

И.Р.Вильдфлуш, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А.Р.Цыганов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
П.М.Рябцев, ст. научный сотрудник
Белорусская сельскохозяйственная академия

УДК 631.85:631.445.2

Экологическая оценка уровней содержания подвижного фосфора и применения новых ферм фосфорсодержащих удобрений в дерново-подзолистой почве

В дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с увеличением рН, уровней содержания подвижных форм фосфора и калия в почве снизилась подвижность цинка и свинца, но возросло содержание кадмия. Однако содержание в почве подвижных форм меди, цинка, свинца и кадмия во всех изучаемых фонах плодородия и в "зафосфаченной" почве не превышало ПДК.

Внесение двойного суперфосфата, полифосфата кальция, суперкарлинфосфата, сульфаммофосфата в высоких

In durf-podzol light-loamy soil with increasing of PH and mobile phosphorus and potassium content levels the mobility of lead (Pb) and zinc (Zn) is reduced but the cadmium content is grown. However, the soil content of the mobile forms of copper, zinc, lead and cadmium in all the studied fertility backgrounds and high phosphate content soil didn't exceed maximum allowable concentration.

The application of double superphosphate, polyphosphate of calcium, supercarolinphosphate, sulfoammophosphate in high

дозах (300 мг/кг почвы P_2O_5) не приводило к загрязнению почвы тяжелыми металлами. Полиаммофос и полифосфат кальция по сравнению с фосфорными удобрениями, содержащими фосфор в ортоформе, способствовали некоторому увеличению подвижности цинка и свинца в почве.

В настоящее время все большее внимание привлекает экологическая сторона применения фосфорных удобрений, а именно, возможность поступления с ними токсичных элементов. Исследования в длительных стационарных опытах позволяют прогнозировать результаты экзогенного воздействия на почвы, а также точнее оценить экологическую обстановку и условия возделывания сельскохозяйственных культур.

При применении фосфорных удобрений главными источниками загрязнения почв являются примеси кадмия, свинца, мышьяка, стронция и других [1, 2, 3]. Установлено увеличение содержания свинца в листьях кукурузы при высоких дозах фосфорных удобрений [4].

Исследования В.Б.Ильина [5] показали, что товарная часть картофеля и овощных культур нередко загрязняется кадмием выше гигиенических норм даже при содержании металла в почве менее 1 мг/кг. Поэтому предельно допустимая норма кадмия в почве не должна превышать 0,5 мг/кг [6]. В то же время, по данным американских ученых, применение фосфорных удобрений способствовало увеличению фосфора и кадмия в почве, но при этом в растениях увеличивалось количество фосфора и практически не изменилось содержание кадмия [7]. Исследования некоторых ученых [8] показали, что систематическое внесение фосфорных удобрений снижало содержание в почве тяжелых металлов и других токсичных элементов, выполняя тем экологическую роль.

Решающее влияние на загрязнение продукции может оказывать не невысокий уровень содержания тяже-

doses (300 mg P_2O_5 /kg of soil) haven't led to heavy metal's pollution of soil. Polyammonophosphate and polyphosphate of calcium in comparison with phosphorus fertilizers containing phosphorus in orthoform furthered a little increasing of zinc and lead mobility in soil.

лого металла в почве, а степень дефицитности другого элемента, находящегося в сильно выраженной антагонистической связи в растительной ткани с высокотоксичными элементами [9].

Для изучения влияния реакции, уровней содержания подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на содержание тяжелых металлов в 1993 г. с первого стационарного опыта кафедры агрохимии БСХА после уборки картофеля были отобраны почвенные образцы. Этот опыт был заложен в 1982 г. в севообороте картофель – яровая пшеница + клевер – озимая рожь – лен на следующих трех искусственно созданных фонах плодородия: фон I – 100–130 мг P_2O_5 , K_2O – 110–140 мг/кг почвы по методу Кирсанова, pH сол. 5,0–5,4; фон II – P_2O_5 – 180–200 мг/кг и K_2O – 170–210 мг, pH сол. 5,6–5,8; фон III – P_2O_5 – 280–300 мг/кг и K_2O – 240–280 мг, pH сол. 6,0–6,2.

Методика создания искусственных фонов плодородия почвы и продуктивность севооборота за две ротации в зависимости от доз и способов внесения удобрений в этом опыте подробно рассмотрены нами в ранее опубликованных работах [10]. Следует отметить, что за две ротации севооборота в удобряемых вариантах содержание подвижных форм фосфора и калия в почве значительно возросло. Почвенные образцы отбирались по фонам плодородия с вариантов с внесением средних и высоких доз удобрений (табл. 1). Кроме того, с опытного поля был также отобран почвенный образец “зафосфаченной” почвы с содержанием 436 мг/кг почвы P_2O_5 .

Таблица 1. Содержание в почве тяжелых металлов в зависимости от реакции и обеспеченности подвижных форм фосфора и калия

Внесено на 1 га севооборота	Гумус, %	pH в КС1	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn	Pb	Cd
			мг/кг почвы					
Ф о н I								
N ₅₁ P ₇₄ K ₈₂	1,26	5,4	206	168	<u>1,99</u> 4,3	<u>12,70</u> 20,80	<u>2,82</u> 9,6	<u>0,031</u> 0,210
N ₆₉ P ₉₂ K ₁₀₂	1,24	5,3	266	192	<u>1,52</u> 4,5	<u>11,63</u> 23,1	<u>2,73</u> 10,8	<u>0,025</u> 0,220
Ф о н II								
N ₅₇ P ₇₄ K ₈₂	1,38	5,7	257	223	<u>1,78</u> 4,4	<u>10,29</u> 20,8	<u>2,52</u> 11,1	<u>0,036</u> 0,251
N ₆₉ P ₉₂ K ₁₀₂	1,40	5,8	268	252	<u>1,76</u> 4,9	<u>9,95</u> 21,4	<u>2,45</u> 11,5	<u>0,039</u> 0,265
Ф о н III								
N ₅₇ P ₇₄ K ₈₂	1,42	6,4	315	304	<u>1,75</u> 4,3	<u>8,12</u> 23,1	<u>2,32</u> 12,4	<u>0,042</u> 0,287
N ₆₉ P ₉₂ K ₁₀₂	1,38	6,2	345	224	<u>1,73</u> 4,5	<u>8,50</u> 21,4	<u>2,22</u> 13,9	<u>0,045</u> 0,291
Зафосфаченная почва	1,80	6,5	436	262	<u>1,84</u> 4,1	<u>9,30</u> 19,1	<u>2,18</u> 13,1	<u>0,047</u> 0,296

Примечание. В числителе показано содержание подвижных форм тяжелых металлов, в знаменателе – валовое

Для изучения влияния внесения высоких доз новых форм фосфорсодержащих удобрений, полученных из НИУИФ, на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с pH сол. 5,7, с содержанием 1,5% гумуса, 160 мг/кг K_2O был проведен лабораторный опыт в стаканах, вмещающих 1 кг почвы. Содержание подвижного фосфора по методу Кирсанова по вариантам опыта приведено в таблице 2.

В опыте использовались полифосфат кальция (P_2O_5 усв. 41,5%), суперкарролинфосфат (P_2O_5 общ. – 37,6%), аммофосфат (N – 3,4%, P_2O_5 общ. 36%), полиаммофос (N – 10,3%, P_2O_5 общ. 46,2%), которые сравнивались со стандартными формами (двойной суперфосфат и аммофос). Фосфорные удобрения вносили из расчета 300 мг P_2O_5 на 1 кг воздушно-сухой почвы. На протяжении компостирования поддерживали влажность почвы на уровне 60% от полной влагоемкости. Через 180 суток были отобраны почвенные образцы для анализа. Определение подвижных форм тяжелых металлов проводилось в биохимической лаборатории НИЧ БСХА в вытяжке 1 м HNO_3 методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии [11].

Изучение влияния на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве таких же искусственно созданных фонов плодородия почвы, как и в первом опыте, на поступление в растения овса меди, цинка и бора проводилось во втором стационарном опыте кафедры агрохимии в кормовом севообороте. Результаты этого опыта за вторую ротацию севооборота рассмотрены в работе, опубликованной ранее [12].

Изучаемые уровни плодородия почвы и дозы удобрений по влиянию на содержание в почве подвижной меди существенно не различались. Не отмечено существенных различий по вариантам опыта и по валовому содержанию подвижной меди в почве (табл.1).

В то же время при переходе от низкого фона плодородия к среднему и высокому прослеживается тенденция к снижению содержания в почве подвижного цинка. Это, по-видимому, связано со снижением подвижности цинка под влиянием известкования и возрастания уровня содержания в почве подвижного фосфора при переходе от I ко II и III фону плодородия почвы. Четкой же связи между уровнями плодородия почвы и содержанием в почве валового цинка не установлено (табл.1).

Медь и цинк являются тяжелыми металлами и поэтому интерес представляет оценка их содержания с учетом ПДК. По принятым в республике нормам для меди (3 мг/кг) и цинка (23 мг/кг почвы), содержание подвижных форм меди и цинка на всех фонах плодородия почвы было значительно ниже ПДК [13]. Не превышало ПДК и валовое содержание цинка и меди в почве.

С повышением уровня содержания в почве подвижных форм фосфора и калия, величины pH в КС1 наблюдалось снижение в почве подвижности свинца (табл.1). Некоторое уменьшение содержания подвижного свинца при переходе от низкого уровня плодородия почвы к среднему и высокому, по-видимому, в первую очередь связано со снижением кислотности почвы и внесением более высоких доз органических удобрений. По данным БелНИИПА, известкование и внесение органических удобрений также сильно снижали подвижность свинца в почве [14]. В то же время прослеживалась тенденция к увеличению в почве содержания валового свинца при переходе от низкого уровня плодородия почвы к высокому. Однако содержание валового и подвижного свинца в почве всех изучаемых вариантов было значительно ниже установленного уровня ПДК [13]. Таким образом, увеличение содержания подвижного фосфора в почве с 236 мг до 436 мг/кг не приводило к загрязнению ее тяжелыми металлами.

Содержание подвижного кадмия в отличие от цинка и свинца с увеличением уровня плодородия почвы возрастало. Это, по-видимому, обусловлено внесением больших доз фосфорных удобрений при создании искусственных фонов по содержанию подвижных форм фосфора в почве, с которыми поступал кадмий (табл.1). Наиболее высоким содержание подвижного кадмия было в “зафосфаченной” почве. Содержание подвижного и валового кадмия в почве всех вариантов опыта было ниже ПДК, которое принято в 0,3 и 3 мг/кг почвы соответственно [13].

Внесение в дерново-подзолистую легкосуглинистую почву фосфорных удобрений из расчета 300 мг/кг почвы привело к значительному увеличению в ней содержания подвижного фосфора по методу Кирсанова. Наиболее высоким содержание подвижного фосфора было при использовании суперкарролинфосфата (смесь 70%

Таблица 2. Влияние новых форм фосфорсодержащих удобрений на содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Варианты опыта	P_2O_5 в 0,2 М НС1	Подвижные формы				Валовое содержание			
		Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd
Без удобрений	150	1,37	9,63	3,45	0,0530	4,39	19,90	10,35	0,262
Рсд	330	1,42	9,82	3,50	0,0690	4,22	20,02	10,52	0,285
Полиаммофос	300	1,47	10,35	3,86	0,0660	4,51	19,84	11,02	0,287
Сульфоаммофосфат	340	1,46	10,02	3,50	0,0710	4,42	19,45	10,50	0,287
Полифосфат кальция	320	1,49	10,65	3,81	0,0640	4,65	21,12	11,25	0,274
Суперкарролинфосфат	368	1,53	10,11	3,55	0,0745	4,51	19,76	10,84	0,315
Аммофос	365	1,52	10,04	3,52	0,0675	4,41	20,21	10,72	0,280
Аммофосфат	380	1,54	9,52	3,59	0,0645	4,37	20,05	10,99	0,293

двойного суперфосфата и 30% фосфоритной муки из фосфоритов Каролины) и аммофосфата (табл.2). Это, по-видимому, связано с тем, что данные удобрения, с ограниченной растворимостью фосфатного компонента, по сравнению с водорастворимыми формами (двойной суперфосфат и др.) медленнее переходили в труднорастворимые формы, связанные с полутораоксидами, которые не извлекаются раствором 0,2 М HCl.

Изучаемые формы фосфорсодержащих удобрений по сравнению с контролем не оказывали влияния на содержание подвижных форм меди и цинка в почве (табл.2). Из особенностей следует отметить, что полифосфат кальция и полиаммофос, содержащие фосфор в полиформе, по сравнению с двойным суперфосфатом и другими формами фосфорных удобрений, в которых фосфор находится в ортоформе, способствовали увеличению подвижности цинка и свинца в почве. Это, по-видимому, связано с солюбилизирующим эффектом полифосфатов в отношении вышеуказанных элементов почвы.

Применение всех изучаемых форм фосфорсодержащих удобрений способствовало небольшому увеличению содержания в почве подвижного кадмия. Однако во всех вариантах опыта содержание меди, цинка, свинца и кадмия в почве не превышало ПДК.

Представляет интерес, как влияют уровни плодородия почвы на поступление микроэлементов в растения. Для изучения этого вопроса было проведено определение меди, цинка и бора в зерне овса во втором стационарном опыте кафедры агрохимии БСХА. Содержание подвижных форм меди в большинстве вариантов этого опыта было низким и составляло 1,2–1,4 мг/кг почвы и только в части вариантов – средним (1,5–1,8 мг/кг). Обеспеченность почвы подвижным цинком была по всем вариантам опыта низкой (1,5–2,4 мг/кг) и бора – средней (0,5–0,7 мг/кг почвы).

В опыте с овсом прослеживалась четкая связь между уровнем плодородия почвы и поступлением меди и бора в растения. Содержание меди и бора в зерне овса с увеличением рН сол. и наличием в почве подвижных форм фосфора и калия снижалось (табл.3). Это, по-видимому, в первую очередь связано с известкованием и, возможно, с повышением содержания в почве фосфора и калия. В литературе имеются указания на то, что при избыточно высоком содержании в почве фосфора и калия может тормозиться поступление в растения ряда микроэлементов [15].

В то же время четкой зависимости между содержанием цинка в зерне овса и различными фонами плодородия почвы в опыте не отмечено.

Содержание меди в зерне овса в большинстве вариантов было ниже ПДК, которая для этого элемента установлена в 5 мг/кг почвы [16]. Превышение ПДК отмечено лишь в отдельных вариантах низкого фона плодородия почвы (табл.3). Содержание цинка в зерне овса также в большинстве вариантов опыта не превышало ПДК. Лишь в части вариантов содержание цинка превышало ПДК, установленную для этого элемента в 10 мг/кг [6].

Таблица 3. Содержание меди, цинка и бора в зерне овса в зависимости от уровней плодородия почвы и способов внесения удобрений, мг/кг сухого вещества

Варианты опыта	Медь	Цинк	Бор
Ф о н I			
Рс 10 в рядки - фон	5,2	7,1	6,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ вразброс	6,0	11,2	9,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально	4,8	6,8	6,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ вразброс	6,4	10,6	9,2
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ локально	4,9	9,3	6,6
Ф о н II			
Рс 10 в рядки - фон	3,2	6,8	5,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ вразброс	5,0	7,5	4,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально	3,0	8,4	4,2
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ вразброс	2,8	7,4	2,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ локально	2,1	12,6	6,0
Ф о н III			
Рс 10 в рядки - фон	1,3	11,5	2,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ вразброс	1,0	12,3	2,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально	0,8	11,8	3,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ вразброс	1,2	8,8	1,4
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ локально	1,5	9,5	1,6

Выводы

1. С увеличением рН, уровней содержания подвижных форм фосфора и калия в почве снижалась подвижность цинка и свинца, но возрастало содержание кадмия. Однако содержание в почве подвижных форм меди, цинка, свинца и кадмия во всех изучаемых фонах плодородия и в "зафосфаченной" почве не превышало ПДК.

2. Внесение двойного суперфосфата, полифосфата кальция, суперкарболинфосфата, сульфаммофосфата, полиаммофоса, аммофоса и аммофосфата в высоких дозах (300 мг/кг почвы P₂O₅) не приводило к загрязнению почвы тяжелыми металлами. Полиаммофос и полифосфат кальция по сравнению с фосфорными удобрениями, содержащими фосфор в ортоформе, способствовали некоторому увеличению подвижности цинка и свинца в почве.

3. С увеличением рН, уровней содержания подвижных форм фосфора и калия в почве снижалось содержание меди и бора в зерне овса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии: Учебное пособие для вузов. – Москва: Изд-во МГУ, 1987. – 160 с.
2. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
3. Сдобникова О.В., Сушеница Б.А. Эколого-агрохимические основы применения удобрений // Химизация с.-х. – 1991. – № 10. – С. 42.
4. Розанов А.Б., Розанов Б.Г. Экологические последствия антропогенных изменений почв // Итоги науки и техники. Сер. почвоведение и агрохимия / Москва: ВИНТИ, – 1990. – С. 112.

5. Ильин В.Б. Кадмий в почве // Химизация с.-х. – 1991. – № 1 – С. 16.

6. Ильин В.Б. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве // Агрохимия. – 1992. – № 2 – С. 78–85.

7. Mortkedt J.J. Cadmium Levels in Soils an Plants From Some Long-term Soil Fertility Experiments in the United States of America. – J. Environ Qnul. – 1987. – vol. 16. – № 2.

8. Никушина Т.К., Пчелинцева С.А. Агроэкологическая оценка фосфорных удобрений на серой лесной почве // Агрохимия. – 1993. – № 7. – С. 40–41.

9. Wallace A. Additive protective and synergistic effects in plants with exces trace clement // Soil Sci. – 1982. – v. 113 – P. 319.

10. Вільдфлуш І.Р., Цітова С.Н. Эффектыўнасць новых формаў фосфаразмяшчальных угнаенняў пад зернявыя культуры // Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 1 – С. 17–21.

11. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г.Минеева – Москва: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.

12. Вильдфлуш И.Р. Сравнительная оценка способов внесения удобрений в севообороте в зависимости от уровня плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агрохимия. – 1992. – № 3. – С. 33–40.

13. База данных земельных ресурсов сельскохозяйственного назначения: Метод. указания / Сост. И.М.Богdevич, В.В.Лапа, Н.Н.Смеян и др. – Минск: БНИИПА, 1992. – 65 с.

14. Основные направления по повышению плодородия почв и эффективности удобрений в Белоруссии на 1991–1995 гг. / Под ред. А.М.Старовойтова, И.М.Богdevича. – Минск: БНИИПА, 1991. – 143 с.

15. Анспок П.И. Микроудобрения. – Ленинград: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

16. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Ленинград: Колос, 1978. – 256 с.