

УДК 631.416 631.55

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ ФОСФАТАМИ

В. И. САВИЧ, Р. Ф. БАЙБЕКОВ, Х. А. АМЕРГУЖИН,  
И. Г. ПЛАТОНОВ, Н. М. САДУАКАСОВ

(Кафедра почвоведения)

**Исследования выполнены на дерново-подзолистых почвах Московской обл. с использованием материалов предыдущих экспериментов авторов. Предлагается комплексная оценка обеспеченности почв фосфатами. Для оценки фосфатного состояния почв в дополнение к выделенным ранее факторам (емкости, интенсивности, кинетики, буферной емкости) предлагается определение содержания положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов, оценка негативного действия на почву несбалансированного применения фосфатов.**

Оценке обеспеченности почв фосфатами, характеристике отдельных особенностей фосфатного режима различных типов почв посвящено много работ [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Число методов определения обеспеченности почв фосфатами, рекомендованных для разных типов почв и климатических условий, превышает сто. Постоянно разрабатываются новые параметры оценки фосфатного состояния почв. В то же время степень углубленного изучения фосфатного состояния и фосфатного режима почв не является самоцелью, а диктуется запросами практики. На разном уровне интенсификации производства необходимо и экономически целесообразно изучение и определенного набора свойств почв, характеризующих доступность фосфатов для выращиваемых культур. Для определенных климатических условий и свойств почв Характерны свои оптимумы фосфатного состояния почв. Интерпретации вышеуказанных вопросов с учетом

экспериментальных данных посвящена предлагаемая работа.

### Методика

Исследования проведены на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах Московской обл. разной степени окультуренности, оподзоленности, гидроморфности, удобренности. Основные исследования выполнены на стационаре кафедры почвоведения МСХА в учхозе «Михайловское», в этом же хозяйстве на стационаре кафедры растениеводства и на стационаре кафедры агрохимии – опыты проф. Жукова Ю. П. и Дерюгина И. П. [7]. Для выяснения статистических закономерностей связи содержания подвижных фосфатов с физико-химическими свойствами почв были обработаны данные агрохимического обследования ряда хозяйств Московской обл., а также данные анализа 240 образцов по производственным полям учхоза «Михайловское». Для сравнения проведены также анализы других типов почв.

Агрохимические и физико-химические свойства почв определяли общепринятыми методами, фракционный состав фосфатов – по Гинсбург-Лебедевой, положительно и отрицательно заряженные соединения фосфатов – с использованием метода химической автографии на основе электролиза [9], водорастворимые соединения почв – с использованием традиционных инструментальных методов анализа (поливалентные катионы на атомном абсорбционном спектрофотометре). В лабораторных условиях проводили экстракцию фосфатов из почв 0,01; 0,05; 0,1; 0,2 н концентрациями  $\text{HCl}$  и  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ . В модельных экспериментах изучали буферную способность почв по отношению к фосфатам и изменение свойств почв на разном удалении от зоны внесения  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

При выполнении работы решались следующие задачи.

1. Выбор методов исследования состояния фосфатов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и удобренности.

2. Оценка буферных свойств исследуемых почв при внесении фосфорных удобрений.

3. Определение содержания подвижных фосфатов в зависимости от физико-химических свойств исследуемых почв.

4. Оценка негативного влияния несбалансированного применения фосфорных удобрений на агрономические свойства почв.

5. Обобщение теоретических разработок по комплексной оценке фосфатного состояния почв.

Принятый уровень вероятности –  $P_{05}$

### **Результаты и их обсуждение**

*Выбор методов исследования состояния фосфатов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и удобренности. С изменением уровня антропогенного*

воздействия на почву при планировании более высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышении степени окультуривания почв изменяются как свойства самих почв, так и требования к их оценке. В связи с этим ряд методов оценки фосфатного состояния почв, разработанных ранее, оказывается недостаточно информативным в настоящее время.

В [13] указывается, что метод Ольсена, принятый как универсальный на карбонатных почвах, не позволяет различить почвенные разности. В [3] отмечается, что при использовании труднорастворимых фосфорных удобрений для контроля за содержанием подвижных фосфатов метод Кирсанова мало пригоден. Лучшие результаты показали методы Ольсена, Гинсбург-Артамоновой. Аналогичные материалы получены и другими авторами.

В литературе предлагается значительное количество методов определения подвижности фосфатов в почвах. Это, в первую очередь, определение водорастворимых, в различной степени подвижных фосфатов, валового их содержания; определение фосфатного потенциала, буферной способности по Бекетт, оценка кинетики перехода фосфатов из твердой фазы в раствор. Для разных типов почв и режимов предлагается очень большое число экстрагентов фосфатов из почв (около 100). Оптимальными считаются те экстрагенты, в которых содержание фосфатов в наибольшей степени коррелирует с потребностью культур в фосфатах или с отзывчивостью растений на фосфорные удобрения. Принятый коэффициент корреляции более 0,7. Очевидно, что для разных почв и культур оптимальные экстрагенты вытеснения фосфатов из почв будут свои.

Значительно отличаются и градации обеспеченности почв фосфатами для разных экстрагентов (от 6 мг/100 г в вытяжке углекислого аммония до

60 мг/100 г в вытяжке 1% лимонной кислоты). По литературным данным, градации отличаются и для почв с разными величиной рН, емкостью поглощения, гумусированностью, гранулометрическим составом [15], при различной теплообеспеченности выращиваемых культур.

С теоретической точки зрения, методы определения подвижных фосфатов в почвах и уровень детализации их изучения должны отличаться и в зависимости от уровня интенсификации производства. Для оценки обеспеченности фосфатами под урожаем зерновых 20 и 120 ц/га методы определения фосфатного состояния должны быть разными. На состояние фосфатов в почвах влияют и протекающие в них почвенные и почвообразовательные процессы, прогноз которых, как правило, не проводится.

Выполненные нами исследования показали, что для оценки состояния фосфатов в почвах разной степени удобрённости и окультуренности, наряду с традиционными методами анализа, перспективно определение положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов, вытеснение фосфатов несколькими концентрациями десорбентов. В табл. 1 приведены данные о фракционном составе фосфатов в почвах разной степени удобрённости.

Определение фракционного состава фосфатов в почвах разной степени удобрённости (145N130P190K по срав-

нению с контролем) показало значительное увеличение подвижности фосфатов с ростом удобрённости почв. Содержание рыхлосвязанных фосфатов увеличилось на 0,8 мг/100 г; кальций-фосфатов – на 2,5. При этом содержание фосфатов А1 уменьшилось на 69,3 мг/100 г, фосфатов железа – на 31,2 мг/100 г.

В [3] также отмечается, что с повышением уровня окультуренности почв существенно увеличивается содержание одно- и двухзамещенных фосфатов кальция по всему профилю и особенно в пахотном горизонте. Поэтому фракционный состав фосфатов может являться индикатором степени окультуренности почв.

В табл. 2 приведены данные о содержании в дерново-подзолистых почвах под посевами хорошего и плохого состояния положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов. Так, в почвах под посевами плохого состояния в корнях и стеблях растений больше содержится отрицательно заряженных соединений фосфатов. Отношение концентрации фосфатов в корнях и стеблях для посевов хорошего состояния выше, чем в посевах плохого состояния. Информативность определения положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов в системе почва-растение показано для различных культур и почвенных зон [9, 10].

Полезную информацию дает и определение в почвах фракционного

Т а б л и ц а 1

**Фракционный состав фосфатов в дерново-подзолистых почвах  
разной степени удобрённости (мг/100 г)**

Вариант	Рыхло-связанные	Фосфаты А1		Фосфаты Fe		Кальций-фосфаты
		Σ	органические	Σ	органические	
Контроль	1,4±0,6	126,0±24,6	62,7±25,1	133,2±18,2	85,5±19,3	17,2±0,8
80N70P100K	2,0±0,7	94,6±25,9	45,1±19,2	122,4±22,8	69,5±23,6	18,2±0,7
145N130P190K	2,2±0,2	56,7±3,1	28,7±4,1	102,0±8,4	58,5±10,4	19,7±1,3

Т а б л и ц а 2

**Содержание положительно  
и отрицательно заряженных  
соединений фосфатов в системе  
почва-растение\* (мг/100 г)**

Состояние листьев	Почва	Корень	Стебель
Хорошее	1,9±0,0	21,6±10,0	6,9±3,0
Хорошее	0,3±0,04	2,8±1,1	0,7±0,1
Плохое	2,1±0,6	26,7±14,5	11,6±6,2
Плохое	0,3±0,4	0,4±1,6	0,9±0,3

\* Озимая пшеница на дерново-подзолистой почве.

Примечание. В числителе — заряд соединений отрицательный, в знаменателе — положительный.

состава фосфатов по прочности их связи с твердой фазой и по величине заряда комплексов (табл. 3). Как видно из представленных данных, с повышением степени окультуренности и удобренности в почвах возрастает количество как рыхлосвязанных, так и прочносвязанных фосфатов. Отмечается тенденция к увеличению в более окультуренных и удобренных почвах доли более рыхлосвязанных и отрицательно заряженных соединений фосфатов.

К сожалению, по одной вытяжке любого десорбента нельзя судить о состоянии фосфатов в почве. Необходимо использование нескольких вытяжек с возрастающей концентра-

Т а б л и ц а 3

**Содержание рыхло- и прочносвязанных фосфатов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и удобренности**

Вариант	5 В, время — 1 мин.		75 В, время — 30 мин.	
	отрицательно заряженные	положительно заряженные	отрицательно заряженные	положительно заряженные
Высоко окультуренная + max NPK	6,0	5,4	11,2	7,2
Высоко окультуренная контроль	3,4	2,8	6,0	5,4
Неокультуренная	2,4	2,0	4,0	3,6

цией десорбента. Пример такого определения приведен в табл. 4. Как видно из представленных данных, зависимость вытеснения фосфатов из почв от концентрации НС1 в наибольшей степени проявляется для серой лесной почвы, в наименьшей — для каштановой. В то же время зависимость вытеснения фосфатов из почв от аналогичных концентраций  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  в наибольшей степени проявляется для чернозема.

По нашим данным, количество фосфатов, вытесненных из почв определенными десорбентами, растет с подкислением среды, с увеличением концентрации и комплексобразую-

Т а б л и ц а 4  
**Десорбция фосфатов из почв  
переменными концентрациями НС1  
(мг/100 г)**

Почва	0,01н.	0,05н.	0,10н.	0,20н.
Серая лесная	0,75	1,0	2,5	2,5
Каштановая	1,00	1,0	1,7	2,0
Чернозем	1,00	1,0	1,7	2,5
Дерново-подзолистая	1,00	1,0	2,5	2,5

щей способности десорбента, с увеличением времени взаимодействия. Однако эти зависимости являются характеристическими для отдельных почв. Математически явление такой

десорбции удовлетворительно описывается уравнением Фрейдлиха. Согласно нашим исследованиям, концентрация фосфатов в вытяжках, применяемых в агрохимической службе характеризует подвижность фосфатов в почве, но не их содержание. Концентрация фосфатов в растворе десорбента определяется эффективными произведениями растворимости его осадков в почве, эффективными константами ионного обмена и не всегда коррелирует с содержанием подвижных фосфатов в твердой фазе почвы.

Доступность фосфатов растениям может лимитироваться содержанием их подвижных форм, прочностью связи с твердой фазой, скоростью перехода их твердой фазы в раствор, соотношением ионов в растворе, эффективными сорбционными свойствами корневых систем видов и сортов культур. Последние по отношению к фосфатам являются одним из параметров, определяющих усвояемость фосфатов. При регулировании свойств почв, обеспеченности растений элементами питания в зависимости от температуры сорбционные свойства корневых систем растений к фосфатам меняются. Они значительно отличаются не только для видов, но и для сортов культур, фаз их развития.

Однако, с практической точки зрения, требуется достижение компромисса необходимой для производства точности оценки фосфатного состояния почв и экономически оправданных затрат на анализы. В связи с этим целесообразно применение разных вытяжек только для резко различающихся по свойствам почв, для групп культур, резко различающихся по экологическим требованиям, для экстенсивного и интенсивного ведения сельскохозяйственного производства. В дальнейшем необходима корректировка градаций обеспеченности почв и растений фосфатами в зависимости

от рН, гранулометрического состава, гумусированности, емкости поглощения и других факторов. Одним из возможных вариантов решения проблемы является использование двух вытяжек с различной концентрацией десорбента, разными рН, комплексообразующей способностью, Eh. Это дает возможность оценить разнокачественность сорбционных мест ППК по отношению к фосфатам и прогнозировать обеспеченность ими растений на разных фазах развития и при изменении свойств почв и внешней среды.

*Оценка буферных свойств исследуемых почв в зависимости от внесения фосфорных удобрений.* Буферные свойства почв по отношению к фосфатам являются важной характеристикой фосфатного режима почв. Целесообразно рассматривать позитивную буферную емкость и негативную. Позитивная буферная емкость характеризует способность почв противостоять изменению концентрации подвижных фосфатов в почве при внесении фосфорных удобрений, а негативная — при отчуждении фосфатов с урожаем.

В дополнение к существующим методам оценки предлагается методика определения буферных свойств почв по отношению к NPK по данным взаимодействия почв с разными дозами и формами удобрений в модельных опытах. Вычисление буферности правомочно только для определенных видов и форм удобрений, а не в обобщенном виде буферности к азоту, фосфору, калию.

Предлагаемая методика определения буферных свойств почв по отношению к элементам питания отличается от уже используемых следующим. Буферные свойства оцениваются при взаимодействии удобрений и мелиорантов с образцами почв без выращивания растений, в относительно закрытой системе, для разных форм

и доз удобрений, при определенных условиях влажности и температуры, для разных таксономических единиц почв, для водорастворимых и подвижных форм элементов. Такая методика имеет как преимущества, так и недостатки. Преимуществами являются: возможность быстро оценить изучаемые свойства почв, установить закономерности их изменения в зависимости от внешних факторов, определить непосредственно свойства почв, а не системы почва – растение – климатические показатели. Предлагается выделять обменную емкость почв к элементам питания удобрений и полезную емкость, определяемую как количество элементов питания, которое может поглотить почва без ухудшения ее свойств.

Данные анализа агрохимических и физико-химических свойств почв опытных делянок кафедры растениеводства МСХА в учхозе «Михайловское» показали, что при увеличении внесения доз удобрений в полевых условиях существенно увеличивается содержание в почве водорастворимых форм  $\text{N}_{03}$ , К, Р. Рассчитанное количество удобрений, которое необходимо внести в почву для изменения концентрации ионов в почвенном растворе на единицу, значительно выше величин, указанных в литературе, для подвижных форм этих соединений.

Буферность почв в отношении подвижных форм фосфора составила око-

ло 100 кг д.в.  $\text{P}_2\text{O}_5$  для изменения содержания подвижных их форм на 1 мг/100 г. Это близко к литературным данным, В хорошо окультуренной почве буферность была выше, чем в среднеокультуренной. Для максимальной дозы удобрений буферность была выше, чем для средней дозы.

В табл. 5 приведены данные об изменении в почвах при внесении фосфорных удобрений содержания водорастворимых фосфатов. Так, увеличение содержания водорастворимых фосфатов при внесении удобрений отмечается в слабоокультуренной почве и при малых дозах удобрений, а в хорошо окультуренной – только при больших дозах. При достаточно высокой буферной емкости почв по отношению к фосфатам при внесении их в почву содержание водорастворимых и подвижных форм  $\text{P}_2\text{O}_5$  изменяется незначительно. Это создает видимость отсутствия повышения плодородия по данному показателю и, как следствие, приводит к увеличению применения фосфорных удобрений.

При внесении в дерново-подзолистые почвы фосфорные удобрения превращаются в фосфаты железа, алюминия и марганца. Концентрация фосфатов в почвенном растворе будет определяться в основном эффективными произведениями растворимости осадков фосфатов, образующихся в почвах. До тех пор, пока все подвижные формы железа, алюминия и марганца не будут связаны с

Т а б л и ц а 5

**Содержание в дерново-подзолистых почвах водорастворимых фосфатов при внесении разных доз фосфорных удобрений в полевых опытах (мг/л  $10^5$ )**

Вариант	Слабоокультуренная		Хорошо окультуренная	
	Ап	$\text{B}_1$	Ап	$\text{B}_1$
Контроль	0,2±0,1	0,2±0,1	1,3±0,1	0,7±0,2
+ 100 кг д.в. на 1 га	2,1±0,7	2,1±0,7	1,3±0,1	1,2±0,1
+ 200 кг д.в./га	3,7±2,2	нд	3,5±1,8	1,4±0,1
+ 500 кг д.в./га	4,2±1,5	1,8±0,4	6,0±0,1	1,2±0,4

фосфатами, внесение в почву фосфорных удобрений не будет приводить к увеличению их концентрации в почвенном растворе.

По полученным нами данным, внесение в слабоокультуренные дерново-подзолистые почвы больших доз фосфорных удобрений в течение ряда лет привело к увеличению содержания подвижных фосфатов с  $5,8 \pm 0,3$  до  $26,8 \pm 1,8$  мг на 100 г почв. В то же время содержание водорастворимых фосфатов осталось на прежнем уровне —  $0,02 \pm 0,01$  мг/100 г. Внесение таких же доз фосфорных удобрений в хорошо окультуренную дерново-подзолистую почву привело к увеличению подвижных фосфатов, вытесняемых 0,2 н. НС1, с  $26,9 \pm 2,0$  до  $33,8 \pm 3,4$  мг/100 г. Однако содержание водорастворимых фосфатов осталось на прежнем уровне —  $0,1 \pm 0,01$  мг/100 г почв.

В табл. 6 приведены данные о буферных свойствах почв по отношению к фосфатам. Так, буферная емкость почв в отношении элементов питания выше на более окультуренных почвах, меньше при большей насыщенности почв вносимыми элементами, в интервалах меньших доз удобрений. Буферная емкость выше для водорастворимых форм и ниже — для подвижных форм; выше для полевых условий и ниже для модельных опытов; выше для растертых образцов и ниже для почв ненарушенного сло-

жения. Для изменения содержания в почве подвижных форм фосфора на 1 мг/100 г требуется внесение в среднем около 100 кг д.в. НРК на 1 га при варьировании последних от 15 до 300 кг д.в., что соответствует литературным данным [4, 6, 8, 14].

В полевых условиях на среднеокультуренной дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве (опыт кафедры растениеводства МСХА за период 1960-1980 гг.) при средних дозах фосфора содержание подвижных форм увеличилось от 8 до 11,4 мг/100 г ( $P_2O_5$  по Кирсанову), при максимальных дозах — от 8 до 13 мг/100 г, или соответственно на 3,5 и 5,0 мг/100 г. Для хорошо окультуренной почвы эти изменения составили 3,1 и 2,2 мг/100 г.

Таким образом, буферные свойства почв по отношению к фосфатам различаются для почв разной степени гидроморфности, эродированное - ти, окультуренности, удобренности; для отдельных типов, подтипов, родов, видов, разновидностей и разрядов почв. Буферные свойства почв по отношению к  $P_2O_5$  зависят от состава удобрений, времени и формы их внесения, влажности, температуры, степени открытости системы.

Буферные свойства почв неодинаковы в разных интервалах применяемых доз удобрений, зависят от степени насыщенности почв исследуемым

Т а б л и ц а 6

**Буферные свойства почв по отношению к фосфатам при внесении больших доз удобрений**

Почва	Интервал доз кг д.в. на 1 га	Требуется кг д.в. на 1 га для изменения $P_2O_5$ на 1 мг на 100 г почв	
		водорастворимые формы	подвижные формы
Серая лесная	0-100	1666,7	6,8
	100-500	571,4	49,4
	500-1000	438,6	53,8
Дерново-подзолистая	0-100	294,1	14,5
	100-500	1481,5	48,8
	500-1000	1923,1	49,5

ионом. В основном отмечается зависимость, когда с ростом концентрации сорбатов (доз удобрений) растет абсолютная величина сорбции элементов, содержащихся в них. Однако селективность к ним ППК и процент сорбции уменьшается. Это соответствует уменьшению буферной емкости почв по отношению к исследуемому элементу.

Буферная емкость дерново-подзолистых почв в отношении фосфатов возрастает с увеличением степени гумусированности, емкости поглощения, содержания физической глины; с увеличением степени окультуренности и с уменьшением степени насыщенности почв исследуемым элементом. Количество элементов питания, которые надо внести в почву с удобрениями для увеличения содержания подвижных форм фосфора на 1 мг/100 г почв, значительно меньше, чем количество, которое требуется внести в почву для изменения водорастворимых форм этих элементов на 1 мг/100 г.

В выполненных работах показано, что при выращивании растений без применения удобрений или только с применением стартовых доз урожай обеспечивается в большей степени не количеством фосфатов в водной вытяжке, почвенном растворе и количеством подвижных форм  $P_2O_5$  в растворах десорбентов, а количеством подвижных форм этого элемента в твердой фазе почв. Чем больше накоплено подвижных фосфатов в почве, тем большее их отчуждение возможно при стабилизации концентрации в общепринятых в агрохимической службе вытяжках. Этим можно объяснить отсутствие уменьшения содержания подвижных фосфатов в почвах при прекращении внесения фосфорных удобрений в течение ряда лет [10].

Данный уровень стабилизации — достаточно консервативная величина,

которая мало изменяется как при применении удобрений, так и при отчуждении фосфатов с урожаем. Однако, когда из почвы будут поглощены растениями все более подвижные формы фосфатов, то начнут растворяться менее подвижные, и концентрация  $P_2O_5$  в вытяжках десорбента скачкообразно упадет. В связи с этим предлагается определять способность почв к поддержанию концентрации фосфатов в почвенном растворе при их отчуждении с урожаем. Возобновляющая способность почв является одной из причин временной стабилизации содержания подвижных форм элементов при выращивании растений без применения удобрений. Возобновляющая способность почв выше в почвах более гумусированных, с большей емкостью поглощения, более тяжелого гранулометрического состава, более окультуренных и удобренных.

*Оценка зависимости содержания подвижных фосфатов от физико-химических свойств исследуемых почв.* Оценку состояния фосфатов в почвах перспективно проводить с учетом взаимосвязей содержания подвижных форм и физико-химических свойств почв. Для хозяйств Московской обл. выяснена существенная связь подвижности фосфатов с рН среды, гумусированностью, содержанием поливалентных катионов. Пример такой зависимости приведен в табл. 7.

Как видно из представленных данных, увеличение в почвах рН среды и гумусированности соответствует накоплению в почвах подвижных соединений кальция, магния, фосфора и калия. Это связано с известкованием почв, улучшением условий для гумусообразования, а следовательно, с увеличением емкости поглощения почв, в том числе в отношении элементов питания. Известкование почв и внесение органических удобрений, как правило, на практике сочетается



**Влияние степени гумусированности и кислотности на содержание подвижных элементов в дерново-подзолистых почвах хозяйства «Восход»**

pH <sub>KCl</sub>	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Ca, мг · экв/100 г	Mg, мг · экв/100 г
4,6	0,5	52,3±23,1	83,0±9,1	6,5±0,1	1,2±0,0
	1,7	109,5±16,6	122,7±0,0	7,4±0,2	1,5±0,0
	2,4	121,2±31,9	133,2±20,0	7,4±0,2	1,3±0,0
5,5	1,7	174,6±18,2	152,1±10,3	8,2±0,2	1,5±0,1
	2,2	206,4±36,4	161,7±17,3	8,4±0,2	1,5±0,1
6,2	1,6	459,6±100,8	289,0±56,6	8,9±0,3	1,5±0,1
	2,4	638,0±139,6	317,7±34,4	9,4±0,1	1,5±0,1

с применением минеральных удобрений, что также является одной из причин увеличения насыщенности почв фосфором, калием, кальцием, магнием, с увеличением их pH и степени гумусированности.

При статистической обработке данных анализов почв учхоза «Михайловское» установлено, что увеличение pH(H<sub>2</sub>O) более 5,6 приводит к уменьшению содержания в почве водорастворимых фосфатов и железа. Однако при содержании гумуса 1,7% изменение pH от 5,7 до 7,4 сопровождалось увеличением количества водорастворимых фосфатов. Увеличение степени гумусированности почв от 1,7 до 3,5% сопровождалось ростом содержания водорастворимых и подвижных фосфатов, а также водорастворимого кальция, сужением отношения водорастворимых Fe:Ca. Однако при содержании гумуса 5-6% отмечалось уменьшение количества подвижных и водорастворимых фосфатов, очевидно, в связи с их блокировкой в твердой фазе почв органическим веществом [11, 12].

Зависимость содержания подвижных элементов в почвах от pH среды позволяет оценить перспективность известкования отдельных полей. Так, для хозяйства «Восход» в интервале pH 4,6-5,5 и гумусированности 1,7 – 2,4% величина ДР<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ЛрН составила

72,3-121,7 мг/кг, а в интервале pH 5,5-6,2 – 316,7-616,6. Как видно из представленных данных, изменение содержания подвижных фосфатов на единицу повышения pH неодинаково в разных интервалах pH и гумусированности. С практической точки зрения, для оптимизации фосфатного режима выгоднее известковать те поля, где это изменение выше. В свою очередь, при избыточном содержании фосфатов в почвах уменьшается содержание подвижных форм цинка, марганца, кобальта. Например, в исследуемых почвах при pH 5,6-5,7 и содержании P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 201±59 мг/кг подвижных форм Mn и Co содержалось 83,5±17,5 и 1,7±0,4 мг/кг, а при уровне подвижных фосфатов 760±38 мг/кг – соответственно 50,5±4,4 и 1,3±0,1 мг/кг.

При одинаковом содержании в почве фосфатов увеличение ее гумусированности приводит к увеличению подвижности поливалентных катионов, а при одинаковой гумусированности увеличение содержания подвижных фосфатов, выше определенного предела, приводит к уменьшению подвижности поливалентных катионов. Так, в исследуемых почвах при содержании P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4,8-4,6 мг/100 г и гумуса 1,2±0,1% концентрация Mn в растворе составляла 0,3±0,2 моль/л × 10<sup>-5</sup>; а при содержании гумуса 1,9±0,1% – 1,4±0,4 моль/л · 10<sup>-5</sup>. При

содержании гумуса 1,2% количество подвижных фосфатов  $4,8 \pm 1,5$  мг/100 г соответствовало содержанию Мп в растворе  $0,3 \pm 0,2$  моль/л  $\cdot 10^{-5}$ , а содержание  $P_2O_5$   $25,4 \pm 1,8$  мг/100 г –  $0,03 \pm 0,03$  моль/л  $\cdot 10^{15}$ . При содержании гумуса 1,9% и  $P_2O_5$   $4,6 \pm 0,9$  и  $55,4 \pm 20,1$  мг/100 г концентрация Мп в растворе равнялась соответственно  $1,4 \pm 0,4$  и  $0,3 \pm 0,2$  моль/л  $\cdot 10^{-5}$ .

Негативное влияние повышенных доз фосфорных удобрений более 500 кг д.в. на 1 га и вблизи гранул удобрений проявлялось в уменьшении содержания в почвах подвижных форм меди, никеля, цинка, марганца, кобальта. Для оценки негативного изменения свойств почв при несбалансированном применении удобрений предлагается оценка устойчивости почв к данному виду деградации, степени проявления деградационных изменений, возможности и трудности оптимизации обстановки – по восстановлению утраченных функций почв.

*Обобщение теоретических разработок по комплексной оценке фосфатного состояния почв.* Комплексная оценка состояния фосфатов в почве предполагает характеристику их свойств, процессов, режимов и моделей плодородия. При этом под свойствами подразумевается оценка факторов емкости (в том числе фракционного состава), факторов интенсивности, кинетики, буферных свойств почв в отношении фосфатов. Эти факторы позволяют оценивать состояние фосфатов в почве с разных сторон и дополняют друг друга [9]. В большинстве случаев оценка состояния фосфатов по одному из параметров не имеет существенных преимуществ перед оценкой по другим параметрам.

Под фактором емкости понимается количество фосфатов в почве разной степени подвижности (в мг на 1 кг почв). Под фактором интенсивности понимается прочность связи фосфа-

тов с твердой фазой почвы, обусловленная эффективными произведениями растворимости имеющих осадков, эффективными константами ионного обмена фосфатов на ионы  $OH^-$  из потенциалопределяющего слоя, эффективными константами нестойкости имеющих в почве органо-минеральных фосфатных комплексов. Этот показатель оценивается в ккал/г-ион. Однако он хорошо коррелирует с активностью фосфатов в почвенном растворе [9]. Фактор кинетики характеризует скорость перехода фосфатов из твердой фазы в раствор и оценивается константами внутридиффузионной и химической кинетики разных порядков. Он достаточно хорошо коррелирует с константой скорости изотопного обмена фосфатов в исследуемых почвах.

Буферные свойства почв в отношении фосфатов показывают, сколько надо внести в почву фосфатов, кг д.в. на 1 га (мг/100 г), для изменения активности фосфатов в почвенном растворе на единицу, содержания подвижных фосфатов на 1 мг на 100 г, прочности связи и скорости перехода фосфатов из почвы в раствор на единицу [12]. Буферные свойства почв в отношении фосфатов оцениваются по данным модельных опытов, материалам полевых опытов и производственных посевов [8]. Оценка этих показателей по материалам полевых исследований позволяет учесть трансформацию и миграцию фосфатов за длительный промежуток времени. Однако величина буферных свойств зависит не только от свойств почв, но также погодных условий, особенностей агротехники выращиваемых культур.

Указанные параметры оценки фосфатного состояния почв достаточно часто приводятся в литературе [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8]. Значительно реже встречается оценка фосфатного состо-

яния почв по содержанию и соотношению положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов [9], по возобновляющей способности почв в отношении фосфатов [10]. Последний показатель характеризует способность почв восстанавливать концентрацию фосфатов в почвенном растворе при их отчуждении с урожаем.

Процессы изменения фосфатного состояния почв характеризуются изменением указанных параметров оценки состояния фосфатов при внесении фосфорных и других видов органических и минеральных удобрений и мелиорантов, при орошении и осушении, изменении влажности и температуры, при действии различных агротехнических приемов.

Для детализации указанных параметров нами ранее предлагалось определение фосфатной буферности почв, характеризующей изменения фосфатного состояния на единицу изменения влажности, температуры и времени, и фосфатной буферной емкости почв, характеризующей изменение состояния фосфатов в почве при их внесении в почву или отчуждении с урожаем. Дополнительно предлагается также оценка трансформирующей способности почв в отношении фосфатов. Этот показатель характеризует количество фосфатов, которое можно внести в почву без существенного изменения их фракционного состава.

Фосфатные режимы характеризуются закономерным изменением свойств и процессов фосфатного состояния во времени и в пространстве. Модели плодородия представляют собой оптимальное сочетание свойств, процессов и режимов почв для получения максимальной биопродуктивности, оправданной с экологической и экономической точек зрения.

Модель фосфатного состояния почв предполагает оптимальное сочетание параметров фосфатного состояния,

трансформации фосфатов и фосфатного режима с целью достижения максимальной биопродуктивности при условиях экономической целесообразности, экологической безопасности получаемой продукции, мигрирующих вод и при отсутствии ухудшения плодородия почв. Очевидно, что оптимумы фосфатного состояния и модели фосфатного состояния почв будут неодинаковы для разных типов почв (и более мелких таксономических единиц, в частности, разного гранулометрического состава), для отдельных климатических зон, групп культур и уровня интенсификации сельскохозяйственного производства. Оптимумы неодинаковы для растений, для биоты почв, для плодородия почв и их прогрессивной эволюции, для других компонентов экологической системы.

Оптимальное содержание фосфатов в почве — есть функция рН, Eh, гранулометрического состава, емкости их поглощения твердой фазой почвы, содержания доступной влаги, гумусированности. Наиболее полная оценка состояния фосфатов в почве может быть проведена с использованием следующих координат: 1) содержание фосфатов, их десорбция и их сорбция; 2) количество фосфатов, их прочность связи и скорость перехода фосфатов из твердой фазы в раствор.

Нами рекомендуется проводить комплексную оценку фосфатного состояния почв по следующим параметрам.

1. По состоянию фосфатов в почве:

а) фактору емкости — содержанию водорастворимых фосфатов, положительно и отрицательно заряженных форм их соединений; по содержанию подвижных форм в зависимости от рН, концентрации десорбента и его комплексобразующей способности; по фракционному составу фосфатов в почвах; б) по фактору кинетики —

скорости перехода фосфатов из твердой фазы в раствор; в) по фактору интенсивности — прочности связи фосфатов с твердой фазой почвы.

2. По процессам трансформации фосфатов в почве (при изменении рН и Eh среды, внесении органических удобрений, изменении влажности почв.

3. По буферным свойствам почв по отношению к фосфатам — изменению состояния фосфатов в почвах при внесении фосфорных удобрений; по способности почв поддерживать концентрацию фосфатов в почвенном растворе при их отчуждении с урожаем.

4. По особенностям поглощения фосфатов почвами (в зависимости от концентрации сорбата, рН и Eh среды, времени взаимодействия, внесения в почву органических удобрений).

5. По проявлению негативных свойств почв при несбалансированном внесении фосфорных удобрений (связыванию меди, никеля, цинка, марганца и т.д. на 100 кг д.в. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

6. По особенностям фосфатного состояния в системе почва-растение (селективности корневых систем видов и сортов сельскохозяйственных культур к фосфатам, изменению свойств почв в прикорневой зоне растений, проявлению почвоутомления).

## Выводы

1. Состояние фосфатов в почвах наиболее полно оценивается по факторам емкости, интенсивности, кинетики, буферной емкости почв к фосфатам, которые дополняют друг друга.

2. Оптимальное содержание фосфатов в почве увеличивается с утяжелением ее гранулометрического состава, повышением содержания подвижных полуторных окислов, при увеличении сорбционной емкости почв по отношению к фосфатам, при уменьшении се-

лেকтивности к ним корневых систем выращиваемых растений, с понижением температуры ниже 10°C.

3. В дополнение к существующим методам исследования подвижных фосфатов в почвах предлагается оценка содержания положительно и отрицательно заряженных соединений фосфатов, оценка вытеснения фосфатов из почв в зависимости от рН, концентрации и комплексообразующей способности десорбентов.

4. Содержание фосфатов в общепринятых в агрохимической службе вытяжках определяется эффективными произведениями растворимости имеющихся осадков, эффективными константами ионного обмена и константами нестойкости фосфатных комплексов в системе почва-растение.

5. Для оценки количества подвижных фосфатов в почвах необходимо определение фракционного состава фосфатов, способности почв к поддержанию концентрации фосфатов в почвенном растворе при их отчуждении с урожаем.

6. Предлагается различать обменную емкость почв по отношению к фосфатам и полезную, определяемую как количество фосфатов, которое может поглотить почва без ухудшения ее свойств. Величина буферных свойств почв в отношении фосфатов зависит от состава удобрений, их доз, влажности, температуры, продолжительности реакции свойств почв и степени открытости системы.

7. Несбалансированное применение фосфорных удобрений приводит к осаждению в виде осадков Mn, Si, Ni, Zn, Co. Предлагается оценка негативного действия несбалансированного применения фосфатов удобрений по показателю устойчивости почв к этому виду деградации, по степени проявления негативного влияния и по возможности восстановления нарушенных функций почв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабарина Э. А. Формы фосфорных соединений в почвах разного типа при длительном применении суперфосфата и фосфоритной муки. — *Агрохимия*, 1968, № 4, с. 33-40. — 2. Воробьева Л. А. Методические указания по расчету диаграмм растворимости труднорастворимых соединений. М.: МГУ, 1986. — 3. Горбылева А. И., Самсонова Н. Е., Паукиштис С. И. Влияние фосфорных удобрений разной растворимости и кремниевой кислоты на фосфатный режим дерново-подзолистых почв. — В сб.: Проблемы фосфора и комплексное использование нетрадиционного минерального сырья в земледелии. М., 2000, с. 12-20. — 4. Касицкий Ю. И. Агрохимические аспекты решения проблемы фосфора в земледелии СССР. — *Агрохимия*, 1983, № 10, с. 16-31. — 5. Кольцова Г. А., Хазиев Ф. Х., Габбасова И. М. Фосфатное состояние почв Башкортостана. Уфа: Гилем, 2001. — 6. Кудеярова А. Ю. Фосфатогенная трансформация почв. М.: Наука, 1995. — 7. Панов Н. П., Наумова Л. М. Оптимальные параметры физико-химических и химических свойств дерново-подзолистых почв. — *Изв. ТСХА*, 1988, вып. 1, с. 68-73. — 8. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья. / Под ред. Милащенко Н.З. М.: ВИУА, 1993. — 9. Савич В. И., Сычев В. Г., Трубицина Е. В. Химическая

автография системы почва-растение. М.: ЦИНАО, 2000. — 10. Савич В. И., Санчес П., Банников В. Н., Амергузин Х. А., Байбеков Р. Ф. Оценка способности почв к поддержанию концентрации ионов в почвенном растворе при их отчуждении с урожаем. *Агрохимия*, 2002, № 10, с. 5-10. — 11. Савич В. И., Трубицина Е. В., Наумова Л. М. и др. Скрытое отрицательное действие удобрений. — *Земледелие*, 1988, № 8, с. 24-26. — 12. Савич В. И., Наумова Л. М., Муради Н. М. Прогнозирование превращения фосфатов в дерново-подзолистой почве по соотношению катионов кальция, алюминия, железа. — *Изв. ТСХА*, 1987, вып. 5, с. 85-92. — 13. Чумаченко И. Н., Андрианов С. Н. Развитие агрохимии в ВИУА. — В сб.: История развития агрохимических исследований в ВИУА. М.: Агроконсалт, 2001, с. 125-141. — 14. Шаймухаметов М. Ш., Травкина Л. С. Использование физико-химических методов для определения обеспеченности почв фосфором и калием и расчета потребности в удобрениях. — В кн.: Совершенствование методологии агрохимических исследований. Материалы научн. конф. Г. Белгород, 1995, М.: МГУ, 1997, с. 315-324. — 15. Veldkamp W.J., Traore A. Fertilite des sols du Mali, Mali-Sud (Office du Niger interpretation des donnees analytiques des sols et des plantes). Institut Royal des Tropiques, Amsterdam, Pays-Bas, 1991.

Статья поступила  
20 октября 2003 г.

## SUMMARY

In investigations made on soddy-podzolic soils of Moscow region using the materials of previous investigations by the authors complex evaluation of providing soils, with phosphates is proposed. To evaluate phosphatic condition it is proposed besides noted before factors of capacity, intensiveness, kinetics, buffer capacity to define positively and negatively charged phosphate compounds, buffer capacity to phosphates according to data of model experiments, to estimate negative effect on the soil of nonbalanced application of phosphates.