

Э. А. АРУТЮНЯН, А. Ш. ГАЛСТЯН

ФОРМЫ ФОСФОРА И ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ ФОСФАТАЗ ПОЧВЫ

В различных типах почв изучены формы минеральных и органических фосфатов, активность щелочной и кислой фосфатаз, глицерофосфатазы и неорганической пирофосфатазы. Активность фосфатаз находится в коррелятивной связи с содержанием фосфорорганических соединений в почве, а пирофосфатазы — с минеральными фосфатами. Фосфогидролазы осуществляют процессы мобилизации подвижного фосфора в почве.

Фосфор в почве находится в форме минеральных и органических соединений, соотношение которых в различных типах почв колеблется в широких пределах [1, 3, 5, 6, 9—18]. В Армении впервые эти вопросы изучал проф. Давтян [11]. В почве постоянно происходят сложные превращения минеральных и органических фосфатов, в результате чего образуются его подвижные формы, являющиеся основным источником питания растений. Эти процессы осуществляются внеклеточными ферментами почв.

В настоящее время для глубокого изучения фосфорного питания растений исследование ферментативных процессов почвы приобретает первостепенное значение. Многие исследователи проявляют большой интерес к изучению ферментов фосфорного обмена — фосфогидролаз, участвующих в мобилизации фосфора в почве [4, 7, 8, 12, 19, 22, 23]. Однако взаимосвязь между активностью фосфогидролаз и формами фосфора в почве пока недостаточно изучена, поэтому мы пытались выяснить некоторые вопросы в этом направлении.

Материал и методика. Исследования проводились на различных типах почв Армении по вертикальной зональности. Общий, минеральный, органический фосфор и фракционный состав минеральных фосфатов определялись по Гинзбург и др. [9, 10], а фракционный состав органического фосфора — по Шмидту и Таннгаузеру [20] применительно к почвам. Фракционированием фосфорорганических соединений определялись кислотнорастворимый фосфор с помощью 7% ТХУ, представленный в основном инозитол-, глицеро- и глюкозофосфатами, в спиртово-эфирной смеси — липоидный и щелочнорастворимый — пслифосфаты и фосфор нуклеиновых кислот.

Активность фосфатаз определялась следующим образом. Навески (1 г) почвы помещали в колбы на 50 мл, добавляли 1 мл 1% раствора п-нитрофенилфосфата натрия. При определении активности щелочной фосфатазы с помощью трис-буфера 2 мл в среде создавали рН 8,6, а при кислой — ацетатным буфером — рН 5,4. В случае определения активности фосфатазы при рН самой почвы вместо буферных растворов добавляли 2 мл дистиллированной воды. Контролем служили почва с буфером и субстраты без почвы. Колбы закрывали корковыми пробками, встряхивали и ставили в термостат при 30° на один час. По истечении времени взаимодействия субстрата с почвой в колбы добавляли 22 мл дистиллированной воды, взбалтывали в течение 5 мин и

фильтровали (синяя лента). Продукт ферментативной реакции — пара-нитрофенол в фильтрате окрашивали с помощью 0,5 мл 1% NaOH. Раствор имел pH 8,6. Полученный окрашенный раствор фотоколориметрировали на приборе ФЕК-М. Активность фосфатаз выражалась в мг P на 10 г почвы за час.

Для определения интенсивности гидролиза пиррофосфата натрия навески (1 г) почвы помещали в колбы на 50 мл, добавляли 2 мл 5% раствора соли, приготовленной на ацетатном буфере pH 4,7. Полученный раствор имел pH 5,5, что соответствовало оптимуму действия неорганической пиррофосфатазы почвы. Колбы ставили в термостат при 30° на 1 час. Затем в колбы добавляли 48 мл дистиллированной воды, фильтровали и фосфор определяли по Труога и Мейера.

При определении глицерофосфатазы навески (1 г) почвы помещали в колбы на 50 мл, добавляли 1 мл 1% раствора глицерофосфата натрия, 2 мл дистиллированной воды. Колбы закрывали корковыми пробками и ставили в термостат при 30° на 1 час. Затем продукт реакции с помощью смеси Труога переносили в 100 мл колбы и взбалтывали в течение 30 мин и фильтровали. В фильтрате (10 мл) фосфор определялся по Труога и Мейера.

Результаты и обсуждение. Исследованиями установлено, что содержание общего фосфора в различных типах почв не одинаковое (рис.). Наибольшим содержанием общего фосфора отличаются горно-луговые, лугово-степные почвы — (131,7—196,0 мг P на 100 г почвы). В литературе по общему фосфору в горно-луговых почвах [2] имеются несколько завышенные данные (350 мг и более на 100 г почвы). Следует отметить, что в ранних работах при определении фосфора в почве не учитывалось мешающее действие железа. В черноземах, лугово-черноземных почвах содержание общего фосфора составляет 60—120 мг P на 100 г почвы, в каштановых — 40—100, древнеорошаемых — 30—130, бурых полупустынных — 45—95.

Распределение общего фосфора по профилю почв различное, в некоторых почвах оно с глубиной уменьшается, а в других — наоборот. Значительное накопление общего фосфора в нижних горизонтах почвы связано с высоким содержанием материнской породы фосфорсодержащими минералами, а в верхних горизонтах — биологической аккумуляцией.

Определение содержания форм минеральных фосфатов показало, что в горно-луговых почвах оно по профилю составляет — 30—40, в черноземах — 40—50, в каштановой — 50—70, в бурой полупустынной — 40—85, в древнеорошаемой — 40—95% от общего фосфора. Во всех изученных почвах содержание минерального фосфора вниз по профилю почв увеличивается и в нижних горизонтах составляет 85—95% от общего. Известно, что из минеральных фосфатов наиболее доступной формой являются легкорастворимые фосфаты кальция, магния и закисного железа, что в изученных почвах составляет 1,3—9,8% от общего. Из форм минеральных фосфатов, исследованные почвы больше всего содержат труднорастворимые фосфаты кальция — 15—35% от общего. В нижних горизонтах почв преобладают фосфаты полуторных окислов.

Значительная часть фосфора в почве представлена в форме органических соединений, являющихся одним из ближайших резервов усвояемого фосфора. Было установлено, что содержание органического

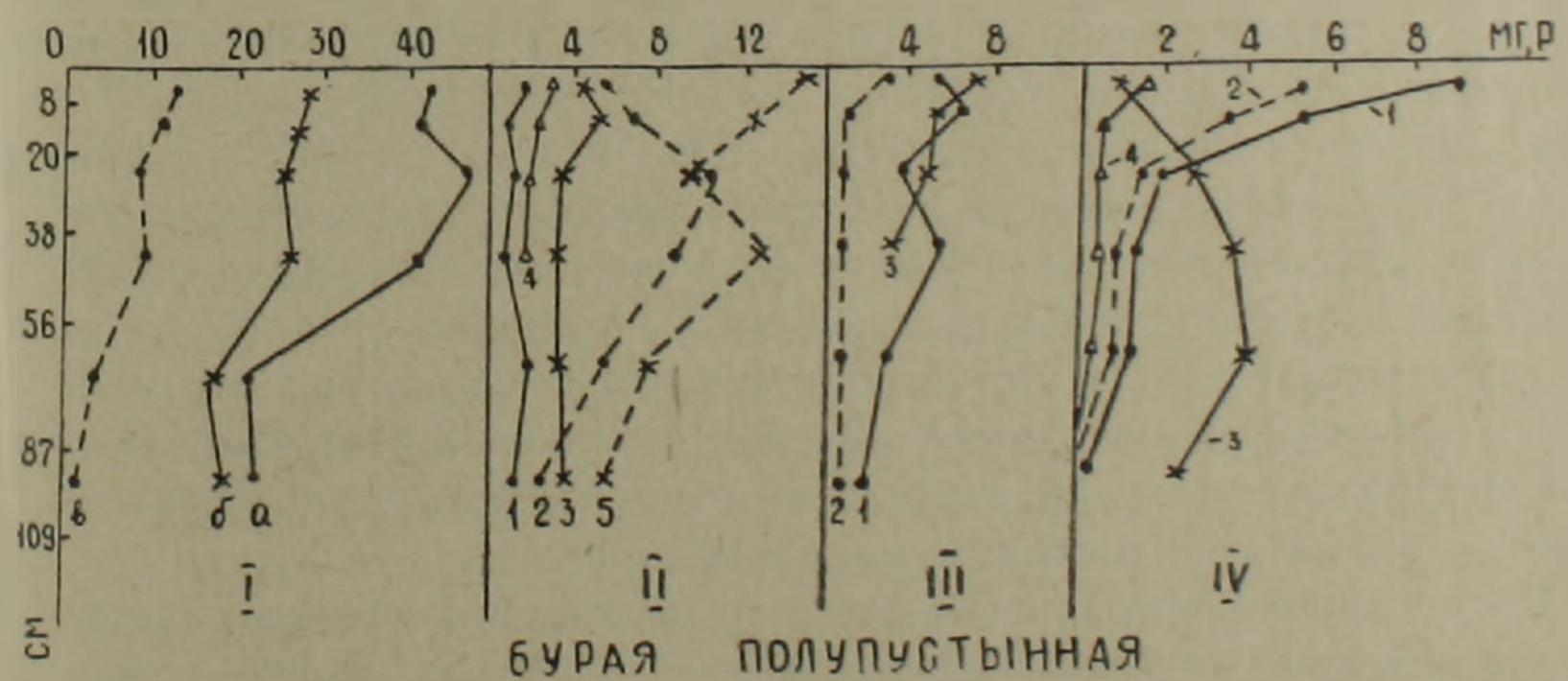
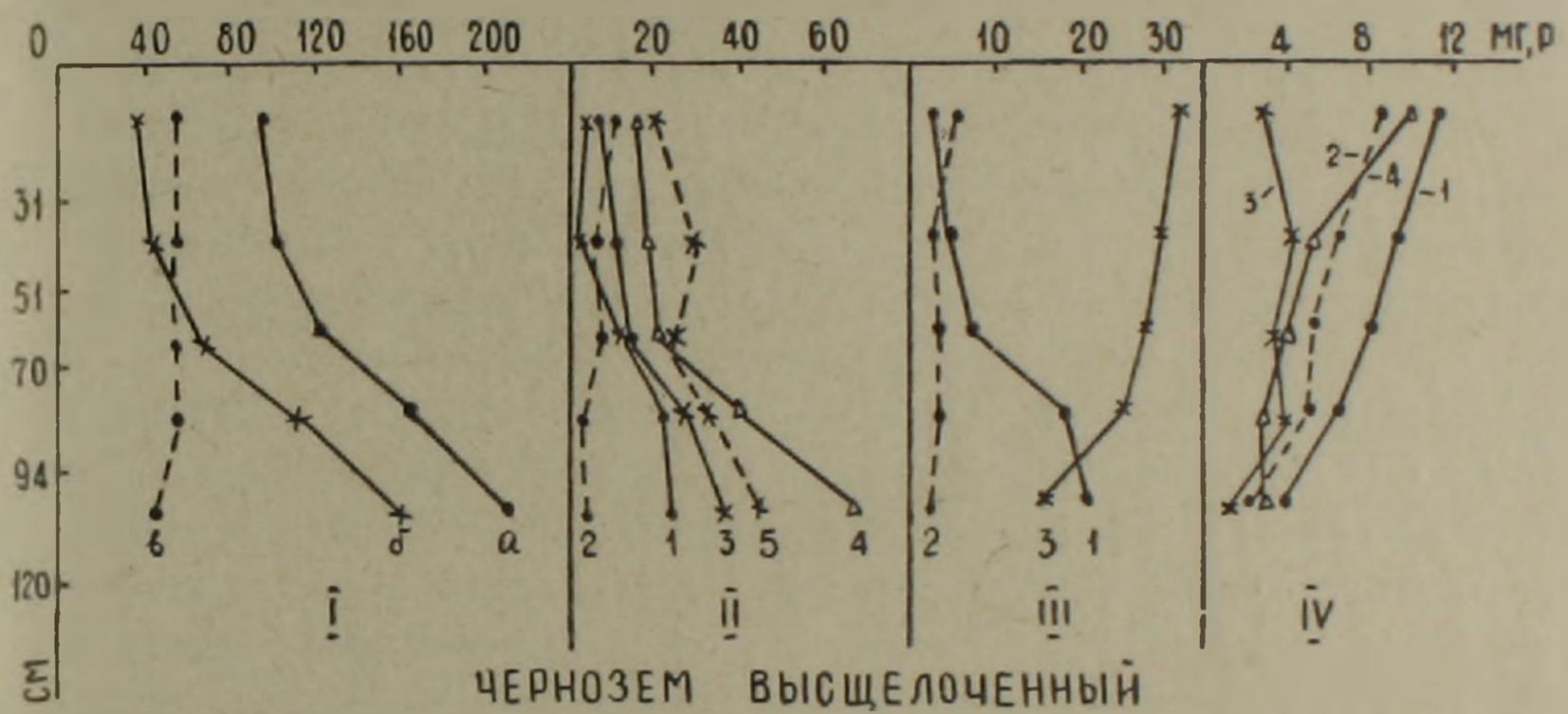


Рис. Содержание различных форм фосфора и активность фосфатаз почв. мг Р на 100 г почвы. I—формы фосфора: а—общий, б—минеральный, в—органический; II—фракции минеральных фосфатов: 1—легкорастворимых Са, Mg, Fe²⁺, 2—вторичнообразованных Са, Mg, Fe²⁺, 3—алюминия, 4—окисного железа, 5—высокоосновных соединений кальция; III—фракции органических фосфатов: 1—кислотнорастворимая, 2—спирто-эфирная, 3—щелочнорастворимая; IV—активность фосфатаз: 1—щелочная, 2—кислая, 3—пирофосфатаза, 4—глицерофосфатаза.

фосфора в различных типах почв неодинаково и зависит от условий их формирования. В верхних слоях горно-луговой почвы органический фосфор составляет 60—80% от общего, что обусловлено высокой гумусированностью (11—16%) этих почв и интенсивным биологическим накоплением. По вертикальной зональности почв факторы, влияющие на содержание фосфорорганических соединений, постепенно меняются, в результате чего в черноземах органический фосфор составляет 40—60, в лесных — 40—80, в каштановой — 30—50, в бурой полупустынной — 10—35, в древнеорошаемой — 5—20% от общего фосфора. Количество органического фосфора по глубине профиля уменьшается в соответствии с содержанием гумуса и микроорганизмов.

Состав органического фосфора в почве очень сложный и многообразный. Значительное количество его (40%) от общего органического фосфора в исследуемых почвах нам не удалось расшифровать. Опыты показали, что при определении фракций фосфорорганических соединений в щелочную вытяжку переходит больше фосфора, чем в кислотную. Накопление в почве значительного количества щелочнорастворимых соединений фосфора, которые по своей природе сложны и устойчивы, не благоприятствует питанию растений. Содержание щелочнорастворимого фосфора по профилю почв уменьшается. В верхних горизонтах горно-луговых почв его содержание от органического фосфора составляет около 50 (47,8 мг P на 100 г почвы), в черноземах — 65 (37,7 мг P), в коричневых лесных — 90 (42,5 мг P), в каштановых — 75 (17,3 мг P), в бурых полупустынных — 50% (7,2 мг P).

Фосфорорганические соединения щелочнорастворимой фракции превращаются в результате действия фосфатаз, представляющих совокупность как специфических, так и неспецифических фосфомоноэстераз, диэстераз и нуклеаз, осуществляющих последовательный распад орга-нофосфатов с освобождением фосфора в минеральной форме [21]. В изученных почвах липонидного фосфора, фосфора фитина, глюкозо- и глицерофосфатов, определяемых в кислотнорастворимой фракции, сравнительно мало. Благодаря своей реакционной способности они под действием фосфатаз легко гидролизуются, образуя подвижный фосфор, который является основным источником питания растений. В нижних горизонтах некоторых почв содержание кислотнорастворимой фракции фосфора несколько увеличивается в связи со своей подвижностью и сравнительно низкой активностью фосфатаз в этих слоях.

Для установления взаимосвязи между фосфорорганическими соединениями и соответствующими ферментами почв была изучена активность кислой и щелочной фосфатаз. В ненасыщенных основаниями почвах обнаруживается сравнительно высокая активность кислой фосфатазы, а в насыщенных — щелочной. Активность щелочной и кислой фосфатаз по профилю почв снижается в соответствии с уменьшением фосфорорганических веществ.

В почвах обнаружено действие пирофосфатазы, катализирующей расщепление фосфорной кислоты из органических и неорганических

соединений, имеющих пирофосфатную связь. Установлена определенная взаимосвязь между минеральными формами фосфора и гидролизом пирофосфата. Содержание минеральных фосфатов в нижних горизонтах сравнительно выше, вследствие накопления устойчивых конденсированных полифосфатов. В этих горизонтах обнаруживается также значительная активность гидролиза пирофосфата натрия.

Активность глицерофосфатазы, отщепляющей фосфорную кислоту от глицерофосфата, в исследуемых почвах не высокая. В верхних горизонтах горно-луговых и черноземов она колеблется в пределах 11—17 мг Р на 100 г почвы, а в каштановой, бурой полупустынной — 1,0—2,5 мг Р. По профилю почв активность глицерофосфатазы резко падает.

Вычисление коэффициента корреляции показало, что существует тесная взаимосвязь между активностью фосфатаз и содержанием фосфорорганических соединений в почве. Активность щелочной фосфатазы не коррелирует с содержанием общего и минерального фосфора (таблица). Было установлено, что между активностью фосфатазы и содер-

Таблица

Взаимосвязь между активностью фосфатаз и различными формами фосфора в почве (n=25)

Показатели	Коэффициент корреляции $r \pm m$	Степень надежности ($t > 3$)
Фосфатаза — общий фосфор	0,17 \pm 0,19	0,8
Фосфатаза — минеральный фосфор	0,12 \pm 0,20	0,6
Фосфатаза — органический фосфор	0,78 \pm 0,10	7,8
Фосфатаза — подвижный фосфор	0,29 \pm 0,16	1,6
Щелочная фосфатаза — подвижный фосфор	0,60 \pm 0,12	5,0

жанием подвижного фосфора не всегда обнаруживается тесная связь. Положительная связь обнаружена между щелочной фосфатазой и подвижным фосфором. Из проведенных исследований следует, что образование подвижного фосфора в почве — сложный процесс, в котором участвуют различные специфические фосфатазы.

Таким образом, изучение форм фосфора и активности фосфатаз показывает, что в почвах происходят сложные процессы превращения минеральных и органических соединений фосфора. В результате для каждого типа почв создается своеобразный фосфорный режим, выявление особенностей и полная характеристика которого поможет правильно регулировать фосфорное питание растений.

Է. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Շ. ԳԱՍՏՅԱՆ

ՀՈՂԻ ՖՈՍՖՈՐԻ ԶԵՎԵՐԸ ԵՎ ՖՈՍՖԱՏԱԶՆԵՐԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հայաստանի հիմնական հողատիպերում ուսումնասիրվել է ֆոսֆորի միացությունների ձևերը և հիմնային, թթու ֆոսֆատազների, գլիցերոֆոսֆատազայի և անօրգանական պիրոֆոսֆատազայի ակտիվությունը: Հողում ֆոսֆորի զգալի քանակությունը ներկայացված է ֆոսֆորօրգանական միացությունների ձևով: Սևահողերում և լեռնա-մարգագետնային հողերում ընդհանուր ֆոսֆորից հաշված այն կազմում է 50—70%: Ֆոսֆորօրգանական միացությունների հիմնական մասը՝ հիմքալույծ ֆրակցիան է, որը բույսերի համար դժվար մատչելի է: Ֆոսֆատազները նպաստում են այդ միացությունների ձեղքմանը: Հողի ֆոսֆատազների ակտիվությունը ուղղակի կապի մեջ է ֆոսֆորօրգանական, իսկ պիրոֆոսֆատազայինը՝ ֆոսֆորի հանքային միացությունների հետ: Ֆոսֆատազների ակտիվության, ընդհանուր ֆոսֆորի և հանքային ֆոսֆորի ձևերի միջև փոխադարձ կապը շատ թույլ է: Հայտնաբերված է դրական կապ հողի հիմնային ֆոսֆատազայի ակտիվության և շարժուն ֆոսֆորի միացությունների միջև: Հողում ֆոսֆատազները նպաստում են շարժուն ֆոսֆորի մոբիլիզացմանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авакян Н. О. Тр. ин-та почвоведения и агрохимии МСХ АрмССР, вып. 10, 1974.
2. Авунджян З. С. Тр. ин-та почвоведения и агрохимии МСХ АрмССР, вып. 3, 1967.
3. Бурангулова М. Н. В кн.: Черноземы Башкирии. Уфа, 1969.
4. Бурангулова М. Н., Хазиев Ф. Х. Мат-лы VII конференции по химизации с.-х. Оренбург, 1966.
5. Войкин Л. М., Романов В. А. Агрохимия, 10, 1973.
6. Гаврилова А. Н., Шимко Н. А., Савченко Н. И. Почвоведение, 6, 1973.
7. Галстян А. Ш., Арутюнян Э. А. Биологический журнал Армении, 19, 3, 1966.
8. Геллер И. А., Добротворская К. Н. Тр. ин-та микробиологии АН СССР, вып. 11, 1961.
9. Гинзбург К. Е. Агрохимия, 5, 1969.
10. Гинзбург К. Е., Лебедева Л. С. Агрохимия, 1, 1971.
11. Давтян Г. С. Фосфорный режим почв Армении. Изд. АН АрмССР. Ереван, 1946.
12. Крамер М., Ердей Г. Почвоведение, 9, 1959.
13. Мью Тхант У. Почвоведение, 10, 1968.
14. Соколов А. В. Почвоведение, 8, 1948.
15. Стрельченко Н. Е. Агрохимия, 10, 1973.
16. Фокин А. Д., Тертерян К. М. Изв. ТСХА, 6, 1966.
17. Хейфец Д. М. Почвоведение, 2, 1948.
18. Чуриков Ф. В. Химиз. соц. земледелия, 10—11, 1939.
19. Чундерова А. И., Зубец Т. И. Почвоведение, 11, 1969.
20. Шмидт Дж. и Таннгаузер С. И. Сб. Нуклеиновые кислоты, т. 1, М., 1957.
21. Anderson G. A. Soil Biochemistry, L., N.—Y., 1967.
22. Drobnikova V. Folia microbiologica, v. 6, 1961.
23. Tabatabai M. A., Bremner J. M. Soil Biol., Biochem, v. 1, 1969.