

УДК 631.417.7

А. П. ЛЕШКОВ, А. Я. ЖЕЖЕР, Н. В. ИЩЕНКО

ФОСФАТЫ В СТЕПНЫХ ПОЧВАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Показано, что для каждого почвенного типа и подтипа характерна специфичность в содержании валовых форм фосфора и его изменений по генетическим горизонтам. Вниз по профилю во всех почвах наблюдается увеличение минеральных и уменьшение органических фосфатов. Количество органических фосфатов находится в прямой зависимости от содержания гумуса.

При определении плодородия почвы величина содержания фосфора имеет существенное значение; ряд авторов [1, 2, 4, 5] выделяют ее как основной фактор. Эффективность удобрений в условиях Алтайского края в зависимости от обеспеченности почв подвижными формами элементов питания изучена очень слабо, что затрудняет практическое использование материалов агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий. В большей степени это касается использования данных по содержанию подвижных форм фосфора в почве.

Исследования с 1965 по 1973 гг. проводили на основных почвах Алтайского края: южном, выщелоченном, обыкновенном, оподзоленном черноземах и каштановой и темно-серой лесной почвах. Нами использованы материалы крупномасштабного агрохимического картирования почв сельскохозяйственных угодий края, проведенного Барнаульской, Бийской и Алейской агрохимическими лабораториями. Для характеристики почв было заложено 66 разрезов с равномерным размещением их по почвенно-климатическим зонам в пределах Алтайского края. Анализы проведены в Барнаульской краевой агрохимической лаборатории по методикам, утвержденным Государственной агрохимической службой. Регрессионный и корреляционный анализ данных выполнен на электронно-вычислительной машине ЕС-1020 по программе ПРА-3 [8].

В результате установлено, что содержание валовых форм фосфора и его изменений по генетическим горизонтам различных типов и подтипов почв весьма различно (табл. 1). Средние данные (табл. 1) показывают, что содержание валового фосфора во всех исследованных почвах уменьшается с глубиной. Так, в каштановой почве содержание валового фосфора в гор. А составляет 1204 мг/кг почвы, а в гор. С оно уменьшается до 745 мг. В основных почвах, находящихся в производстве, количество валового фосфора увеличивается с увеличением содержания гумуса. Более богатые гумусом почвы — обыкновенный и оподзоленный черноземы — содержат в гор. А наибольшее количество валового фосфора (табл. 1). В этих почвах содержание фосфатов с глубиной изменяется плавно. Результаты корреляционного анализа данных выявляют достоверную связь между содержанием гумуса и валового фосфора в пахотном и подпахотном слое коэффициент корреляции (0,4—0,6, достоверен при $P=0,95$).

Исследованные почвы различаются также и по фракционному составу фосфатов. Наибольшее количество минеральных фосфатов содержится в каштановой почве и южном черноземе (68 и 62% соответственно), которые весьма бедны гумусом. В почвах, имеющих более высокое

содержание гумуса, отмечается повышенное содержание органических фосфатов и уменьшение минеральных. Так, в оподзоленном черноземе минеральные фосфаты составляют только 43%, а органические около 57%.

Вниз по профилю наблюдается во всех почвах увеличение минеральных и уменьшение органических фосфатов. При этом органические фосфаты находятся в прямой зависимости от содержания гумуса. В оподзоленном черноземе, в котором уменьшение содержания гумуса по генетическим горизонтам происходит более плавно, содержание органических фосфатов изменяется незначительно, и в нижних горизонтах оно почти

Таблица 1

Запасы и фракционный состав валового фосфора в различных почвах Алтайского края (метод Чанга и Джексона)

Форма	Горизонт	Почва каштановая	Чернозем			
			южный	обыкновенный	выщелоченный	оподзоленный
Общий фосфор, мг/кг	A	1204	1116	1705	1552	2350
	B	1061	1076	1545	1401	2295
	BC	977	1002	1385	1186	1650
	C	745	993	1025	Не опр.	1580
В том числе минеральный, % от общего	A	68	62	46	72	43
	B	62	67	50	70	46
	BC	71	70	50	70	42
	C	77	70	60	Не опр.	53
Органический, % от общего	A	32	38	54	28	57
	B	38	33	50	30	54
	BC	29	30	50	30	58
	C	23	30	40	Не опр.	47

такое же, как и в верхних. В каштановой почве органических фосфатов в нижних горизонтах содержится значительно меньше (табл. 1).

Для характеристики почв по содержанию запасов подвижных форм фосфатов нами были обобщены материалы агрохимического обследования пахотных угодий Алтайского края, проведенного Государственной агрохимической службой.

Из данных табл. 2 видно, что содержание подвижных фосфатов в пахотных почвах значительно варьирует по почвенно-климатическим зонам. Обращает на себя внимание небольшое содержание подвижных фосфатов в почвах Кулунды и предгорных районов, где большая часть пашни по обеспеченности фосфатами относится к третьему классу и ниже. Из данных табл. 3 видно, что содержание подвижных фосфатов зависит от типа и подтипа почвы и увеличивается от светло-каштановых к черноземам и темно-серым лесным почвам. По-видимому, имеется связь между средним содержанием подвижного фосфора в почве и варьированием его количества.

Во всяком случае видно, что в каштановых почвах с малым содержанием подвижного фосфора коэффициент варьирования резко возрастает и превышает 35%. Величины коэффициента варьирования и среднего квадратического отклонения весьма интересны в том отношении, что позволяют судить до некоторой степени о пестроте плодородия почв зоны и дают возможность рассчитать количество образцов, по результатам анализа которых можно судить с известной вероятностью о фосфатном потенциале почвы.

Выявленная закономерность в содержании подвижных фосфатов в пахотном слое в зависимости от типа или подтипа почвы подтверждает-

ся при определении среднего содержания подвижных фосфатов по почвенно-климатической зоне (табл. 3). Так, в Западно-Кулундинской зоне среднее содержание подвижных фосфатов близко к содержанию их в основных почвах зоны — каштановой и южном черноземе, в Бийско-Чумышской — к содержанию их в оподзоленном черноземе и т. д. Другими словами, на обеспеченность подвижными формами фосфатов пахотного слоя того или иного участка влияет основной тип или подтип почвы, преобладающий в почвенном комплексе. Об этом же говорят показатели

Таблица 2

Содержание подвижного фосфора в почвах Алтайского края (метод Чирикова)

Почвенно-климатическая зона*	Обследованная площадь, %	По классам обеспеченности, % от обследованной площади						Средний класс обеспеченности
		<2	2—5	5—10	10—15	15—20	>20	
		I	II	III	IV	V	VI	
Западно-Кулундинская	81,3	Нет	0,8	42,0	36,7	13,8	6,7	3,8
Восточно-Кулундинская	72,3	0,1	1,4	34,0	40,5	19,7	4,3	3,9
Южно-Приалейская	88,2	0,4	2,8	15,6	28,4	43,7	9,1	4,4
Северо-Приобская	86,2	0,2	1,8	22,4	40,7	25,3	9,6	4,2
Южно-Приобская	99,6	0,5	2,9	36,9	42,7	15,0	2,0	3,7
Бийско-Чумышская	99,1	Нет	0,6	5,8	22,7	43,1	27,8	4,9
Присалаирская	87,1	1,0	6,5	17,8	35,7	26,6	12,4	4,2
Приалтайская	86,3	0,8	14,1	45,2	29,6	9,3	1,0	3,4
Алтайская	82,9	1,7	7,6	30,1	34,6	19,4	6,6	3,8
По краю	86,7	0,4	3,5	28,3	34,8	23,9	9,1	4,1

* Подразделение территории края на почвенно-климатические зоны проведено по материалам исследований Алтайской почвенно-агрохимической комплексной экспедиции при кафедре агрохимии АСХИ.

Таблица 3

Среднее содержание подвижного фосфора (метод Чирикова) и его варьирование в почвах

Почвенно-климатическая зона	Среднее содержание подвижных фосфатов, $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$, мг/100 г почвы	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент варьирования
Западно-Кулундинская	11,9±0,006	3,885	32,6
Восточно-Кулундинская	12,2±0,098	3,939	32,3
Южно-Приалейская	14,7±0,006	4,716	32,1
Северо-Приобская	13,7±0,007	4,596	33,5
Южно-Приобская	11,3±0,001	3,654	32,3
Бийско-Чумышская	17,9±0,001	4,408	24,6
Присалаирская	13,8±0,009	4,539	32,9
Приалтайская	9,4±0,004	2,389	25,4
Алтайская	11,9±0,008	4,084	34,3
По краю	13,0±0,002	4,382	32,8

коэффициента варьирования, которые очень близки по своим значениям к коэффициентам варьирования по почвенному типу или подтипу (табл. 4).

Для выяснения зависимости содержания подвижных фосфатов, определенных по методу Чирикова, Бурриеля и Гернаудо от физико-химических характеристик, были взяты образцы почвы из гор. А и В 66 разрезов различных типов и подтипов, наиболее распространенных в крае. В названных образцах были определены механический состав (по Качинскому) — x_1 , сумма поглощенных оснований (по Гедройцу) — x_2 , гумус (по Тюрину) — x_3 , общий азот (по Гинзбург и др.) — x_4 , общий фос-

фор (по Гинзбург и др.) — x_5 , фракционный состав фосфатов (по Чангу и Джексону), содержание минерального фосфора — x_6 , содержание органического фосфора — x_7 , а также подвижные фосфаты по Чирикову, Бурриелю и Гернандо. Последующее определение P_2O_5 проведено в модификации Дениже. Полученные данные были подвергнуты регрессионному и корреляционному анализу.

Для анализа результатов корреляционного анализа нами использована методика Терентьева [7]. Применение этой методики позволило установить, что по парным коэффициентам корреляции связь между содержанием подвижных фосфатов со всеми аргументами обрывается уже при значении $r=0,3$ в гор. А и $r=0,1-0,2$ в гор. В. Эта довольно

Таблица 4.

Содержание подвижных фосфатов в пахотном слое почвы (метод Чирикова)

Почва	Число образцов, n	Среднее содержание, $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$, мг/100 г почвы	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент варьирования	Мода, M
Светло-каштановая	500	7,08 ± 0,110	2,47	35,2	7,0
Каштановая	500	8,00 ± 0,127	2,85	35,6	9,0
Южный чернозем	500	11,2 ± 0,138	3,10	27,7	13,0
Обыкновенный чернозем	500	14,0 ± 0,141	3,16	15,7	15,0
Выщелоченный чернозем	500	13,5 ± 0,142	3,18	23,6	15,0
Оподзоленный чернозем	500	21,1 ± 0,07	2,60	12,2	17,0
Темно-серая лесная	500	16,9 ± 0,26	4,50	14,2	17,0

слабая связь говорит о том, что на содержание подвижных фосфатов влияют и другие показатели, не учтенные в нашей работе.

На основании методики Терентьева можно считать, что наиболее тесные связи наблюдаются между содержанием гумуса и суммой поглощенных оснований, общим азотом и общим фосфором. Эта плеяда типа «звезда» [7] указывает на то, что все названные величины органического происхождения и зависят от количества гумуса в почве. В гор. В центр этих связей смещается на общий азот, что вполне понятно, так как гумуса в нем значительно меньше, поэтому сумма поглощенных оснований и количество общего фосфора зависят от содержания всего органического вещества в разложившемся и неразложившемся виде.

При устранении влияния других аргументов на парные связи, т. е. при оценке связей по частным коэффициентам корреляции, получается то же самое, но наиболее тесные связи (плеяды) вырисовываются и пропадают на более низком уровне порядка $r=0,3$. Сохраняются только связи количества гумуса и общего азота, что вызвано самой методикой определения первого.

Для определения степени влияния взятых физико-химических характеристик почв на содержание подвижных фосфатов проведен регрессионный анализ, при котором за основу были взяты линейные уравнения. В масштабном виде они представили собой следующее:

Горизонт А

Определение P_2O_5 по Чирикову

$$y = 0,16x_1 - 0,19x_2 + 0,051x_3 - 0,068x_4 + 0,422x_5 - 0,037x_6 - 0,156x_7$$

Определение P_2O_5 по Бурриелю и Гернандо

$$y = -0,224x_1 + 0,251x_2 - 0,348x_3 + 0,207x_4 + 0,261x_5 + 0,367x_6 - 0,355x_7$$

Горизонт В

Определение P_2O_5 по Чирикову

$$y = 0,091x_1 + 0,165x_2 + 0,099x_3 - 0,479x_4 + 0,154x_5 + 0,218x_6 + 0,234x_7$$

Определение P_2O_5 по Бурриелю и Гернандо

$$y = 0,072x_1 + 0,033x_2 - 0,089x_3 + 0,132x_4 + 0,087x_5 + 0,069x_6 - 0,046x_7$$

Во всех приведенных уравнениях приняты обозначения: y — содержание подвижных фосфатов, x_1 — механический состав почвы (процент физической глины), x_2 — сумма поглощенных оснований, x_3 — содержание гумуса, x_4 — общего азота, x_5 — общего фосфора, x_6 — минерального фосфора, x_7 — органического фосфора. Степень влияния каждого из изучаемых аргументов на содержание подвижных фосфатов установлена по уровням регрессии в масштабированном виде. При определении подвижных фосфатов по Чирикову в гор. А доминирующее влияние оказывает содержание валового фосфора в почве, влияние всех остальных аргументов значительно ниже. В гор. В величина подвижных фосфатов в большей степени зависит от общего азота. При определении подвижных фосфатов по Бурриелю и Гернандо в гор. А влияние всех аргументов более равномерное, хотя на общем фоне выделяется значение содержания минерального фосфора. В гор. В, так же как и при определении P_2O_5 по Чирикову, основное влияние на величину подвижных фосфатов оказывает содержание органического вещества в почве — общего азота.

Определение коэффициента множественной корреляции и коэффициента детерминации показало, что взятые для изучения аргументы (x) не оказывают исчерпывающего влияния на количество подвижных фосфатов (y). Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что только

Таблица 5

Характеристика множественных связей и оценка уравнений регрессии

Метод определения P_2O_5	Коэффициент множественной детерминации	Коэффициент множественной корреляции	Остаточная дисперсия, уравнение в масштабированном виде	Остаточная дисперсия, уравнение в натуральном виде	F_1	F_2
Горизонт А						
По Чирикову	0,209	0,337	0,9	4873,7	1,128	2,191
По Бурриелю и Гернандо	0,297	0,469	0,791	558,9	1,28	3,856
Горизонт В						
По Чирикову	0,218	0,339	0,9	4564,2	1,129	2,112
По Бурриелю и Гернандо	0,031	0,000	1,098	194,0	0,924	0,277

20,9% фосфатов, определенных по Чирикову, и 29,7%, определенных по Бурриелю и Гернандо, зависят от исследуемых аргументов. Остальная доля влияния на количество подвижных фосфатов падает на аргументы, не включенные для изучения, к которым в первую очередь следует отнести водный и температурный режим почвы, уровень агротехники, степень химизации, окультуренность пахотных угодий. Если при этом рассмотреть частные коэффициенты детерминации, то они подтверждают вывод, сделанный по множественным коэффициентам. Значительная часть (15,4%) подвижных фосфатов, определенная по методу Чирикова, зависит от содержания общего фосфора, на остальные изучаемые аргументы приходится только 5,5%. При использовании метода Бурриеля и Гернандо 11,9% подвижных фосфатов зависит от наличия фракции минеральных фосфатов, определенных по Чангу и Джексоу, а на остальные аргументы приходится 17,8%.

Выводы

1. Каждому почвенному типу или подтипу соответствует определенное для него содержание валовых фосфатов. Во всех почвах запасы валового фосфора уменьшаются вниз по профилю. Более богатые почвы по содержанию гумуса отличаются более высоким содержанием валового фосфора. Между содержанием гумуса и валового фосфора установлена прямая корреляционная зависимость.

2. Почвы Алтайского края в значительной степени отличаются друг от друга по фракционному составу валового фосфора, при этом в почвах, богатых гумусом, преобладают органические фосфаты, в более бедных — минеральные. В глубь по профилю происходит увеличение минеральных и уменьшение органических фосфатов. Содержание органических фосфатов находится в прямой зависимости от содержания гумуса.

3. На содержание подвижных форм фосфатов в пахотном слое почвы любого территориального выдела преобладающее влияние оказывают генетические свойства почвы, входящей в почвенный комплекс данного поля, массива, почвенно-климатической зоны.

4. Во всех основных почвах Алтайского края установлены высокие коэффициенты варьирования содержания подвижных фосфатов.

5. На содержание подвижных фосфатов в пахотном слое, определяемых по методу Чирикова, доминирующее влияние оказывает валовое содержание фосфора, на количество подвижных фосфатов, определяемых по методу Бурриеля и Гернандо, — минеральных фосфатов.

6. Исследованные аргументы — механический состав почвы, сумма поглощенных оснований, содержание гумуса, валового фосфора, валового азота, минеральных и органических фосфатов — не оказывают определяющего влияния на количество подвижных фосфатов в пахотном и подпахотном слое почвы. В соответствии с коэффициентом множественной детерминации на долю влияния этих факторов приходится 20,9% при определении по методу Чирикова и 29,7% при определении по методу Бурриеля и Гернандо.

Литература

1. Аскинази Д. Л. О формах фосфорных соединений в почве. В кн.: Памяти акад. Прянишникова. Изд. АН СССР, 1950.
2. Горшенин К. П. Фосфор в лесостепных и степных районах Сибири. Тр. ОмСХИ, т. 20, 1941—1946.
3. Соколов А. В. Агрохимия фосфора. Изд. АН СССР, 1950.
4. Рабуха М. К. О зависимости количества подвижной фосфорной кислоты от мех. состава и агрохимических свойств почвы. Изв. АН СССР. Сер. с.-х. наук, № 4, 1964.
5. Хейфец Д. М. Запасы фосфора в различных почвах Советского Союза. Тр. Почв. ин-та им. Докучаева, т. 25, 1950.
6. Чириков Д. В. Агрохимия калия и фосфора. Сельхозиздат, 1956.
7. Герентьев П. В. Дальнейшее развитие метода корреляционных плеяд. В сб.: Применение математических методов в биологии. М., 1960.
8. Дукарский О. М. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ «Минск-22». М., Статистика, 1971.

Алтайский НИИ
земледелия и селекции
сельскохозяйственных культур
г. Барнаул

Дата поступления
20.X.1975 г.

A. P. LESHKOV, A. Ya. ZHEZHER, N. V. ISHCENKO

PHOSPHATES IN STEPPE SOILS OF ALTAI TERRITORY

It has been shown that each soils type and subtype are characterized by a specific content of phosphorus forms and their changes in different genetic horizons. Downward the profile an increase of mineral and decrease of organic phosphates are observed in all soils. The quantity of organic phosphates is directly related to humus content.