

Б. В. Надеждин

Опыт изучения форм соединений фосфора в почвах под искусственными лесонасаждениями

Вопросу изучения почвенного фосфора, как одного из важнейших элементов питания растения, многими исследователями уделялось большое внимание.

По вопросу фосфорного режима почв существует обширная литература. В настоящей статье не представляется возможным уделить внимание обзору всех или хотя бы главнейших работ. Довольно обстоятельная сводка главнейшей литературы по фосфору имеется в работе Г. С. Давтяна [4].

Обычно исследователи, занимающиеся изучением почвенного профиля, в отношении фосфора ограничиваются только констатированием валового его содержания в различных горизонтах. Если же проводится более детальное изучение соединений фосфора в почвах, то оно касается, как правило, только верхних горизонтов почв—пахотного и в некоторых случаях подпахотного.

Существует много методов определения „подвижного“ или „усвояемого“ фосфора, но все эти методы чрезвычайно условны. Собственно говоря, в результате таких определений остается неясным, какие соединения фосфора определяются и действительно ли они являются „усвояемыми“.

Наиболее правильным путем исследования фосфорного режима почв является изучение форм соединений фосфора. Однако на этом пути существуют два серьезных препятствия: относительно малое содержание фосфора в почвах, и участие его как в минеральных, так и в органических соединениях почвы, причем эти две большие группы трудно отделить друг от друга с достаточной надежностью. Кроме того, фосфор, несмотря на незначительное его относительное содержание в почвах, принимает большое участие в почвообразовательных процессах и, следовательно, является элементом чрезвычайно динамичным.

В настоящее время существует довольно много различных методов разделения почвенных соединений фосфора, очень интересных, но, естественно, имеющих различные недостатки, обусловленные, наличием указанных уже препятствий.

Мы не имеем возможности делать обстоятельный разбор всех существующих методов разделения почвенных соединений

фосфора и описывать историю вопроса, однако некоторых работ мы должны коснуться.

Весьма существенным в вопросе изучения форм соединений фосфора в почве является выработка метода отделения органических форм от минеральных.

Различные авторы пытались идти в этом случае, главным образом, двумя путями:

1. *Минерализация органических соединений путем сухого сжигания или путем воздействия на почву различными окислителями.* При этом содержание фосфора в органических соединениях определялось по разности между количеством его, переходящим в кислотную вытяжку после обработки окислителем (или после сжигания) и до обработки. Этот путь у нас использовался многими исследователями, в частности Н. П. Карпинским и В. Б. Замятиной [7] и Д. Ф. Соколовым [9]. Первым недостатком этого направления является полная вероятность перехода в кислотную вытяжку части органического фосфора, вследствие чего содержание последнего, вычисляемое по разности, оказывается преуменьшенным по сравнению с истинным. Вторым недостатком является то, что указанным путем возможно только разделение почвенных соединений фосфора (более или менее правильное) на две группы: органических и минеральных; более подробная их дифференциация или затруднительна, или вообще исключена.

2. *Извлечение органических веществ из почвы щелочными вытяжками.* Способ этот был также использован рядом исследователей: у нас Ф. В. Чириковым [12, 13], Г. С. Давтяном [3, 4], Л. М. Хейфец [11] и др., а за границей R. Williams [16], W. J. Dyer and C. L. Wrenshall [15, 18] и др. Чрезвычайно существенным недостатком этого способа является то, что щелочные растворы извлекают из почвы хотя и значительную часть органических соединений, но далеко не все. Это хорошо видно, если обратиться к исследованиям И. В. Тюрина [10] и других авторов в области изучения группового состава гумуса. Поэтому, применяя щелочную вытяжку, нельзя быть вполне уверенным, что весь фосфор, входящий в состав органических соединений почвы, перейдет в эту вытяжку. Кроме того, щелочные растворы извлекают из почвы не только органический фосфор, но и различные минеральные его соединения, главным образом, фосфаты железа и алюминия [3, 4, 16, 17].

Этот способ извлечения органического вещества имеет, однако, несомненное преимущество в том отношении, что дальнейшее разделение соединений фосфора при его применении возможно.

Наконец, несколько слов нужно сказать о недавно предложенном R. Chamipade [14] способе выделения органических соединений фосфора путем попеременной обработки почвы слабыми растворами аммонийных солей и водой. Способ этот не получил еще широкой разработки и проверки на почвах СССР, но, повидимому, является

довольно интересным, так как применяемые реактивы не оказывают сильного разрушительного воздействия на составные части почвы.

Для разделения форм соединений фосфора применяется метод последовательных вытяжек. Различные варианты этого метода особенно подробно разработаны советскими учеными Ф. В. Чириковым [12, 13] и Г. С. Давтяном [3, 4]. Как тот, так и другой применяли различные комбинации щелочных и кислотных вытяжек.

В результате исследований многих авторов более или менее выяснено, какие соединения или, вернее, группы соединений фосфора существуют в почвах. Группы эти следующие:

- 1) фосфорно-органические соединения (нуклеопротеиды, фитин, фосфатиды и др.);
- 2) ортофосфаты щелочноземельных металлов, главным образом, кальция, отчасти магния;
- 3) ортофосфаты железа и алюминия (различного состава);
- 4) фосфорсодержащие минералы материнских пород (типа апатитов);
- 5) адсорбционные соединения аниона PO_4^{3-} с почвенными коллоидами;
- 6) различные прочные минеральные соединения фосфора невыясненного состава.

По поводу последней группы соединений фосфора существуют различные мнения. Некоторые исследователи [12, 13, 16] указывают на возможность существования в почвах прочных соединений фосфора с титаном. В. И. Вернадский [2] предполагал, что в земной коре (повидимому и в почве) могут существовать соединения—аналоги каолиновых алюмосиликатов, где место кремния замещено фосфором. Г. С. Давтян [4, 5] при микроскопическом исследовании некоторых почв обнаружил кристаллы апатита, прочно включенные в кристалл алюмосиликатов. Во всяком случае, после последовательного воздействия на почву различных растворителей в остатке оказывается еще довольно значительное количество фосфора, которое может быть извлечено только в результате воздействия сильных реактивов (царская водка, плавиковая кислота).

Нами был применен, в общем, метод Г. С. Давтяна [3, 4] с некоторыми техническими изменениями, которые были внесены с целью упрощения и уменьшения трудоемкости анализа. Более подробно вопросы методики разобраны в другой нашей работе [8]. Здесь же мы ограничимся только изложением примененной схемы анализа.

Примененная схема не лишена недостатков, о которых уже говорилось выше, однако, мы сочли возможным воспользоваться ею для предпринятых нами исследований, поскольку она все же дает возможность уловить некоторые закономерности фосфорного режима изучаемых почв.

Схема эта в общем выглядит следующим образом.

Группа	Растворитель	Соединения фосфора, входящие в группу
I	0,2 NK_2CO_3 а) осаждение HCl	Фосфорорганические соединения
	б) фильтрат после осаждения	Фосфаты алюминия и железа
II	0,5 $\text{NC}_2\text{H}_4\text{O}_2$	Фосфаты кальция (и магния)
III	1,0 NHCl	Минералы типа апатитов
IV	$\text{HNO}_3 + \text{HCl}$	Остатки соединений первых трех групп и соединения фосфора минералов маловыветрившейся материнской породы, неслого состава

Целью наших исследований являлась попытка изучения возможных изменений фосфорного режима некоторых почв черноземного типа под влиянием лесных насаждений.

Материалом для лабораторных экспериментов послужили образцы почв, взятые в трех географических пунктах: 1) Стрелецкая степь (Курская область), 2) Каменная степь (Воронежская область) и 3) Велико-Анадоль (Сталинская область).

В каждом из этих пунктов было заложено по паре разрезов—под степью и под лесом, и для определения форм соединений фосфора было использовано по два образца из каждого разреза: из горизонта 0—10 и из карбонатного горизонта— глубины, на которой обнаружено наибольшее содержание карбонатов.

Основные данные, характеризующие изучаемые почвы, приведены в таблице 1.

Все эти образцы были подвергнуты обработке по указанному выше способу. Определение фосфора в вытяжках производилось весовым способом, по Войя, а при малых количествах—объемным, по Лоренцу.

Результаты определений представлены в таблице 2.

Содержание органического фосфора почти одинаково в верхних горизонтах всех почв—около 30% от валового содержания P_2O_5 . Исключение составляет лесной чернозем Велико-Анадоля, где содержание P_2O_5 органических соединений более 40% от валового количества. В карбонатных горизонтах содержание органического фосфора значительно ниже, чем в гумусовых, а в разрезах №№ 41 и 72 его совершенно не обнаружено.

Процентное содержание органической P_2O_5 в гумусе для гумусовых горизонтов изучаемых почв довольно постоянно (от 0,74 до 0,83%), за исключением слабдеградированного чернозема Стрелецкой степи, где содержание P_2O_5 в гумусе только 0,61%. Таким образом, за исключением этого отклонения наши данные сходны с данными Д. М. Хейфец [11], но отличаются от средних величин содер-

Таблица 1

Основные данные, характеризующие изучаемые почвы

№ разреза	Место разреза	Название почвы	Мощность гумусового горизонта в см	Глубина вскапывания в см	Глубина вспашки в см	Содержание гумуса (по Тюрюня) в проц.	Содержание CO ₂ в проц.	РН водной суспензии	Содержание обменных оснований в милл. на 100 г почвы	
									Ca	Mg
2	Стрелецкая степь. Водораздельное плато. Целинная ковыльно-разнотравная степь	Чернозем типичный, пылевато-среднесуглинистый	85	85	0-10 110-120	10,80 0,94	— 8,46	6,88 9,13	33,90 —	5,59 —
41	Стрелецкая степь. Водораздельное плато. Естественный, редкий дубовый лес	Чернозем слабоподзоленное, пылевато-среднесуглинистый	75	91	0-10 170-180	9,46 0,50	— 9,80	5,96 8,20	37,31 —	5,60 —
63	Каменистая степь. Водораздельное плато. Целинная, ковыльно-разнотравная степь	Чернозем типичный, среднесуглинистый (обыкновенный), тяжелосуглинистый	60	60	0-10 60-0	10,75 1,12	— 6,74	7,03 8,13	41,69 —	8,06 —
15	Каменная степь. Водораздельное плато. Искусственная лесная посадка (дубово-ясеневое насаждение) 50-летнего возраста	Чернозем типичный, среднесуглинистый, тяжелосуглинистый под влиянием леса	65	84	0-10 90-100	11,81 1,24	— 8,63	6,92 8,08	44,67 —	8,58 —
4—н	Велико-Авдоль. Начало очень пологого склона. Целинно-степной участок среди леса	Чернозем среднесуглинистый, внесоковскипашущий, тяжелосуглинистый	77	50	0-10 100-110	10,73 1,03	— 8,51	7,07 7,93	61,84 —	9,00 —
72	Велико-Авдоль. Начало очень пологого склона. Искусственное дубовое насаждение 70-летнего возраста	Чернозем среднесуглинистый, высококислотный, тяжелосуглинистый (измененный под влиянием леса)	72	42	0-10 130-140	12,31 0,54	— 7,91	5,97 8,26	46,08 —	8,86 —

Результаты определения фосфора в вытяжках

Место разреза	№ разреза	Глубина	Валовое содержание P_2O_5 в проц. к почве, высуш. при 105°	P_2O_5 , извлеченный вытяжками в проц. к валовому содержанию P_2O_5					Содержание P_2O_5 фосфорно-органич. соединений в гумусе (в проц.)
				0,2 NH_4CO_3		0,5 $NC_3SH_2O_2$	1,0 $NHCl$	$HNO_3 + HCl$	
				орга. инч.	связан. с P_2O_5				
Стрелецкая степь	2	0—10	0,298	30,21	16,64	4,50	9,45	10,93	0,83
		110—120	0,111	10,12	8,28	17,27	18,46	45,25	1,17
	41	0—10	0,202	28,85	25,50	2,68	9,39	31,89	0,61
Каменная степь	63	0—10	0,274	28,83	15,68	6,58	11,13	38,95	0,74
		60—70	0,202	5,39	13,13	18,18	21,21	41,07	0,98
	65	0—10	0,310	30,31	21,84	4,90	13,37	29,87	0,80
Велико-Анадоль	4—II	0—10	0,256	30,87	12,68	9,92	9,92	36,93	0,74
		100—110	0,178	6,92	10,77	19,62	27,71	35,40	1,17
	72	0—10	0,236	40,51	14,89	5,96	9,53	30,38	0,78
		130—140	0,158	нет	14,10	22,21	29,05	34,17	—

жания P_2O_5 в гумусе различных видов черноземов, приводимых П. А. Дмитриенко [6], который дает более высокие цифры (от 1,13 до 1,17%). В гумусе глубоких горизонтов содержание P_2O_5 более высокое—от 0,98 до 1,17%, что подтверждают данные, приводимые Д. М. Хейфец.

Наблюдается заметное различие в содержании P_2O_5 , связанного с полуторными окислами. Все почвы под лесом содержат заметно большее количество этих форм соединений фосфора, в сравнении с соответствующими степными черноземами, как в гумусовых, так и в карбонатных горизонтах. Это явление отмечено уже К. В. Веригиной [1], изучавшей формы соединений фосфора в почвах Стрелецкой степи. Наши данные не только подтверждают это, но и показывают, что под влиянием сравнительно кратковременного воздействия леса происходит заметное накопление соединений фосфора с полуторными окислами.

Карбонатные горизонты всех изучаемых почв характеризуются высоким содержанием P_2O_5 , связанного с кальцием как в форме фосфатов, так и апатитов. При этом почвы под лесом содержат в карбонатных горизонтах заметно большее количество соединений фосфора с кальцием, чем соответствующие степные черноземы.

Рассматривая содержание P_2O_5 в остатке почвы после обработки углекислой щелочью, уксусной и соляной кислотами, мы видим, что количества P_2O_5 , извлекаемые царской водкой из остатков степных черноземов, больше, чем из почв под лесом. При этом в остатке после обработки царской водкой во всех случаях не было обнаружено даже следов P_2O_5 .

Таким образом, распределение P_2O_5 по различным группам соединений в черноземах степных, с одной стороны, и черноземах, измененных лесной растительностью, с другой, очень различно. Считая, что до насаждения леса современные лесные почвы Каменной степи и Велико-Анадоля были идентичны соответствующим степным черноземам, мы можем отнести изменения в относительном содержании отдельных групп соединений фосфора за счет влияния леса. Относительно происхождения слабоподзоленного чернозема Стрелецкой степи, могут быть сомнения и том—образовался ли он путем деградации и метаморфоза типичного тучного мощного чернозема, так как в нашем распоряжении нет достаточных данных, позволяющих утверждать это. Однако характер распределения соединений фосфора в горизонтах почв Стрелецкой степи позволяет сравнивать их в этом отношении с почвами Каменной степи и Велико-Анадоля.

Повидимому, благодаря изменившемуся под лесом режиму увлажнения, а также вследствие изменения состава и характера поступления растительного опада, происходит трансформация наиболее прочных соединений фосфора (разлагаемых сильными реактивами). С другой стороны, происходит и частичное разрушение других минералов, входящих в состав почвы, причем освобождается некоторое количество полуторных окислов. Последние вступают в соединение с P_2O_5 , отчасти с освободившимся из прочных минеральных соединений, отчасти поступившим с растительным опадом. Часть мобилизовавшихся подвижных соединений фосфора, вследствие некоторого сдвига pH верхних горизонтов лесных почв в кислую сторону и усилившегося промывания почвенного профиля, выносятся из гумусовых горизонтов и аккумулируется в карбонатных горизонтах, превращаясь в условиях слабощелочной реакции в фосфаты щелочных земель, главным образом $Ca_2(PO_4)_2$. *Неясным остается увеличение содержания в лесных почвах соединений фосфора типа апатитов. Мы склонны отнести полученные результаты за счет несовершенства примененной методики.* Возможно, что при обработке уксусной кислотой образцов карбонатных горизонтов значительная часть кислоты была израсходована на растворение карбонатов, вследствие чего часть фосфатов щелочных земель осталась в почве и была извлечена последующей соляпокислрой вытяжкой.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что, повидимому, все указанные превращения захватывают, главным образом, минеральные соединения фосфора, так как количество P_2O_5 , фосфорно-органических соединений не претерпевает заметных изменений, если сравнивать соответствующие лесные и степные почвы.

Несмотря на признаваемое нами несовершенство примененной методики, полученные данные о формах соединений фосфора позволяют сделать некоторые предварительные выводы.

В ы в о д ы

1. В гумусовых горизонтах почвы под лесом, в сравнении с соответствующими степными черноземами, происходит накопление соединений фосфора с полуторными оксидами.

2. В карбонатных горизонтах почвы под лесом увеличивается количество P_2O_5 , связанного с кальцием, главным образом, в виде трехкальциевого фосфата.

3. Увеличение содержания указанных соединений фосфора в почвах под лесом происходит за счет трансформации наиболее прочных минеральных соединений фосфора, входящих в состав минералов почвообразующей породы. Распад фосфорноорганических соединений при этом, по видимому, не происходит или он происходит в незначительной степени.

4. Полученные автором данные позволяют считать, что даже кратковременное воздействие леса на чернозем производит заметные изменения в формах связи фосфора с другими компонентами почвы. При этом характер распределения фосфора по группам соединений в почвах под искусственными лесонасаждениями аналогичен таковому в слабооподзоленном черноземе под естественным лесом.

Уральский филиал
АН СССР

Поступило 16 I 1953 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веригина К. В. О содержании, подвижности и формах соединений фосфора в черноземах Стрелецкой степи. Тр. Центр. черноз. гос. заповедника, вып. 2, 1948.
2. Вернадский В. И. О земных алюмофосфорных и алюмосерных аналогах каолиновых алюмосиликатов. Доклады Академии наук СССР, т. 18, № 4—5, 1938.
3. Давтян Г. С. К вопросу о разделении основных групп почвенных фосфатов. Проблемы советского почвоведения, сборник 7, 1939.
4. Давтян Г. С. Фосфорный режим почв Армении, Ереван, 1946.
5. Давтян Г. С. и Мацкевич В. Б. К вопросу об определении валового содержания P_2O_5 в почве. Почвоведение, 4, 1941.
6. Димитренко П. А. О содержании фосфора в органической части почвы. Почвоведение, 8, 1948.
7. Карпинский Н. П. и Замятина В. Б. Фосфорная кислота, связанная с органическим веществом почвы. Труды ВИУАА, вып. 2, 1933.
8. Надеждин Б. В. О влиянии лесных насаждений на черноземные почвы, диссертация, 1948 (рукопись хранится в ЛГУ).
9. Соколов Д. Ф. Определение органически связанного фосфора в почвах. Почвоведение, 3, 1940.
10. Тюрин И. В. Методика анализа для изучения группового состава гумуса в почвах. Тр. Почв. ин-та АН СССР, т. 38, 1951.
11. Хейфец Д. М. Методика определения и содержания минеральных и органических соединений фосфора в некоторых почвах Советского Союза. Почвоведение, 2, 1948.
12. Чириков Ф. В. К методике учета форм фосфатов в почвах. Химизация социалистического земледелия, 10—11, 1939.
13. Чириков Ф. В. и Волкова В. В. Превращение фосфорной кислоты фосфорноислых удобрений в основных типах почв. Почвоведение, 4, 1939.

14. Chamnad R. Les formes du phosphore dans le sol. Nature et rôle des complexes phospho-humiques. Annales agronomiques, 14, № 1, 1944.
15. Dyer W. J. and Wrenshall C. I. Organic phosphorus in soils: 1. The extraction and separation of organic phosphorus compounds from soil. Soil Science, vol. 51, № 2, 1941.
16. Williams R. The solubility of soil phosphorus and other phosphorus compounds in sodium hydroxide solutions. Journal of agricultural science, vol. 27, № 2, 1937.
17. Von Wrangell A. und Koch E. Die Löslichkeitgesetze in Anwendung auf tetraide Phosphate. Landwirtschaftliche Jahrbucher, B. 63, H. 5, 1926.
18. Wrenshall C. Z. and Dyex W. J. A. method for the determination of organicphosphorus in soils and soil extracts. Canadian Journal of research vol. 17, № 7, 1939

Բ. Վ. Նաղեժյից

ԱՐՇԵՍՏԱԿԱՆ ԱՆՏԱՌԻ ՏԱԿ ՀՈՂԻ ՖՈՍՖՈՐԱԿԱՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՒԻՄԱՆ ՄԻ ՓՈՐՋ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողի ֆոսֆորական միացութիւնների ուսումնասիրման համար հեղինակն օգտագործել է Գ. Ս. Գալթյանի մեթոդիկան [3, 4], որոշ տեխնիկական փոփոխութիւններ մտցնելով այդ մեթոդիկայի մէջ:

Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս անելու հետևյալ եզրակացութիւնները.

1. Անտառի տակ եղած հողերի հումուսային շերտում, համեմատած տափաստանային համապատասխան սեահողերի հետ, տեղի է ունենում ֆոսֆորի երկաթական և ալյումինիումական միացութիւնների կուտակում:

2. Անտառի տակի հողերի կարբոնատային հորիզոնում ավելանում է կայքիտւ և հետ P_2O_5 -ի միացութիւնների, զլխավորապես եռակայքիտւ ֆոսֆատի քանակութիւնը:

3. Ֆոսֆորի հիշյալ միացութիւնների պարունակութիւնը ավելացումը անտառի տակ եղած հողերում տեղի է ունենում ապաստարոյացնող միներալների կազմի մէջ մտնող ֆոսֆորի կայուն միացութիւնների տրանսֆորմացիայի հազվին: Ֆոսֆորի օրգանական միացութիւնների քայքայումը այս դեպքում, քստ երևույթին, տեղի է ունենում, կամ թե տեղի է ունենում աննշան չափով:

4. Հեղինակի կողմից ստացված տվյալները թույլ են տալիս եզրակացնել, որ անտառի հույնիսկ ոչ երկարատե ազդեցութիւնը սեահողի վրա պայմանավորում է հողի ֆոսֆորական միացութիւնների նկատելի ձևափոխումներ: Ըստ որում ֆոսֆորական միացութիւնների տարարաշխուժութիւնը քստ լսմբերի՝ արհեստական անտառի տակ եղած հողերում հման է այդ տարարաշխմանը բնական անտառի տակի թույլ պոզողացած սեահողերի մէջ: