

УДК 631.454:631.85

ФОРМИРОВАНИЕ АГРОФОНА С ОПТИМАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ¹

© 2021 г. О. В. Волынкина^{1,*}, Е. В. Кириллова¹

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

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

Поступила в редакцию 14.05.2020 г.

После доработки 01.06.2020 г.

Принята к публикации 13.10.2020 г.

Результаты учетов и наблюдений в 2-х стационарных опытах на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ показали изменчивость содержания подвижного фосфора в слое 0–20 см выщелоченного чернозема под влиянием времени и удобрений. Повышенные дозы фосфора быстрее увеличивали содержание P_2O_5 , доводя их до более высоких показателей по сравнению с применением P_{20} . Однако по урожайности культур не обнаружены такие же темпы и размеры увеличения. В опытах прослежено за длительностью последствия применения повышенных доз фосфора. Срок проявления последствия зависел от суммарной дозы примененного удобрения. В зернопаровом севообороте суммарная доза P_{1000} оказывала последствие в течение 24-х лет. В зернопаровом севообороте суммарное запасное внесение $P_{240-360-720}$ проявляло последствие на следующем числе посевов – 15–20–28. В момент окончания последствия среднегодовое количество фосфора уменьшалось до P_9-16 , что было сигналом необходимости возобновления применения фосфорного удобрения в дозах не более P_{15-20} . Контроль содержания подвижного P_2O_5 в почве с использованием шкалы Чирикова, откорректированной для местных условий, необходимо совмещать с учетом прежней удобренности поля.

Ключевые слова: севооборот, содержание подвижного фосфора в почве, удобрение, последствие удобрения, урожайность, окупаемость удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188121010117

ВВЕДЕНИЕ

Низкое содержание подвижного P_2O_5 в почве ухудшает использование растениями азота как из почвенных запасов, так и удобрений. При этом существенно снижается продуктивность культур, т.к. потребление растениями азота и фосфора находится в тесном взаимодействии [1, 2]. Повышение обеспеченности фосфором пшеницы и других культур требует определенных экономических вложений, величина которых определяется заданным уровнем содержания подвижного P_2O_5

в почве. Есть несколько методов контроля наличия в почве подвижного фосфора. В работе [3] отмечено, что все методы определения P_2O_5 достаточно жесткие, поскольку основаны на кислотных вытяжках, а такой кислотности в почве не бывает. В агрохимической службе принят метод Чирикова (вытяжка 0.5 н. HCl). В исследованиях Курганского НИИСХ наряду с этим методом применяют еще и более чувствительный к изменениям, происходящим в почве, метод Францесона (0.002 н. раствор H_2SO_4). Для обыкновенных черноземов, особенно карбонатных, используют метод Мачигина (1%-ная углеаммонийная вытяжка). Шкалы обеспеченности растений фосфором, установленные авторами этих методов, удобны для пользования практиками. На основе изучения действия доз фосфорного удобрения в местных условиях они могут быть частично откорректированы.

¹ Работа выполнена 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”.

Срок отбора почвы может менять показатель содержания P_2O_5 . В исследованиях в лесостепи Приобья [4] установлено, что от весны к осени происходило изменение показателей содержания подвижного фосфора. В 30-летнем опыте СибНИИЗХима установлено наиболее заметное их возрастание на фоне глубокой безотвальной обработки (на 70%), при минимальной обработке – на 41% и на фоне вспашки – на 22%.

В вопросе о необходимом количестве фосфорного удобрения для запланированного повышения обеспеченности растений фосфором мнения ученых расходятся. Д.Н. Прянишников [5], анализируя результаты опытов Геосети ВНИИА, считал, что дозы фосфора должны быть равны величине выноса элемента культурой или быть чуть меньше выноса. Вынос фосфора пшеницей и кукурузой при урожайности, которая формируется на среднесуглинистом выщелоченном черноземе Центрального опытного поля Курганского НИИСХ при частых июньских засухах, не превышает 12–17 кг/га на фонах без удобрений и 16–22 кг/га – при их внесении (при том, что солому не отчуждают с поля).

Зная, что в России доля почв с низким содержанием подвижного фосфора равна 22.7% [6], ученые предлагают приемы его увеличения. В работе [7] для некарбонатных черноземов показаны дозы P_2O_5 –120, которые способны поднять содержание P_2O_5 на 10 мг/кг. В работе [8] отмечено, что для увеличения содержания P_2O_5 на 10 мг/кг на выщелоченном черноземе требуются дозы P_2O_5 –110. Авторы показали, что в 1991–2015 гг. применение фосфора в земледелии России ограничивалось дозой P_2O_5 –12 мг/кг.

В карбонатном черноземе Ставрополя [9] дозы фосфора P_2O_5 –90–150 на азотно-калийном фоне за первые 6 лет повысили содержание P_2O_5 по Мачигину с исходной величины 13 мг/кг до 21, 26, 58 мг/кг соответственно. С продолжением внесения этих доз за следующие 18 лет показатели увеличились до 28, 52, 76 мг/кг, еще через 12 лет – до 30, 54, 70 мг/кг. Насколько это было экономически выгодным? В первом шестилетии сбор зерновых единиц (з.е.) в севообороте составил 27.7 ц/га в контроле и 34.3, 35.2, 35.7 ц/га на 3-х удобренных фонах. Похожими были результаты и в последующие сроки опыта. Везде существенная прибавка урожайности была получена от первой дозы фосфора, дальнейшее ее повышение было в пределах ошибки опыта.

Подобные данные приведены в работе [10] в зависимости от уровней прироста урожайности

озимой пшеницы на выщелоченном черноземе Центрального округа РФ. При содержании P_2O_5 в почве <50 мг/кг от доз P_2O_5 –45–60–90–120 получены следующие прибавки: соответственно 3.8, 4.2, 4.5, 4.7, 4.5 ц/га к контролю, где урожайность составила 17.4 ц зерна/га. На почвах с наличием подвижного фосфора 51–75 мг/кг урожайность в контроле была намного больше – 28.0, а прибавки варьировали в пределах 1.7–2.0 ц/га. В дальнейшем прибавки были < 1.0 ц/га, но урожайность в контроле при содержании подвижного фосфора в почве 76–100 мг/кг достигала уже 33.9 ц/га, при 101–150 мг/кг – 39.5, >150 мг/кг – 40.7 ц/га. Следовательно, в условиях Центрального округа удвоение содержания P_2O_5 в почве пашни вело к удвоению урожая, а утроение его содержания дало дополнительно лишь 5 ц зерна/га. При обогащении почвы подвижным фосфором наблюдали последствие вновь созданных фонов, на которых новые порции фосфорного удобрения были малоэффективными.

В работе [11] для систематического применения удобрений на южном малогумусном тяжело-суглинистом черноземе Саратовской обл. предложили дозу фосфора P_2O_5 –19 с совместным внесением N_2O_5 –33.

В Белгородской обл. [12] поступление фосфора с минеральными и органическими удобрениями составляло 17, 21, 32 кг д.в./га в 3-х первых циклах определения, в 4-м и 5-м циклах оно увеличилось до 62 и 53 кг д.в./га, а далее уменьшилось до 18, 12, 22 кг д.в./га. Соответственно, средневзвешенное содержание P_2O_5 в этих 8-ми циклах менялось таким образом: 55, 72, 86, 103, 119, 131, 121, 116 мг/кг. Даже после достижения столь высокого показателя (131 мг/кг) снижение поступления фосфора с удобрениями вызвало в дальнейшем уменьшение содержания P_2O_5 . Вполне очевидно, что в поддержании высоких показателей имело место последствие прежнего применения фосфора, которое продлилось определенное число лет, после чего такой размер поступления, как 12 кг P_2O_5 /га, приведет к снижению содержания подвижного фосфора в почве.

В Курганской обл. применение минеральных удобрений было удовлетворительным в 1980-х гг. прошлого века – до NPK_40-50 . В 1990-х гг. оно резко снизилось до NPK_5-6 , в последние годы составляло NPK_{12-17} , причем большей частью преобладали азотные удобрения, в то время как в среднем в структуре пашни насчитывали 62% почв с низким содержанием P_2O_5 . Лишь несколько развитых сельскохозяйственных предприятий применяют аммофос и сложные удобрения. Средневзве-

шенное количество подвижного фосфора на 2017 г. менялось в 24 районах области в основном в пределах 14–49 мг P_2O_5 /кг, и только в 4-х районах области эти показатели были больше – 56–62 мг/кг [13].

Цель работы – по данным Центрального опытного поля Курганского НИИСХ оценить изменчивость содержания подвижного фосфора в пахотном слое чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и времени, оценить затраты на формирование высокой обеспеченности почвы подвижным P_2O_5 с низким исходным его содержанием (38–40 мг P_2O_5 /кг по Чирикову).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале УрФАНИЦ УрО РАН в лабораториях агрохимии и земледелия в 2-х стационарных экспериментах. Почва – выщелоченный чернозем маломощный малогумусный среднесуглинистый: pH_{KCl} 6.2–6.5 – при закладке опытов и 5.2–5.5 – в настоящее время, гумус (по Тюрину) – 4.4%, общий азот – 0.20%, общий фосфор – 0.07%, сумма поглощенных Ca^{2+} и Mg^{2+} (по Каппену) – 20–22 мэкв/100 г. Содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) в слое 0–20 см почвы на участке под опытом – 40–50 и 250–350 мг/кг соответственно.

Стационарные эксперименты 1 и 2 заложены В.И. Волынкиным в 1971 г. на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ. В настоящее время исполнители исследований – О.В. Волынкина и Е.В. Кириллова. Агротехника в опыте 1 предусматривала соблюдение севооборота: кукуруза–2 пшеницы–овес с осенней вспашкой в течение 7-ми ротаций в 1971–1998 гг. После этого стали выращивать бессменную пшеницу после стерневого фона, который в области оставляют с осени на 40% пашни. В опыте 2 исследования вели в зернопаровом севообороте: пар–2 пшеницы–овес при ежегодной вспашке также в 7-ми ротациях в 1971–1998 гг. С отменой вспашки севооборот был преобразован: пар–3 пшеницы. Посев зерновых культур в севооборотах в годы отвальной обработки вели дисковой сеялкой СЗ-3.6, кукурузы – сажалкой СУПК. Во второй период исследования в опытах 1 и 2 с осени оставляли стерневой фон, после которого посев вели стерневой сеялкой СКП-2.1 с сошником культиваторного типа. Исключением была первая культура после пара, которую сеяли после 5-летних мелких обработок почвы. В опытах использовали районированные сорта культур. Солому оставля-

ли на поле с 1978 г. со времени проведения уборочных работ комбайном Samro-500.

Метеоусловия в центральной зоне Курганской обл.: годовое количество осадков – 350–369 мм, продолжительность периода с температурой $>10^\circ C$ – 130–134 сут. Отмечено, что во 2-й период опытов количество засушливых лет увеличилось.

Удобрения – N_{aa} и K_x (калий вносили под кукурузу). Фосфорное удобрение – $P_{cd}40$ в первом периоде опытов, АФ – во 2-м. Способ внесения – весеннее локальное врезание дисковой сеялкой СУК-24 до посева на глубину 4–5 см. Дозы азота в севообороте в опыте 1 под кукурузу – $N40-80-120$, под зерновые – $N20-40-60$, в среднем в севообороте – $N25-50-75$, во 2-м периоде опыта в посевах бессменной пшеницы – $N20-40-60$. В опыте 2 дозы удобрений были следующими: $P20-40$, $N40$ (вносили в 3-м поле) и $N60$ (вносили в 4-м поле). В среднем в этом севообороте дозы были равны $N25P15-30$, на посевной площади севооборота – $N33P20-40$.

Общая площадь делянок в опыте – 270–300 m^2 ($6 \times 45-50$ м), учетная – 90–100 m^2 ($2 \times 40-50$ м). Повторность трехкратная. Учет урожая пшеницы – напрямую комбайном Samro-500 с отбором образца для определения влажности и чистоты бункерной массы зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В зернопаровом севообороте (опыт 2) сравнили изменчивость содержания подвижного P_2O_5 в почве под влиянием удобрений по двум методам его определения. Показана тесная их взаимосвязь при коэффициентах корреляции 0.92 и 0.95 (табл. 1).

Влияние фосфорного удобрения и величины его доз на содержание подвижного P_2O_5 в почве особенно ярко показано в вариантах запасного применения суперфосфата. В запас фосфор был внесен в 1971 и 1975 гг. дозами $P120-180-360$. В сумме дозы составили $P240-360-720$. Эти три фона были повторены дважды. На первых фонах следили за последствием фосфора, на вторых – стали вносить $P20$, чтобы уловить срок проявления эффекта от добавления $P20$. К 1983 г. после закладки опыта в 1971 г. прошло 13 лет и после добавления в 1975 г. второй дозы фосфора – 8 лет. За это время содержание P_2O_5 на первых фонах повысилось до 5.47, 6.50, 8.65 мг/100 г почвы по сравнению с контролем (4.82 мг/100 г почвы). Еще заметнее повысилось содержание P_2O_5 при внесении $P20$ на данных фонах. Оно стало равным 5.80, 6.12, 9.42 при той же величине в контроле 4.82 мг/100 г почвы (табл. 1).

Таблица 1. Влияние удобрений на содержание подвижного P_2O_5 в слое 0–20 см почвы, определенного двумя методами на 13-й год 4-польного зернопарового севооборота (22.09.1983 г.), мг/100 г

Вариант	N0P0 (9 контролей)	N40–60 в 3–4-м полях	P20 ежегодно	P40 ежегодно	P20 ежегодно + + N40–60 в 3–4-м полях	P40 ежегодно + N40–60 в 3–4-м полях	
По Чирикову	4.82	4.45	4.67	6.48	4.90	5.68	
По Францесону	0.06	0.09	0.12	0.34	0.05	0.28	
<i>r</i>				0.92			
Запасное и ежегодное удобрение							
Вариант	N0P0 (9 контролей)	P120 в 1971 и 1975 гг. + + N40–60 в 3–4-м полях		P180 в 1971 и 1975 гг. + + N40–60 в 3–4-м полях		P360 в 1971 и 1975 гг. + + N40–60 в 3–4-м полях	
		–	+ P20 ежегодно	–	+ P20 ежегодно	–	+ P20 ежегодно
По Чирикову	4.82	5.47	5.80	6.50	6.12	8.65	9.42
По Францесону	0.06	0.11	0.22	0.42	0.62	0.96	1.28
<i>r</i>				0.95			

Примечание. В 1971 г. исходное содержание P_2O_5 (по Чирикову) на участке – 3.8–4.0 мг/100 г.

Таблица 2. Влияние состава ежегодного удобрения P40 на содержание P_2O_5 весной в слое 0–20 см почвы в зерно-пропашном севообороте, мг/100 г (по Францесону)

Вариант, среднее в севообороте	Кукуруза, 1975 г.	Пшеница, 1976 г.	Пшеница, 1976 г.	Овес, 1978 г.
Контроль	0.20	0.18	0.14	0.36
N25	0.24	0.20	0.12	0.42
N50	0.33	0.20	0.22	0.30
N75	0.42	0.20	0.14	0.31
Суммарная доза фосфора в вариантах с P40, кг/га	160	200	240	280
N25P40	0.74	0.54	0.72	1.24
N50P40	0.78	0.72	0.92	1.80
N75P40	0.58	0.56	1.14	1.80
<i>HCP</i> ₀₅	0.10	0.08	0.12	0.15

При сравнении варьирования показателей содержания P_2O_5 при весеннем и осеннем сроках отбора почвы большими были изменения при использовании метода Францесона. Не случайно, как более стабильный, для агрохимической службы взят метод Чирикова. В рассмотренном исследовании использовали оба метода. Есть мнение, что наиболее объективным является средний результат определения в течение 3-х лет при отборе почвы в один и тот же срок одним и тем же методом [14].

В опыте 1 в зернопропашном севообороте кукуруза–2 пшеницы–овес изучали дозы азота как без внесения фосфора, так и на его фоне. Прослежено за изменениями содержания подвижного фосфора под влиянием фосфорного фона в дозе P40. Этот вариант выбран в 1971 г., когда еще не испытывали до-

зы фосфора при систематическом применении, что было сделано позднее и показало, что достаточно вносить P15–20 [15]. Но завышенная доза дала ценную информацию о длительности ее последствий, в 2019 г. она составила 24 года.

В годы действия фосфорных удобрений уже ко 2-й ротации севооборота в 1975–1978 гг. при весеннем сроке отбора образцов до внесения удобрений фосфорный фон существенно улучшил питание растений. Содержание P_2O_5 в слое почвы 0–20 см к контролю заметно повысилось. Показано постепенное увеличение его содержания в связи с внесением новых доз суперфосфата (табл. 2).

Насколько улучшение фосфорного питания растений на выщелоченном черноземе с низким содержанием P_2O_5 повышало продуктивность

Таблица 3. Урожайность культур севооборота в контроле и прибавки от удобрений, ц/га

Вариант, среднее в севообороте	Кукуруза, зеленая масса, 1975 г.	Пшеница, 1976 г.	Пшеница, 1976 г.	Овес, 1978 г.
Контроль	158	18.7	20.7	25.0
Прибавка				
N25	28	0.0	0.7	0.7
N50	10	0.2	0.5	1.7
N75	24	0.5	0.4	1.1
N25P40	32	2.4	3.0	3.7
N50P40	42	4.3	3.0	4.4
N75P40	54	4.0	3.9	4.4
<i>HCP</i> ₀₅	20	2.8	1.8	2.6

культур севооборота, видно по результатам учета урожайности во 2-й ротации севооборота (табл. 3). Следует отметить, что приведенные в табл. 3 данные отразили действие удобрений при недостатке влаги. Особенно засушливыми были 1975 и 1976 гг. В целом за 7 ротаций зернопропашного севооборота уровень прибавок урожайности был значительно больше. Закономерность существенного преимущества азотно-фосфорного удобрения перед применением одного азота сохранялась все годы (табл. 4).

В табл. 3 и 4 не показано действие удобрений в комбинации NPK, оно было достаточно близким к влиянию NP. После 7-ми ротаций севооборота в опыт была введена бессменная пшеница. В ее

Таблица 4. Влияние состава удобрения на средний сбор кормовых единиц за 7 ротаций севооборота, 1971–1998 гг.

Вариант	Урожайность в севообороте кукуруза–2 пшеницы–овес	Прибавка	Окупаемость удобрений, кг к.е./кг д.в.
	ц к.е/га		
Контроль	24.2	—	—
N25	27.1	2.9	11.6
N50	28.1	3.9	7.8
N75	27.6	3.4	4.5
N25P40	30.3	6.1	10.9
N50P40	33.0	8.8	9.8
N75P40	33.0	8.8	7.6
<i>HCP</i> ₀₅	2.0–3.4		

посев 12 лет не вносили фосфорное удобрение и пользовались хорошо проявленным его последствием в вариантах NP и NPK. Следующие 12 лет в комбинации NPK продолжили учитывать последствие фосфора, а в комбинации NP с 2008 г. стали применять фосфор в дозе P20. Считаем, что в последствии PK положительное влияние оказывал в основном фосфор. Доказательством служит очень высокое содержание обменного K₂O в почве участка под опытом – 250–350 мг/кг. Последствие проявлялось в течение 24-х лет, при подсчете оплаты удобрения прежние затраты на удобрение PK не взяты в расчет. Наличие подвижного фосфора сделало фон окультуренным. Количество фосфора, примененного в севообороте в вариантах с фоном PK (P1000), поделенное на 49 лет опыта, равно среднегодовой дозе P20. В комбинации NP внесение P20 начато 12 лет назад – в 2008 г., и количество внесенного за 49 лет фосфора равно P1240, на год приходилось P25. Сравнение этих вариантов показало все еще проявляемое последствие ранее примененного суперфосфата с небольшим преимуществом фона P25 перед P20 (табл. 5).

Наличие подвижного фосфора в почве в варианте последствия обеспечило более заметные изменения. На фоне P20 установлено постепенное снижение содержания P₂O₅. Отчетливо показано, что многолетнее применение одного азота было способно привести к усилению дефицита подвижного фосфора. Фон P20 отстал по этому показателю от фона P25 в среднем за 11 лет на 20 мг/кг при содержании P₂O₅ 60 и 80 мг/кг соответственно (табл. 6).

В опыте 2 образцы почвы проанализировали перед закладкой севооборота, содержание P₂O₅ (по Чирикову) было равно 38–40 мг/кг. Зернопа-

Таблица 5. Влияние действия и последействия фосфорных удобрений на величину прибавок урожайности и окупаемость 1 кг д.в. удобрений в посеве бессменной пшеницы, кг/кг

Вариант	1999–2019 гг.		
	урожай- ность	прибавка	оплата, кг/кг
	ц/га		
Контроль	9.9	–	–
N20	11.8	1.9	9.5
N40	12.5	2.6	6.5
N60	12.2	2.3	3.8
N20П*РК(P20)	13.2	3.3	16.5
N40 ПРК(P20)	15.2	5.3	13.2
N60 ПРК(P20)	15.4	5.5	9.2
N20ПР+P20(P25)	13.3	3.4	8.5
N40ПР+P20(P25)	15.4	5.5	9.2
N60ПР+P20(P25)	16.6	6.7	8.4
<i>HCP</i> ₀₅ , ц/га	1.2–2.3		

*П – последствие.

ровой севооборот пар–2 пшеницы–овес был заложен в 1971 г., в течение 7 ротаций вели вспашку. После 7-ми ротаций более урожайный овес был заменен пшеницей, была устранена вспашка. Показано, что преимущественное влияние на урожайность 1-й культуры после пара оказывал фосфор. При удалении посева от пара больше действовал азот, но прибавки от одного азота были меньше, чем от сочетания его с фосфором. Положительная роль азотного удобрения, которое вносили в посевы 2-й и 3-й культур после пара, обеспечила величину прибавок ≈ 3 ц/га в 1-й период опыта при ежегодной вспашке и 4–5 ц/га при минимизации обработки почвы. Добавление к азоту фосфора в дозе P20 способствовало даль-

нейшему росту урожайности. Прибавка увеличилась еще на 2 ц/га в годы применения вспашки и на 1.0–1.6 ц/га – в период минимальной обработки почвы.

Применение более высокой дозы фосфора P40 повышало содержание P_2O_5 в почве с 76 мг/кг при P20 до 102 мг/кг в среднем за период минимизации обработки почвы, но удвоение дозы не приносило удвоения прибавки урожайности пшеницы после пара. В остальных полях севооборота повышенная доза P40 не давала эффекта при увеличении затрат на дорогостоящий аммофос в 2 раза (табл. 7). При цене аммофоса 2900 руб./ц и с расходами на применение доза P20 обходилась в 1660, доза P40 – в 2820 руб./га.

В вариантах с запасным фосфорным удобрением среднегодовое количество внесенного фосфора за все 48 лет опыта в 36 посевах варьировало от P6.6 до P40. Наибольшие прибавки урожайности были получены при средней дозе P20 в варианте N33P720, ежегодное добавление к которой еще P20 в основном было неэффективным, особенно в поле овса (табл. 8).

В ротациях севооборота проследили за сроком ослабления последействия 3-х суммарных доз фосфора P240–360–720, внесенных в запас в половинном количестве за 2 года в 1971 и 1975 гг. Уменьшение последействия 1-й суммарной дозы P240 произошло на 27-й год. В этот срок средняя доза фосфора за год составила P9. При такой же средней величине P9 последствие P360 перестало происходить на 39-й год опыта и P720 – на 45-й год при среднегодовой дозе P16. Исключая годы с паром и первые 5 лет, когда формировались фоны, число посевов, выращенных за счет последействия доз P240–360–720, было равно 15, 20, 28 соответственно. При снижении среднегодовой дозы фосфора до P9–16 возникла необходимость улучшения условий фосфорного питания пшеницы путем возобновления ежегодного

Таблица 6. Изменение содержания P_2O_5 (по Чирикову) в слое 0–20 см почвы в посеве бессменной пшеницы в течение 11 лет (2009–2019 гг.), мг/кг

Вариант	Годы возделывания бессменной пшеницы											2009–2019 гг.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N0P0	51	64	41	45	39	47	45	41	57	52	48	48
N40	36	–	41	40	40	–	–	50	50	35	41	41
N40P20	67	–	63	60	60	–	62	–	62	48	59	60
N40P25	73	78	74	82	90	86	89	84	73	74	75	80

Примечание. Исходное содержание P_2O_5 (по Чирикову) в 1971 г. – 40 мг/кг.

Таблица 7. Влияние состава удобрения на урожайность культур 4-польного зернопарового севооборота, ц/га

Вариант	1971–1998 гг.			1999–2018 гг.			P ₂ O ₅ , мг/кг, 2016 год***
	1-я пшеница	2-я пшеница	Овес	1-я пшеница	2-я пшеница	3-я пшеница	
Контроль	24.9	17.76	22.8	13.6**	16.7	9.5	62
P20	27.7	20.3	25.8	14.7	17.6	11.9	81
P40	29.3	20.0	26.2	16.3	17.6	11.0	116
N33*	25.6	20.0	25.5	13.7	20.9	13.8	68
N33P20	27.8	21.7	27.4	14.1	21.9	15.4	76
N33P40	28.6	21.6	27.1	14.8	22.1	15.2	121
HCP ₀₅	1.9	1.7	2.3	2.1	3.1	2.7	16

*Азот вносили в 3-м (N40) и 4-м (N60) полях севооборота. **Урожайность 1-й пшеницы была низкой по причине совпадения ее посева с 3-мя засушливыми годами и одним годом поражения растений стеблевой ржавчиной. *** Исходный показатель на участке в 1971 г. – 38–40 мг/кг.

Таблица 8. Влияние запасного удобрения на урожайность культур 4-польного зернопарового севооборота, ц/га

Вариант	1971–1998 гг.			1999–2018 гг.			P ₂ O ₅ , мг/кг, 2016 г.
	1-я пшеница	2-я пшеница	Овес	1-я пшеница	2-я пшеница	3-я пшеница	
Контроль	24.9	17.7	22.8	13.6	16.7	9.5	62
N33P240	27.7	21.5	26.9	12.9	21.1	15.3	65
N33P240+P20	28.3	21.3	26.8	14.6	22.0	15.8	78
N33P360	27.9	21.4	26.8	13.6	20.3	14.8	65
N33P360+P20	28.9	21.0	27.4	16.1	23.3	16.6	93
N33P720	29.2	21.9	29.2	15.8	22.7	16.0	68
N33P720+P20	29.9	20.5	27.2	15.7	21.5	16.0	94
HCP ₀₅	1.9	1.7	2.3	2.1	3.1	2.7	16

Таблица 9. Эффективность действия и последствия фосфора в зернопаровом севообороте (урожайность в контроле и ее прибавки, ц/га)

Вариант	1971–1998 гг.		Среднее*	Оплата, кг/кг	Вариант	1971–1998 гг.		Среднее*	Оплата, кг/кг
	1971–1998 гг.	1999–2018 гг.				1971–1998 гг.	1999–2018 гг.		
Контроль	21.8	13.3	18.2	–	Контроль	21.8	13.3	–	–
P20	2.8	1.4	2.2	11.0	N33P240 (P6.6)**	3.6	3.1	3.4	8.6
P40	3.4	1.7	2.7	6.8	N33P240 + P20 (P26.6)	3.7	4.2	3.9	6.5
N33	1.9	2.8	2.3	7.0	N33P360 (P10)	3.6	2.9	3.3	7.7
N33P20	3.8	3.8	3.8	7.2	N33P360 + P20 (P30)	4.0	5.4	4.6	7.0
N33P40	4.0	4.1	4.0	5.5	N33P720 (P20)	5.0	4.9	5.0	9.4
					N33P720 + P20 (P40)	4.1	4.4	4.2	5.8

*Средневзвешенная доза в 21-м посева за 7 ротаций в 1971–1998 гг. и в 15-ти посевах за 5 ротаций в 1999–2018 гг.

**Доза фосфора за 1 год посева.

внесения фосфора в дозах P15–20 локальным способом.

Обобщение результатов в целом в зернопаровом севообороте за 48 лет опыта дало возмож-

ность оценить изученные приемы по окупаемости 1 кг д.в. дополнительным урожаем. При переходе дозы от P20 к P40 оплата единицы удобрения прибавкой резко снижалась (табл. 9).

Таблица 10. Влияние доз суперфосфата при внесении в рядки при посеве на урожайность пшеницы сорта Шадринская после пара (1977–1979 гг.), ц/га

Доза	Урожайность	Общая прибавка	Предельная прибавка	Оплата общей прибавки, кг/кг	Оплата предельной прибавки, кг/кг
Контроль	24.2	—	—	—	—
P15	30.4	6.2	6.2	41	41
P30	32.6	8.4	2.2	28	15
P45	33.5	9.3	0.9	20	6
P60	34.7	10.5	1.2	16	8
P90	34.2	10.0	–0.5	11	–1.6
<i>HCP</i> ₀₅ , ц/га		1.8			

Наблюдения и учеты, проведенные в 2-х опытах, обосновали следующее заключение: совместно с ориентацией на неустаревшую картограмму содержания подвижного фосфора в почве на конкретном поле надо знать историю применения удобрений на нем в предыдущие годы. Длительность последействия фосфора можно выявлять, точно зная величину суммарной дозы примененного ранее удобрения и числа лет, за которые эта суммарная доза была использована культурами севооборота. Необходимо вновь применять фосфорное удобрение, если в среднем на год приходилось менее P18–20.

На основании результатов опытов с фосфорными удобрениями В.И. Волынкиным была откорректирована шкала Чирикова для слоя 0–20 см почвы и для местных условий. Предложена следующая оценка уровней содержания подвижного фосфора (мг/кг): очень низкое – до 20, низкое – 20–45, среднее – 45–60, повышенное – 60–80 и высокое – >80.

Насколько надежно полученную информацию можно распространять в центральной зоне Курганской обл.? Надо сказать, что в пределах ОПХ “Садовое”, на землях которого заложено Центральное опытное поле, есть и другой подтип почвы – обыкновенный солонцеватый чернозем с еще более низким содержанием подвижного фосфора (28 мг/кг по Чирикову). Тем более, в центральной зоне этот подтип почвы встречается наряду с выщелоченным черноземом. В течение 3-х лет был проведен опыт с дозами фосфора на обыкновенном солонцеватом черноземе в Альменевском р-не Курганской обл. (центральная зона). Содержание P₂O₅ по Чирикову в этом случае было равно 36 мг/кг. В этом опыте экономически выгодной оказалась доза P15 (табл. 10). Стоит подчеркнуть, что опыты были краткосрочными, на сменяющихся участках. При систематическом

применении доз на одном поле результаты еще более значимо доказывали бы, что для припосевного способа внесения фосфора достаточно дозы P15, для локального предпосевного – доза P20.

ВЫВОДЫ

1. При решении о применении фосфорного удобрения под зерновые культуры вполне надежно пользоваться неустаревшей картограммой содержания подвижного фосфора на конкретном поле и шкалой для метода Чирикова, откорректированной для местных условий.

2. В условиях центральной зоны Курганской обл. на почвах с содержанием подвижного P₂O₅ по Чирикову, равного 28–36–40 мг/кг, дозы фосфора под пшеницу P15–20 в рядки при посеве являлись оптимальными на фонах с хорошей обеспеченностью растений азотом. Одно фосфорное удобрение с удалением от пара при ухудшении условий азотного питания действовало слабее, что было проверено в 3-м и 4-м полях зернопарового севооборота.

3. Наряду с учетом показателя картограммы не менее важно знание истории удобренности поля. Суммарную дозу примененного ранее фосфора следует поделить на число лет ее использования. При снижении этого показателя менее P18–20 необходимо вновь применять фосфорное удобрение в дозе не более P15–20 в рядки при посеве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордон У.Б. Состав стартовых удобрений и способы их внесения по ресурсосберегающим технологиям // Эффективность фосфорных удобрений. Журн. Международ. института питания раст. 2016. С. 31–33.
2. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Оптимизация доз азотных и фосфорных удобрений на черноземных

- почвах Поволжья с различным содержанием фосфора // Плодородие. 2017. № 2. С. 8–11.
3. Христенко А.А. Проблема изучения фосфатного состояния почв // Агрохимия. 2001. № 6. С. 89–95.
 4. 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.
 5. Прянишников Д.Н. Избр. соч. / Под ред. Петербургского А.В. М.: Сельхозиздат, 1963. Т. 1. 735 с.
 6. Шафран С.А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и ее резервы // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3–10.
 7. Касицкий Ю.И. Агрохимические аспекты решения проблемы фосфора в земледелии СССР // Агрохимия. 1983. № 10. С. 16–31.
 8. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Содержание подвижного фосфора в почвах при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2013. № 2. С. 30–36.
 9. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10.
 10. Шафран С.А., Прошкин В.А., Адрианов С.Н., Шаброва Е.В. Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожайности озимой и яровой пшеницы на почвах России // Агрохимия. 2011. № 10. С. 9–21.
 11. Чуб М.П., Пронько В.В., Сайфулина Л.Б., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф. Плодородие чернозема южного и продуктивность зернопарового севооборота при длительном применении минеральных удобрений // Агрохимия. 2010. № 7. С. 3–13.
 12. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Юмашев Н.П. Фосфатный режим черноземов // Вестн. РАСХН. 2010. № 6. С. 28–30.
 13. Волынкина О.В., Волынкин В.И., Кириллова Е.В., Копылов А.Н., Лысухин Д.В. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / Под ред. Волынкиной О.В. Куртамыш: ООО “Куртамышская типография”, 2017. 284 с.
 14. Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы. Пер. с англ. М.: Колос, 1970. 519 с.
 15. Емельянов Ю.Я., Копылов А.Н., Волынкина О.В., Кириллова Е.В. Эффективность доз и способов внесения фосфорного удобрения при систематическом применении под яровую пшеницу // Плодородие. 2013. № 4(73). С. 11–13.

Formation of Soil Fertility with Optimum Content of Mobile Phosphorus in Leached Chernozem

O. V. Volynkina^{a,#} and E. V. Kirillova^a

^a Ural Federal Agricultural Research Center of the Ural branch of the RAS
ul. Belinskogo 112a, Yekaterinburg 620142, Russia

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

The results of calculations and observations in 2 stationary experiments on the Central experimental field of the Kurgan research Institute showed the variability of the content of mobile phosphorus in the 0–20 cm layer of leached Chernozem under the influence of time and fertilizers. Increased doses of phosphorus increased the content of P₂O₅ faster, bringing them to higher levels compared to the use of P20. However, the same rates and sizes of increase were not found for crop yields. In experiments, the duration of the aftereffect of the use of increased doses of phosphorus was traced. The duration of the aftereffect depended on the total dose of the applied fertilizer. In the grain crop rotation, the total dose of P1000 had an aftereffect for 24 years. In the grain-fallow crop rotation, the total reserve application of P240–360–720 showed an aftereffect on the next number of crops –15, 20, 28. At the end of the aftereffect, the average annual amount of phosphorus decreased to P9–16, which was a signal of the need to resume the use of phosphorus fertilizer in doses not exceeding P15–20. Monitoring the content of mobile P₂O₅ in the soil using the Chirikov scale, adjusted for local conditions, must be combined with the previous fertilization of the field.

Key words: crop rotation, content of mobile phosphorus in the soil, fertilizer, aftereffect of fertilizer, yield, payback of fertilizers.