

УДК 631.85:631.559(571.11)

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНОГО УДОБРЕНИЯ НА ВАРЬИРОВАНИЕ ПРИБАВОК УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ¹

© 2023 г. О. В. Вольнкина

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

E-mail: kniish@ketovo.zaoral.ru

Поступила в редакцию 21.12.2022 г.

После доработки 18.01.2023 г.

Принята к публикации 16.02.2023 г.

Показана изменчивость прироста урожайности культур от применения фосфорного удобрения в дозах P40–20, добавленных к азотному удобрению в 52-летнем стационарном опыте Курганского НИИСХ. Изучение эффективности фосфора вели сначала в зернопропашном севообороте при ежегодной вспашке, затем в посевах бессменной пшеницы после стерневого фона. По годам прибавки урожайности очень отличались. За небольшими исключениями показана связь величины прироста урожайности от фосфора с температурой воздуха 1-й декады июня. Высоким прибавкам сопутствовала пониженная температура воздуха в 1-й декаде июня и достаточная обеспеченность растений влагой. Связь с осадками ярче проявилась в посевах бессменной пшеницы. Окупаемость дозы P40 приростом урожая в зерновых единицах в севообороте в годы с высокой эффективностью удобрения была на уровне 8–14 кг/кг, опускаясь в других условиях до 6–1.5 кг/кг. Оплата P20 прибавками зерна бессменной пшеницы менялась от 13–17–26 кг/кг в годы с высокими и средними прибавками до 2 кг/кг при низких эффектах от применения фосфорного удобрения.

Ключевые слова: зернопропашной севооборот, бессменная пшеница после стерни, прибавки от фосфорного удобрения на фоне применения азота, погодные условия.

DOI: 10.31857/S0002188123050113, EDN: USOTPV

ВВЕДЕНИЕ

Показано, что запасы фосфора в пахотном слое почв России невелики – порядка 2.3–4.4 т P₂O₅/га. Две трети запаса приходится на минеральные формы разной степени доступности для растений. В Российской Федерации на 01.01.2019 насчитывалось 26% почв пашни с очень низким и низким содержанием подвижного P₂O₅, средним – 34% и с повышенным, высоким и очень высоким – 40%. Однако доля поступления аммофоса от общего объема применяемых удобрений в части округов невысо-

кая: Дальневосточный и Уральский – 3.4, Сибирский – 7.2, Приволжский – 9.1% [1].

Малое использование фосфорных удобрений в земледелии части регионов привело к снижению содержания в почве подвижного P₂O₅. Например, учеными Нижегородской ГСХА, по наблюдениям в одном из хозяйств в 2014 и 2019 гг., отмечено снижение этого показателя за 5 лет с 116 до 85 мг/кг [2]. Напротив, есть примеры положительного влияния применения аммофоса, что обнаружено на полях Новосибирской и Белгородской обл. [3, 4]. Уровень химизации земледелия тесно связан с продуктивностью культур. Учеными Башкирского НИИСХ проанализировано, что урожайность зерновых культур в 23-х хозяйствах, тратящих на удобрения по 191 руб./га, составила в среднем 25.1 ц/га, а в 8 предприятиях при затратах 1436 руб./га она оказалась намного больше – 33.0 ц/га [5].

Известно, что фосфор проявляет положительное влияние на урожайность только при хорошей обеспеченности растений азотом. Такие условия

¹ Исследование выполнено в Курганском НИИСХ – филиале УрФАНИЦ УрО РАН, в лабораториях агрохимии и земледелия 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, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

складываются после парового поля, а в других посевах – при совместном внесении азота и фосфора [6, 7]. По мнению А.А. Завалина и соавторов [8], зависимость урожайности от удобрений и ГТК межфазных периодов вегетации имеет сложный нелинейный характер и наиболее точно описывается уравнениями 2-го порядка с четко выраженными областями оптимумов. В.Г. Минеевым с соавторами отмечено, что при пониженной температуре воздуха фосфорное удобрение действовало сильнее [9]. Например, на мощном черноземе Мироновской опытной станции бессменная озимая пшеница без удобрения имела среднюю урожайность 11.7, в севообороте – 25.4, на фоне удобрений соответственно 20.8 и 30.2 ц/га [10].

Способ обработки почвы также регулирует наличие P_2O_5 и изменчивость этого показателя в зависимости от сезона. Например, на выщелоченном черноземе в опыте СибНИИЗХим от весны до осени содержание P_2O_5 в черном пару возрастало на 70% при глубокой безотвальной обработке, на 41% – на фоне минимальной обработки и на 22% – при вспашке. Средняя урожайность зерновых культур за 3 ротации в вариантах этого эксперимента была довольно близкой: без удобрений урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте на фоне вспашки была равна 15.0, при минимальной обработке – 13.5, при внесении удобрений – 24.3 и 23.5 ц/га [11]. На выщелоченном тяжелосулинистом черноземе в опыте Ставропольского ГАУ потери продуктивности севооборота на фоне поверхностной обработки почвы по отношению к вспашке достигали 7–9 ц з.е./га [12]. Поэтому цель работы – изучение влияния применения фосфорного удобрения на варьирование прибавок урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Зауралья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент заложен в 1971 г. заведующим отделом агрохимии В.И. Волынкиным на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ. Автор статьи – исполнитель этого опыта с 1993 г. по настоящее время. Исследование в течение 7-ми ротаций в 1971–1999 гг. вели в зернопаровом севообороте кукуруза–две пшеницы–овес. Культуры выращивали при ежегодной вспашке. В конце этого периода в земледельческой практике Курганской и других областей произошли изменения – сокращение посевов кормовых культур и объемов проведения вспашки. Поэтому в 2000 г. в опыте севооборот был заменен бессменной пшеницей, высеваемой после стерни. По результатам 52-летнего стационарного опыта сделан анализ изменчивости прибавок

урожайности сельскохозяйственных культур при добавлении фосфорного удобрения к азотному.

Почва на участке под опытом – выщелоченный чернозем маломощный малогумусный среднесуглинистый с содержанием гумуса в слое 0–20 см в контроле – 4.5% и подвижных соединений: P_2O_5 (по Чирикову) – 38–40 (низкое), K_2O – 250–350 мг/кг (высокое). За 52 года проведения опыта показатель pH_{KCl} изменился с исходной величины 6.0–6.2 до 5.15 ед. pH в контроле и до 5.0 ед. в варианте N60P20. Фракционный состав соединений фосфора в выщелоченном черноземе Центрального опытного поля Курганского НИИСХ изучала Л.Д. Рыбина [13]. Результаты анализа показали, что фосфорное удобрение в дозах P60–90 на фоне внесения азота (вносили с 1978 г.) в севообороте кукуруза–пшеница через 6 лет повысило величину содержания всех фракций фосфатов. Высокодоступная фракция Ca_1-P (мг/100 г) увеличилась с 1.8 до 3.0–6.0, еще заметнее увеличилась фракция $Al-P$ – с 0.6 до 2.2–2.6 мг/100 г. Близкое к удвоению было повышение содержания фракций Ca_2-P (с 0.8 до 1.6–2.1 мг/100 г) и $Fe-P$ (с 2.5 до 4.0–4.8 мг/100 г). Содержание самой инертной фракции под влиянием удобрений изменилось мало – с 10.4 до 11.4–11.8 мг/100 г.

В стационарном опыте по изучению состава удобрения и доз азота применяли P_{cd} в севообороте и АФ – на бессменной пшенице и N_{aa} . Срок и способ внесения – предпосевной локальный дисковой сеялкой СЗ-3.6 на 4–5 см. Дозы применения азота (кг/га) в посевах кукурузы – N40–80–120, на зерновых – N20–40–60 (в среднем в севообороте N25–50–75), на бессменной пшенице – N20–40–60. Применяли дозу фосфора P40 в первой части опыта и P20 – во второй. Учитывая последствие суммы фосфора P1000 (P40 за 25 лет), внесенной в 1971–1995 гг., средневзвешенная доза во 2-й период опыта к 2022 г. была равна P25, она отражала агрохимический фон. При вычислении этой дозы учтено не только применение P40 и P20, но и 12-летнее отсутствие фосфорного удобрения в 1996–2007 гг., когда пшеницу выращивали только на фоне последствия длительного применения P40. Далее 15 лет, в 2008–2022 гг. вносили P20, т.е. суммарная доза за 52 года равнялась P1300. Сравнивали одностороннее азотное удобрение и совместное его применение с фосфором.

Площадь делянки в m^2 : общая – 270 (6 × 45), учетная – 90 (2 × 45) m^2 . Повторность трехкратная. Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур. В севообороте при посеве зерновых и кукурузы использовали сеялки СЗ-3.6 и СУПК. Бессменную пшеницу сеяли после оставленной с осени стерни стерневой сеялкой СКП-2.1 с сошником культиваторного типа. Уход за посевами состоял из применения гербицидов:

Таблица 1. Варьирование прибавок от добавления фосфорного удобрения Р40 к азотному N50 в разных погодных условиях, ц з.е./га, 1971–1999 гг.

Группы показателей											
очень высокие			высокие			средние			низкие		
±, ц/га	t, °С*	W ₀₆ , мм	±, ц/га	t, °С*	W ₀₆ , мм	±, ц/га	t, °С*	W ₀₆ , мм	±, ц/га	t, °С*	W ₀₆ , мм
7.0	15.0	48	3.0	12.9	46	2.0	23.6	109	0.7	17.9	71
4.6	21.4	37	3.8	16.3	110	2.6	13.5	72	1.0	17.7	29
4.3	14.3	41	3.0	18.6	67	2.6	17.2	70	1.6	10.5	59
8.1	14.8	57	3.1	13.1	43	2.2	15.1	54	1.0	16.3	15
6.6	11.3	53	3.3	12.8	39				-2.0	18.5	76
4.0	14.8	3**	2.9	23.6	34				-0.3	20.7	28
5.7	11.5	69	3.1	11.3	26				1.5	17.5	39
			3.6	12.9	45				1.6	11.5	49
			3.3	21.4	58				0.2	19.1	63
Среднее											
5.8	14.7	56	3.2	15.9	52	2.4	17.4	76	0.6	16.6	48
Окупаемость Р40, кг/кг											
14.5			8			6			1.5		

Примечание. Урожайность кукурузы и овса представлена в зерновых единицах (з.е.). Величина HCP_{05} за 29 лет была в пределах 1.9–3.5 ц з.е./га.

*Температура воздуха в 1-й декаде июня. То же в табл. 2.

**Низкая обеспеченность влагой в июне 1987 г. компенсирована майскими осадками мая (30.2 мм) и 1-й декады июля (32.8 мм).

2.4Д – в севообороте и смесь препаратов Дротик + Гранат – на бессменной пшенице. Учет урожая кукурузы вели ручным скашиванием и взвешиванием массы с отбором растений для определения влажности, зерновых – комбайном Sampro-500 напрямую с отбором образца для анализа влажности и сорности бункерной массы зерна.

Погодные условия за 52 года исследования характеризовались повторением засух в июне или июле при ГТК за май–август – 0.30–0.80. В эти годы осадки июня снижались до 6–38 мм при среднем многолетнем показателе 51 мм. Благоприятных по увлажнению было 20 лет в годы севооборота и всего 6 лет при выращивании бессменной пшеницы, когда в главный период формирования урожая – июнь – выпадало 48–122 мм осадков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность зернопропашного севооборота равнялась 24.2 в контроле, 28.1 – на фоне N50 и 33.0 ц к.е./га – при применении N50P40. Урожайность кукурузы в тех же вариантах составила 42, 52 и 63 ц сухого вещества/га, зерновых – 18, 20 и 24 ц зерна/га; 1-й и 2-й пшеницы после кукурузы – 15.8, 18.3 и 21.5 ц зерна/га и овса – 23.8, 25.6 и 28.4 ц зерна/га. При бессменном возделывании пшеницы после стерни сбор зерна снизился в контроле и вариантах N40 и N40P25 до 10, 12 и 15.6 ц/га.

При средних прибавках от добавления фосфора к азоту 3–4 ц/га в ряде лет отмечены более высокие урожаи – 4.6–8.1 ц/га, а в части других лет – отсутствие прибавки урожайности. Отмечено, что в холодную весну растения страдают от недостатка фосфора и сильнее реагируют на его применение [9]. В такие годы на фонах без фосфора у кукурузы наблюдали фиолетовый оттенок окраски листьев, у всходов зерновых – бледно-зеленый цвет. В этих условиях растения активнее используют фосфор гранул удобрения, чем фосфор почвы. В теплую и влажную погоду при более высокой температуре воздуха корневая система культур мощнее, и растения полнее используют почвенные запасы фосфора, а эффект от фосфорного удобрения меньше. При недостатке влаги малоподвижный фосфор и почвы, и удобрений потребляется растениями слабее.

По величине влияния фосфора, добавленного к азоту, на прирост урожайности культур 29 лет периода севооборота разделили согласно величине прибавок на 4 группы. Семь лет их величина была очень высокой – в пределах 4.6–8.1, 9 лет высокой – 2.9–3.8 ц з.е./га. В течение 4-х лет она была средней – 2.0–2.6 и 9 лет – низкой (–2.0–1.6 ц з.е./га). Эти данные были сопоставлены с погодными факторами (табл. 1).

Отмечены несколько явных отклонений температурного режима против большей части показателей в каждой из групп выборки. Замечено, что в 1-й группе очень высоким эффектом от при-



Рис. 1. Уровень прибавок урожайности (ц з.е./га) от добавления P40 к N50 в зависимости от температуры воздуха в первой декаде июня, 1971–1999 гг.

менения фосфорного удобрения чаще сопутствовали низкие температуры воздуха 1-й декады июня (11–15°C). Во 2-й группе за 9 лет 6 раз высокие прибавки были получены в условиях, когда в начале июня температура воздуха была в пределах 11–16°C. За 4 года со средними прибавками в 2 из них тоже была отмечена пониженная температура. Значительно теплее было в большей части лет, относящихся к последней группе (17–20°C), исключением были всего 2 года. Достаточно стройной становится обсуждаемая зависимость, если исключить нетипичные данные в 2-х контрастных группах (рис. 1).

Для подсчета корреляции желателен длинный ряд данных, но вмешательство отклонений снижает ее величину. Для 29 лет 1-го периода опыта связь с температурой начала июня выразилась коэффициентом -0.331 , с осадками июня -0.159 . Анализ изменчивости прироста урожая от фосфорного удобрения сделан и для результатов 2-го периода опыта. По этим данным, зависимость прироста урожая от тех же показателей погоды выражалась коэффициентами -0.177 и 0.567 . В целом для 52-х имеющихся дат подсчеты связи уровней прибавок с температурой воздуха в 1-й декаде июня дали коэффициент корреляции, равный -0.448 , с температурой июня -0.338 и с осадками июня -0.09 . По выборке, сделанной для рис. 1, связь прибавок с температурой 1-й декады июня оказалась значимой и равнялась -0.848 .

В посевах бессменной пшеницы фосфор вносили в дозе P20, поэтому к очень высоким прибавкам урожайности зерна отнесены уровни 3.7–3.9 ц/га, которые обеспечили окупаемость, равную 18.5–19.5 кг/кг. В этом случае также наиболее высокими оказались эффекты в годы, когда среди 9 лет 8 раз температура 1-й декады июня равня-

лась 12–16°C. В большинстве лет высокие прибавки получены при достаточной сумме июньских осадков (табл. 2).

Наибольшее варьирование прибавок урожайности было в 1-й группе для бессменной пшеницы. Они менялись от 3.7 до 9.4 ц зерна/га при коэффициенте вариации 20.3%.

Следует заметить, что размещение гранул фосфорного удобрения в 1-й и 2-й периоды опыта было различным. За счет ежегодной вспашки в севообороте гранулы суперфосфата перемешивались в слое почвы 0–22 см. В стерневых посевах аммофос, внесенный дисковой сеялкой на глубину 4–5 см, мог немного перемещаться лишь при работе посевной культиваторной лапы на 5–6 см. Однако в оба периода опыта действие фосфора сильнее зависело от сложившихся погодных условий.

Несмотря на различия в размещении гранул передвижение соединений фосфора в нижние слои почвы в обоих случаях осуществлялось корневой системой культур. В годы севооборота в 1986 г. сделали анализ содержания P_2O_5 (по Францесону) в 3-х горизонтах по 20 см почвы на глубину 60 см (рис. 2). К весне 1986 г. удобрения в севообороте применяли уже 15 лет при регулярной вспашке. Показано, что на фонах применения суперфосфата подвижный фосфор в основном был сосредоточен в слое 0–20 см. Два фона – неудобренный и одностороннего азотного удобрения – были бедны соединениями фосфора, а в вариантах с внесением суперфосфата верхний слой был обогащен подвижным фосфором. Причем, вполне очевидно, что одностороннее фосфорное удобрение культуры севооборота использовали значительно меньше, чем внесенное совместно с азотом.

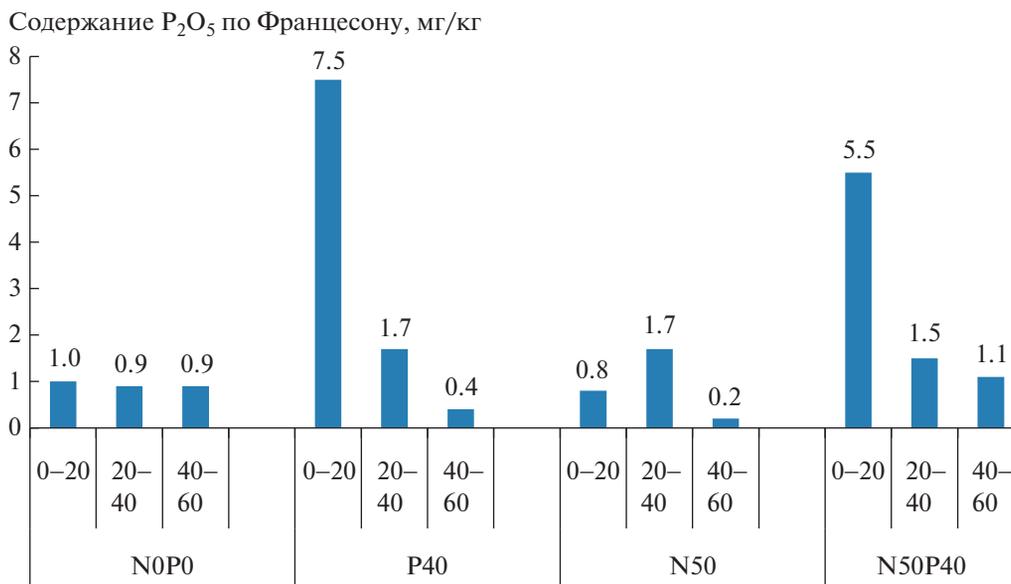


Рис. 2. Расслоение содержания P_2O_5 (по Францесону) по горизонтам в слое 0–60 см почвы, 1986 г.

В почве под посевами бессменной пшеницы 2 раза определяли степень расслоения содержания подвижного фосфора по слоям толщиной 10 см в слое 0–30 см. За 6-летний период с весны 2015 до весны 2021 г. произошло увеличение количества P_2O_5 во всех слоях почвы. На удобряемом фоне большая часть фосфора была сосредоточена в слое 0–10 см. Обогащение 3-го слоя соединениями фосфора объясняется пополнением P_2O_5 от разложения отмерших корней, усвоивших фосфор почвы и удобрения (табл. 3).

Как в контроле, так и на фоне применения азотно-фосфорного удобрения показатели содержания P_2O_5 за эти годы повысились, т.к. уровень урожайности бессменной пшеницы чаще был в пределах 8–10 ц/га в контроле и 10–15 ц/га – при внесении удобрения. Лишь в один благоприятный 2017 г. были получены значительные урожаи – 16.8 ц/га в контроле и 26.2 ц/га – на фоне азотно-фосфорного удобрения. Дополнительный урожай на фоне применения N40P25 в эти годы менялся от 2.1 до 9.4 ц/га и в среднем составил 5.0 ц/га при

Таблица 2. Варьирование прибавок урожайности зерна бессменной пшеницы от добавления фосфорного удобрения P20 к азотному N40 в разных погодных условиях, ц зерна/га, 2000–2022 гг. (HCP_{05} в пределах 1.2–3.2)

Очень высокие			Высокие			Средние			Низкие		
\pm , ц/га	t, °C*	W_{06} , мм	\pm , ц/га	t, °C*	W_{06} , мм	\pm , ц/га	t, °C*	W_{06} , мм	\pm , ц/га	t, °C*	W_{06} , мм
5.3	12.4	109	3.4	19.2	27	2.3	10.5	28	-0.5	18.4	52
3.7	14.6	122	3.2	16.4	60	2.8	14.0	16	0.7	19.0	28
3.9	13.8	60	3.6	17.2	13	2.5	20.4	16	0.6	21.2	18
3.8	20.4	47				2.7	14.5	32	0.8	15.3	9
3.9	15.0	19				2.6	15.3	68			
9.4	18.0	100				2.5	19.0	44			
4.6	15.8	6*									
5.3	15.4	48									
4.2	16.4	38									
6.9	16.2	83									
Среднее											
5.1	15.8	63	3.4	17.6	33	2.6	15.6	34	0.4	18.5	27
Окупаемость P20, кг/кг											
26			17			13			2		

*Недостаток осадков в июне в 2014 г. был компенсирован равномерными осадками июля в сумме 102 мм.

Таблица 3. Распределение содержания P_2O_5 (по Чирикову) по слоям толщиной 10 см в слое 0–30 см почвы, мг/кг

Вариант/Слой	Контроль		N40P25	
	2015 г.	2021 г.	2015 г.	2021 г.
0–10	52	62	102	113
10–20	38	56	56	68
20–30	35	69	62	85

урожайности в контроле и варианте N40P25 10 и 15 ц/га соответственно.

Представляет интерес баланс фосфора за эти 6 лет. При среднем содержании фосфора в зерне удобренной и неудобренной пшеницы в эти годы 0.37 и 0.49%, вынос этого элемента урожаями зерна равнялся 3.7 и 7.4 кг/га в год. Солому не отчуждали, но в ней содержалось всего 0.17 и 0.21% фосфора, что означало вынос соломой фосфора в размере 2.6 и 4.5 кг/га. Общий вынос равнялся 6.3 и 12.9 кг/га в год, за 6 лет – 37.8 и 77.4 кг/га с разницей в 39.6 кг/га при сумме внесенного за 6 лет фосфора 120 кг/га. Баланс фосфора на удобряемом фоне был положительным, поэтому неиспользованный растениями фосфор пополнял запасы подвижного P_2O_5 в почве.

За динамикой содержания подвижного фосфора в эксперименте следили ежегодно. Наблюдения за фоном, где применяли аммофос, свидетельствовали о постепенном повышении содержания P_2O_5 , особенно после сухих неурожайных лет. При внесении одного азота в течение 52 лет содержание P_2O_5 оставалось на исходном уровне – 38–40 мг/кг (табл. 4).

Экономическая оценка дозы P40 указывает на определенное ее завышение в 1-й части опыта. Цена аммофоса поднялась в последние годы до 57 тыс. руб./т, или 114 руб./кг фосфорных удобрений. Даже применение P20 при современной стоимости аммофоса эффективным оказывается не каждый год (табл. 2). Покупка удобрения для дозы P20 обходится 2280 руб./га, с расходами на

припосевное внесение и уборку дополнительного урожая – 2905 руб./га. При повышенных сборах зерна в Курганской обл. цена пшеницы 3-го класса уменьшилась до 12 тыс. руб./т. Средние прибавки в опыте от применения N40P20 и непосредственно от добавления P20 к азоту за 2000–2022 гг. были равны 5.6 и 3.1 ц/га. Стоимость прироста урожая от применения фосфора составила 3720 руб./га. Следовательно, прибыль была очень мала – 815 руб./га. На 1 руб. затрат приходилось 0.28 руб. прибыли. Какой можно сделать вывод из этих результатов? Можно пойти по пути небольшого снижения дозы до P10–15 при обязательном использовании припосевного способа внесения. Если для внесения P15 предусмотрена установка тукового аппарата комбинированной сеялки, то применение P10 можно реализовать внесением P20 через год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ изменчивости прироста урожайности сельскохозяйственных культур от применения фосфорных удобрений в дозах P40–20, добавленных к азотному N50–40 за 52 года в стационарном опыте Курганского НИИСХ показал сильное варьирование величины прибавок. Эффекты в зернопропашном севообороте от применения фосфора в среднем в 4-х группах данных равнялись 5.8, 3.2, 2.4 и 0.6 ц з.е./га. Для бессменной пшеницы после стерневого фона средние прибавки в 4-х группах лет были близки к показанным в севообороте: 5.1, 3.4, 2.6 и 0.4 ц зерна/га соответственно. За небольшими исключениями выявлена связь величины прибавки урожайности от применения фосфора и температуры воздуха в 1-й декаде июня. Высокому приросту урожайности сопутствовала пониженная температура воздуха в 1-й декаде июня и достаточная обеспеченность растений влагой. Связь с количеством осадков заметнее проявилась для бессменной пшеницы. Окупаемость дозы P40 в севообороте при высоких прибавках урожайности культур была на хорошем уровне – 8–14 кг з.е./кг фосфора, опускаясь в другие годы до 6.0–1.5 кг/кг. Оплата

Таблица 4. Содержание P_2O_5 (по Чирикову) в слое почвы 0–20 см почвы под посевами бессменной пшеницы после стерни, мг/кг

Вариант/Год	2009–2012	2013–2016	2017–2020	2020	2021	2022	Среднее за 15 лет
Контроль	50	43	48	36	59	64	48
N40	39	45	39	32	40	47	41
N40ПР + P20 (P25)	77	87	84	112	90	102	86
HCP_{05}	5 мг/кг ($F_{факт} = 54.92, F_{табл} = 4.75$)						

P20 прибавкой зерна бессменной пшеницы менялась от 13–17–26 кг/кг соответственно в годы с высокими и средними прибавками до 2 кг/кг при низкой эффективности фосфора. Если оплата фосфора приростом урожайности культур в большинстве лет была положительной, то окупаемость фосфора в рублях при неблагоприятном соотношении стоимости 1 кг фосфора в виде аммофоса и 1 кг пшеницы (114 : (12–9.5)) была низкой – 0.28 руб. прибыли/руб. затрат (815 : 2905).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев В.Г., Аканова Н.И. Агроэкологическая оценка эффективности аммофоса в технологии возделывания различных сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 1 (112). С. 3–6.
2. Титова В.И., Разин Т.С., Ветчинникова О.И. Динамика агрохимических показателей почв ООО “Ардатовское” во времени и оценка их устойчивости к антропогенному воздействию // Агрохим. вестн. 2021. № 1. С. 8–12.
3. Морозов С.А., Куркова С.В. Оценка агрохимических показателей плодородия почв пашни в условиях северо-запада, запада и юго-запада Новосибирской области // Агрохим. вестн. 2022. № 2. С. 3–7.
4. Суринов А.В. Динамика агрохимических показателей плодородия черноземов лесостепной зоны ЦЧР // Агрохим. вестн. 2022. № 2. С. 8–14.
5. Абрадаштова А.Т., Стовба Е.В. Эффективное использование земель сельскохозяйственного назначения как ключевой фактор развития сельских территорий региона // Эконом. сел.-хоз. и перерабат. предприятий. 2013. № 2. С. 35–37.
6. Шафран С.А., Козеичева Е.С. Продуктивность ярового ячменя и окупаемость азотных удобрений в зависимости от содержания элементов питания в основных типах почв России // Агрохимия. 2016. № 3. С. 11–22.
7. Волынкина О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы // Пробл. агрохим. и экол. 2019. № 2. С. 74–80.
8. Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В. Зависимость урожая зерна яровой пшеницы от гидро-термических условий межфазных периодов вегетации // Плодородие. 2010. № 4. С. 7–9.
9. Минеев В.Г., Лебедева Л.А., Васильева Н.Г. Влияние метеоусловий на варьирование величины оптимального содержания фосфора в почве для растительного ячменя // Агрохимия. 2010. № 6. С. 50–58.
10. Захарченко И.Г., Пироженко Г.С., Сухобрус С.В. О влиянии бессменных культур на плодородие почвы // Почвоведение. 1962. № 7. С. 10–18.
11. Синещиков В.Е., Ткаченко Г.И. Динамика содержания легкоподвижного фосфора в почве при минимизации механической обработки в лесостепи Приобья // Агрохимия. 2016. № 11. С. 19–24.
12. Есаулко А.Н., Петрова Л.И., Азеев В.В. Повышение эффективности применения удобрений на основе оптимизации систем удобрения в севооборотах Центрального Предкавказья (К 40-летию стационара Ставропольского ГАУ) // Плодородие. 2017. № 1. С. 8–11.
13. Рыбина Л.Д. Способы внесения различных доз гранулированного суперфосфата при ежегодном применении в севообороте // Агрохимия. 1986. № 3. С. 22–27.

Effect of the Use of Phosphorus Fertilizer on the Variation of Crop Yield Increments¹ in the Conditions of the Trans-Urals

O. V. Volynkina

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS
ul. Belinskogo 112a, Yekaterinburg 620142, Russia

E-mail: kniish@ketovo.zaural.ru

The variability of crop yield growth from the use of phosphorus fertilizer in doses of P40–20 added to nitrogen fertilizer in a 52-year stationary experiment of the Kurgan Research Institute of Agricultural Sciences is shown. The study of the effectiveness of phosphorus was conducted first in the grain crop rotation during annual plowing, then in permanent wheat crops after a stubble background. The yield increases were very different over the years. With a few exceptions, the relationship of the increase in yield from phosphorus with the air temperature of the 1st decade of June is shown. High increases were accompanied by low air temperature in the 1st decade of June and sufficient provision of plants with moisture. The connection with precipitation was more clearly manifested in permanent wheat crops. The payback of the P40 dose by the increase in yield in grain units in crop rotation in years with high fertilizer efficiency was at the level of 8–14 kg/kg, falling in other conditions to 6–1.5 kg/kg. The payment of P20 by increments of permanent wheat grain varied from 13–17–26 kg/kg in years with high and medium increments up to 2 kg/kg with low effects from the use of phosphorus fertilizer.

Key words: grain-tillage crop rotation, permanent wheat after stubble, additions from phosphorus fertilizer against the background of nitrogen application, weather conditions.