

УДК 631.416.2

С. Н. ИВАНОВ, Т. Ф. СТОЛЯРОВА

**ПРИМЕНЕНИЕ  $^{32}\text{P}$  ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ УСВОЯЕМЫХ ФОСФАТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ БЕЛОРУССИИ**

В вегетационных опытах с применением  $^{32}\text{P}$  определены запасы усвояемых фосфатов в различных по окультуренности дерново-подзолистых почвах. Дано сравнение запасов усвояемых фосфатов, определенных методами Соколова, Фрида и Дина.

Применение радиоактивных и стабильных изотопов дает возможность изучать не только запасы усвояемых элементов в почвах, но и устанавливать степень их доступности растениям, а также вычленить поступление их из почвы и удобрений [1, 6, 7, 9, 10, 12 и др.].

В агрохимической практике для определения запаса усвояемых фосфатов применяют методы Соколова [9], Фрида и Дина [12]. При этом первый из них основан на применении  $^{32}\text{P}$  практически без носителя, второй — с носителем, т. е. с удобрением. Иногда утверждают, что метод Фрида и Дина непригоден для определения запаса усвояемых фосфатов (показатель А) ввиду неодинакового поверхностного обмена между мечеными и немечеными фосфат-ионами удобрения и почвы. Наши исследования [1] позволили выявить наличие одинакового поверхностного обмена не только в почвах и удобрениях, но и в аморфных осадках фосфатов железа и алюминия.

В некоторых работах [8 и др.] определение запасов усвояемых фосфатов по Фриду и Дина подвергается критике на том основании, что вносимое фосфорное удобрение будет оказывать влияние на использование почвенных фосфатов.

Нами проведено определение запаса усвояемых фосфатов по Соколову с использованием следующего равенства:

$$P_{\text{запас}} = \frac{P \cdot 100}{K}, \quad (1)$$

где  $P$  — количество фосфора в урожае, поступившего из почвы (по данным химического анализа растений),  $K$  — процент использования  $^{32}\text{P}$  растениями, характеризующий степень подвижности запаса усвояемых фосфатов (определяется радиометрически);

и по Фриду и Дину на основе равенства:

$$A = \frac{B(1-y)}{y}, \quad (2)$$

где  $A$  — количество усвояемых фосфатов в почве;  $B$  — количество фосфора, внесенного в почву с меченым удобрением;  $y$  — процент фосфора в растениях из меченого удобрения. Для этой цели на дерново-подзолистых почвах были заложены вегетационные опыты 1 и 2. Из данных табл. 1 следует, что исследуемые дерново-подзолистые почвы различны по генезису, механическому составу, степени окультуренности и обеспеченности почв фосфором.

Определение подвижных фосфатов проводили следующим образом. В сосуды типа Митчерлиха помещали 10 кг воздушно-сухой почвы.

В качестве фона вносили азот и калий: N—0,15 г (в виде  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ),  $\text{K}_2\text{O}$ —0,09 г (в виде  $\text{KCl}$ ) на 1 кг воздушно-сухой почвы.

При определении запасов усвояемых фосфатов по Соколову вносили радиоактивный изотоп фосфора  $^{32}\text{P}$  в виде раствора  $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$  с большой активностью и минимальным содержанием носителя (2,5—3,0 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 10 кг почвы). Общая активность раствора  $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$  в день внесения составляла 180 мкюри в опыте 1 и 150 мкюри на сосуд в опыте 2. Зная общую активность фосфора  $^{32}\text{P}$ , внесенного в почву, и определив затем

Таблица 1  
Некоторые физико-химические показатели дерново-подзолистых почв

Номер разреза. Почва. Пункт	рН солевой	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	Al по Соколову	$\text{P}_2\text{O}_5$ по Кирсанову
		мг-эка/100 г почвы			мг/100 г почвы	
Опыт 1						
1. Легкосуглинистая на лёссе, слабоокультуренная, Учхоз БСХА	3,6	4,3	1,2	21,9	7,2	4,2
2. То же, среднеокультуренная. Совхоз «Горетский»	5,0	3,1	4,0	56,8	1,5	11,8
3. То же, хорошо окультуренная. Учхоз БСХА	6,3	1,1	21,2	95,1	0,2	73,2
4. Среднесуглинистая на лёссовидном суглинке, слабоокультуренная. Опытное поле «Иваново» БСХА	4,8	3,6	1,7	32,0	2,7	5,6
5. То же, среднеокультуренная. Там же	5,2	2,8	3,6	56,1	0,8	11,3
Опыт 2						
1а. См. опыт 1	4,3	3,9	2,0	33,7	2,7	4,6
2а. »	5,2	2,9	4,3	59,4	1,2	13,5
3а. »	6,2	1,2	19,8	94,6	0,2	69,2
4а. »	4,8	3,8	1,5	30,1	2,9	5,3
5а. »	5,2	3,1	3,8	55,1	1,0	10,0
6а. Среднесуглинистая на лёссовидном суглинке, хорошо окультуренная. Экспериментальная база «Курасовщина»	5,6	0,7	17,0	95,9	0,3	28,9

в урожае содержание фосфора и активность  $^{32}\text{P}$ , вычисляли запас усвояемых фосфатов по формуле (1). При изучении запаса усвояемых фосфатов по Фриду и Дину вносили радиоактивный суперфосфат с удельной активностью 40—50 мкюри на 1 кг почвы в дозе 585 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  в опыте 1 и 664 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на сосуд в опыте 2.

Опытная культура — ячмень сорта Винер. Опыт проведен в 6-кратной повторности. Растения убирали в стадии восковой спелости, при этом учитывали урожай надземной массы растений, определяли вынос общего фосфора и поступление  $^{32}\text{P}$  в растения. Для анализа брали среднюю пробу растительной массы 10—15 г и озольяли ее при температуре 550°.

Содержание радиоактивного фосфора определяли в навеске золы (50 мг) на установке Б-2 с торцовым счетчиком Т-25-БФЛ. Общий фосфор определяли колориметрически в навеске золы, растворенной в 0,5 л раствора  $\text{HCl}$ .

Из данных табл. 2 следует, что исследованные почвы значительно различаются по величине запаса усвояемых фосфатов. В почвах слабоокультуренных (разр. 1, 4, 1а и 4а) запас усвояемых фосфатов составил соответственно 8,6, 10,4, 6,3 и 9,8 мг  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  г почвы; в среднеокуль-

туренных (разр. 2, 5, 2а и 5а)—20,6, 22,2, 21,3 и 18,5 мг  $P_2O_5$  и в почвах хорошо окультуренных (разр. 3, 3а и 6а) запас усвояемых фосфатов составил соответственно 81,7, 30,5 и 38,2 мг  $P_2O_5/100$  г почвы. Таким образом, чем выше окультуренность почвы, тем, как правило, выше в ней величина запаса усвояемых фосфатов.

Таблица 2

Запас усвояемых фосфатов и степень подвижности  
в дерново-подзолистых почвах по Соколову

Номер разреза*	Урожай, г/сосуд	Вынос фосфора ячменем $P_2O_5$ , мг/сосуд	Использование меченых фосфатов К, %	Запас усвояемых фосфатов, $P_2O_5$ мг/100 г почвы
Опыт 1				
1	8,2	19,9	2,3	8,6
2	40,1	174,1	8,4	20,6
3	69,3	552,6	6,8	81,7
4	16,6	54,8	5,3	10,4
5	36,0	163,7	7,4	22,2

Ошибка опыта  $P=2,5\%$

Опыт 2				
1а	8,0	26,4	4,2	6,3
2а	45,4	217,7	10,2	21,3
3а	67,2	565,9	7,0	80,5
4а	15,9	60,8	6,1	9,8
5а	30,9	139,0	7,6	18,5
6а	50,1	321,4	8,4	38,0

Ошибка опыта  $P=2,2\%$

\* Почву и пункт см. табл. 1.

Для полной характеристики условий фосфорного питания кроме запаса усвояемых фосфатов очень важно знать степень их подвижности и доступности растениям, так как иногда запас усвояемых фосфатов может быть сравнительно велик, а степень подвижности его низкая.

Так, на легкосуглинистой слабоокультуренной почве (разр. 1 и 1а) степень использования меченых почвенных фосфатов составила соответственно 2,3 и 4,2% при запасае усвояемых фосфатов 8,6 и 6,3 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, т. е. в почве разр. 1а при меньшем запасае фосфатов отмечается большая их подвижность, а в почве разр. 1—наоборот. Низкий процент использования почвенных фосфатов в почве разр. 1, вероятно, обуславливается значительным содержанием в них обменного алюминия (табл. 1), который связывает фосфат-ионы в менее доступные для растений соединения.

Сравнительно большая подвижность невысокого запаса усвояемых фосфатов в почве разр. 1а обеспечила получение такого же урожая ячменя (8,0—8,2 г/сосуд), как и в почве разр. 1, обладающей большим запасае усвояемых фосфатов.

В почвах разр. 1, 4а запас усвояемых фосфатов составил соответственно 8,6 и 9,8 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, а степень их подвижности существенно отличалась и составляла 2,3 и 6,1%. Урожай был получен соответственно 8,2 и 15,8 г/сосуд. Следовательно, при одинаковом запасае усвояемых фосфатов урожайность культуры определяется степенью подвижности фосфатов.

В почвах среднеокультуренных (разр. 2, 5, 2а и 5а) по сравнению со слабоокультуренными наблюдалось заметное увеличение запаса усвояемых фосфатов, степени их подвижности и соответственно повышение урожайности ячменя.

На почвах хорошо окультуренных (разр. 3, 3а и 10) при большом запасе усвояемых фосфатов — 83,0, 80,6 и 38,0 мг  $P_2O_5/100$  г почвы — процент использования меченых почвенных фосфатов растениями оказался сравнительно невысоким — 6,7, 6,1 и 8,4%. Последнее, по-видимому, объясняется тем, что потребность растений в фосфатах составляет меньшую часть от большого запаса усвояемых фосфатов в почве. Так, в почве разр. 6а запас усвояемых фосфатов примерно в 2 раза меньше по сравнению с разр. 3 и 3а и процент использования почвенных фосфатов уже несколько больше. Из данных табл. 2 следует, что при одина-

Таблица 3

Запас усвояемых фосфатов (величина А) в дерново-подзолистых почвах по Фриду и Дину

Номер разреза *	Урожай, г/сосуд	Вывос фосфора ячменем $P_2O_5$ , мг/сосуд	Поступление фосфора в растения из удобрения, %	Величина А по Фриду и Дину, $P_2O_5$ мг/100 г почвы
Опыт 1				
1	25,1	118,5	39,1	9,2
2	51,1	251,4	34,4	11,4
3	71,6	584,4	7,4	77,7
4	44,2	222,8	42,9	8,3
5	50,5	249,4	29,3	14,2
Ошибка опыта $P=2,3\%$				
Опыт 2				
1а	39,0	163,9	57,2	5,0
2а	59,1	313,9	32,9	13,5
3а	65,4	560,5	7,8	76,9
4а	46,7	203,8	42,0	9,2
5а	50,2	248,2	36,4	11,8
6а	54,2	351,2	15,3	37,6
Ошибка опыта $P=2,6\%$				

\* Почву и пункт см. табл. 1.

ковом запасе усвояемых фосфатов по Соколову урожайность определяется степенью подвижности последних, в случае же одинаковой степени подвижности урожайность определяется величиной запаса усвояемых фосфатов.

Между запасом усвояемых фосфатов и урожайностью ячменя в вегетационном опыте получена высокая корреляционная зависимость ( $r=0,896 \pm 0,108$  при уровне значимости 0,01).

Внесение извести по 2/3 гидролитической кислотности не оказало влияния на величину запаса усвояемых фосфатов, но значительно повысило доступность их растениям, особенно при высоком содержании в почвах обменного алюминия [3].

Таким образом, с помощью радиоактивной метки  $^{32}P$  по методу Соколова можно по урожайности определить как запас усвояемых фосфатов, так и степень их подвижности, т. е. дать сравнительно полную характеристику условий фосфорного питания растений, необходимую для решения практических вопросов применения фосфорных удобрений.

Полученные данные о запасе усвояемых фосфатов по Фриду и Дину приведены в табл. 3.

Наибольшая величина А получена для почв хорошо окультуренных (разр. 3, 3а и 6а). Она составила соответственно 77,2, 76,3 и 37,6 мг  $P_2O_5/100$  г почвы. На слабо- и среднеокультуренных почвах она соответственно была равна 5,0—13,4 мг  $P_2O_5/100$  г почвы.

Из данных табл. 3 следует, что чем больше поступило в растения ячменя фосфора из удобрения (суперфосфата), тем меньше величина А, и наоборот.

Например, наибольшее количество фосфора из удобрения поступило в растения ячменя на легкосуглинистой почве (разр. 1а)—57,0%, для этой же почвы получена наименьшая величина А—5,0 мг  $P_2O_5/100$  г почвы.

В хорошо окультуренных почвах (разр. 3, 3а и 6а) фосфор из удобрения составил соответственно 7,4, 7,8 и 15,2%, а величина А соответственно 77,7, 76,8 и 37,6 мг  $P_2O_5/100$  г почвы.

Сопоставление данных табл. 2 и 3 показывает, что на почвах слабоокультуренных, плохо обеспеченных фосфором, показатели величины А по Фриду и Дину численно равны аналогичным показателям по Соколову. Так, для почв разр. 1, 4, 1а и 4а величина А по Фриду и Дину составила соответственно 9,1, 8,3, и 5,0 и 9,1 мг  $P_2O_5/100$  г почвы и 8,6; 10,4, 6,3 и 9,8 по Соколову, т. е. внесение удобрения (суперфосфата) не оказало влияния на использование фосфатов почвы.

Для почв среднеокультуренных, удовлетворительно обеспеченных фосфором (разр. 2, 5, 2а и 5а), величина А по Фриду и Дину соответственно составила 11,3, 14,2, 13,4 и 11,8 мг  $P_2O_5/100$  г почвы по сравнению с 20,6, 22,2, 21,3 и 18,4 мг по А. Соколову. Это, очевидно, объясняется тем, что величина запаса усвояемых растением фосфатов, определяемая по Фриду и Дину, является менее стабильной, так как она обусловлена содержанием подвижных форм фосфатов в почвах и дозой вносимого фосфорного удобрения, тогда как определяемый запас усвояемых фосфатов по Соколову зависит только от содержания фосфора в почвах.

Для хорошо окультуренных почв разр. 3, 3а и 6а наблюдается хорошее совпадение по абсолютным величинам запаса усвояемых фосфатов по Соколову, Фриду и Дину.

По данным табл. 3 хорошо видна зависимость между количеством фосфора, поступившего в растение из удобрения (в %), и содержанием усвояемых фосфатов, полученных биологическим методом: чем меньше запас усвояемых фосфатов почвы, тем больше фосфора поступает в растения из удобрения. Последнее подтверждается высокой отрицательной корреляционной зависимостью между запасом усвояемых фосфатов и количеством фосфора, поступившего в растения из удобрения. Коэффициент корреляции между данным показателем и величиной запаса усвояемых фосфатов по Соколову составил  $-0,845 \pm 0,168$  и  $-0,826 \pm 0,176$  по Фриду и Дину. Коэффициент корреляции между запасом усвояемых фосфатов по Фриду и Дину и урожайностью ячменя равен  $0,766 \pm 0,124$ .

В литературе имеются противоречивые данные о влиянии доз вносимого меченого удобрения на величину А [11].

Нам представлялось интересным проверить этот факт в вегетационном опыте по следующей схеме:

I вариант—585 мг  $P_2O_5$  в опыте 1 и 664 мг  $P_2O_5/10$  кг воздушно-сухой почвы в опыте 2.

II вариант—меченый суперфосфат вносили исходя из потребности почвы в фосфоре в дозе, рассчитанной по формуле, предложенной Ивановым [2, 4]:

$$P_x = P_y \frac{P \text{ почва}}{P_n \text{ почва}} = P_y \frac{\% P_n \text{ растение}}{\% P \text{ растение}}$$

где  $P_y$ —установленная опытами эффективная доза фосфорного удобрения для какой-либо культуры на одной почве,  $P_x$ —определяемая доза фосфорного удобрения для этой же культуры на других почвах.

Из данных табл. 4 следует, что величина А по Фриду и Дину зависит от дозы вносимого удобрения. Причем влияние дозы последнего на вели-

чину А более заметно сказывается на почвах слабокультуренных с низким и средним содержанием фосфора. Так, для легкосуглинистой почвы с низким содержанием фосфора (табл. 1) увеличение дозы удобрения с 585 до 1030 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> уменьшило величину А с 9,1 до 6,0 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы (или на 34%). Почти на столько же уменьшилась и величина А для легкосуглинистой почвы в опыте 2 (на 28%).

Несколько меньше сказались влияние увеличения дозы удобрения на почвах среднесуглинистых (разр. 4 и 4а). Последние отличаются большим запасом усвояемых фосфатов и степенью их подвижности (табл. 2). Увеличение дозы удобрения на этих почвах уменьшило величину А на 16—17%.

Таблица 4  
Влияние дозы фосфорного удобрения на величину А по Фриду и Дину

Номер разреза *. Вариант	Урожай, г/сосуд	Вынос фосфора ячменем P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/сосуд	Поступление фосфора в растения из удобрения, %	Величина А по Фриду и Дину, мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 г почвы
О П Ы Т 1				
1. 585 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	25,1	118,5	39,1	9,2
1030 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	35,8	163,1	63,2	6,0
4. 585 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	44,2	189,0	42,9	8,3
959 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	48,2	230,6	58,4	6,9
Ошибка опыта P=2,8%				
О П Ы Т 2				
1а. 664 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	39,0	163,9	57,3	5,0
1145 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	48,7	242,8	76,6	3,6
4а. 664 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	46,7	203,7	42,0	9,2
939 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	50,8	244,8	56,0	7,4
6а. 252 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	51,7	343,8	6,1	39,4
664 мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /сосуд	54,2	351,3	15,3	37,6
Ошибка опыта P=2,0%				

\* Почву и пункт см. табл. 1.

В почве разр. 6а со сравнительно высоким содержанием фосфора увеличение дозы удобрения с 252 до 664 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> уменьшило величину А только с 39,4 до 37,6 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы или на 1,8 мг.

Уменьшение величины А при повышении дозы удобрения является следствием значительного увеличения поступления фосфора в растения из удобрения. Последнее приводит к увеличению показателя *y* в формуле  $A = \frac{B(1-y)}{y}$ , а следовательно, и к уменьшению величины А.

В результате известкования также наблюдали уменьшение запаса усвояемых фосфатов [3] по Фриду и Дину из-за увеличения поступления фосфора в растения из удобрения.

Из сказанного следует, что величина запаса усвояемых фосфатов, определяемая по Фриду и Дину, является менее стабильной, чем величина, определенная по Соколову.

### Выводы

1. Применение радиоактивной метки <sup>32</sup>P с ничтожным количеством носителя по методу Соколова позволяет определить запас усвояемых фосфатов и степень их подвижности. Определение запаса усвояемых фосфатов без учета степени их подвижности не дает полной характеристики условия фосфорного питания, так как при одном и том же запасе степень подвижности фосфора почвы может быть различной.

С повышением степени окультуренности и обеспеченности почв фосфором увеличивается запас усвояемых фосфатов и степень их подвижности. Однако для почв с высоким содержанием подвижного фосфора

получена сравнительно небольшая величина степени подвижности фосфатов. Это объясняется, по-видимому, тем, что потребность растений составляет небольшую часть от имеющегося запаса фосфатов.

2. Сопоставление данных запаса усвояемых фосфатов, полученных по Соколову, Фриду и Дину, показывает, что в почвах слабо- и хорошо обеспеченных фосфором наблюдается близкое совпадение по абсолютным значениям этих показателей, т. е. на данных почвах внесение фосфорного удобрения не оказало влияния на доступность почвенных фосфатов. На почвах среднеобеспеченных фосфором величина запаса усвояемых фосфатов по Фриду и Дину почти в 2 раза меньше аналогичного показателя по Соколову.

3. Метод определения запаса усвояемых фосфатов по Фриду и Дину не позволяет определять степень подвижности и доступности растениям имеющегося запаса усвояемых фосфатов в почвах. В почвах с небольшим содержанием подвижных фосфатов на величину запаса усвояемых фосфатов по Фриду и Дину оказывает также влияние доза вносимого фосфорного удобрения и известкование почв.

4. Показано, что урожайность зависит как от величины запаса усвояемых фосфатов, так и от степени их подвижности.

#### Литература

1. *Иванов С. Н.* Физико-химический режим фосфатов торфов и дерново-подзолистых почв. Минск, 1962.
2. *Иванов С. Н.* Новый принцип установления потребности растений в удобрениях в зависимости от содержания питательных веществ в почвах. Почвенные исследования и рациональное использование земель. В сб. Научные статьи к VIII Междунар. конгр. почвовед. «Урожай», 1964.
3. *Иванов С. Н., Столярова Т. Ф.* Влияние известкования на содержание в почве усвояемых фосфатов и их доступность растениям. Межведомственный темат. сб., вып. 3. «Урожай», Минск, 1972.
4. *Иванов С. Н.* Количественные закономерности процессов питания растений из удобрений на дерново-подзолистых почвах. Агрехимия, 1972, № 6.
5. *Каппен М.* Радиоактивные индикаторы в биологии. Изд. иностр. лит., 1948.
6. *Клечковский В. М.* Меченые атомы в изучении способов внесения удобрений. В сб.: Применение изотопов в технике, биологии и сельском хозяйстве. Сельхозгиз, 1955.
7. *Корицкая Г. Д., Малеина А. А.* Запасы растворимых и усвояемых фосфатов в почвах Средней Азии. Сб.: Фосфорные удобрения и питание растений, вып. 2. М., 1963.
8. *Рассел Р. С., Рассел В. В. и др.* Факторы, влияющие на доступность почвенных фосфатов. В кн.: Применение радиоактивных изотопов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Изд. АН СССР, 1956.
9. *Соколов А. В.* Использование радиоактивного изотопа фосфора в агрохимических и почвенных исследованиях. Вестн. АН СССР, 1953, № 9.
10. *Столярова Т. Ф.* Определение содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых почвах с применением  $^{32}\text{P}$ . В сб. Питание растений и повышение эффективности минеральных удобрений. Горки, 1969.
11. *Эмлинггер Л., Пирсон Р.* Изотопы в сельском хозяйстве. Изд. иностр. лит., 1961.
12. *Fried M., Dean L. A.* A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci., v. 73, № 4, 1952.

Белорусский НИИ почвоведения и агрохимии

Дата поступления  
30.VII.1976 г.

S. N. IVANOV, T. F. STOLYAROVA

#### USE OF $\text{P}^{32}$ FOR THE MEASUREMENT OF AVAILABLE PHOSPHATE SUPPLY IN SODDY-PODZOLIC SOILS OF BELORUSSIA

The measurement of available phosphate supply has been carried out by means of two methods: A. V. Sokolov's and M. Fried and Dean's in soddy-podzolic soils, different in genesis, degree of cultivation and phosphorous supply.

It has been shown that the A. V. Sokolov's method is more suitable for the measurement of available phosphate in soddy-podzolic soils.