

УДК 631.416.8

Е. П. ВИРЧЕНКО, Ц. И. БОБОВНИКОВА, В. В. ЕГОРОВ

**О МИГРАЦИИ ДДТ И γ -ГХЦГ
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

Рассматривается поведение хлорорганических пестицидов (ДДТ, его метаболитов, γ -ГХЦГ) в дерново-подзолистых почвах Подмосковья. Рассчитан коэффициент стока для периода, когда пестициды не применяли в течение нескольких лет. Показано, что ДДТ, ДДД, ДДЭ и γ -ГХЦГ имеют малую подвижность в почве. Для дерново-подзолистых почв Подмосковья коэффициент стока ДДТ составляет $\sim 0,01\%$, ДДД, ДДЭ и γ -ГХЦГ — около $0,1\%$. Вертикальная миграция изученных пестицидов хорошо согласуется с миграцией илестых частиц и органического вещества.

Почва по сравнению с другими объектами биосферы является объектом максимального накопления пестицидов. Вовлекаясь в биологический круговорот, пестициды попадают в воду и воздух и загрязняют таким образом окружающую среду.

Соиспаряясь с влажной поверхности почвы, такие пестициды, как ДДТ, ДДЭ и ГХЦГ, распространяются воздушными потоками на далекие расстояния. В результате смыва или стока с прилегающих обработанных земель хлорорганические пестициды поступают в поверхностные воды. Попав в водоемы, они накапливаются в илах, планктоне, рыбе, причем накопление в конечном звене пищевой цепочки наибольшее, оно на 5—6 порядков превышает исходные уровни, что нередко приводит к гибели рыб, птиц [5—7, 10].

Таким образом, даже незначительное содержание хлорорганических пестицидов в окружающей среде может быть опасно для живых организмов.

В Советском Союзе установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для некоторых пестицидов в почвах. Для ДДТ и γ -ГХЦГ они составляют 1 мг/кг почвы [6]. В связи с запрещением ДДТ уровни содержания его в почве, растениях, воде, донных отложениях в последние годы постепенно уменьшаются вследствие его разложения.

На процессы миграции в большей мере влияют почвенно-климатические условия, рельеф, состояние поверхности и количество пестицидов в почве.

Нами проведено определение степени загрязнения почвы, воды и донных отложений бассейна р. Москвы хлорорганическими пестицидами и изучена подвижность ДДТ, его метаболитов и γ -ГХЦГ в почве и в системе почва — вода.

Для выяснения перераспределения пестицидов в педогеохимическом профиле были отобраны образцы на различных элементах рельефа от водораздела к пойме. Одновременно отбирали пробы воды и донных отложений в р. Москве от истока до устья.

Образцы анализировали методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ). Ошибка определения составляет 10% . Минимально определяемые концентрации для ДДТ $0,03 \text{ нг}$, ДДЭ $0,01 \text{ нг}$, ГХЦГ $0,003 \text{ нг}$ [2]. Среднее содержание *n*, *n'*-ДДТ в почвах обследованных районов бассейна р. Москвы составило $35,0 \text{ мкг/кг}$ (колебания от 5,7 до $63,7 \text{ мкг/кг}$), а γ -ГХЦГ — $1,6 \text{ мкг/кг}$ (колебания от 0,80 до $2,7 \text{ мкг/кг}$). Среднее содержание *n*, *n'*-ДДТ в донных отложениях $5,2 \text{ мкг/кг}$ (колебания 2,8—

8,7 *мкг/кг*), в воде 0,1 *мкг/л*. Содержание ДДТ в донных отложениях и в целинных почвах почти одинаковое, а в пахотных почвах примерно на порядок выше, чем в донных отложениях (табл. 1). Уровни загрязнения почв Подмосквы ДДТ в 20—100 раз меньше ПДК.

Таблица 1
Среднее содержание пестицидов в почве, воде и донных отложениях. Июль, 1973 г.

Место отбора	Почва, <i>мкг/кг</i>				Донные отложения, <i>мкг/кг</i>			Вода, <i>мкг/л</i>				
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	
Можайский р-н:												
целина	7,70	3,10	6,60	—	3,10	1,76	2,50	0,34	0,20	0,06	0,03	
пропашные	38,90	4,50	4,60	0,88	3,60	5,90	0,80	0,06	0,04	0,02	0,04	
Одинцовский р-н:												
овощные	61,60	27,90	11,90	2,06	6,70	19,10	Сл.	0,07	0,05	0,03	0,04	
Воскресенский р-н:												
овощные	63,70	55,8	26,60	1,56	6,34	10,60	3,05	0,05	0,08	0,05	0,09	
целина	10,80	4,10	3,60	1,86	8,71	6,40	21,60	0,06	0,08	0,04	0,10	
заливные луга	59,00	54,0	14,60	4,00	Не определялись							
Коломенский р-н:												
целина	5,70	5,80	3,10	0,83	2,80	9,30	2,10	0,03	0,03	0,02	0,03	
Среднее значение по бассейну	35,0	22,0	10,0	1,60	5,20	8,83	5,0	0,10	0,08	0,04	0,06	

Примечание. 1 — *n*, *n'*-ДДТ, 2 — *o*, *n'*-ДДТ + *n*, *n'*-ДДД, 3 — *n*, *n'*-ДДЭ, 4 — γ -ГХЦГ.

Все образцы почв, относящиеся к отрицательным формам рельефа, характеризуются значительно более высоким уровнем содержания ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХЦГ по сравнению с положительными формами рельефа. Так, на одном поле на микроповышении ДДТ содержится 9,30 *мкг/кг*, ГХЦГ — 0,6 *мкг/кг*, на микропонижении ДДТ — 134,00 *мкг/кг*, ГХЦГ — 8,70 *мкг/кг* сухой почвы. Содержание пестицидов значительно выше в пойменных почвах под овощными культурами, чем в дерново-слабоподзолистых и дерново-луговых почвах. Это объясняется применением большого количества пестицидов под овощными культурами, а также тем, что пойменные почвы обладают большей поглотительной способностью по сравнению с дерново-подзолистыми и более прочно удерживают пестициды. Так, среднее содержание ДДТ в дерново-подзолистых почвах в слое 0—20 *см* составляет 8,30, в пойменных — 59,00 *мкг/кг* сухой почвы.

Хлорорганические пестициды перераспределяются на различных элементах рельефа. Если принять содержание ДДТ и его метаболитов на водоразделе за 1, то у подошвы склона, где происходит аккумуляция, коэффициент накопления будет равен 3 для *n*, *n'*-ДДТ и его метаболитов и 1,3 для γ -ГХЦГ при крутизне склона около 15°. Меньший коэффициент накопления для γ -ГХЦГ объясняется большей растворимостью его в воде по сравнению с ДДТ.

При рассмотрении уровней загрязнения почвы обращает на себя внимание повышенное содержание хлорорганических пестицидов в пойменных почвах, не занятых под сельскохозяйственные культуры.

Русло р. Москвы в верхнем течении носит эрозионный характер, в среднем и нижнем течении — аккумулятивный. В нижнем течении образовалась обширная пойма. Во время весеннего половодья сюда приносится большое количество илстых частиц. По нашим наблюдениям, разлив р. Москвы на Воскресенских заливных лугах достигает в ширину 800 *м*. В средней части поймы на этих лугах откладывается около 130 *г* ила на 1 *м*².

Вместе с илстыми частицами на площадь 1 *км*² приносится ДДТ 0,49, ДДД 3,30, ДДЭ 1,42, γ -ГХЦГ 2,1 *г*.

На Воскресенских заливных лугах хлорорганические пестициды не применялись, но ежегодно во время весенних разливов они приносятся вместе с илистыми частицами. Содержание хлорорганических пестицидов там такое же, как и на сельскохозяйственных полях, и всего в 2 раза меньше максимально наблюдаемых (табл. 1).

Нами были определены коэффициенты стока n , n' -ДДТ, его метаболитов и γ -ГХЦГ для бассейна р. Москвы в районе Звенигорода (водосбор 5000 км²). Эти коэффициенты подсчитывались как отношение количества пестицидов, выносимого водой за определенный отрезок времени, к их запасу в почве в слое 0—20 см на данном водосборе. Среднее содержание хлорорганических пестицидов для подсчета запасов на площади водосбора рассчитывали как средневзвешенную величину с учетом площадей пойменных и дерново-подзолистых почв, как целинных, так и занятых под сельскохозяйственные угодья. Расход воды, прошедшей через замыкающий створ, определялся одновременно с отбором образцов воды. Коэффициенты стока для n , n' -ДДТ составили 0,01%, а для его метаболитов и ГХЦГ — около 1% (табл. 2).

Таблица 2

Расчет коэффициентов стока хлорорганических пестицидов в районе Звенигорода (водосбор 5000 км²)

Пестицид	Количество пестицидов, прошедшее через створ в период половодья, кг	Количество пестицидов, прошедшее через створ за год, кг	Коэффициент стока, %	
			в период весеннего половодья	среднегодовые
ДДТ	4,5	6,6	$5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
ДДД	90,5	150,3	$7 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
ДДЭ	3,5	5,1	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
γ -ГХЦГ	0,5	0,7	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$

Примечание. Расход воды во время весеннего половодья составлял 36,6 м³/с; среднегодовой расход воды 7,0 м³/с; средний объемный вес почвы 1,3 г/см³.

Полученные коэффициенты стока говорят о малой степени миграции хлорорганических пестицидов с водой в данных почвенно-климатических условиях и в том случае, когда ДДТ не применялся последние 2—3 года, а ГХЦГ — последние полгода.

Ранее [8] было показано, что со стоковыми водами с участка, занятого под пар, непосредственно сразу после применения пестицидов, потери ДДТ очень малы и составляют 0,3%, и основные потери (в 2—20 раз превышающие потери с водами) — это потери с почвенными частицами [8].

Согласно Вудвелу с соавт. [11], средняя величина годового стока ДДТ для США равна 0,1%.

Следует отметить, что основной вынос с водой хлорорганических пестицидов (75% от годового) приходится на период весеннего половодья (табл. 2).

Наибольшее количество пестицидов в воде наблюдается в верховьях р. Москвы. Возможно, это объясняется тем, что почвы Можайского района представлены в основном легкими по механическому составу разновидностями, рельеф довольно пересеченный, в силу чего происходит интенсивное вымывание пестицидов в воду в виде взвешенных частиц, которые уносятся течением и отлагаются в местах уменьшения скорости течения.

Для изучения вертикальной миграции хлорорганических пестицидов были заложены почвенные разрезы на типичных для бассейна р. Москвы дерново-подзолистых почвах различного механического состава и разной степени окультуренности и оподзоленности [3].

Один из разрезов заложен в сосновом лесу на дерново-слабоподзолистой, легкосуглинистой, опесчаненной почве. В каждом генетическом горизонте кроме хлорорганических пестицидов определяли гумус (по Тюрину), содержание илстой фракции (по Качинскому) и рН солевой вытяжки [1].

В верхнем дерновом слое (0—5 см) содержится значительное количество гумуса — 1,66%, ила — 1,0%, величина рН составляет 5,3. В этом горизонте наблюдается и самое высокое содержание хлорорганических пестицидов: ДДТ — 7,2, ДДД — 2,4, ДДЭ — 2,2 и γ -ГХЦГ — 1,4 мкг/кг сухой почвы.

В следующем иллювиальном горизонте (5—20 см) гумуса содержится меньше, чем в верхнем горизонте (1,26%), он обеднен илом (0,1%), рН равна 5,2. В данном горизонте гораздо меньше хлорорганических пестицидов: ДДТ — 0,84, ДДД — 0,88, ДДЭ — 1,19 и γ -ГХЦГ — 0,4 мкг/кг сухой почвы.

Таблица 3

Распределение хлорорганических пестицидов, илстой фракции, органического вещества по профилю дерново-слабоподзолистой опесчаненной почвы сосняка-черничника (Можайский р-н)

Но- мер про- бы	Горизонт	Глубина, см	Содержа- ние илстых частиц <0,001 мм, %	Содер- жание гумуса, %	рН	мкг/кг			
						ДДТ	ДДД	ДДЭ	γ -ГХЦГ
17	A ₁ Коричневый, густо переплетен корнями, рыжий, легкосуглинистый, порошистый	0—5	1,0	1,66	5,3	7,2	2,5	2,2	1,4
18	A ₂ Белесый, слоистый, рыжкий, опесчаненный	5—20	0,1	1,26	5,2	0,84	0,88	1,19	0,46
19	B ₁ Плотный, бурый, желтовато-охристые пятна, ожелезнен	20—32	1,3	1,88	5,6	1,6	2,6	1,9	0,59
20	B ₂ Желтовато-бурый с черными затеками, песок	32—63 и глубже	1,3	0,39	5,3	2,9	2,4	1,7	0,53

Аллювиальный горизонт (20—32 см), который представляет собой горизонт вмывания, обогащен илстыми частицами (1,3%), содержание органического вещества в нем максимальное (1,88%), рН 5,6. В этом горизонте идет относительное накопление хлорорганических пестицидов по сравнению с предыдущим иллювиальным горизонтом. Содержание ДДТ составляет 1,6, ДДД — 2,6, ДДЭ — 1,9 и γ -ГХЦГ — 0,59 мкг/кг сухой почвы.

В В₂ (32—60 см) наблюдается резкое уменьшение содержания гумуса (0,39%); содержание илстых частиц и пестицидов остается примерно на уровне предыдущего горизонта.

В хвойных лесах умеренно-холодного пояса в лесной подстилке содержится 10—17-летний запас опада зеленой части растений. При выщелачивании растительного опада атмосферными осадками и при его гумификации создается избыток низкомолекулярных фульвокислот и ульминовых кислот. Органические кислоты растворяют имеющиеся свободные полуторные окислы, что приводит к разрушению структуры почвы, пептизации илстых частиц и выносу их при господствующем промывном режиме [1].

Распределение по профилю фракции ила указывает на резкое обеднение им подзолистого горизонта. Распределение хлорорганических пе-

стицидов вниз по профилю хорошо согласуется с содержанием гумуса и илистой фракции (табл. 3). Возможно, миграция рассматриваемых пестицидов вниз по профилю как на илстых частицах, так и вместе с подвижным органическим веществом происходит при господствующем промывном режиме и хорошо согласуется с дерново-подзолистым процессом, характерным для данной почвенно-климатической зоны.

Выводы

1. Хлорорганические пестициды перераспределяются на различных элементах рельефа; коэффициент накопления для ДДТ и его метаболитов составляет 3 у подошвы склона по сравнению с водоразделом и 1,3 для γ -ГХЦГ при крутизне склона 15°. Меньший коэффициент накопления для γ -ГХЦГ связан с большей его растворимостью в воде.

2. Коэффициент стока ДДТ для дерново-подзолистых почв Подмоськья составляет $\sim 0,01\%$, а для ДДД, ДДЭ и γ -ГХЦГ — около 0,1%, что указывает на малую подвижность хлорорганических пестицидов. Коэффициенты стока рассчитаны для периода, когда пестициды не применялись в течение нескольких лет.

3. Вертикальная миграция хлорорганических пестицидов хорошо согласуется с миграцией илстых частиц и органического вещества, которые являются характерной чертой дерново-подзолистого процесса почвообразования.

Литература

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ, 1970.
2. Временная инструкция по определению хлорорганических пестицидов в почве. Изд. ИЭМ, Обнинск, 1974.
3. География почв и почвенное районирование центрального экономического района СССР. Изд. МГУ, 1972.
4. Глазовская М. А. Почвы мира. Изд. МГУ, 1973.
5. Кувадзюки С. Пестициды в почве. «Качаку Коче», 1972, т. 23, т. 11. Перевод ИЭМ, № 875, 1973.
6. Предельно допустимые количества пестицидов в почве. Бюл. № 1134-73. Минздрав СССР, 1973.
7. Cramer J. Model of the circulation of DDT on Earth. Atmospheric Environment Pergamon Press., v. 1, 1973.
8. Haan C. T. Movement of pesticides by run off and erosion. Trans. ASAE, v. 14(3), 445, 1971.
9. Holt R. F. Surface water quality is influenced by agricultural practices. Trans. ASAE, v. 16, № 3, 1973.
10. Viraraghavan T. Rx-for pesticides Knowledge. Ecological and engineering aspects of pesticide pollution shows there is much to learn about long-term effects. Water and Wastes Engng, v. 4, № 1, 1972.
11. Woodwell Craig P. P., Johnson A. DDT in the Biosphere. Where does it go? Science, № 4014, 1971.

Институт экспериментальной
метеорологии ГУГМС при Совмине СССР

Дата поступления
9.IV.1976 г.

E. P. VIRCHENKO, Ts. I. BOBOVNIKOVA, V. V. EGOROV

MIGRATION OF DDT AND γ -HCCN IN SODDY-PODZOLIC SOILS

The behaviour of chloro-organic pesticides (DDT, its metabolites and γ -HCCN) in soddy-podzolic soils of the districts near Moscow is considered. The runoff coefficient has been calculated for the period when pesticides were not used during several years. It has been shown that DDT, DDD, DDE and γ -HCCN have a low mobility in soils. The runoff coefficient of DDT is 0,01%, of DDD, DDE and of γ -HCCN is about 0,01% in soddy-podzolic soils of the above districts. The vertical migration of pesticides studied correlates very well with the migration of clay and organic particles.