

---

## ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВЫСОКИХ ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

В.А. Седых<sup>1</sup>, В.И. Савич<sup>1</sup>, Н.Г. Вуколов<sup>2</sup>,  
Х. Хусейн<sup>1</sup>, А. Гонзалес<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет  
МСХА имени К.А. Тимирязева  
*ул. Тимирязевская, 49, корп. 1, Москва, Россия, 127550*

<sup>2</sup>Кафедра почвоведения и земледелия  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198*

В статье рассмотрены результаты проведенных исследований, по итогам которых было установлено, что внесение высоких доз органических удобрений в почвы различных типов приводит к увеличению содержания и подвижности фосфатов. Эффект влияния высоких доз органических удобрений на подвижность фосфатов в почвах определяется их дозой, селективностью функциональных групп почвенного поглощающего комплекса (ППК) и удобрений к фосфатам, железу, алюминию, кальцию. Подвижность вносимых фосфорных удобрений определяется последовательностью внесения органических и минеральных удобрений.

**Ключевые слова:** фосфаты, почвы, органическое вещество, удобрения, гумус, комплексы, подвижность, дозы, сорбция.

Фосфатное состояние почв играет существенную роль в их плодородии. Фосфор является не только одним из основных элементов питания, но и в значительной степени определяет трансформацию, миграцию, аккумуляцию энергии в системе «почва—растение». Несмотря на значительное количество работ, посвященных фосфатному состоянию почв, исследований по влиянию на фосфатное состояние высоких доз органических удобрений в зависимости от содержания в них органического вещества, к сожалению, немного [3; 6; 8].

**Целью** нашего исследования являлось выяснение закономерностей изменения фосфатного состояния почв при внесении высоких доз органических удобрений и связанного с этим увеличения гумусированности почв. Объектом исследования выбраны дерново-среднесуглинистые среднеподзолистые почвы Московской области [2]. Для сравнения рассматривались ферраллитные почвы влажных тропиков Кубы и карбонатные почвы сухих субтропиков Египта с высоким содержанием аморфных полуторных окислов и высокой сорбционной емкостью по отношению к фосфатам [1; 7].

**Методика исследования** включала определение подвижности фосфатов в исследуемых почвах, статистическую обработку данных агрохимического обследования для выяснения зависимости подвижности фосфатов от степени гумусированности почв, постановку модельных опытов для выяснения подвижности фосфатов при внесении в почву разных доз пожнивных остатков растений.

Применение высоких доз органических удобрений, в том числе органических удобрений на основе птичьего помета, является как фактором повышения урожайности сельскохозяйственных культур, так и фактором увеличения напряженности экологической обстановки [6]. Из числа неблагоприятных показателей фосфатного режима почв могут лимитировать урожай активность и количество подвижных фосфатов, скорость их выхода из твердой фазы в раствор, прочность связи фосфатов с твердой фазой, неблагоприятное соотношение фосфатов с другими элементами питания [4; 5]. При применении высоких доз органических удобрений фосфаты в твердой фазе почвы могут блокироваться органической пленкой, и это уменьшает их доступность для растений. При этом возможны следующие варианты.

1. Органические удобрения внесены в почву до внесения фосфорных удобрений. Они блокируют положительно заряженные сорбционные места почвенного поглощающего комплекса (ППК) и образуют комплексы с Ca, Mg, Fe, Al, Mn, препятствуя образованию соответствующих осадков фосфатов. В таком случае подвижность вносимых фосфорных удобрений будет возрастать, а подвижность фосфатов почв чаще будет уменьшаться.

2. Органические удобрения внесены в почву после внесения фосфорных удобрений. Их взаимодействие с фосфатами зависит от комплексообразующей способности органических удобрений. Если компоненты органических удобрений образуют водорастворимые фосфатные комплексы, более прочные, чем связь фосфатов с железом, алюминием, кальцием, магнием в ППК, то подвижность фосфатов может возрастать [2]. Однако в большинстве случаев органические пленки покрывают твердую фазу почв и подвижность фосфатов падает. При этом влияние на подвижность фосфатов специфического органического вещества почв отличается от влияния различных органических удобрений и обусловлено прочностью связи фосфатов как с определенными почвами, так и с функциональными группами органического вещества почв и вносимых в почву органических удобрений.

**Экспериментальная часть.** Нами проведены исследования по изменению фосфатного состояния дерново-подзолистых среднесуглинистых почв Московской области при применении в производственных условиях разных доз (от 100 до 1000 т/га) органических удобрений на основе птичьего помета в хозяйстве Петелинской птицефабрики. По полученным данным содержание водорастворимых фосфатов закономерно убывало вниз по профилю от 300 мг/100 г до 10 мг/100 г. При этом наблюдалось 2 пика накопления фосфатов в горизонтах  $A_{\text{пах}}$  и В с минимумом в горизонтах  $A_2$  и  $A_2B$ . Так, во всех исследуемых вариантах при внесении низких, средних и высоких доз изучавшихся удобрений в горизонте  $A_{\text{пах}}$  содержание водорастворимых фосфатов (определены при соотношении почвы к  $H_2O$  1 : 5, время — 1 неделя) в относительных единицах составило для горизонтов:  $A_{\text{пах}}$  —  $100 \pm 14\%$ , для  $A_2$  и  $A_2B$  —  $11,5 \pm 5,8\%$ , для В —  $14,6 \pm 2,1\%$ .

Судя по диаграммам растворимости труднорастворимых осадков фосфатов в почвах при  $pH = 5,5-6,0$ , полученные данные выше значений эффективной растворимости известных осадков. Содержание фосфатов в почвенном растворе

данных почв, очевидно, обусловлено в значительной степени их органическими соединениями. Содержание подвижных фосфатов, растворимых в 0,2 н HCl, приведено в табл. 1. Как видно из представленных в табл. 1 данных, в пахотном слое почв при внесении больших доз органических удобрений больше подвижных фосфатов и наблюдается 2 пика их накопления в  $A_{\text{пах}}$  и в В. При меньших дозах внесения удобрений отмечается постепенное уменьшение содержания фосфатов вниз по профилю.

Таблица 1

**Содержание подвижных фосфатов в горизонтах почв при внесении высоких доз органических удобрений на основе птичьего помета (0,2 н HCl, мг/100 г)**

Дозы внесения удобрений	$A_{\text{пах}}$	$A_2B$	В
Низкая, средняя	$53,5 \pm 9,3$	$19,4 \pm 6,7$	$10,3 \pm 0,6$
Высокая	$73,7 \pm 21,7$	$7,9 \pm 3,4$	$21,9 \pm 5,7$

В таблице 2 приведен фракционный состав фосфатов в исследуемых почвах по Гинзбург-Лебедевой. При внесении больших доз органических удобрений в почвах увеличивается общее содержание фосфатов и Ca-фосфатов 1-й, 2-й и 3-й групп при относительном уменьшении фосфатов железа и алюминия. При высокой дозе внесения удобрений в горизонте  $A_2$ , по сравнению с вариантом средней дозы внесения удобрений, уменьшается доля фосфатов Ca 1-й группы, но значительно увеличивается содержание фосфатов Ca 3-й группы (высокоосновных вторично образованных фосфатов кальция).

Таблица 2

**Фракционный состав фосфатов исследуемых почв, мг/100 г почвы**

Доза внесения удобрений	Горизонт	Ca <sub>1</sub> -P	Ca <sub>2</sub> -P	Al-P	Fe-P	Ca <sub>3</sub> -P	$\Sigma$
Средняя	$A_{\text{пах}}$	106,9	56,2	1,7	19,1	21,4	205,3
	$A_2$	123,7	46,1	1,1	23,6	16,8	211,5
Большая и максимальная	$A_{\text{пах}}$	$165,9 \pm 2,8$	$99,5 \pm 13,1$	2,2	$23,0 \pm 1,7$	$30,7 \pm 1,9$	$320,0 \pm 5,1$
	$A_2$	91,1	78,7	2,2	23,6	31,5	227,2

Для аналогичных дерново-подзолистых среднесуглинистых почв на покровных суглинках Московской области внесение 40 и 80 т навоза на 1 га привело к увеличению содержания подвижных фосфатов до 35—40 мг/100 г. Повышение доз до 200 т/га вызвало уменьшение содержания подвижных фосфатов до 20—25 мг/100 г в связи с блокировкой фосфора минеральной части почвы пленками органического вещества. Содержание калия при дозах навоза более 100 т/га изменялось незначительно. Более высокие значения рН отмечались при дозах навоза 80—120 т/га. Возрастание доз навоза приводило в течение ротации 7-польного севооборота к увеличению суммы поглощенных оснований. Однако с увеличением доз до значений более 100 т/га сумма поглощенных оснований почти не возрастала. Увеличение доз органических удобрений, естественно, вызывало накопление гумуса, но увеличение количества гумуса не было пропорционально дозе навоза [2; 8].

В.И. Титовой с соавторами [6] показано, что систематическое внесение высоких доз органических удобрений на дерново-подзолистых почвах приводит к увеличению валовых запасов фосфатов. Увеличивалось содержание кальциевых фосфатов, а содержание подвижных фосфатов достигало 50% их валового количества (до 4000 мг/кг почвы).

По полученным нами данным, содержание в дерново-подзолистой почве подвижных (вытяжка 0,2 н НС1) и водорастворимых фосфатов тесно коррелировало с гумусированностью почв, возрастая при увеличении степени гумусированности. Так, для хозяйства «Михайловское» при содержании гумуса  $1,68 \pm 0,06$ — $1,74 \pm 0,03\%$ , при рН =  $5,67 \pm 0,04$ , запасы водорастворимого  $P_2O_5$  составляли  $0,19 \pm 0,05$  мг/л, при рН = 6,5 —  $0,32 \pm 0,04$  мг/л при том, что содержание подвижного фосфора составляло  $16,9 \pm 1,5$  мг/100 г почвы. В то же время при содержании гумуса в почве  $3,85 \pm 0,06\%$  содержание водорастворимого фосфора при рН = 6,5 возрастало до  $0,74 \pm 0,9$  мг/л, а подвижного — до  $55,9 \pm 8,5$  мг/100 г почвы.

Для сравнения одним из объектов исследования были выбраны почвы Кубы с высокой степенью ферралитизации и почвы сухих субтропиков Египта: карбонатные и почвы повышенной степени гумусированности — вертисоли, гумусовые карбонатные почвы. Эти почвы характеризуются высокой сорбционной емкостью по отношению к фосфатам, что определяет необходимость применения больших доз органических удобрений для блокировки сорбционных центров базидов. Без применения органических удобрений необходимые для роста и развития растений дозы фосфорных удобрений возрастают.

Увеличение гумусированности ферраллитных почв приводило к изменению фракционного состава фосфатов. Так, в красной ферраллитной почве содержание фосфатов 2-й группы (по Чангу-Джексону) составляло 13,4%, а в гумусовой карбонатной — 32,7%. В то же время содержание фосфатов 7-й группы соответственно 18,5% и 2,3% от общего экстрагируемого количества.

Определение фракционного состава фосфатов по методу Гинзбург—Лебедевой также показало значительное уменьшение доли рыхлосвязанных фосфатов в ферраллитных почвах по сравнению с гумусовой карбонатной почвой. Так, в вытяжку 1%  $(NH_4)_2SO_4$  из красной ферраллитной почвы перешло 3,6% от общего экстрагируемого фосфора (с применением  $^{32}P$  — 53%), а из гумусовой карбонатной — 11,7% (с применением  $^{32}P$  — 61,8%). В гумусовой карбонатной почве обнаружено значительное количество органоминеральных соединений фосфатов.

Отношение С : Fe в водной вытяжке составляло 244—424; в щелочной — 2500—60 000; отношение С : P в водной вытяжке — 176—300; в щелочной — 2600—4133. Определение константы кинетики изотопного обмена составляло порядок  $n \cdot 10^{-5}$  —  $n \cdot 10^{-7}$  с<sup>-1</sup>. Буферная емкость почв по отношению к фосфатам в см<sup>2</sup> составляла для подвижных форм 200—111 в красной ферраллитной почве и 66—16 см<sup>2</sup> — в гумусовой карбонатной почве. Внесение в почвы высоких доз качасы (отходов сахарного тростника) значительно увеличивало подвижность фосфатов в почве.

Внесение высоких доз органических удобрений при высокой степени гумусированности почв приводит к изменению состояния фосфатов в почвах. Так, в красновато-бурой полупустынной почве с содержанием гумуса менее 1% содержание водорастворимых фосфатов составляло  $0,12 \pm 0,01$  мг/л, доля отрицательно заряженных соединений фосфатов, вытесняемых методом химической автографии на основе электролиза — 57%. В вертисолях с содержанием гумуса 1,7—2% эти показатели были соответственно равны  $0,26 \pm 0,01$  мг/л и 60,4%. Отношение медленно и быстро вытесняемых раствором ЭДТА форм фосфатов составляло в красновато-бурой почве 1,5; а в вертисолях — 2,4.

Увеличение подвижности фосфатов в почвах вызывается не только внесением органических удобрений и увеличением гумусированности почв, но и внесением в почву органических остатков растений. Так, при внесении в красновато-бурую полупустынную почву, вертисоль и рендзину (почвы Египта) соломы, очисток арахиса, стеблей хлопчатника содержание фосфатов, десорбируемых из почв  $H_2O$  и 0,2 н  $HC1$ , возрастало по сравнению с контролем соответственно от 0,57 мг/л до 0,82, 0,72 и 1,03 мг/л соответственно — в красновато-бурой почве; от 1,18 мг/л до 2,22, 1,79 и 1,57 мг/л соответственно — в вертисоли; от 0,60 мг/л до 0,92, 0,90 и 0,74 мг/л соответственно — в рендзине [7].

### **Выводы**

1. Увеличение степени гумусированности почв и внесение высоких доз органических удобрений приводят, как правило, к увеличению подвижности фосфатов в почвах и увеличению их содержания.

2. Сверхвысокие дозы органических удобрений, как и повышенное содержание в почвах инертного гумуса, могут блокировать поглощенные минеральной частью почв фосфаты и уменьшать содержание их подвижных форм.

3. Эффект влияния высоких доз органических удобрений на подвижность фосфатов в почвах определяется величиной доз, селективностью функциональных групп ППК и удобрений к фосфатам, железу, алюминию, кальцию. Эффект влияния высоких доз органических удобрений на подвижность вносимых фосфорных удобрений дополнительно определяется очередностью (последовательностью) внесения органических и минеральных удобрений.

4. Пожнивные остатки растений при разложении в почве образуют водорастворимые органические лиганды, способные к образованию комплексов с фосфатами и полуторными окислами, в связи с чем повышают подвижность фосфатов в почвах.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Гонзалес А.А. Характеристика фосфатного режима некоторых почв Кубы: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. — М., 1977.
- [2] Духанин Ю.А., Савич В.И., Замараев А.Г., Трубицина Е.В., Поветкина Н.Л. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005.
- [3] Кольцова Г.А., Хазиев Ф.Х., Габбасова И.М. Фосфатное состояние почв Башкортостана. — Уфа: Гилем, 2001.

- [4] *Савич В.И., Парахин Н.В., Степанова Л.П., Шишов Л.Л., Кершенс М.* Агрономическая оценка гумусового состояния почв. Т. 1, 2. — Орел: ОГАУ, 2001.
- [5] *Савич В.И., Булгаков Д.С., Вуколов Н.Г., Раскатов В.А.* Интегральная оценка плодородия почв. — М.: МСХА.
- [6] *Титова В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д.* Фосфор в земледелии Нижегородской области. — Н. Новгород: ВВАГС, 2005.
- [7] *Хусейн Халед Ахмед Халед.* Некоторые особенности фосфатного состояния почв Египта: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. — М., 1999.
- [8] *Шатилов И.С., Шаров А.Ф.* Продуктивность полевых культур и показатели плодородия почв при внесении разных норм органических удобрений // Изв. ТСХА. — 1992. — Вып. 1. — С. 3—10.

## **CHANGE OF A PHOSPHATIC CONDITION OF SOILS AT APPLICATION OF HIGH DOSES OF ORGANIC FERTILIZERS**

**V.A. Sedych<sup>1</sup>, V.A. Savych<sup>1</sup>, N.G. Vukolov<sup>2</sup>,  
H. Huseyn<sup>1</sup>, A. Gonzalez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University — МТАА К.А. Timiryazev  
*Timiryazevskaya str., 49, Moscow, Russia, 127550*

<sup>2</sup>Department of pedology and farming  
Russian People's Friendship University  
*Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198*

It was established, that entering of high doses of manures into various types of soils leads to increase of maintenance and mobility of phosphates in soils. The effect of influence of high doses of manures on mobility of phosphates in soils is defined by their dose, selective ability of functional groups PPK and fertilizers to phosphates, iron, aluminum, calcium. Mobility of contributable phosphoric fertilizers is defined by sequence of entering of manures and fertilizers.

**Key words:** phosphates, soils, organic substance, fertilizers, humus, complexes, mobility, doses, sorption.