

СВЯЗЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕСЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ С АГРОХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЧВ

В.А. Прошкин, к.с.-х.н., Е.В. Шаброва, Л.С. Чернова, к.с.-х.н., ВНИИА

Проведена оценка влияния отдельных факторов почвенного плодородия на эффективность внесения фосфорных удобрений под озимую пшеницу на почвах европейской части России. Установлено, что ведущими факторами являются обеспеченность почв подвижным фосфором и дозы фосфорных удобрений. Действие их на величину прибавки урожайности превосходит влияние генетических свойств почвенного покрова. Влияние кислотности почв на эффективность фосфорных удобрений неоднозначно и зависит от типа почвы.

Ключевые слова: агрохимические свойства почв, прибавка урожайности, озимая пшеница, коэффициент корреляции, корреляционное отношение, критерий линейности корреляции.

Территории России, занятые под сельскохозяйственное использование, характеризуются огромным разнообразием природно-климатических условий. Внутри каждой зоны можно встретить поля, сильно различающиеся по степени кислотности, содержанию гумуса, подвижных форм фосфора и калия. В связи с этим возникает реальная потребность учета агрохимических свойств почв при определении доз минеральных удобрений. Результаты многочисленных исследований подтверждают существенное влияние агрохимических свойств почвы на эффективность минеральных удобрений [1-8].

Использование математических методов позволяет оценить влияние реакции почвенной среды, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия, а также доз удобрений на эффективность последних, дает возможность статистически оценить значимость выявленных зависимостей и, соответственно, достоверность изменчивости результативного признака при вариации агрохимических свойств почв.

Цель исследований – установить общие закономерности корреляции между агрохимическими свойствами почв и прибавкой урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений. Это, несомненно, актуально, так как является основой для разработки математических моделей прогноза эффективности минеральных удобрений в зависимости от конкретной агрохимической ситуации.

Методика. Для решения поставленной задачи использовали материалы Географической сети опытов с удобрениями, результаты полевых опытов агрохимслужбы Российской Федерации и других научных учреждений, в которых проводили опыты с фосфорными удобрениями.

Объект исследования – озимая пшеница. Для установления закономерностей влияния факторов почвенного плодородия на эффективность фосфорных удобрений оценивали следующие показатели: pH, содержание гумуса (%), подвижных форм фосфора и калия (мг/кг) и дозы фосфорных удобрений (кг/га). Изучение корреляционной связи между агрохимическими свойствами почв и эффективностью удобрений необходимо не только для выявления общих закономерностей, но прежде всего для объективного выбора факторов-аргументов в моделях продуктивности. Для идентификации параметров изучаемых признаков использовали массивы опытных данных, состоящих из величин прибавки урожайности от удобрений и такого же количества измерений каждого из агрохимических показателей и доз фосфорных удобрений. Число выборок по типам почв приведено ниже.

Федеральный округ, почва	Число сопряженных наблюдений
Центральный:	
дерново-подзолистая	108
серая лесная	66
чернозем оподзоленный и выщелоченный	151
чернозем типичный и обыкновенный	70
Приволжский:	
серая лесная	81
чернозем выщелоченный	60
чернозем обыкновенный и южный	25
Южный:	
чернозем южный	111
чернозем слабовыщелоченный	28
чернозем мицеллярно-карбонатный	119
каштановая	66

В качестве показателей корреляции использовали коэффициент корреляции (r) и корреляционное отношение (η). По коэффициенту детерминации (d) и индексу детерминации (η^2) оценивали долю изменчивости выходной величины, которая обуславливалась колебаниями изучаемых факторов. Возможность использования линейной или криволинейной корреляции для описания связи между признаками определяли по критерию линейности корреляции (F). Уровень значимости – (t).

Результаты и их обсуждение. При изучении общих закономерностей связи эффективности минеральных удобрений с агрохимическими свойствами почв важно выяснить в какой мере свойства отдельных типов почв влияют на величину прибавки урожайности. Такая необходимость обусловлена тем, что степень варьирования агрохимических свойств, как показано в ряде работ [9,10], на разных типах почв неодинакова. В этом аспекте безусловный интерес представляет оценка структурных и функциональных зависимостей между аргументами системы почва – удобрения – прибавка урожайности.

Результаты статистического анализа связи указанных агрохимических свойств почв и прибавки урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений приведены в таблице.

Характеристика связи прибавки урожайности озимой пшеницы с агрохимическими свойствами почв и дозами фосфорных удобрений

удобрения

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	линейная			криволинейная				
	коэффициент		t	η	η^2	t	F_ϕ	F_t (0,05)
	r	d						
Центральный Федеральный округ								
Дерново-подзолистые почвы								
Гумус	0,89	0,79	0,001	0,95	0,90	0,001	17,05	13,6
pH	-0,21	0,04	0,100	0,88	0,77	0,001	78,3	26,3
P ₂ O ₅	-0,55	0,30	0,001	0,88	0,77	0,001	17,2	5,9
K ₂ O	-0,12	0,01	0,400	0,66	0,44	0,001	20,0	19,5
Дозы	0,51	0,26	0,001	0,77	0,59	0,001	7,0	5,8
Серые лесные почвы								
pH	-0,15	0,02	0,200	0,81	0,66	0,001	67,1	26,3
P ₂ O ₅	-0,34	0,11	0,001	0,86	0,74	0,001	34,6	5,8
K ₂ O	-0,20	0,04	0,050	0,67	0,45	0,001	23,7	26,2
Дозы	0,12	0,01	0,400	0,79	0,62	0,001	23,6	9,2
Черноземы оподзоленные								
pH	-0,05	0,0	-	0,56	0,31	0,001	-	-
P ₂ O ₅	-0,45	0,20	0,001	0,89	0,79	0,001	22,9	5,0
K ₂ O	-0,26	0,21	0,001	0,51	0,26	0,001	0,74	5,0
Дозы	0,09	0,0	-	0,61	0,37	0,001	-	-

Черноземы типичные и обыкновенные								
pH	-0,12	0,01	-	0,38	0,14	0,050	2,94	99,5
P ₂ O ₅	-0,23	0,05	0,200	0,54	0,29	0,001	12,50	9,3
K ₂ O	-0,06	0,004	-	0,36	0,13	0,001	3,47	99,5
Дозы	0,14	0,02	0,400	0,76	0,57	0,001	12,8	9,2
Приволжский федеральный округ								
Серые лесные почвы								
pH	0,65	0,42	0,001	0,97	0,94	0,001	45,6	9,4
P ₂ O ₅	-0,61	0,37	0,001	0,87	0,76	0,001	10,6	4,5
K ₂ O	-0,21	0,04	0,200	0,24	0,06	0,100	0,4	99,5
Дозы	0,21	0,04	0,100	0,81	0,66	0,001	16,0	5,8
Черноземы выщелоченные								
pH	0,40	0,16	0,050	0,49	0,24	0,010	1,12	26,5
P ₂ O ₅	-0,35	0,12	0,010	0,77	0,59	0,001	11,64	2,7
K ₂ O	0,11	0,01	-	0,57	0,32	0,001	2,82	9,4
Дозы	0,12	0,01	0,400	0,44	0,19	0,001	3,85	26,4
Черноземы обыкновенные и южные								
P ₂ O ₅	-0,12	0,01	-	0,70	0,49	0,001	5,64	3,9
K ₂ O	0,05	-	-	0,08	-	-	-	-
Дозы	0,55	0,30	0,010	0,65	0,42	0,001	0,94	5,8
Южный федеральный округ								
Черноземы южные								
pH	-0,20	0,04	0,400	0,51	0,26	0,010	3,57	19,4
P ₂ O ₅	-0,53	0,28	0,010	0,88	0,77	0,001	7,29	7,4
K ₂ O	-0,39	0,15	0,050	0,45	0,20	0,050	0,76	19,5
Дозы	0,01	0,00	-	0,72	0,52	0,001	5,92	5,8
Черноземы слабовыщелоченные								
P ₂ O ₅	-0,46	0,21	0,001	0,70	0,49	0,001	7,37	5,7
K ₂ O	0,08	0,006	-	0,55	0,30	0,001	5,73	5,7
Дозы	0,18	0,03	0,200	0,66	0,44	0,001	12,86	8,6
Черноземы мицеллярно-карбонатные								
pH	0,17	0,03	0,200	0,39	0,15	0,010	4,00	99,5
P ₂ O ₅	-0,51	0,26	0,001	0,57	0,32	0,001	5,73	13,7
K ₂ O	0,04	-	-	0,15	0,02	0,400	-0,60	99,5
Дозы	0,41	0,17	0,001	0,89	0,79	0,001	34,5	9,20
Каштановые и темно-каштановые почвы								
pH	-0,59	0,35	0,001	0,63	0,39	0,001	1,24	13,7
P ₂ O ₅	-0,38	0,14	0,010	0,77	0,59	0,001	11,0	7,1
K ₂ O	0,34	0,11	0,050	0,67	0,44	0,001	6,9	7,1
Дозы	0,07	0,005	-	0,41	0,17	0,050	1,44	7,2

Материалы, характеризующие корреляцию прибавки урожайности озимой пшеницы с содержанием гумуса в почве имеются лишь в опытах, проведенных на дерново-подзолистых почвах Центрального Федерального округа. Она проявляется как криволинейная по форме ($F_{\phi} > F_t$), сильная по тесноте ($\eta = 0,95$) и достоверная по значимости ($t = 0,001$).

Анализ эффективности фосфорных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от реакции почвенной среды свидетельствует о существенных различиях в тесноте, форме и достоверности связи между изучаемыми признаками. При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, черноземах оподзоленных прибавка урожайности в интервале значений pH 4,0...5,2-6,4 корреляция проявляется как сильная или средняя ($\eta = 0,95-0,81-0,56$) при высоком уровне значимости ($t=0,001$). На черноземах выщелоченных, типичных, обыкновенных, южных, мицеллярно-карбонатных при pH 6,0-7,3 зависимость характеризуется как слабая по тесноте, линейная по форме (во всех случаях $F_{\phi} < F_t$), неустойчивая по направлению – значения r колеблются от -0,20 до 0,40. На каштановых почвах (pH 6,5-8,0) четко проявляется обратная направленность корреляции ($r = -0,59$) при очень высоком уровне значимости ($t=0,001$). Графическая интерпретация изменчивости прибавки урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений в зависимости от pH представлена на рисунке 1.

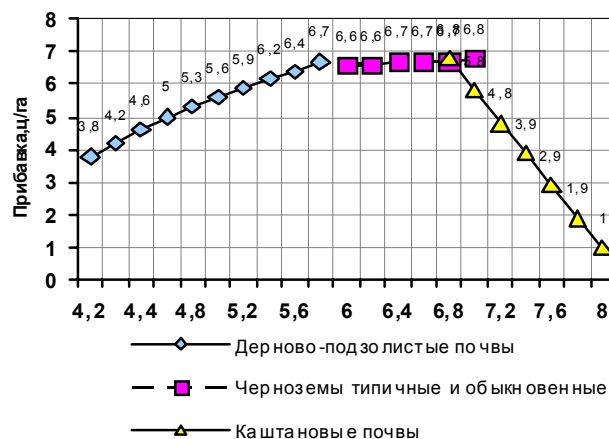


Рис. 1. Прогноз прибавки урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений на разных типах почв в зависимости от реакции почвенной среды

Влияние pH на эффективность фосфорных удобрений под озимую пшеницу проявляется неоднозначно на разных почвах. Оптимальные пределы кислотности заметно различаются по типам почв. На дерново-подзолистых, серых лесных почвах, черноземах оподзоленных при переходе от кислой к слабокислой реакции почвенной среды прибавка урожайности озимой пшеницы плавно и нелинейно возрастает. На черноземах выщелоченных, типичных, обыкновенных, южных, мицеллярно-карбонатных наблюдается неустойчивый характер связи между изучаемыми признаками. На каштановых почвах при переходе от нейтральной к щелочной реакции зависимость проявляется как обратная (т.е. прибавка урожайности уменьшается). Это даёт основание предположить, что фактор pH не является самостоятельным, а зависит от целого ряда соответствующих свойств почвенной среды [11, 12].

Корреляция между обеспеченностью почв подвижным фосфором и прибавками урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений, проявляется как криволинейная по форме ($F_{\phi} > F_t$), средняя или сильная по тесноте ($\eta = 0,54 - 0,89$), обратная по направлению ($r = -0,23...-0,61$) и достоверная по значимости ($t=0,001$). Изменчивость прибавки урожайности озимой пшеницы от вариации содержания P₂O₅ в почве показана на рисунке 2.

Корреляционная зависимость между дозами фосфора и прибавкой урожайности во всех случаях характеризуется как прямая по направлению. При этом линейная форма корреляции ($F_{\phi} < F_t$) наблюдается при невысоких значениях корреляционного отношения ($\eta = 0,41-0,44$). При более тесной корреляции ($\eta = 0,61-0,89$) связь характеризуется как криволинейная по форме ($F_{\phi} > F_t$). При этом важно отметить, что корреляционная зависимость между указанными признаками характеризуется как средняя или сильная по тесноте и достоверная по значимости. Прибавки урожайности от доз фосфорных удобрений в данной работе не приведены.

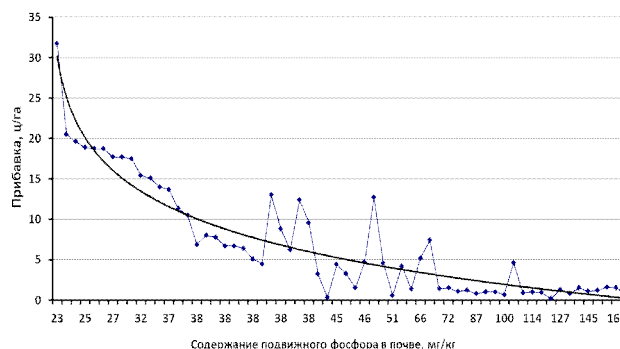


Рис. 2. Зависимость прибавки урожайности озимой пшеницы при применении фосфорных удобрений от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах Центрального Федерального округа

Корреляция между обеспеченностью почв подвижным калием и прибавками урожайности озимой пшеницы от фосфорных удобрений прямолинейная по форме ($F_{\phi} < F_t$), но неустойчивая по направлению. При возделывании пшеницы на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, черноземах оподзоленных, типичных, обыкновенных, южных между признаками наблюдается обратная связь, на черноземах выщелоченных, мицеллярно-карбонатных и каштановых почвах – прямая. Вместе с тем, следует отметить, что корреляция характеризуется, как правило, как слабая по тесноте. Это даёт основание констатировать отсутствие связи между признаками в зависимости от запасов подвижного калия в почве.

Заключение. Впервые для озимой пшеницы выявлены принципиальные различия во влиянии отдельных факторов почвенного плодородия на эффективность фосфорных удобрений.

Установлено, что содержание подвижного фосфора в почве и дозы фосфорных удобрений являются ведущими и устойчивыми факторами формирования прибавки урожайности озимой пшеницы. Это подтверждается тем, что на всех типах почв характеристика корреляции по форме и направлению одинакова. В первом случае (P_2O_5 в почве) – обратная (то есть с увеличением содержания подвижного фосфора в почве эффективность фосфорных удобрений снижается), во втором (дозы P_2O_5) – прямая. При этом корреляция всегда проявляется как криволинейная ($F_{\phi} > F_t$), достоверная, средняя или сильная по тесноте.

Выявленные особенности корреляционных связей в системе почва – удобрения – прибавка урожайности, как показано в работах [13–15], необходимы для разработки математических моделей прогноза прибавки урожайности озимой пшеницы в зависимости от конкретной агрохимической ситуации и доз минеральных удобрений.

Литература

1. Балтин А.Э. Коррелятивная зависимость между агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв и урожаем сельскохозяй-

ственных культур // В кн.: Труды латвийского филиала ВОП. – 1970. – №5. – С. 29-33. 2. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи // Химия в сельском хозяйстве. – 1970. – № 9. – С.63-68. 3. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи, ячменя и картофеля в Латвийской ССР // Автореф. дис. ... д-ра с.-х. н. – Елгава, 1970. – 33 с. 4. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи, ячменя и картофеля // Химия в сельском хозяйстве. – 1970. – № 8. – С.63-69. 5. Ельников И.И. Корреляционный анализ результатов полевых опытов под зерновые культуры // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1971. – Вып. 3. – С.36-54. 6. Ельников И.И. О географических закономерностях эффективности удобрений в зоне дерново-подзолистых почв // Агрохимия. – 1973. – № 10. – С.140-153. 7. Кулаковская Т.Н., Богдевич И.М. О связи агрохимических свойств почв с урожаем и эффективностью удобрений // Труды Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии. 1971. – Вып.8. – С.98-110. 8. Прошьяков А.А. Действие минеральных удобрений на урожай картофеля в зависимости от агрохимических показателей дерново-подзолистых почв // Агрохимия. – 1972. – № 9. – С. 57-60. 9. Семенов В.А. Взаимозависимость между содержанием гумуса и другими свойствами почвы – факторами урожая // Почвоведение. – 1992. – №11. – С.68-80. 10. Важенкин И.Г. Применение метода вариационной статистики в почвенно-агрохимических исследованиях // Почвоведение. – 1963. – № 2. – С. 43-58. 11. Авдонин Н.С. Свойства почвы и урожай. – М.: Колос. – С. 165.- 271. 12. Ельников И.И. О географических закономерностях эффективности удобрений в зоне дерново-подзолистых почв // Агрохимия. – 1973. – № 10. – С.140-153. 13. Прошкин В.А., Адрианов С.Н., Шаброва Е.В. Модель прогноза прибавки урожайности озимой пшеницы при применении фосфорных удобрений // Агрохимия. – 2011. – № 6. – С.22-29. 14. Прошкин В.А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы // Агрохимия. – № 7. – 2012. – С. 16-27. 15. Адрианов С.Н., Прошкин В.А., Шаброва Е.В., Широкова С.В. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность фосфорных удобрений при внесении под картофель // Материалы Всероссийской конференции учредителей-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 г. «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями». – М.: ВНИИА, 2012.

RELATIONSHIP OF THE PHOSPHORUS FERTILIZER EFFICIENCY FOR WINTER WHEAT WITH THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS

V.A. Proshkin, E.V. Shabrova, L.S. Chernova

Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

The effects of separate factors of soil fertility on the efficiency of phosphorus fertilizers for winter wheat in European Russia have been assessed. It has been found that the soil supply with available phosphorus and the application rates of phosphorus fertilizers are the major factors. Their effect on the gain in yield exceeds the effect of the genetic properties of the soil cover. The effect of soil acidity on the efficiency of phosphoric fertilizers is uncertain and depends on the soil type.

Keywords: agrochemical properties of soils, yield gain, correlation coefficient, correlation ratio, correlation linearity test.