

УДК 631.811.2:631.445.24

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОРА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В НЕКОТОРЫХ ЗВЕНЬЯХ СЕВООБОРОТА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

А. Д. ФОКИН, И. Л. ЧЕРНИКОВА, Н. Е. ЧЕРНЯКОВ  
(Почвенно-агрономический музей им. В. Р. Вильямса)

Исследования минерального питания растений в естественных лесных ценозах на подзолистых и дерново-подзолистых почвах показали исключительную роль растительных остатков в обеспечении древесных и травянистых растений элементами зольного питания [2]. Например, использование фосфора древесными растениями только из наземного опада предыдущего года составляло 27 %, что значительно выше использования фосфора из минеральных удобрений сельскохозяйственными культурами. В условиях вегетационного опыта [3] на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве с использованием изотопно-индикаторного метода сравнивалось поступление фосфора в ячмень из трех источников при их «совместном присутствии» в почве: подвижного фосфора почвы, фосфора растительных остатков и суперфосфата. Все три источника были количественно выравнены по содержанию фосфора (4,2 мг  $P_2O_5$  на 100 г). За 55 сут вегетации поступивший в растения фосфор преимущественно был представлен фосфором растительных остатков (~80 %) и частично (20 %) фосфором из почвы и суперфосфата (без учета фосфора из семени). И только на начальных стадиях вегетации (первые 10—12 сут) этот элемент в основном поступал из минеральных удобрений. С течением времени картина менялась на противоположную. Относительное участие фосфора минеральных удобрений в формировании биомассы ослабевало, но возрастала доля органических остатков.

Полученные нами данные, а также литературные сведения [4] о высокой эффективности использования фосфора органических остатков сельскохозяйственными растениями побудили нас начать систематические сравнительные исследования роли различных источников фосфора (фосфор почвы, минеральных удобрений и органических остатков) в обеспечении растений этим элементом в различных звеньях севооборота. Содержание фосфора в пожнивных остатках может достигать 50 кг на 1 га и более (например, под многолетними травами). Поэтому количественный учет данного источника в общем балансе фосфора в земледелии, во-первых, позволяет получить более точное представление о питании растений фосфором в конкретных агроценозах и, во-вторых, выбрать оптимальное распределение фосфорных удобрений в севообороте, при котором их коэффициент использования ( $K_{\text{и}}$ ) за ротацию будет наибольшим.

Настоящее сообщение посвящено использованию фосфора из различных источников в звене севооборота: многолетние травы 1-го года пользования — многолетние травы 2-го года пользования — озимая пшеница (или озимая рожь). Опыты проводили в 1977—1979 гг. на среднеоккультуренной дерново-подзолистой песчаной почве Талдомского района и суглинистой Раменского района Московской области. Размеры опытных микроплощадок 50×50 см. Травы удобряли меченым  $^{32}\text{P}$  суперфосфатом (простым) поверхностно через 2—6 дней после схода снега. Под озимые культуры фосфор в форме меченых суперфосфата или растительных остатков также вносили после схода снега, при первой возможности выхода в поле (10—20 апреля). В качестве растительных остатков использовали корни многолетних трав 2-го года, которые брали после предварительной экспозиции взрослых растений в течение 15 сут на растворе, содержащем  $^{32}\text{P}$ , и промывания на сите водопроводной водой в течение 5 мин. Растительный материал не высушивали, а только грубо измельчали для лучшего перемешивания с почвой. Испытывали разные дозы органического вещества, не превышающие 10 т/га (в пересчете на воздушно-сухое вещество).

Внесение меченых удобрений и растительных остатков под озимые культуры осуществлялось следующим образом. С поверхности почвы аккуратно снимали пласт мощностью 6—7 см вместе с растениями. Минеральные удобрения или органическое вещество вносили на место вынутого пласта и перемешивали с лежащим ниже слоем почвы. Масса меченых веществ была локализована на глубине 6—10 или 6—20 см. После внесения удобрений или растительных остатков верхний пласт вместе с растениями аккуратно укладывали на место. Площадки были расположены в непосредственной близости и подбирались таким образом, чтобы густота растений была одинаковой (подсчитывали их число на каждой площадке).

В дальнейшем 3—6 раз за вегетацию контролировали поступление в растения меченого фосфора. Относительно короткий период полураспада  $^{32}\text{P}$  (14,3 сут) позволял с необходимой точностью проводить наблюдение только до середины июля, и поэтому полученные данные о поступлении фосфора в растения были несколько ниже, чем при определении за весь вегетационный период.

Поглощение фосфора определяли у 10—20 контрольных растений, которые осторожно выкапывали вместе с корневой системой из разных мест площадок. Значительная часть корней при этом неизбежно терялась, что также вело к занижению данных о поступлении фосфора в биомассу. По окончании наблюдений всю почву с площадок на глубину до 40 см вместе с растениями вывозили с поля и проводили анализ в лаборатории. В этом случае определяли содержание меченого фосфора не только в биомассе растений, но и в почве. Такой учет позволял бо-

лее точно определить распределение меченого фосфора и рассчитать коэффициенты использования на заключительной стадии наблюдений. На рис. 1 в качестве примера показана динамика поступления  $P_2O_5$  из суперфосфата и растительных остатков в пшеницу в одном из опытов.

На начальных стадиях за первые 20 сут после внесения фосфор преимущественно поступал из суперфосфата. Однако уже через 30 сут в растениях содержалось больше фосфора растительных остатков, чем из удобрений. Со временем это преимущество органических остатков как источника фосфорного питания все более возрастало, и к концу наблюдений общее поступление фосфора из органических остатков оказалось в 3 раза больше, чем из минеральных удобрений. За 80 сут вегетации общий коэффициент использования фосфора составил соответственно 29,5 и 9,5 %.

Представляют интерес данные, характеризующие динамику распределения поступившего в растения меченого фосфора между корнями и наземными органами (за 100 % принято суммарное содержание меченого фосфора в 1 г воздушно-сухих надземных органов и в 1 г корней в каждый срок измерения). На начальных стадиях поступления фосфор локализован преимущественно в корнях, затем поступает в надземные органы (рис. 2). Однако в случае минеральных фосфатов уже через 30 сут вегетации почти весь фосфор переходит в надземные органы. К концу наблюдений меченый фосфор в корнях практически отсутствовал. Это, вероятно, свидетельствует о том, что в варианте с мечеными удобрениями уже через месяц ранее поглощенный меченый фосфор из корней перераспределяется в надземные органы. В этот период корни практически не поглощали меченый фосфат из удобрений, а фосфорное питание осуществлялось за счет иных источников фосфатов.

При поступлении фосфатов из органических остатков приблизительно после 30 сут вегетации соотношение меченого фосфора в корнях и надземных органах растущих растений стабилизировалось, что указывает на стабильное поступление фосфатов из данного источника в течение 80 сут (период наблюдения).

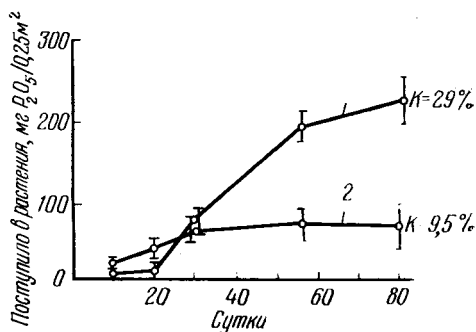


Рис. 1. Динамика поступления фосфора в озимую пшеницу.

1 — из корневых растительных остатков клевера; 2 — из суперфосфата; К — коэффициенты использования различных форм фосфора.

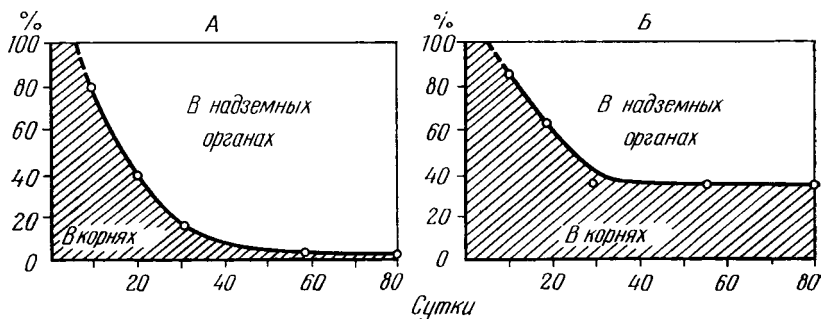


Рис. 2. Динамика распределения поглощенного фосфора между надземными органами и корнями пшеницы при поступлении фосфора из различных источников.

А — минеральные удобрения; Б — органические остатки.

Таким образом, растительные остатки как источник фосфора для растений имеют преимущество перед минеральными удобрениями, что, по-видимому, связано с меньшей величиной сорбционного закрепления фосфора органических остатков минеральными компонентами почвы, в частности железом и алюминием.

Причины меньшей сорбции фосфора органических остатков могут быть различными. Во-первых, многочисленные минерально-органические соединения фосфора (фитин, лецитин, сахарофосфаты, нуклеиновые кислоты и пр.), вероятно, сорбируются минеральными компонентами почвы менее энергично, чем минеральные ортофосфаты. Во-вторых, локализация фосфора и органического вещества способствует тому, что различные компоненты разлагающихся растительных остатков типа кислот жирного ряда, amino- и оксикислот могут локально блокировать поливалентные катионы ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и т. д.) в результате комплексообразования и таким образом препятствовать образованию труднорастворимых осадков фосфатов.

Если сделанные предположения верны, то можно ожидать, что различия в эффективности поступления фосфора в растения из минеральных удобрений и органических остатков будут особенно значительны на почвах, обедненных органическим веществом и обогащенных свободными формами полуторных окислов.

Необходимо также отметить, что в некоторых работах при сравнении различных источников фосфорного питания, в частности минеральных удобрений и органических остатков, преимуществ последних не обнаружено [1]. Вероятно, это связано, как указывалось выше, с различным проявлением преимущества того или иного источника питания в зависимости от типа почвы, ее обеспеченности фосфором, наличия катионных фиксаторов фосфатов, вида растений, дозы вносимых фосфатов и т. д. По-видимому, важно также учитывать вид растительных остатков и их подготовку перед внесением в почву. В наших опытах преимущество перед минеральными удобрениями имели только те растительные остатки, которые вносили в почву без предварительного высушивания. В этом случае даже визуально отмечалась локализация живых корней в тканях отмерших растительных остатков. При предварительном высушивании органических остатков эффективность использования содержащегося в них фосфора была приблизительно такая же, как и фосфора минеральных удобрений.

В наших опытах с многолетними травами коэффициенты использования  $\text{P}_2\text{O}_5$  суперфосфата при его поверхностном внесении весной были существенно выше, чем для прочих культур (по литературным данным). В различных опытах коэффициенты использования варьировали в очень широких пределах — от 30 до 50 %. Высокие коэффициенты использования  $\text{P}_2\text{O}_5$  суперфосфата травами при поверхностном внесении весной, по-видимому, объясняются меньшим контактом удобрений с почвой и локализацией внесенных веществ в самом верхнем слое почвы, наиболее богатом активными корнями. В звене севооборота была принята следующая система удобрений: под травы 1-го года пользования  $\text{P}_{30}\text{K}_{30}$  поверхностно после уборки покровной культуры; под озимую пшеницу  $\text{N}_{50}\text{P}_{50}\text{K}_{50}$  в виде основного удобрения и  $\text{P}_{10}\text{K}_{10}$  в качестве припосевного удобрения в рядки; под озимую рожь  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  в виде основного удобрения. Таким образом, общее количество  $\text{P}_2\text{O}_5$ , вносимое с минеральными удобрениями, составило 90 кг на 1 га.

Полученные результаты позволяют в первом приближении выполнить балансовые расчеты по поступлению фосфора из удобрений и растительных остатков (РО) в озимые культуры в условиях обычных систем удобрения, применяемых в хозяйствах, где проводился эксперимент (табл. 1).

Использование фосфора из различных источников многолетними травами и озимыми культурами на дерново-подзолистых почвах при обычной системе удобрения

Культуры и почвы	Фосфор минеральных удобрений			Растительные остатки от предшествующей культуры				Урожай, ц/га	
	внесено, кг/га	$K_{И}$	поступило, кг/га	масса, ц/га*	содержание $P_2O_5$ , кг/га	$K_{И}$	поступило $P_2O_5$ , кг/га		
Травы 1-го года:									
среднесуглинистая	30	0,2**	6	12	3	Не устанавливали		35,2	
песчаная	30	0,2**	6	12	3	»	»	30,4	
Травы 2-го года:									
среднесуглинистая				Не устанавливали				44,5	
песчаная				»				39,3	
Оз. пшеница:									
1977 г., среднесуглинистая								28,5	
1978 г., среднесуглинистая	60	0,15***	9	67—78	30—35	0,3—0,5	9—17	18—26	34,3
1978 г., тяжелосуглинистая									33,2
1978 г., песчаная									22,4

\* Получено расчетным путем по соотношению остатков и урожая основной продукции.

\*\* Ориентировочно по литературным данным.

\*\*\* Максимальные значения, полученные в экспериментах с  $^{32}P$ .

Анализ данных табл. 1 показывает, что общее поступление  $P_2O_5$  из удобрений в звене составит около 15 кг/га, а общий коэффициент использования  $15 : 90 = 0,17$ .

Озимые по пласту многолетних трав, формирующих урожай сена около 40 ц/га, поглощают из растительных остатков в 1,5—2 раза больше фосфора, чем из минеральных удобрений, вносимых в дозе 60 кг  $P_2O_5$  на 1 га (табл. 1).

Фосфора, поступившего в биомассу озимых культур из удобрений и растительных остатков, явно недостаточно для формирования высоких урожаев, полученных в хозяйствах. Недостающие 10—15 кг  $P_2O_5$  на 1 га растения потребляют из почвенных запасов.

Коэффициент использования  $P_2O_5$  минеральных удобрений озимыми культурами, принятый в расчетах, составлял 15 %, что соответствует максимальным значениям, полученным в эксперименте при внесении суперфосфата весной под озимые культуры на глубину до 20 см. Реальное использование  $P_2O_5$  суперфосфата, внесенного с основными удобрениями, вероятно, еще ниже вследствие более длительного их взаимодействия с почвой и более прочного сорбционного закрепления фосфатов.

Относительно высокие коэффициенты использования  $P_2O_5$  суперфосфата травами при поверхностном внесении весной и последующая высокая эффективность использования фосфора растительных остатков под озимыми культурами позволяют предполагать, что фосфорное питание будет складываться более благоприятно при некотором увеличении доз фосфорных удобрений под травы за счет уменьшения доли фосфора в основных удобрениях, вносимых под озимые. Например, внесение весной на поле с травами 2-го года 30 кг  $P_2O_5$  позволяет надеяться на дополнительное получение 10 ц сена и около 2 т растительных остат-

Использование фосфора из различных источников многолетними травами и озимыми культурами на дерново-подзолистых почвах при измененной системе фосфорных удобрений (расчетные данные)

Культура и фосфорные удобрения ( $P_2O_5$ на 1 га)	Фосфор минеральных удобрений		Растительные остатки от предшествующей культуры				Поступило $P_2O_5$ из удобрений и растительных остатков	Ожидаемая прибавка урожая, ц/га
	$K_{II}$	поступило, кг/га	масса, ц/га	содержание $P_2O_5$ , кг/га	$K_{II}$	поступило $P_2O_5$ , кг/га		
Травы 1-го года, 30	0,2	6	12	3	Не учитывали		6	—
Травы 2-го года, 30	0,3—0,5	9—15		Не учитывали			9—15	10—15
Оз. пшеница, 30	0,15	4,5	90—100*	45—50**	0,3—0,5	13,5—25	18—29,5	0—4
Оз. рожь, 30	0,15	4,5	90—100*	45—50**	0,3—0,5	13,5—25	18—29,5	1—8

\* С учетом увеличения биомассы трав за счет внесения  $P_2O_5$  (расчет по минимуму).

\*\* С учетом возрастания количества  $P_2O_5$  в корневых остатках до 0,5%.

ков с 1 га, которые послужат дополнительным источником доступного фосфора для последующих культур. При этом система удобрений в звене примет следующий вид: травы 1-го года пользования —  $P_{30}K_{30}$  поверхностно после уборки покровных культур; травы 2-го года пользования —  $P_{30}$  поверхностно весной после схода снега; озимая пшеница —  $N_{50}P_{20}K_{50}$  в виде основного удобрения и  $P_{10}K_{10}$  в виде припосевного удобрения в рядки; озимая пшеница —  $N_{60}P_{30}K_{60}$  в виде основного удобрения. Кроме того, гумификация дополнительных количеств растительных остатков должна привести к дополнительному накоплению около 200 кг гумуса на 1 га.

Расчет<sup>1</sup> поступления  $P_2O_5$  из удобрений и растительных остатков при частичном перемещении фосфорных удобрений в изучаемом звене севооборота, выполненного на основании экспериментально полученных значений коэффициентов использования (табл. 2), свидетельствует о целесообразности перемещения фосфорных удобрений в звене севооборота. Эффективность такого перемещения состоит в следующем.

1. Коэффициент использования  $P_2O_5$  суперфосфата в звене травы 1-го года — травы 2-го — озимые возрастет с 17 до 22—28%, т. е. в 1,3—1,6 раза (без учета последствия).

2. Увеличение уровня фосфатного питания многолетних трав позволит получить около 10 ц сена с 1 га дополнительно и около 20 ц растительных остатков с 1 га после многолетних трав, что увеличит приходные статьи баланса почвенного гумуса.

3. Учитывая значительное варьирование коэффициентов использования травами и озимыми культурами фосфора из различных источников, можно считать, что при неблагоприятных условиях в озимые поступят одинаковые количества фосфора независимо от системы распределения фосфорных удобрений. При благоприятных условиях в

<sup>1</sup> При расчетах принято, что прибавка массы корневых остатков трав 2-го года в результате их удобрения фосфором составит 2 т/га, а содержание в них фосфора — 0,5%.

озимые поступит дополнительно 3—9 кг  $P_2O_5$  с 1 га, в результате при бавка зерна может составить 1—4 ц/га.

В расчете коэффициентов использования минеральных удобрений в звене травы 1-го года — травы 2-го года — озимые не учтено последствие фосфорных удобрений, которое достаточно велико, если считать, что эффективность использования озимыми культурами фосфора, дополнительно вовлеченного в биомассу трав, значительно повышается. Поэтому суммарная эффективность использования фосфора удобрений при их перераспределении в севообороте будет несколько выше, чем определенная только по коэффициентам использования культурами, под которые непосредственно вносили удобрение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Манорик А. В. Поступление  $^{32}P$ ,  $^{15}N$  и  $^{14}C$  в растения из органических и минеральных форм их соединений. — Тр. Всесоюз. науч.-тех. конф. по применению изотопов и излучений в народном хозяйстве. М., 1958, с. 101—115. — 2. Фокин А. Д. Радиоиндикаторные исследования переноса железа и фосфора в подзолистой тяжело-суглинистой почве. — Почвоведение, 1976, № 6, с. 66—76. — 3. Фокин А. Д., Черникова И. Л., Ибрагимов К. Ш., Сюняев Х. Х. Роль растительных остатков в обеспечении растений зольными элементами на подзолистых почвах. — Почвоведение, 1979, № 6, с. 53—61. — 4. Fuller W. H., Rogers R. N. — Soil Sci., 1952, vol. 74, N 5, p. 373—382.

*Статья поступила 29 ноября 1979 г.*

#### SUMMARY

Higher utilization of superphosphate phosphorus by perennial grasses under top dressing in spring immediately after thawing, as well as that of plant residues phosphorus by winter crops following grasses (utilization rate makes 30—50 %) are found. It allows to recommend top dressing of phosphoric fertilizers under grasses in spring with corresponding decreasing the doses of phosphorus in main fertilizers under winter crops following perennial grasses. Due to such redistribution of phosphoric fertilizers the rate of utilization of fertilizer phosphorus (taking into consideration afteractions) in this link of crop rotation will increase from 17 to 22—32 %, which will allow to obtain 10 hwt of hay and 1—4 hwt of grain more per 1 ha without any extra expenditures on fertilizers. In addition, the proposed redistribution will produce a beneficial effect on nitrogenous and humic conditions of the soils.