

## ФИЗИКА ПОЧВ

УДК 541.183 : 626+631.8

Х. АРТЫКБАЕВА, С. С. ХАМРАЕВ, Ф. НИЗАМОВА,  
К. С. АХМЕДОВ

ДИФФУЗИЯ АНИОНОВ В ТАКЫРНЫХ ПОЧВАХ,  
ОСТРУКТУРЕННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАМИ

Приведены результаты исследований диффузии анионов в оструктуренной такырной почве полиэлектролитом К-4.

Диффузия неадсорбирующихся анионов в оструктуренных почвах подчиняется второму закону Фика. Величина коэффициента диффузии зависит от размеров почвенных частиц и осмотического перемещения молекул воды через почвенные капилляры. Накопление хлорид- и сульфат-анионов в оструктуренных почвах меньше, чем в неоструктуренных, что вызвано изменением внутриагрегатных и межагрегатных пор в результате структурообразования.

Обработка почвы водорастворимыми полимерами (полиэлектролиты и др.) занимает важное место среди мероприятий, направленных на улучшение водопропускности структуры, водно-физических, технологических и других свойств почвы. При этом параметры почвы, определяющие ее сопротивление движению ионов, претерпевают коренные изменения [1—2], что в конечном итоге должно оказывать влияние на процесс диффузии анионов в ней. Последний в литературе до сих пор еще не рассмотрен. В настоящей работе рассматриваются результаты исследования закономерностей диффузии анионов оструктуренных полиэлектролитами такырных почвах.

Исследованию подвергли легкоглинистую такырную почву, в которой содержание фракции  $< 0,01$  мм составляет 61%. Солевой состав ее водной вытяжки был следующий:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  — 0,073,  $\text{CaSO}_4$  — 0,029,  $\text{MgSO}_4$  — 0,006,  $\text{MgCl}_2$  — 0,036 и  $\text{NaCl}$  — 0,010. В состав поглощающего комплекса этой почвы входят (мг-экв)  $\text{Ca}^{++}$  — 7,53,  $\text{Mg}^{++}$  — 3,22,  $\text{K}^+$  — 0,76,  $\text{Na}^+$  — 4,78, сумма — 16,33. В процентах от суммы катионы соответственно составляют 45,93; 20,15; 4,66 и 28,99. Почву оструктурировали полиэлектролитом К-4 (продукт неполного гидролиза полиакрилонитрила едким натром в мягких условиях [3]) в дозировке 0,15% от веса почвы, т. е. оптимальной концентрацией, позволяющей получить до 90% водопропускных агрегатов размером  $> 0,25$  мм по сравнению с 14% в исходной почве [4—5]. Пропустив оструктуренную почву через набор сит, получили фракции с размером частиц  $< 0,25$ ;  $> 0,25$ —0,5;  $> 0,5$ —1,0;  $> 1,0$ —2,0;  $> 2,0$  мм. Диффузию анионов изучали на почвах без фракционирования и после него.

С практической точки зрения представляет интерес изучение диффузии  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  и  $\text{PO}_4^{--}$ , так как весь набор минеральных удобрений в отношении состава анионной части ограничивается именно указанными

ионами. Нами изучена диффузия анионов  $\text{Cl}^-$  из солей  $\text{NaCl}$  и аниона  $\text{SO}_4$  из солей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Исследования проводили при влажности, соответствующей полной, и при влажности, составляющей 60% от полной влагоемкости. Продолжительность опыта составляла 30 суток при  $30^\circ$  в условиях термостатирования.

Существуют различные методы исследования диффузии анионов в почвах [6]. Нами был использован метод снятия слоев в модификации Комаровой [6]. В специальные металлические трубки (внутренний диаметр 2,5, высота 20 см) с прорезами для послойного отбора образцов помещали почву с определенной влажностью (16,2 и 27,0%, соответствующей 60% от полной и полной влагоемкости) и структурой, а в нижнюю часть ее — слой тонко измельченной сухой соли, которую равномерно уплотняли. Во избежание потери влаги в процессе опыта систему герметизировали путем парафинирования внутренней и внешней стенок трубки в местах прорезей. Для суждений о влиянии структурного состояния почвы на передвижение воды и анионов мы использовали данные опытов, при которых сохранялась герметичность системы. Последнюю контролировали постоянством веса заполненной трубки до и после опытов.

Анализ водной вытяжки и содержание влаги проводили на пробах, взятых из каждого слоя. Результаты опытов использовали для расчета коэффициента диффузии по видоизмененному уравнению гидродиффузии Фика

$$D = \frac{0,1086}{t \cdot \text{tg } \alpha},$$

где  $D$  — коэффициент диффузии,  $t$  — время,  $\text{tg } \alpha$  — угловой коэффициент прямой зависимости  $\lg c$  от  $x^2$  (где  $c$  — концентрация диффундирующего иона, найденная в данном слое почвы,  $x$  — расстояние от места внесения соли). Движение воды к месту внесения соли в почвах наблюдали в многочисленных работах [7—8].

В табл. 1 приведены данные наших опытов по передвижению воды и аниона  $\text{Cl}^-$  из хлористого натрия в оструктуренных и неструктуренных такырных почвах при различной их влагоемкости, а также значения коэффициента диффузии, вычисленные на их основе. Из этих данных видно, что независимо от степени влагоемкости как в оструктуренных, так и в неструктуренных почвах наблюдается передвижение воды в слой почвы, примыкающие к солевому экрану. Однако скорость ее миграции в оструктуренных почвах больше, нежели в неструктуренных. Наибольшее понижение содержания воды наблюдается на расстоянии 14—28 см от места внесения соли.

Так как система герметична, такое изменение содержания влаги в верхних слоях почвы может произойти только лишь в результате ее миграции в нижние прилегающие к солевому экрану слои. Из данных табл. 1 также видно, что колебания влажности по слоям, обусловленные движением влаги, становятся более равномерными при переходе от неструктуренных почв к оструктуренным.

Обратную картину наблюдаем в изменении скорости передвижения хлор-ионов из соли хлористого натрия. При прочих равных условиях диффузия хлор-ионов через оструктуренную почву идет медленнее, чем через неструктуренную почву. Об этом свидетельствует резкое уменьшение концентрации хлор-иона с увеличением расстояния от места внесения соли в оструктуренных почвах, а также уменьшение значения коэффициента диффузии. Это может быть объяснено изменением соотношения внутриагрегатных и межагрегатных пор в почве в результате изменения ее дисперсного состава в процессе структурообразования (табл. 2), что в свою очередь влияет на осмотическое передвижение мо-

Передвижение аниона  $\text{Cl}^-$  из  $\text{NaCl}$  в такырных почвах

Расстояние (х) от места внесения соли, см	Неоструктуренная				Оструктуренная			
	влажность, %	концентрация $\text{CCl}^-$ , мг/100 г почвы	$l_{gc}$	$D$ , см <sup>2</sup> /сек	влажность, %	концентрация $\text{CCl}^-$ , мг/100 г почвы	$l_{gc}$	$D$ , см <sup>2</sup> /сек
При 60% от полной влагоемкости								
2	16,6	2065,0	3,315	$4,75 \cdot 10^{-8}$	16,6	2450,0	3,389	$3,83 \cdot 10^{-8}$
4	13,5	1498,7	3,166		15,8	1909,0	3,280	
6	15,0	1362,6	3,134		16,7	1369,9	3,136	
8	16,1	969,5	2,986		17,3	828,7	2,918	
10	17,0	680,8	2,853		16,4	594,3	2,774	
12	19,2	396,7	2,598		18,8	356,5	2,552	
14	16,9	251,2	2,408		15,9	158,8	2,200	
16	16,1	154,1	2,187		14,8	117,6	2,074	
18	14,8	83,0	1,919		13,7	Не опр.		
При полной влагоемкости								
2	25,8	3225,3	3,508	$4,46 \cdot 10^{-8}$	29,5	3020,5	3,480	$3,53 \cdot 10^{-8}$
4	30,0	3518,6	3,546		29,5	2221,2	3,346	
6	26,0	2554,6	3,407		29,8	1664,4	3,220	
8	30,0	1820,9	3,269		24,4	910,0	2,959	
10	27,6	1111,5	3,046		25,4	546,0	2,737	
12	29,7	674,7	2,829		25,6	260,0	2,445	
14	28,7	353,5	2,548		26,0	199,0	2,299	
16	20,0	192,5	2,284		15,1	89,2	1,950	
18	16,6	101,8	2,007			Не опр.		

Таблица 2

Влияние полиэлектrolита К-4 на общую порозность (P), суммарный объем ( $V_{\Sigma}$ ) и объем микро- ( $V_s$ ) и макропор ( $V_{ma}$ ) в такырных почвах \*

Концентрация полиэлектrolита, % от веса почв	P, %	$V_{\Sigma}$	$V_s$	$V_{ma}$
		см <sup>3</sup> /г		
0,00	40	0,247	0,057	0,189
0,03	70	0,784	0,057	0,727
0,06	68	0,842	0,043	0,799
0,15	70	0,893	0,046	0,847

\* Значения  $V_{\Sigma}$ ,  $V_s$  и  $V_{ma}$  вычислены по формуле  $V_{ma} = V_{\Sigma} - V_s$  [9].

лекул воды через почвенные капилляры, идущие в противоположном направлении, чем диффузия хлор-иона; чем больше передвижение воды, тем медленнее диффузия хлор-иона.

Эта же закономерность миграции молекул воды и хлор-иона сохраняется в оструктуренных почвах разного агрегатного состава (табл. 3), но значение коэффициента диффузии аниона по мере уменьшения размеров частиц в пределах от  $>2$  до  $<1>0,5$  мм возрастает, а от  $<0,5$  до  $<0,25$  мм — уменьшается; для почв с размером частиц  $<0,25$  мм значение коэффициента диффузии хлор-иона из хлористого натрия практически остается постоянным. Результаты этих исследований находятся в согласии с данными, полученными на основе анализа содержания хлористого натрия в сухом остатке водной вытяжки почвенных агрегатов.

Следует отметить, что явление диффузии анионов может осложняться внутрпочвенными обменными процессами и вытесняемые из поглощающего комплекса почвы катионы могут оказывать влияние на скорость диффузии анионов, а следовательно, и на величину коэффициента

Таблица 3

Передвижение аниона  $Cl'$  (концентрация  $CCl'$  мг/100 г почвы)  
из  $NaCl$  в оструктуренных такырных почвах разного агрегатного  
состава при влажности, равной 60% от полной влагоемкости

Расстояние (x) от места внесения соли, см	Частицы, мм				
	>2	<2>1	<1>0,5	<0,5>0,25	<0,25
2	2080	3391	2611	2100	2177
4	1901	2697	2496	1672	1585
6	933	1722	1965	1135	1092
8	419	1117	1445	736	692
10	196	810	1092	336	399
12	122	404	735	169	281
14	71	179	404	169	119
16	66	106	257	74	62
Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-8}$ см <sup>2</sup> /сек					
	2,79	3,99	5,58	3,58	3,61

Таблица 4

Передвижение аниона  $SO_4$  (мг/100 г почвы) из солей  $Na_2SO_4$   
и  $(NH_4)_2SO_4$  в такырных почвах при влажности, равной 60%  
от полной влагоемкости

Расстояние (x) от места внесения солей, см	$Na_2SO_4$		$(NH_4)_2SO_4$	
	неоструктуренная	оструктуренная	неоструктуренная	оструктуренная
2	5178	4973	—	—
4	2195	2096	3466	3561
6	1358	1056	—	—
8	862	922	1786	1157
10	706	652	—	—
12	693	607	1776	557
14	652	480	—	—
16	702	465	1786	557
18	852	451	1272	677

диффузии. Однако исследованиями капиллярного передвижения солевых растворов было показано [10], что при оструктурировании почв (серозем) полиэлектролитом К-4 происходит торможение внутрипочвенной реакции между катионами (натрий, соли кальция, магния) поглощающего комплекса почвы. Это дает основание полагать, что в рассматриваемом случае на диффузию анионов катионы поглощающего комплекса не могут оказывать существенного влияния.

В отличие от хлор-ионов диффузия сульфат-ионов из сернокислых солей натрия и аммония не подчиняется второму закону Фика. Это явление обнаруживается при миграции сульфат-ионов как в оструктуренных, так и в неоструктуренных почвах (табл. 4). Однако уменьшение накопления сульфат-ионов на слоях оструктуренных почв по сравнению с неоструктуренными явно выражено.

Таким образом, можно заключить, что диффузия неадсорбирующихся анионов  $Cl'$  в оструктуренных полиэлектролитами почвах подчиняется второму закону Фика, а адсорбирующихся  $SO_4$  — не подчиняется. Это можно объяснить меньшей растворимостью по сравнению с хлоридами сульфатов, образующихся при обмене или при взаимодействии с растворенным кальцием продуктов. Величина коэффициента диффузии зависит от размера почвенных частиц и осмотического перемещения молекул воды через почвенные капилляры. Накопление хлорид- и сульфат-анионов в оструктуренных почвах меньше, чем в неоструктуренных, что вы-

звано изменением внутриагрегатных и межагрегатных пор в результате структурообразования. Это имеет важное практическое значение и может быть использовано в целях предотвращения процессов вторичного засоления в почвах.

#### Литература

1. Артыкбаева Х., Ахмедов К. С. В сб.: Полимерные и гуминовые препараты в народном хозяйстве. Ташкент, «Наука», 1964.
2. Артыкбаева Х. Влияние полиэлектролитов на структурообразование в дисперсиях такыров. Автореф. дис., Ташкент, 1969.
3. Ахмедов К. С., Зайнутдинов С. А. Авт. свидет. № 145597 от 25.1.1962 г.
4. Артыкбаева Х., Ахмедов К. С. Влияние полиэлектролитов на структурообразование такыров и такырных почв. Проблемы освоения пустынь, 1975, № 3.
5. Сидорова Г. М., Артыкбаева Х., Ахмедов К. С. Хлопководство, 1965, № 1.
6. Поляков Ю. А. Диффузия в почвах и методы ее определения. В сб.: Физико-химические исследования почв. «Наука», 1968.
7. Абдуев М. Р. Значение диффузии в миграции солей. Изд. АН УзССР. Сер. биол. и мед. наук, 1962, № 6.
8. Чернов В. А. Количественные закономерности диффузии анионов в почвах. Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, т. 20, 1939.
9. Овчаренко Ф. Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. Киев, Изд. АН УССР, 1961.
10. Низамова Ф., Артыкбаева Х., Хамраев С. С., Ахмедова В., Ахмедов К. С. Капиллярное передвижение растворов в оструктуренных сероземных почвах. Почвоведение, 1975, № 4.

Институт химии  
АН УзССР

Дата поступления  
2.III.1976 г.

Kh. ARTYKBAEVA, S. S. KHAMRAEV, F. NIZAMOVA, K. S. AKHMEDOV

#### DIFFUSION OF ANIONS IN STRUCTURED WITH POLYELECTROLITES SOILS

Results of studying anion diffusion in a structured with K-4 polyelectrolyte takyr soil are presented.

The diffusion of nonadsorbing anions in structured soils obeys the second Fick law. The diffusion coefficient depends on soil particle size and osmotic translocation of water molecules through soil capillaries. Due to changes in inner and inter aggregate pores, during structure formation, the accumulation of chloride and sulphate anions is lower in structured than in structureless soils.