урожайность в контроле = 17.0 ц/га, HCP_{05} = 2.2–2.7 ц/га), ц/га.

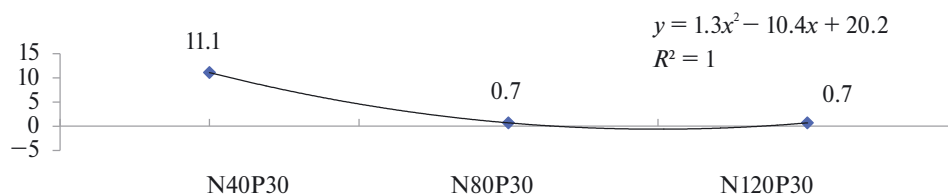


Рис. 5. Предельный прирост урожая зерна 3-й пшеницы после пара при увеличении доз удобрений с шагом N40 в вариантах N40–80–120P30 по сравнению с фоном P30 (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг., урожайность в контроле = 15.4 ц/га, HCP_{05} = 1.6–2.9 ц/га), ц/га.

посева, что вызывало высокую отзывчивость пшеницы на улучшение азотного питания. Прирост от применения P30 в этом поле составил 0.3 ц/га, тогда как от N40P30 он достиг 11.4 ц/га и непосредственно от N40 – 11.1 ц/га при урожайности в контроле 15.4 ц/га. Применение 2-х следующих доз N40 дало дополнительно по 0.7 ц/га (рис. 5). Оплата 1 кг азота прибавкой с повышением дозы уменьшалась с 28 до 1.75 кг зерна.

Бессменные посевы пшеницы в этом эксперименте исследованы, как и пшеницы в севообороте с паром, в условиях ежегодной вспашки. Однако их урожайность без удобрения ограничивалась средним уровнем 14.1 ц/га. Фон P30 дал прибавку 0.5 ц/га, а на азот отзывчивость растений была высокой с повышением урожайности бессменной пшеницы на 7.2 ц/га (рис. 6) и оплатой 1 кг азота 18 кг зерна.

Следующая доза N40 дала дополнительную прибавку 3.5 ц/га с неплохой окупаемостью 8.8 кг зерна/кг азота. Дальнейшее увеличение дозы азота было неэффективным, т.к. предельная прибавка урожайности снизилась до 0.6 ц/га с оплатой 1.5 кг/кг.

Благодаря более стабильному и достаточному уровню увлажнения посевов в северо-западной зоне Курганской обл. в части лет опыта прибавки урожая, в отличие от их средней величины, в зависимости от варианта опыта повышались до 9–14–18–22 ц/га соответственно. Наибольшая доля прибавок такого уровня отмечена во 2-м, 3-м посевах после пара и в посевах бессменной пшеницы (табл. 3).

От применения удобрений улучшалось качество зерна пшеницы. Выращивание высокобелковой пшеницы в более влажной и урожайной северо-западной зоне Курганской обл. удастся

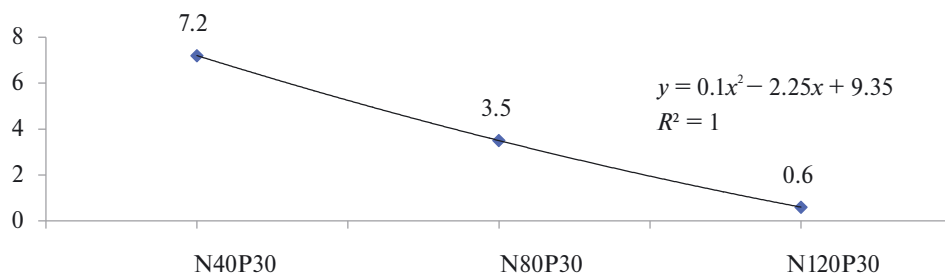


Рис. 6. Предельный прирост урожая бессменной пшеницы при увеличении доз азотных удобрений с шагом N40 в вариантах N40–80–120P30 по сравнению с фоном P30 (Шадринское опытное поле, 1972–2011 гг., урожайность в контроле 14.1 ц/га, $HCP_{05} = 2.1\text{--}2.7$ ц/га), ц/га.

Таблица 3. Повторяемость прибавок разной величины при применении N40P30, % лет

Величина прибавки, ц/га	1-я пшеница после пара	2-я пшеница после пара	3-я пшеница после пара	Бессменная пшеница
9–22	2	48	60	40
5–8	10	32	20	30
2–4	28	15	18	25
0–1	60	5	2	5

Таблица 4. Влияние удобрений на содержание клейковины в зерне пшеницы в разных полях севооборота и при ее бессменном возделывании (среднее за 1972–2011 гг.), %

Место пшеницы в севообороте	Варианты				
	Контроль	P30	N40P30	N80P30	N120P30
Содержание клейковины в зерне, %					
1-я после пара	27.8	27.6	29.7	30.6	30.8
2-я после пара	24.6	24.0	25.5	30.4	31.2
3-я после пара	22.3	22.8	26.9	28.1	31.6
Бессменная	22.3	22.8	25.8	29.9	31.1
Повторяемость 3-го класса качества пшеницы за 40 лет опыта, % лет					
1-я после пара	85.0	82.5	92.5	92.5	95
2-я после пара	62.5	52.5	77.5	92.5	97.5
3-я после пара	47.5	47.5	87.5	95	100
Бессменная	42.5	42.5	67.5	92.5	97.5

реже. Поэтому большой интерес представляет анализ качества зерна пшеницы в этом опыте. Вторая и третья дозы азота в вариантах N80–120P30, слабее действуя на урожайность, имели преимущество влияния на содержание клейковинных белков в зерне. Больше в этих вариантах было и число лет с выращиванием зерна 3-го класса (табл. 4).

С переходом дозы азота от N40P30 к N80P30 содержание клейковины возрастало в среднем на 4–5%. Проявилось различие этого эффекта в зависимости от поля севооборота. В посеве 1-й пшеницы после пара улучшение качества зерна от повышения дозы азота до N80P30 отмечено всего 5 раз за 40 лет, а в следующем поле — 20 раз.

В конце севооборота эффект наблюдали 6 лет, а в посевах бессменной пшеницы — в течение 17 лет. Увеличение дозы от N80P до N120P редко обеспечивало существенное повышение содержания клейковины у 1-й пшеницы после пара, в других полях — 3 и 7 раз и в посеве бессменной пшеницы — 3 года. К сожалению, шаг изменения дозы азота (40 кг/га) в этом опыте был завышен для более точной оптимизации применения аммиачной селитры.

Повторяемость по годам качества зерна 3-го класса в 1-м посеве после пара без удобрения при формировании высокой урожайности 24.7 ц/га за 40-летний период опыта составила 85%

Таблица 5. Экономическая эффективность доз удобрений в опыте на Шадринском опытном поле, по данным за 1972–2011 гг.

Вариант	Затраты на удобрение, руб./га	Общая прибавка, ц/га / цена 1 ц с учетом качества зерна*	Стоимость прибавки, руб./га	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %
P30 1-я пшеница после пара	4412	1.6 / 1175	1880	–2532	–57
N40P30 1-я пшеница после пара	8841	3.4 / 1190	4046	–4795	–54
N40P30 2-я пшеница после пара	9595	8.6 / 1166	10 028	434	4.5
N80P30 2-я пшеница после пара	12 331	11.8 / 1189	14 030	1699	13.7
N40P30 3-я пшеница после пара	10 001	11.4 / 1181	13 463	3462	34.6
N80P30 3-я пшеница после пара	12 374	12.1 / 1192	14 423	2049	16.5
N40P30 в посеве бессменной пшеницы	9464	7.7 / 1151	8863	–601	–6.3
N80P30 в посеве бессменной пшеницы	12 708	11.2 / 1189	13 317	609	4.8
С уменьшением доз					
P15 1-я пшеница после пара	2672	1.6 / 1175	1880	–792	–30
N50P15 2-я пшеница после пара	7764	9.6 / 1170	11 232	3462	45
N50 2-я пшеница после пара	5392	8.0 / 1166	9328	3936	73

* Цена пшеницы установлена согласно повторяемости 3-го класса качества зерна в опыте, основываясь на стоимости 3- и 4-го классов в 2022 г. – 1200 и 1050 руб./ц соответственно.

лет. Улучшение условий азотного питания позволяло повысить частоту проявления 3-го класса качества до 92.5–95% лет. В следующих 2-х полях без внесения удобрения 3-й класс качества отмечали реже – в 62.5 и 47.5% лет соответственно. Фосфор в этом эксперименте не менял или уменьшал частоту получения 3-го класса пшеницы, а при применении его с азотом в дозе N80 3-й класс отмечен почти все 40 лет.

В подборе оптимальных доз удобрений для производственной практики наряду с результатами обсуждаемого опыта учитывали материалы параллельных экспериментов с дозами азотного и фосфорного удобрений. Совокупный анализ данных нескольких экспериментов позволил заключить, что в посеве 1-й пшеницы после пара вполне достаточно дозы P15, в посевах 2- и 3-й и бессменной – N30–50 без фосфора при содержании подвижного P_2O_5 74 мг/кг. Недостаток высокобелкового зерна можно компенсировать использованием повышенных доз азота на небольших участках с дальнейшим подмешиванием сильной пшеницы к партиям ценной или слабой.

Экономическая оценка приемов удобрения сделана по ценам, сложившимся в 2022 г. Насыщение 1 га пашни зернопарового севооборота дозой удобрения N40P30 в 1-м посеве после пара приводило к отрицательному показателю рентабельности,

тогда как в посеве 3-й культурой оно обеспечило рентабельность 34.6%. Доза азота N80 на фоне P30 мало оправдала себя во всех посевах. При этой дозе рентабельность во 2- и 3-м полях после пара и в посевах бессменной пшеницы ограничивалась величинами 13.7, 16.5 и 4.8% соответственно. Эффективность применения меньших доз удобрений, которые больше пригодны для полей с подобной агрохимической характеристикой почвы, как на участке под опытом, была выражена лучшими экономическими показателями (табл. 5).

Опыт 4. В 3-х приведенных исследованиях в качестве основной обработки почвы вели вспашку, поскольку в настоящее время в земледелии Курганской и других областей она занимает небольшую долю – в основном ведут мелкую обработку, а на части полей с осени оставляют стерню. Основываясь на этом, на базе опыта 2 на Центральном поле с 1999–2000 гг. изучение состава удобрения и доз азота продолжено в посевах бессменной пшеницы после стерни. В этой технологии также азотно-фосфорное удобрение имело преимущество перед применением одного азота. Однако при замене зернопропашного севооборота (кукуруза–две пшеницы–овес) бессменной пшеницей, а вспашки – стерневым фоном продуктивность посева снизилась. В опыте 2 в севообороте при ежегодной вспашке без удобрения средняя урожайность пшеницы равнялась 16.8 ц/га в 1-м поле

Таблица 6. Действие удобрений на урожайность бессменной пшеницы в опыте 4 (1999–2022 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Общая прибавка, ц/га	От добавления фосфора, ц/га	Предельная прибавка, ц/га
N0P0	10.0	—	—	—
N20	11.8	1.8	—	1.8
N40	12.4	2.4	—	0.6
N60	12.2	2.2	—	–0.2
N20P20	13.4	3.4	1.6	3.4
N40P20	15.6	5.6	3.2	2.2
N60P20	16.4	6.4	4.2	0.8
HCP ₀₅	1.2–3.2			

Таблица 7. Влияние удобрений на качество зерна бессменной пшеницы (2000–2022 гг.)

Вариант	Повторяемость 3-го класса качества за 23 года, % лет	Содержание клейковины в зерне бессменной пшеницы, %	Сбор клейковины с урожаем, кг/га	
			сбор	прибавка
N0P0	43	22.0	220	—
N20	61	25.2	297	77
N40	65	26.2	325	105
N60	78	28.0	342	122
N20P20	43	22.3	299	79
N40P20	65	26.0	406	186
N60P20	74	27.6	453	233

после кукурузы, 15.8 — во 2-м поле. В повторных посевах после стерни она уменьшилась до 10.0 ц/га. В действии доз азота в сочетании с аммофосом дополнительный прирост урожая бессменной пшеницы, как и ранее в севообороте, понижался с переходом к 3-й дозе (табл. 6).

Определенную роль в снижении сбора зерна сыграло увеличение числа засушливых лет в годы выращивания бессменной пшеницы. При одновременной оценке урожайности и содержания белков в зерне пшеницы дозы N40–60 в азотно-фосфорном удобрении имели большее преимущество перед дозой N20 (табл. 7).

На фоне меньшей из испытанных доз N20P20 содержание клейковины в зерне пшеницы оставалось на уровне контроля. Частота получения 3-го класса качества зерна в этом варианте была та же, как и в контроле — в 43% лет (в основном в засушливые годы). Надежное выращивание пшеницы 3-го класса обычно обеспечивают посевы после пара, которые характеризовались в исследованиях Курганского НИИСХ 90–100%-ной частотой выращивания ценной пшеницы. В повторных посевах пшеницы после стерни за 23 года применения N40–60P20 3-й класс качества отмечен в 65–74% лет.

ВЫВОДЫ

1. В опыте 1 в хозяйстве “Могучий” Альменевского р-на Курганской обл. в тяжелосуглинистом обыкновенном солонцеватом черноземе отмечено низкое содержание подвижного P_2O_5 (36 мг/кг), за счет чего проявился высокий эффект от припосевного внесения суперфосфата. Способ его применения и снижение дозы до P15 позволили иметь окупаемость 41 кг зерна/кг фосфора. Следующие шаги P15 при увеличении дозы фосфорных удобрений были не эффективными.
2. В опыте 2 в посевах на среднесуглинистом выщелоченном черноземе Центрального опытного поля Курганского НИИСХ при низком содержании подвижного P_2O_5 (37–50 мг/кг) все культуры севооборота положительно отзывались на добавление к азоту фосфора. Прибавки от включения в удобрение P40 повышались почти вдвое по сравнению с внесением одного азота. Из доз азота более высоко оплачивались 1-й и 2-й уровни доз в посевах кукурузы и пшеницы, а в посевах овса высоко окупался только 1-й уровень N25.
3. В опыте 3 на Шадринском опытном поле на тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе при содержании подвижного P_2O_5 74 мг/кг применение фосфора сопровождалось незначительным

действием во всех полях зернопарового севооборота с прибавками зерна от 0.5 до 1.6 ц/га. Азот в посеве 1-й пшеницы после пара действовал тоже слабо, но при удалении посевов во времени от парового поля давал высокие прибавки урожая. Приросты зерна от N40 достигали в среднем 8–11 ц/га, за счет чего урожайность повышалась с 17.0 и 15.4 в контроле до 25–27 ц/га. Добавление еще N40 повышало эффект только в посевах 2-й пшеницы после пара, но прибавка составила лишь 3.0 ц/га.

4. В повторных посевах пшеницы без удобрений в этом опыте урожайность снижалась до 14.1 ц/га. Насыщение севооборота дозами N40–80P30 давало предельные прибавки урожайности пшеницы при последовательном увеличении доз азота на N40 7.2 и 3.5 ц/га, третья доза была неэффективна. Учитывая, что прибавка от 2-й дозы азота снижалась по сравнению с 1-й в 2.6–3.1 раза. Для рекомендаций производственной практике можно считать приемлемыми дозы N40–50–60 без фосфора для 2- и 3-й культур после пара и бессменно возделываемой пшеницы.

5. Азотное удобрение, повышая урожайность пшеницы, положительно влияло и на качество зерна. В опыте 3 без удобрения 3-й класс качества зерна пшеницы по величине содержания клейковины у 1-й культуры после пара отмечен в 85% лет, при внесении N40P30 – 92.5%. Следующие дозы вносили незначительные изменения. У 2- и 3-й пшеницы после пара на не удобряемых фонах 3-й класс качества отмечен реже – в 62.5 и 47.5% лет. С применением N40P30 повторяемость получения 3-го класса качества повышалась до 77.5 и 87.5% лет, с внесением N80P30 – до 92.5 и 95% лет. Повышение дозы до N120 вносило небольшие изменения – до 97.5 и 100% лет. В посевах неудобренной бессменной пшеницы частота получения 3-го класса качества снижалась до 42.5% лет, повышаясь за счет 1-й дозы до 67.5%, а на фонах N80–120 – до 92.5–97.5% лет. Учитывая подорожание удобрений, в условиях северо-запада Курганской обл. в зернопаровом севообороте для существенного роста частоты выращивания ценной пшеницы достаточно доз N15–20P15 в 1-м посеве после пара, в остальных полях – N40–50 в сочетании с P15 при посеве или без внесения фосфора. Недостаток высокобелкового зерна можно компенсировать использованием повышенных доз азота на небольших участках для выращивания сильной пшеницы и ее подмешивания к партиям слабой.

6. При экономической оценке результатов опыта 3 затраты на внесение N40P30 в 1-м поле после пара оказались почти равными стоимости общей прибавки 3.4 ц/га при отрицательной рентабельности. В следующем поле после пара расходы на удобрение в дозах N40–80P30 возрастали до 9595

и 12 310 руб./га, они хорошо окупались в посеве 3-й пшеницы после пара в варианте N40P30 благодаря прибавке урожая 11 ц/га. В посеве бессменной пшеницы фон N40P30 дал эффект, близкий к нулевому, и невысокую прибыль 609 руб./га при внесении N80P30. При повышенном содержании в почве подвижного P_2O_5 (74 мг/кг) следует вносить одно азотное удобрение в дозе N40–50 с предполагаемой рентабельностью $\approx 70\%$.

7. Решение о необходимости применения фосфорного удобрения всецело определяется величиной содержания подвижного фосфора в почве. При его содержании как в Шадринском эксперименте, равным 74 мг/кг, фосфор можно не применять, но со снижением этого показателя до 20–40–50 мг/кг внесение фосфорного удобрения в любых севооборотах обязательно в дозах P15–20–30 в рядки при посеве. Выбор дозы зависит не только от содержания в почве подвижного P_2O_5 , но и от уровня формируемых урожаев.

8. В опыте 4 в бессменном посеве пшеницы после стерневого фона при содержании P_2O_5 в почве, не превышающем 40 мг/кг, как и в опыте 2, азотно-фосфорное удобрение имело преимущество перед внесением одного азота. Применение P20 при росте дозы азота становилось эффективнее, увеличивая прибавку от фосфора на фоне 3-х доз азота с 1.6 до 3.2 и 4.2 ц/га. Окупаемость азотно-фосфорного удобрения в вариантах N20–40–60P20 общим приростом урожая составила 8.5, 9.3, 8.0 кг/кг соответственно. Оплата азота предельными прибавками в указанных вариантах снижалась от 17 до 11 и 4 кг/кг. Наиболее экономически выгодными для повышения урожая пшеницы оказались дозы удобрений N20–40P20. В отношении надежного получения зерна 3-го класса качества вариант с меньшей дозой азота не давал положительного результата, в этом случае доза расходовалась в основном на увеличение урожайности. Удвоение и утроение дозы азота в сочетании с P20 обеспечивало частоту получения зерна 3-го класса качества в 65–74% лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косякин П.А., Боронтов О.К., Путилина Л.Н., Магнаенкова Е.Н. Содержание питательных элементов в черноземе выщелоченном в зависимости от агротехнических и погодных условий возделывания сахарной свеклы в ЦЧР // *Агрохимия*. 2022. № 5. С. 21–29.
2. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур (сообщ. 2). Фосфорные и калийные удобрения // *Агрохимия*. 2021. № 8. С. 9–16.
3. Попелнухина К.В. Разработка системы минеральных удобрений в проектировании адаптивно-

- ландшафтной системы удобрений ФГБНУ “Белгородский НИИСХ”: Магистер. дис. Белгород, 2016. 83 с.
4. Чуян О.Г., Черкасов Г.Н., Масютенко Н.П. Методика проектирования системы удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии. Курск: ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН, 2008. 64 с.
 5. Еремин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений, как инновационный подход в системе точного земледелия // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 8. С. 1–10.
 6. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Содержание подвижного фосфора в почвах при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2013. № 2. С. 30–36.
 7. Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном под посевом яровой твердой пшеницы в длительном стационарном опыте // Агрохимия. 2013. № 3. С. 32–35.
 8. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // Агрохимия. 2013. № 4. С. 11–22.
 9. Шафран С.А., Кирпичников Н.А., Ермаков А.А., Семенова А.И. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны и его регулирование // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14–20.
 10. Корнейко Н.И. Агрохимическое состояние пахотных почв Белгородской области // Усп. совр. естествознания. 2014. № 9(2). С. 120–124.
 11. Волынкина О.В., Кириллова Е.В. Формирование агрофона с оптимальным содержанием подвижного фосфора в черноземе выщелоченном // Агрохимия. 2021. № 1. С. 8–11.
 12. Дженсен Х.Р., Уильямс М.С. Экономика применения удобрений. Удобрения. М.: Колос, 1965. С. 41–68.
 13. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.
 14. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / Под ред. О.В. Волынкиной. О.В. Волынкина, В.И. Волынкин, Е.В. Кириллова, А.Н. Копылова, Д.В. Лысухина. Куртамыш: ООО “Куртамышская типография”, 2017. 284 с.

Yield of Spring Wheat and Grain Quality with the Effective Use of Mineral Fertilization

O. V. Volynkina[#]

*Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
ul. Belinskogo 112a, Yekaterinburg 620142, Russia*

[#]E-mail: kniish@ketovo.zaural.ru

The generalization of the results of 4 field experiments, the agrochemical and agrotechnical characteristics of which differed significantly, showed general and marginal increases in crop yields when using mineral fertilizers. The experiments were carried out in different soil and climatic zones of the Kurgan region: on heavy loamy ordinary chernozem in one of the farms of the Almenevsky district and on 2 experimental fields of the Kurgan Research Institute – Central (on medium loamy leached chernozem) and Shadrinsky (on heavy loamy leached chernozem). Type of tillage: in 3 experiments – plowing and crop rotation, in 4th – permanent wheat on a stubble background. Phosphorus fertilizer gave high yield increases on backgrounds with a content of mobile P₂O₅ in a layer of 0–20 cm of soil from 30 to 50 mg/kg, with a content of 74 mg P₂O₅/kg it had little effect. When testing doses of nitrogen and phosphorus, their first level provided the largest and best-paid marginal increase in comparison with the increments from the following doses of fertilizer. The fertilizer had a positive effect on wheat yield and grain protein content. The achievement of the 3rd grade of grain quality was attributed to 60–90% of the years in the experimental versions with 40–50% of the years in the control. It can be quite definitely concluded that on backgrounds with a soil content of 74 mg P₂O₅/kg, only nitrogen fertilizer should be used; the nitrogen dose should be reduced to N40–50, the phosphorus dose to P15–20 using a near-sowing method of applying phosphorus fertilizer. Under these conditions, the profitability of the fertilizer increased to 45–73% compared with low and negative indicators in other variants.

Keywords: fertilizer efficiency, crop cultivation technology, crop rotation, marginal fertilizer gain, profitability.