

УДК 632.122:621.039.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ С СОРБИРОВАННЫМИ ТОКСИКАНТАМИ ПО ПОЧВЕННОМУ ПРОФИЛЮ

Л. Г. КРЕТОВА

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

Загрязняющие природную среду вещества в виде тонкодисперсных частиц выбрасываются в огромном количестве с дымом тепловых электростанций, при добыче и переработке полезных ископаемых, получении цемента и т. п., попадают в атмосферу и почву при использовании пестицидов на полях и в лесах. В результате работы одной только электростанции мощностью 2000 МВт в окружающую среду выбрасывается до 25 т мелкодисперсных частиц.

В составе мелкодисперсных частиц обнаруживаются многие токсичные металлы, в частности такие, как ртуть, кадмий, свинец, мышьяк и др. Любые загрязняющие вещества — тяжелые металлы, органические вещества, пестициды — вступая в контакт с почвой, могут сорбироваться на почвенных тонкодисперсных частицах и перемещаться уже в составе этих частиц в более глубокие слои почвы, в грунтовые воды, осаждаются в донных отложениях рек, озер, морей, снова попадать в атмосферу, например при ветровой эрозии почв.

Возможность перемещения илистых частиц без их разрушения по горизонтам почвы доказана рядом косвенных и прямых наблюдений [2].

Вопрос о том, каким образом токсиканты в виде тонкодисперсных частиц перемещаются в почве, изучен мало. Учитывая все это, нам представлялось интересным проследить поведение тонкодисперсных частиц, несущих сорбированные вещества, в почвенном профиле.

Методика

Опыты проводились в стеклянных колонках диаметром 3,3 см, которые заполняли на высоту 10 см почвой, предварительно насыщенной водой. Через колонку сверху непрерывным потоком пропускали 2 л воды, что соответствует высоте столба 227 см; длина предельного эффективного пробега воды с учетом порозности почвы 758 см.

В качестве модели тонкодисперсных частиц с сорбированными на них токсическими веществами была использована илистая фракция почвы, полученная путем отмучивания из тяжелосуглинистой морены. Размер частиц 1—2 мкм (прямое микроскопическое измерение). Емкость поглощения 57,25 мг·экв на 100 г, плотность 2,65 г/см³.

Загрязняющим веществом и одновременно индикатором, позволяющим следить за перемещением тонкодисперсных частиц, слу-

жил радиоактивный изотоп цинка — цинк-65. Для введения метки илистую фракцию обрабатывали раствором *ZnCl₂, затем отмывали таким образом, чтобы меченый цинк оставался только в прочно сорбированной форме.

Удельная активность меченого тонкодисперсного материала 20 мкКи/г. На колонку наносили 0,5 мл суспензии, содержащей 0,15 г меченых частиц.

При изучении влияния знака заряда на перемещение тонкодисперсных частиц по профилю почвы были использованы коллоидные растворы хлорида серебра с отрицательным и положительным зарядами [1]. Коллоидные частицы с положительным зарядом метились изотопом хлора — хлор-36, а с отрицательным зарядом — изотопом серебра — серебро-110. На колонку наносили 0,5 мл коллоидного раствора с удельной активностью 20 мкКи/мл. Условия фильтрации аналогичны описанным выше.

После окончания фильтрации столбик почвы, вынутый из колонки, разделяли на слои по 0,5 см. Почву из каждого слоя помещали в счетную кювету и измеряли радиоактивность цинка-65 и серебра-110 с помощью сцинтилляционного гамма-счетчика (модель 1185 К фирмы «Серл»), а радиоактивность хлора-36 — на установке «Волна» торцевым счетчиком Т-25 БФЛ.

Опыты проводились со следующими образцами почв.

Горизонт А_{пах} дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы; А₀ дерново-подзолистой почвы; А_{пах} хорошооструктуренного чернозема; горизонт С дерново-подзолистой почвы, представленный тяжелосуглинистой мореной и супесчаной мореной.

Результаты и их обсуждение

Основная масса тонкодисперсного материала во всех образцах почв оставалась в зоне внесения. «Центр тяжести» внесенного меченого материала сместился на 0,1—0,6 см (табл. 1). Наибольшее перемещение тонкодисперсных частиц отмечалось в супесчаной морене, а также в черноземе и лесной подстилке. Именно через эти образцы почв фильтрация воды шла с наибольшей скоростью, что и обуславливало перенос частиц на большую глубину. В тяжелосуглинистой морене и в тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве перемещение тонкодисперсного материала практически не обнаружено (0,1 см), скорость фильтрации в этих клонках также была очень низкой.

Относительное распределение активности меченных цинком-65 тонкодисперсных частиц по колонке (за единицу принята максимальная активность)

Глубина, см	Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	Лесная подстилка	Чернозем	Морена тяжелосуглинистая	Морена супесчаная
0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,54
0,5	0,025	0,49	0,42	0,023	1,0
1,0	0,003	0,17	0,14	0,003	0,38
1,5	—	0,05	0,030	—	0,15
2,0	—	0,03	0,012	—	0,09
2,5	—	0,02	0,008	—	0,01
3,0	—	0,009	0,007	—	0,001
3,5	—	0,007	0,005	—	0,001
4,0	—	0,005	0,003	—	—
4,5	—	0,004	0,003	—	—
5,0	—	0,004	0,003	—	—
5,5	—	0,003	0,002	—	—
6,0	—	0,002	0,001	—	—
6,5	—	0,002	0,001	—	—
7,0	—	0,001	—	—	—

В лесной подстилке и в черноземе меченые частицы обнаруживались на глубине 7—6,5, а в супесчаной морене — 4 см. В частицах, мигрировавших на глубину ниже 2 см, доля активности составила в лесной подстилке 4,5 %, в черноземе — 2,7, а в супесчаной почве — 0,13 %.

Переносу илестых частиц с сорбированными из них токсическими веществами могут способствовать наличие крупных пор в почвах легкого механического состава, высокая скорость фильтрации в хорошооструктуренных почвах и, кроме того, образование подвижных глино-гумусовых комплексов при взаимодействии органического вещества почвы с тонкодисперсными частицами. В частности, Мельников и Ковеня [2] к причинам, определяющим миграцию глины в почвенном профиле, относят образование комплексов глинистых частиц с органическим веществом почвы.

Миграционная способность (R_{f1}) тонкодисперсных частиц с сорбированными на них загрязняющими веществами очень мала (табл. 2). В таблице приведена также для сравнения миграционная способность ионного цинка (R_{f2}).

Миграционная способность мелкодисперсных частиц

Таблица 2

Миграционная способность тонкодисперсных частиц (R_{f1}) и ионного цинка (R_{f2})

Тип почвы	R_{f1}	R_{f2}
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	0,00026	0,0024
Лесная подстилка	0,00039	0,0014
Чернозем	0,00039	0,00078
Морена тяжелосуглинистая	0,00026	0,0026
Морена супесчаная	0,00079	0,0046

ных частиц R_{f1} была меньше, чем R_{f2} ионного цинка, в почвах тяжелого механического состава — в 10 раз, в лесной подстилке и супесчаной почве — соответственно в 4 и 5 раз, а в черноземе — только в 2 раза. По-видимому, в черноземе образование комплекса тонкодисперсных частиц с органическим веществом и хорошая фильтрующая способность благоприятствуют лучшей миграции частиц, чем в других видах почв, в то время как ионный цинк, связываясь с органическим веществом этой почвы, мигрирует на меньшую глубину.

Эффект глубокого проникновения тонкодисперсных частиц (а возможно, образовавшихся глино-гумусных комплексов) с потоком воды по открытым порам почвы особенно ярко проявился в эксперименте, где использовалась колонка, заполненная воздушно-сухой почвой (хорошооструктуренный чернозем из пахотного горизонта), просеянной через сито 2 мм. Условия фильтрации прежние. Меченый тонкодисперсный материал проник в этом случае на большую глубину — до 9 см. Причем на глубине 5 см обнаруживалось еще значительное количество меченого материала (0,33 максимальной активности).

При изучении вертикального распределения меченого тонкодисперсного материала в монолите дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы с ненарушенным сложением на его поверхность ($d=6$ см, $h=10$ см) наносили меченную цинком-65 суспензию ила и пропускали 3 л воды, что соответствует высоте столба около 1 м. Измерение активности цинка-65 в монолите проводилось после его разборки. Пробы отбирали по каждой трещине.

Так же как и в насыпной колонке с тяжелосуглинистой почвой, здесь практически весь меченый тонкодисперсный материал остался в зоне внесения, проникнув на небольшую глубину (1,5 см) по самой крупной трещине (ход крупного корня).

Таблица 3

Относительное распределение меченных изотопами хлор-36 (+) и серебро-110m (—) коллоидных частиц по длине колонки

Глубина, см	Лесная подстилка		Дерново-подзолистая почва		Чернозем	
	+	—	+	—	+	—
0	0,82	1,0	1,0	1,0	0,94	1,0
0,5	1,0	0,99	0,014	—	1,0	0,32
1,0	0,17	0,08	—	—	0,33	0,14
1,5	0,13	0,10	—	—	0,07	0,05
2,0	0,03	0,03	—	—	0,05	0,04
2,5	0,03	0,02	—	—	0,02	0,04
3,0	0,02	0,02	—	—	0,01	0,02
3,5	0,02	0,01	—	—	0,01	0,01
4,0	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01
4,5	—	—	—	—	0,01	0,01

При использовании в качестве тонкодисперсного материала коллоидов хлорида серебра с отрицательным и положительным зарядами было установлено (табл. 3), что в тяжелосуглинистой почве заряд частиц не влиял на их перемещение — все они остались в зоне внесения. В лесной подстилке и черноземе положительно заряженные коллоидные частицы мигрировали на большую глубину, чем отрицательно заряженные. Максимум активности у первых сместился на 0,5 см от поверхности, у последних остался в зоне внесения. Однако небольшое количество меченных коллоидов в лесной подстилке и черноземе обна-

руживалось на глубине 4—4,5 см, причем глубина миграции следовых количеств коллоидных частиц не зависела от знака заряда. Значения R_f для положительно заряженного коллоида составили 0,007 в лесной подстилке и 0,0011 в черноземе, а для отрицательно заряженного коллоида — соответственно 0,0003 и 0,0004.

Таким образом, положительный заряд коллоидных частиц не обязательно является препятствием для переноса в почве, твердая фаза которой заряжена отрицательно. Возможно, происходит перестройка и перезарядка коллоидных частиц, например, за счет сорбции на них гумусовых и полярных органических веществ и образования коллоидных минерально-органических комплексов.

Выводы

1. Токсические вещества, попадающие в почву в виде тонкодисперсных частиц или сорбционно связанные с илстыми частицами, способны под действием промывных вод проникать в глубину почвенного профиля.

2. Миграционная способность тонкодисперсных частиц невелика (R_f составляет 0,0002—0,0008): ее значение наименьшее в почвах тяжелого механического состава, несколько больше в легких песчаных и супесчаных почвах, в оструктуренных почвах с хорошей фильтрующей способностью. Следовые количества частиц обнаруживаются на глубине до 9 см.

3. Положительный заряд коллоидных частиц не является препятствием для перемещения их в почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И., Платиканов Д. Коллоиды. М.: Химия, 1975. — 2. Мельникова М. К., Ковеня С. В. Влияние физико-химических свойств почвы на пере-

мещение глинистых суспензий. — Почвоведение, 1974, № 11, с. 45—50.

Статья поступила 5 мая 1980 г.

SUMMARY

Vertical migration of particles in soil columns was studied by estimating the distribution of radioactivity of zink-65 which was used for labelling of fine-dispersed particles. It is shown that migrational capacity (R_f) of such particles is low and depends on soil texture and on the amount of organic matter in it. In soils of light texture and in those with high content of organic matter and good filterability it is somewhat higher (R_f 0.0008 and 0.0004), because particles are transferred by vacant pores with water flows and more mobile organic-mineral complexes are formed.

The sign of fine-dispersed particles did not practically produce any effect of their vertical transfer in the soil.