

# ВЕСЦІ

НАЦЫЯНАЛЬнай  
АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

---

СЕРЫЯ  
ХІМІЧНЫХ  
НАВУК

№ 4

АСОБНЫ АДЫТАК



Мінск 1998

УДК 631.438

И. И. ЛИШТВАН, Г. П. БРОВКА, П. И. ДАВИДОВСКИЙ, И. В. ДЕДЮЛЯ

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА СОРБЦИЮ И МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ Cs-137 И Sr-90 В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Подвижность ионов Cs-137 и Sr-90 в торфяных почвах определяется соотношением между ионами, связанными твердой фазой и находящимися в растворе, т. е. величиной их коэффициента распределения  $K_d$  [1—3]. Изменение катионного состава и кислотности торфяных почв приводит к изменению их сорбционных свойств и соответственно подвижности радионуклидов. Цель настоящей работы — исследование влияния добавок различных электролитов на величину коэффициентов распределения  $K_d$  и эффективной диффузии  $D_{эф}$  Cs-137 и Sr-90 в торфяных почвах, а также на динамику выщелачивания радионуклидов из почв торфяного месторождения «Погонянское» в лабораторных и полевых условиях. По мнению авторов, изменение характеристик сорбции радионуклидов почвами можно использовать для снижения поступления радионуклидов непосредственно в растения через удаление их из корнеобитаемого слоя.

Для решения первой задачи использован просеянный низинный осоковый торф с месторождения «Моторово» Пуховичского района Минской области с исходным влагосодержанием  $U_0 = 1,8$  кг/кг, степенью разложения  $R = 40\%$ , зольностью  $A_3 = 15\%$  и диаметром фракций  $d \leq 3$  мм. Характеристики подготовленных образцов приведены в табл. 1, 2. Влагосодержание всех их составило 3 кг/кг, а удельная активность по Cs-137 (табл. 1) и по Sr-90 (табл. 2) —  $1 \cdot 10^5$  Бк/кг, что примерно соответствовало общей удельной активности торфяной почвы с массива «Погонянское», расположенного в 30-километровой зоне. Образцы отличались по очередности внесения радионуклидов и электролитов. В образцы 1—15 вносили одновременно растворенными в дистиллированной воде либо Cs-137, либо Sr-90 и соответствующее для заданной концентрации количество электролитов. В образцы 16—20 в растворенном виде вносили точно такие же количества радионуклидов, а в образцы 21—25 — необходимое для задания в поровой влаге концентрации 0,01 г-экв/л количество электролита. После 2 мес хранения герметично закупоренными при комнатной температуре образцы 16—25 разгерметизировали и в условиях мягкого режима ( $T = 65$  °С) подсушивали до исходного влагосодержания. И уже окончательно в образцы 16—20 вместе с водой вносили электролиты, а в образцы 21—25 — радионуклиды. Через 4 мес хранения при комнатной температуре из всех образцов на центрифуге была отжата поровая влага и определена ее удельная активность по Cs-137 и Sr-90 соответственно на спектрометре и  $\beta$ -радиометре РУБ-9. После досушки в сушильном шкафу и определения влагосодержания то же проделано с твердым остатком. По результатам измерений рассчитаны коэффициенты распределения  $K_d$  для Cs-137 и Sr-90.

Т а б л и ц а 1. Влияние электролитов на величину коэффициентов распределения  $K_d$  и эффективной диффузии  $D_{эф}$  Cs-137 в торфяной почве

Номер образца	Электролит	Концентрация, г-экв/л	pH вытяжки	$A_p$ , Бк/кг · 10 <sup>3</sup>	$A_m$ , Бк/кг · 10 <sup>3</sup>	Коэффициент распределения $K_d$	Коэффициент эффективной диффузии $D_{эф} · 10^{10}$
1	KCl	0,001	5,8	412	1,03	250	0,090
2		0,01	5,8	92,7	1,02	110	0,16
3		0,2	5,8	1315	1,00	76	0,25
4	KOH	0,001	5,9	221	0,84	288	0,08
5		0,001	6,1	442	1,03	233	0,09
6		0,2	7,7	3302	1,08	32,6	0,51
7	HCl	0,001	5,6	316	0,99	314	0,071
8		0,01	4,5	350	0,88	252	0,09
9		0,2	2,8	5418	0,99	18	0,87
10	CaCl <sub>2</sub>	0,001	5,8	292	1,09	374	0,006
11		0,01	5,8	512	1,03	201	0,102
12		0,2	6,0	664	1,01	152	0,135
13	CsCl	0,001	5,8	9800	0,93	9,5	1,5
14		0,01	5,8	12000	0,84	7,1	1,8
15		0,2	5,8	22900	0,66	2,9	4,7
16	KCl	0,01	5,8	2570	0,83	32,4	—
17	KOH	0,01	6,1	1840	0,89	48,9	—
18	HCl	0,01	4,5	920	0,96	105,2	—
19	CaCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	1130	0,79	70,6	—
20	CsCl	0,01	5,8	11500	0,77	6,8	—
21	KCl	0,01	5,8	833	1,00	120	—
22	KOH	0,01	6,1	605	1,02	168,4	—
23	HCl	0,01	4,5	588	0,90	153,7	—
24	CaCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	443	1,01	227	—
25	CsCl	0,01	5,8	5144	0,96	18,8	—
26	—	—	5,8	268	1,02	380	—

Т а б л и ц а 2. Влияние электролитов на величину коэффициентов распределения  $K_d$  и эффективной диффузии  $D_{эф}$  Sr-90 в торфяной почве

Номер образца	Электролит	Концентрация, г-экв/л	pH вытяжки	$A_p$ , Бк/кг · 10 <sup>3</sup>	$A_m$ , Бк/кг · 10 <sup>3</sup>	Коэффициент распределения $K_d$	Коэффициент эффективной диффузии $D_{эф} · 10^{10}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	KCl	0,001	5,8	673	1,01	150	0,05
2		0,01	5,8	1041	1,02	98	0,08
3		0,2	5,8	3140	0,99	31,5	0,24
4	KOH	0,001	5,9	340	1,02	300	0,026
5		0,01	6,1	919	1,02	1,11	0,07
6		0,2	7,7	465	1,10	215	0,036
7	HCl	0,001	5,6	652	1,01	155	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8
8	HCl	0,01	4,5	1112	0,99	89	0,082
9		0,2	2,8	6837	0,80	11,7	0,63
10	CaCl <sub>2</sub>	0,001	5,8	323	1,01	313	0,025
11		0,01	5,8	1176	1,00	85	0,091
12		0,2	6,0	2620	0,98	37,4	0,020
13	SrCl <sub>2</sub>	0,001	5,8	1056	0,99	93,7	0,08
14		0,01	5,8	1269	0,98	77,2	0,099
15		0,2	5,8	5277	0,81	15,35	0,48
16	KCl	0,01	5,8	1075	0,99	92,1	—
17	KOH	0,01	6,1	944	1,01	107	—
18	HCl	0,01	4,5	1184	1,02	86,1	—
19	CaCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	1282	1,03	80,3	—
20	SrCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	1397	0,95	68,0	—
21	KCl	0,01	5,8	980	0,99	101	—
22	KOH	0,01	6,1	902	1,01	112	—
23	HCl	0,01	4,5	1100	0,99	90	—
24	CaCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	1126	0,98	87	—
25	SrCl <sub>2</sub>	0,01	5,8	1342	0,98	73	—
26	—	—	5,8	315	1,01	320	—

Коэффициенты эффективной диффузии  $D_{эф}$  определяли параллельно путем приведения в контакт радиоактивных образцов с аналогичными образцами почв такой же влажности, но не имеющих радиоактивных элементов. Находящиеся в контакте образцы через 2 мес хранения разрезали на зоны и определяли их удельную активность. По результатам рассчитывали коэффициенты эффективной диффузии согласно методике, описанной в [4].

Из табл. 1, 2 следует, что коэффициенты распределения зависят от последовательности внесения в образец радионуклидов и электролитов. Максимальные значения они имеют для образцов, в которые вначале вносили радионуклиды, а затем электролиты, минимальные — для образцов, в которые вносили вначале электролиты, а затем радионуклиды. Одновременное внесение радионуклидов и электролитов приводило к получению промежуточных значений. Причем последовательность внесения оказывает большее влияние на  $K_d$  для Cs-137, чем для Sr-90.

По степени влияния на значение коэффициента распределения Cs-137 электролиты можно расположить в ряд  $CsCl > HCl > KCl > KOH > CaCl_2$ , что не противоречит данным работ [5, 6]. Из этого ряда сильно выделяется влияние стабильного цезия. Наличие его в поровой влаге в количестве всего  $1 \cdot 10^{-3}$  г-экв/л изменяет  $K_d$  почти в 50 раз. Это говорит об отличии механизма связи с твердой фазой почвы катиона  $Cs^+$  от катионов других металлов. Подобный ряд для Sr-90 имеет вид:  $HCl > SrCl_2 > CaCl_2 > KCl > KOH$ . Такая последовательность свидетельствует о том, что основная форма связи Sr-90 с твердой фазой торфяной почвы является ионообменной.

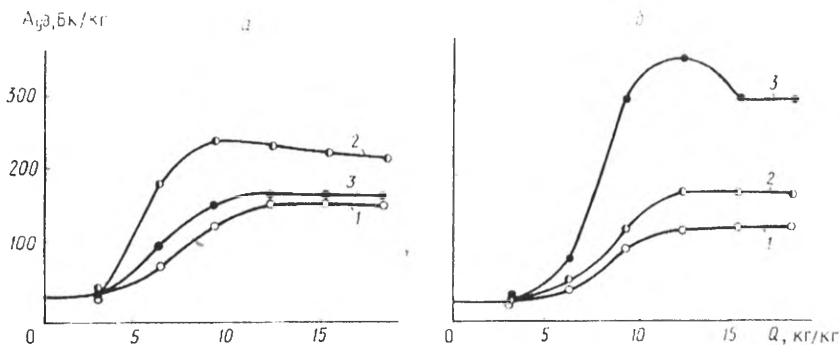


Рис. 1. Зависимость активности профильтрованного раствора (а) по Sr-90 и (б) по Cs-137 от расхода фильтрата на единицу массы торфяной почвы: 1 — раствор KCl, 0,2 н; 2 — раствор HCl, 0,2 н; 3 — раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 0,2 н

Для изучения влияния электролитов на выщелачивание радионуклидов из торфяной почвы через образец последней периодически один раз в 7 дней фильтровали раствор электролита. Масса последнего в точности соответствовала массе поровой влаги образца. Исследование проводили на почве месторождения «Погонянское», влагосодержание которой составляло 3 кг/кг, а удельная активность —  $4 \cdot 10^4$  Бк/кг. Каждый раз после окончания фильтрации определяли активность фильтрата по Cs-137 и Sr-90. Для выщелачивания использовали растворы HCl, KCl,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  концентрацией 0,2 н.

На рис. 1 представлены зависимости удельной активности профильтрованных растворов от суммарного количества раствора, прошедшего через слой торфяной почвы в расчете на единицу массы сухого вещества. Как для Sr-90 (рис. 1, а), так и для Cs-137 (рис. 1, б) активность начинает возрастать от величины соответствующей активности поровой влаги без наличия в ней электролитов. Для всех электролитов характерен более интенсивный процесс на начальной стадии выщелачивания, а затем наблюдается его замедление. Наиболее активное воздействие на выщелачивание Cs-137 оказал раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , а Sr-90 — раствор HCl. На этих кривых отмечены пики активности. Однако удельная активность всех фильтратов даже после 7-го цикла фильтрации в несколько раз выше исходной удельной активности порового раствора, что свидетельствует о достаточной продолжительности процесса выщелачивания, который может длиться месяцы и даже годы.

Закономерности процессов выщелачивания радионуклидов в торфяной почве с помощью электролитов, выявленные в лабораторных условиях, были учтены при проведении подобного опыта в полевых условиях на торфяном месторождении «Погонянское».

Торфяное месторождение «Погонянское» расположено в Хойникском районе Гомельской области на расстоянии 21 км от ЧАЭС. Торф низинный, высокой степени разложения (30—38%). До Чернобыльской катастрофы вся площадь месторождения была осушена и использовалась в качестве угодий для производства многолетних трав. Глубина уровня грунтовых вод колеблется в зависимости от сезона от 10 до 100 см. В мае 1996 г. в верхний слой залежи на выбранной ровной площадке размером  $5 \times 5$  м была внесена соль KCl в количестве  $1 \text{ кг/м}^2$ , что примерно соответствует ее концентрации в поровом растворе 0,1 н. Учитывая то, что после внесения электролита в торфяную почву восстановление равновесного состояния между радионуклидами, связанными твердой фа-

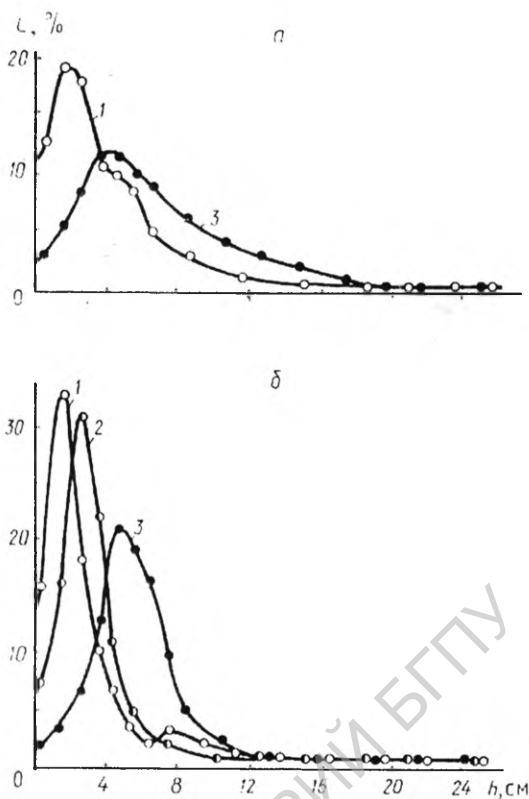


Рис. 2. Процентное распределение Sr-90 (а) и Cs-137 (б) по глубине на опытных площадках торфяного месторождения «Погонянское»: 1 — без внесения электролитов; 2 — с внесением KCl, май 1997 г.; 3 — с внесением KCl, октябрь 1997 г.

зои и находящимся в поровом растворе, происходит в течение нескольких месяцев, и чтобы соль сразу не была смыта атмосферными осадками, площадку сверху закрывали полиэтиленовой пленкой. В мае и октябре 1997 г. на площадке были отобраны пробы и определено распределение активности по глубине. На рис. 2, а и б представлено процентное распределение Sr-90 и Cs-137 соответственно по глубине на засоленной площадке и контрольной, расположенной рядом. Из рисунка видно, что максимум активности радионуклидов на засоленной площадке сместился в глубь торфяной залежи и к октябрю 1997 г. находился на глубине ~ 5 см, тогда как на контрольной площадке, как и в предыдущие годы, он остался на глубине 2 см. Объясняется это тем, что наличие в поровой влаге KCl с течением времени привело к выщелачиванию катионов Cs<sup>1</sup> и Sr<sup>2+</sup>. При этом за счет увеличения в поровом растворе концентрации радионуклидов возросла их диффузионная и конвективная подвижность. Хотя в данном опыте не удалось достичь практических результатов, он показывает принципиальную возможность регулирования подвижности радионуклидов с помощью растворов электролитов. Можно ожидать, что применение более эффективных выщелачивающих растворов, в состав которых войдут стабильные изотопы Cs и Sr, позволит удалить из корнеобитаемого слоя основное количество радионуклидов и уменьшить поступление их в сельскохозяйственную продукцию.

## Summary

An effect of electrolytes on distribution coefficients in the peat soils has been studied. A principle possibility has been shown, based on laboratory and field tests, to isolate radionuclides from root-habitant soil layer by introducing electrolytes into soil.

## Літаратура

1. Прохоров В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. М., 1982.
2. Давыдов Ю. Р., Вороник Н. И., Шагило П. И. и др. // Весті Акадэміі навук БССР. Сер. фіз-энерг. навук. 1980. № 4. С. 60—65.
3. Петряев Е. П., Овсянникова С. В., Любкнна И. Я., Рубничик О. Я. // Весті Акадэміі навук БССР. Сер. фіз-энерг. навук. 1990. № 4. С. 65—69.
4. Лиштван И. И., Бровка Г. П., Дедюля И. В., Ровдан Е. Н. // Весті Акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. 1996. № 4. С. 79—83.
5. Буравлев Е. П., Лебединский М. П., Дрич С. К., Чумак В. К. // Агрохимия. 1991. № 6. С. 70—73.
6. Бакунов Н. А., Юдинцева Е. В. // Агрохимия. 1989. № 6. С. 90—96.

*Институт проблем использования  
природных ресурсов и экологии  
НАН Беларуси*

*Поступила в редакцию  
20.05.98*

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ