

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ 2,3,7,8-ТЕТРАХЛОРДИ- БЕНЗО-П-ДИОКСИНА В ВОДНОЙ ФАЗЕ

В.С. Сойфер<sup>1</sup>, А.А. Шелепчиков<sup>2</sup>, Н.А. Ключев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН  
117017, Москва, Ленинский проспект, 33

<sup>2</sup> Институт геохимии и аналитической химии РАН  
117975, Москва, Косыгина, 19

**Сойфер Владимир Соломонович** – главный химик лаборатории аналитической экотоксикологии Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук.

Область научных интересов: выделение, концентрирование и очистка биологически-активных соединений.

Автор 35 научных статей и 20 тезисов докладов.

**Шелепчиков Андрей Александрович** – аспирант Института геохимии и аналитической химии Российской академии наук.

Область научных интересов: аналитическая химия, экология, аналитические измерения в экологический исследованиях.

**Ключев Николай Алексеевич** – заведующий лабораторией аналитической экотоксикологии Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, кандидат химических наук.

Область научных интересов: теоретическая органическая химия, молекулярная масс-спектрометрия, хромато-масс-спектрометрия, аналитические измерения в экологических исследованиях.

Автор более 450-ти публикаций в отечественных и международных изданиях и около 30-ти изобретений.

Рассматриваются вопросы, связанные с увеличением растворимости диоксинов в воде (в частности, токсичного изомера 2,3,7,8-ТХДД) с целью использования этого эффекта для детоксикации сильно зараженных территорий. Описаны взаимодействия, приводящие к увеличению растворимости 2,3,7,8-ТХДД в водных растворах, а также не отмечавшаяся ранее способность диоксинов образовывать устойчивые коллоидные растворы.

Одной из глобальных экологических проблем, возникших перед человечеством в последней четверти XX века, является загрязнение окружающей среды суперэкоксикантами, к которым относятся конгенеры полихлорированных дибензо-п-диоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ) и планарные полихлорированные бифенилы (ПХБ) [1]. В токсикологии под термином "диоксин" понимают наиболее опасное вещество из этой группы конгенов, а именно, изомер 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин (2,3,7,8-ТХДД), имеющий коэффициент токсичности, равный единице. Всем конгенам, имеющим замещение галоидом по положениям 2,3,7,8 в дибензо-п-диоксиновом или дибензофурановом цикле, присвоены коэффициенты токсичности. Сумма

абсолютных концентраций 17 токсичных конгенов, умноженных на свой эквивалент токсичности, дает уровень загрязнения объекта исследования и показывает степень заражения по сравнению с величиной ПДК для данной матрицы (воздух, вода, почва и т.д.) [2]. Диоксины образуются практически в любом химическом процессе при повышенных температурах с участием хлора, в частности, существенное количество диоксинов содержат широко используемые хлорорганические пестициды [2,3]. Значительные усилия прикладываются к выявлению источников диоксинового заражения и разработке методов очистки, а также к созданию условий, препятствующих их образованию. Кроме постоянных источников диоксиноподобных веществ суще-

ствуют территории, где диоксиновое загрязнение превышает в десятки раз существующие нормы. Такие территории, площадью иногда в десятки квадратных километров, образовались вследствие накопления диоксинов из-за безответственной хозяйственной деятельности человека, техногенных аварий или, как это было во Вьетнаме, применения диоксинсодержащих дефоли-

антов в военных целях [4,5]. В этих случаях необходимо создание экономически доступных способов обеззараживания почв. Диоксины являются весьма устойчивыми веществами с периодом полураспада в почве 10-20 лет [3,6]. В настоящее время разработаны и продолжают разрабатываться методы разложения диоксинов [7] (табл. 1).

Нетермические методы разложения ПХДД и ПХДФ

Таблица 1

Процесс	Степень разложения, %	Влияние на окружающую среду
Фотолиз	>99,8	Не оказывает
Радиолиз	97	Радиация, образование малохлорированных диоксинов
Микроволны	99	
Гидродехлорирование	>99	Образование токсичных побочных продуктов
Дехлорирование	>99	Не оказывает
Каталитическое окисление	>99	Требует высоких температур и давления
Озонирование	97	Остатки продуктов реакции
Перхлорирование	Не разлагается	Оказывает в малой степени
Разложение иодидом хлора	92	Образование хлорорганических остатков
Биоразложение [8]	3-4	Не оказывает

Из рассмотрения сознательно исключены термические методы детоксикации, т.к. они являются наиболее спорными из-за высокой вероятности вторичного образования диоксинов [9].

Практически все потенциально применимые методы дезактивации диоксинов (т.е. удаление галоида хотя бы из одного из положений 2,3,7,8) требуют предварительного извлечения диоксинов из матрицы (в частности, почвы) с использованием органических растворителей, что значительно увеличивает стоимость работ. Мы считаем, что при создании способа обеззараживания почв от диоксинов, с учетом размеров зараженных территорий, наиболее экономически выгодным является использование воды в качестве растворителя. В силу крайне низкой растворимости (истинная растворимость для наиболее токсичного и растворимого 2,3,7,8-ТХДД составляет 19,3 нг/л при 22°C [10]) считается, что диоксиноподобные вещества не способны к горизонтальной или вертикальной миграции в грунте (20-40 см от поверхности, т.к. процессы сорбции в гумусовом слое преобладают [3,11]). Однако исследования, проводимые при участии нашей ла-

боратории во Вьетнаме, показали, что за прошедшие 20 лет со времени окончания войны диоксины проникли на глубину на 3-5 метров, причем в количествах, значительно превышающих те, которые могли раствориться в дождевой воде. Этот факт требует дополнительного изучения и может трактоваться в следующих позициях:

1) в тропических почвах мало гумуса и, как следствие его отсутствия, малая сорбция диоксина на почве;

2) диоксины образуют ассоциаты (возможно комплексы) с водой и растворенными в ней веществами, которые имеют повышенную растворимость в воде.

В плане природоохранных мероприятий такое положение приводит к еще большему масштабу загрязнений почв и других контактирующих матриц из-за возможного проникновения диоксинов в грунтовые воды. Таким образом, мы считаем целесообразным проведение модельных экспериментов для установления факторов, способствующих переносу диоксинов в почве, для чего необходимо рассмотреть возможность взаимодействия с различными типами потенциальных

комплексообразователей. Исходя из имеющейся информации, были выбраны следующие классы соединений:

- фталоцианины. Из литературных источников [12, 13] известно, что эти вещества способны образовывать прочные  $\pi$ - $\pi$ -связи с полиароматическими, в том числе и гетероциклическими, соединениями различной природы, которые содержат в своей структуре три и более ароматических кольца;

- водные растворы неорганических солей как вещества, широко представленные в почвах и потенциально способные к комплексообразованию;

- растворы поверхностноактивных веществ. Из литературных источников известно [14], что с помощью этих веществ возможно извлечение ПХБ из почв.

Все опыты проводили с использованием конгенера 2,3,7,8-ТХДД. Это вещество было выбрано в связи с тем, что извлечение его из почв наиболее важно из-за его максимальной токсичности и максимальной истинной растворимости среди токсичных конгенов, что облегчает процесс измерений.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Техника эксперимента

#### 1. Определение влияния фталоцианинов на растворимость 2,3,7,8-ТХДД в воде

В пробирку с герметичной крышкой вместимостью 15 мл помещали  $1\text{ см}^3$   $\text{SiO}_2$  (размер гранул 0,063 – 0,200 мм) и раствор 1 мкг 2,3,7,8-ТХДД в ацетоне (здесь и в дальнейших экспериментах  $\text{SiO}_2$  использовался как инертный носитель). Ацетон упаривали сначала на воздухе, затем в вакууме в течение 3-4 часов, добавляли 10 мл дистиллированной воды и встряхивали в течение 10 часов, после чего центрифугировали при 2000 об/мин в течение 2-3 часов. Осторожно отбирали 3 мл полученного раствора, к ним добавляли 1 нг внутреннего стандарта  $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-ТХДД или  $^{37}\text{Cl}_1$ -2,3,7,8-ТХДД и экстрагировали содержащийся в воде диоксин 2 мл *n*-гексана. Полученный раствор очищали пропусканием через колонку с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Аналогичные эксперименты провели с водными растворами фталоцианинов (концентрация 0,1 мг/мл) в дистиллированной воде, а также с вдвое меньшим количеством водной фазы. Сравнивая полученные данные, можно обнаружить наличие взаимодействия и оценить, образуется ли в данных условиях насыщенный раствор.

#### 2. Определение влияния растворенных веществ на растворимость 2,3,7,8-ТХДД в воде

Для определения истинной и возможной "коллоидной" растворимости 2,3,7,8-ТХДД была собрана следующая установка (см. рисунок).

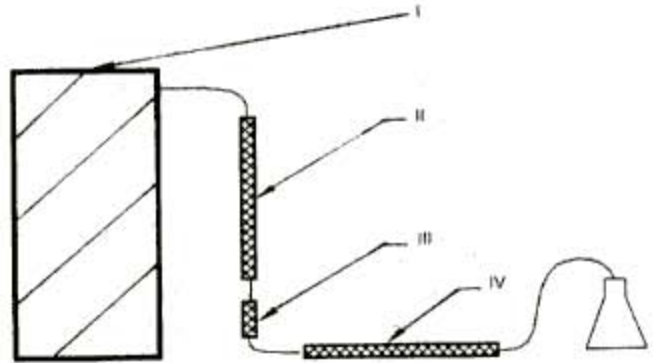


Схема установки для определения истинной и коллоидной растворимости.

- I - хроматографический насос Bruker LC-21C;  
 II - колонка, содержащая 2 мг 2,3,7,8-ТХДД на  $\text{SiO}_2$  (размер гранул 0,063 – 0,200 мм), на концах колонки помещены тампоны из кварцевой ваты (диаметр волокон 2 мкм, длина тампона = 1 см); длина колонки 25 см, внутренний диаметр 4,6 мм ("генерирующая" колонка);  
 III - колонка, заполненная кварцевой ватой (диаметр волокон 2 мкм), для механического поглощения коллоидных частиц; длина колонки 5 см, внутренний диаметр 4,6 мм ("промежуточная" колонка);  
 IV - Колонка, заполненная полисорбом (1,8 г); длина колонки 25 см, внутренний диаметр 4,6 мм. ("сорбционная" колонка)

Через систему прокачивали дистиллированную воду со скоростью 1,5 мл/мин. Скорость прокачивания была выбрана исходя из оптимального соотношения между длительностью эксперимента и давлением в системе. После пропускания необходимого количества воды (1,5 – 5 л) улавливающие колонки отсоединяли от системы и промывали генерирующую колонку 100 мл воды. Полисорб, не извлекая из колонки, осушали, продувая воздух при комнатной температуре, затем добавляли 1 нг внутреннего стандарта  $^{37}\text{Cl}_1$ -2,3,7,8-ТХДД или смесь стандартов, содержащую 5 нг 2-фтор-6,7,8,9-тетрахлордибензо-*p*-диоксина ГСО 7159-95 (FD-2) и 2-фтор-1,3,4,6,7,8,9-гептахлордибензо-*p*-диоксина ГСО 7160-95 (FD-3). Для удаления остатков воды через колонку прокачивали 25 мл ацетона при 60°C. 2,3,7,8-ТХДД окончательно экстрагировали 100 мл смеси *n*-гексан - ацетон (1:1) при 60°C. Экстракты объединяли, очищали и анализировали, как описано ниже.

Определение количества диоксина, задержанного фильтром из кварцевой ваты промежу-

точной колонки, проводили по следующей методике. Фильтр осушали продуванием воздуха через колонку, затем содержимое колонки перенесли в патрон для горячей экстракции, добавляли внутренний стандарт 1 нг  $^{37}\text{Cl}_4$ -2,3,7,8-ТХДД или смесь стандартов, содержащую 5 нг FD-2 и FD-3. Для удаления остатков воды через колонку прокачивали 20 мл ацетона при 60°C. 2,3,7,8-ТХДД, окончательно экстрагировали 50 мл смеси н-гексан - ацетон (1:1) при 60°C. Экстракты объединяли, очищали и анализировали, как описано ниже.

Аналогичные эксперименты проводили для тех веществ, влияние которых на растворимость 2,3,7,8-ТХДД в воде хотели определить.

Проведены эксперименты, аналогичные описанным выше, с заменой колонки, содержащей диоксин на силикагеле, на колонку с теми же параметрами, но содержащую тщательно измельченную почву (0,25 мм) из зараженных областей Вьетнама с концентрацией 2,3,7,8-ТХДД 103 мкг/кг. Почву смешивали в соотношении 1:1 с измельченной стеклянной ватой и помещали в колонку 4 г этой смеси. На концах колонки размещали тампоны из кварцевой ваты длиной 0,5 см. Для каждого эксперимента использовали новую навеску почвы.

### 3. Определение влияния растворенных веществ на элюирование 2,3,7,8-ТХДД с силикагеля

В случаях, когда использование описанной выше установки было невозможно, например из-за неизученности процесса извлечения диоксинов из растворов поверхностноактивных веществ, использовали следующую методику. К стеклянной трубке с внутренним диаметром 11 мм, содержащей 200 нг 2,3,7,8-ТХДД на 3 г силикагеля, удерживаемого снизу тампоном из кварцевой ваты массой 0,3 г, присоединяли резервуар для жидкости и пропускали без давления 1,01 л дистиллированной воды. Скорость составляла около 0,5 мл/мин. После этого колонку промывали 10 мл воды, продували воздухом для вытеснения жидкости, добавляли смесь стандартов, содержащую 5 нг FD-2, FD-3, и осушали пропуском 25 мл ацетона с последующим продуванием воздухом. Окончательную экстракцию проводили 50 мл смеси н-гексан - хлористый метилен (1:1). Экстракты объединяли, очищали и анализировали, как описано ниже.

Аналогичные эксперименты проводили для водных растворов веществ, влияние которых на элюирование 2,3,7,8-ТХДД хотели определить.

После пропускания 1 л испытуемого раствора колонку промывали 10 мл воды.

### Подготовка к анализу и проведение измерений

Во всех экспериментах, кроме описанных в первом абзаце, применялась следующая процедура подготовки образца к измерению. Полученный экстракт переводили в н-гексан путем трехкратного упаривания до минимального объема и последующего разбавления н-гексаном. Гексановый раствор пропускали через многослойную колонку ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  на  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Окончательную очистку проводили на окиси алюминия. Очищенный раствор упаривали до 3-4 мл, добавляли 10 мкл н-тридекана и упаривали до 10 мкл. Добавление н-тридекана позволяет долгое время хранить образец и не мешает проведению анализа.

Исходя из матрицы и предполагаемого содержания 2,3,7,8-ТХДД, анализ проводили либо с помощью капиллярной газожидкостной хроматографии, либо хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения. Использовали следующее оборудование и режимы работы.

При анализе на ГЖХ - хроматограф HP5890A: колонка HP5, длина 25 м, диаметр 0,32 мм, толщина пленки 0,52 мкм; температура инжектора 250°C; начальная температура колонки 150°C (выдержка 1 мин), ступенчатое нагревание до 220°C со скоростью 25 град/мин, до 240°C со скоростью 2 град/мин, до 280°C со скоростью 10 град/мин, выдержка 6 мин; скорость газа носителя (азот) 2,5 мл/мин, скорость газа-разбавителя в электрозахватном детекторе 30 мл/мин; температура детектора 300°C. 1 мкл раствора инжектировали в хроматограф в режиме splitless с началом продувки инжектора через 10 с. Вещества идентифицировали по временам удерживания, количественные расчеты проводили по градуировочной зависимости площадей пиков 2, 3, 7, 8-ТХДД и вводимых фторзамещенных стандартов.

При анализе на ХМС - газовый хроматограф Varian 5400, масс-спектрометр высокого разрешения с двойной фокусировкой Finnigan MAT HSG-30, система обработки данных SS 300. Колонка, аналогичная описанной выше, но длиной 50 м, начальная температура колонки 160°C (выдержка 1 мин), ступенчатое нагревание до 220°C со скоростью 25 град/мин и далее до 270°C со скоростью 5 град/мин, выдержка при этой температуре до конца элюирования. Давление газаносителя (гелий) на входе равняется 0,56 кг/см,

расход - 1,5 мл/мин. 1 мкл раствора инжескировали в хроматограф в режиме splitless с началом продувки инжектора через 1 мин. масс-спектры получали при ионизации электронным ударом пучком электронов с энергией 70 эВ при токе эмиссии 1 мА. Ускоряющее напряжение равнялось 3 кВ, разрешающая способность масс-спектрометра - около 8000. Анализ проводили в режиме MIS (Multy-Ion Selection), осуществляя регистрацию селективных масс-хроматограмм в режиме высокого разрешения по ионам  $M^+$  и  $(M+2)^+$  для постоянной подстройки точных масс ионов регистрировали пик иона  $m/z$  330.979 специального стандарта для контроля шкалы масс - перфторкеросина. Количество 2,3,7,8-ТХДД по соотношению  $(M+2)^+$  и изотопномеченного стандарта.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для серии экспериментов 1 в качестве носителя использовали  $SiO_2$ , т.к. он является инертным носителем по отношению к диоксинам и взаимодействие с ним не вносит искажения в наблюдаемую растворимость. В этих условиях концентрация 2,3,7,8-ТХДД в дистиллированной воде составила 23 нг/мл, в растворах фталоцианинов - 46, 98 и 32 нг/мл для  $PcCu[SO_3Na]_2[SO_3Na]_2$ ,  $PcCu[SO_3Na]_3$ ,  $PcCo[SO_3Na]_2$  соответственно. При этом концентрация не зависела от количества вносимой водной фазы, что указывает на образование насыщенных растворов. Таким образом, полученные результаты показывают, что растворимость 2,3,7,8-ТХДД в воде в данных условиях превышает известную из литературы на 3 порядка. Такое увеличение растворимости не может быть вызвано механическим захватом частиц

$SiO_2$ , на которых содержался диоксин, т.к. в этом случае во взвеси должно было находиться от 23 до 98% от исходного количества силикагеля. Можно предположить, что 2,3,7,8-ТХДД способен в водной фазе образовывать некоторые устойчивые к седиментации ассоциаты, которые условно можно отнести к коллоидным растворам. Определение параметров таких коллоидных систем классическими физико-химическими методами невозможно из-за низких концентраций (около  $10^{-7}$  М). Наше предположение о наличии коллоидного механизма переноса подтверждают следующие серии опытов.

В экспериментах, описанных в пункте 2, мы могли измерять как истинную, так и коллоидную растворимость. Как и в предыдущих опытах,  $SiO_2$  использовался как инертный носитель для модельных экспериментов. Так как диоксины не сорбируются на кварце, то в колонке с кварцевой ватой могли только механически задерживаться коллоидные частицы, прошедшие через фильтры генерирующей колонки или колонки с почвой. На полисорбе может сорбироваться только истинно растворенное вещество в силу значительного размера гранул. Мы не можем утверждать, что для данных условий достигалось равновесное состояние и что все образовавшиеся коллоидные частицы задерживались на кварцевом фильтре промежуточной колонки, так как на фильтрах, установленных в генерирующей колонке, или в колонке с почвой могла задерживаться значительная часть коллоидных частиц. Однако эти эксперименты позволяют сравнивать изменения, вызываемые различными добавками (табл. 2).

Таблица 2

Растворимость 2,3,7,8-ТХДД в различных водных растворах

Вещество	Растворимость 2,3,7,8-ТХДД, нг/л			
	Элюирование с $SiO_2$		Элюирование с почвы	
	Истинная	Коллоидная	Истинная	Коллоидная
Вода	10	11	3	5
$PcCu(SO_3H)_3$	76	н/д	21	13
$PcFe(SO_3H)_3$	13	н/д	н/д	н/д
$K_2Cr_2O_7$	9	11	н/д	н/д
$(NH_4)_2[SO_4]FeSO_4$	19	35	н/д	н/д
$Fe(NO_3)_3$	н/д	н/д	4	5
$KCr(SO_4)_2$	н/д	н/д	1	1
$NI SO_4$	н/д	н/д	63	н/д

Таким образом, во всех случаях, в которых проводились измерения, обнаружено, что наряду с истинной растворимостью 2,3,7,8-ТХДД облада-

ет и другой формой растворимости, которую условно можно назвать коллоидной, причем добавление модификаторов приводило к увеличению

обоих видов растворимости. На увеличение растворимости оказывало влияние как наличие веществ, образующих л-л-связи, так и неорганических солей. Изменение рН среды не оказывало влияния на растворимость 2,3,7,8-ТХДД в воде.

В серии экспериментов 3 определяли количество 2,3,7,8-ТХДД, оставшегося на  $\text{SiO}_2$  после пропускания раствора, влияние которого на общую растворимость исследовали, и рассчитывали растворимость диоксина в этом растворе. Общая растворимость 2,3,7,8-ТХДД в дистиллированной воде составила 120 нг/л. В растворах 0,1% додецилсульфата натрия, полиоксиэтилсорбитана моноолеата и насыщенного раствора ( $\approx 0,05\%$ ) цетилпирединия бромистого, а также в 1%-ном растворе ацетона растворимость составила около 140 нг/л. Таким образом, в данных условиях добавление анионного, катионного и неионогенного ПАВ не давало существенного увеличения общей растворимости.

Добавление 0,1 М раствора  $\text{CuSO}_4$  не привело к изменению растворимости. Измерения с  $\text{CuSO}_4$  не проводили в условиях, описанных в пункте 2, из-за возможного выделения меди на стальных деталях.

### ВЫВОДЫ

Показано, что 2,3,7,8-ТХДД способен образовывать устойчивые к седиментации ассоциаты, которые можно отнести к коллоидным растворам. Коллоидная растворимость в условиях проведенных экспериментов может значительно превышать истинную растворимость – до 3 порядков. Добавление водорастворимых веществ различной природы (фталоцианины, соли металлов) может приводить к увеличению как истинной, так и коллоидной растворимости.

Вероятно, эти свойства диоксинов могут обеспечивать массоперенос в природе. Наличием коллоидной растворимости может быть также объяснена неполная сорбция на угле из водных растворов, степень извлечения не превышает 90%. Эту особенность необходимо учитывать не только при создании фильтров для очистки воды от диоксиноподобных веществ, но и при разработке методов, препятствующих распространению этих веществ в почве. В целом, на малую подвижность диоксинов в почвах наибольшее влияние оказывает взаимодействие с матрицей, а не низкая растворимость, причем диоксины способны как к межмолекулярному взаимодействию с органическими молекулами, так и к взаимодействию с неорганическими ионами.

Поверхностно-активные вещества, вероятно, не могут использоваться для извлечения диоксинов из почвы из-за отсутствия значительного увеличения растворимости при их использовании.

Наличие у 2,3,7,8-ТХДД способности к увеличению общей растворимости за счет комплексообразования и образования коллоидных растворов может потребовать пересмотра принятой сейчас системы оценки воздействия диоксиноподобных веществ на организм, поскольку, как отмечено [15], токсичность изомеров, содержащих фрагмент 2,3,7,8-ТХДД, тем выше, чем выше их растворимость в воде.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев Н.А. Контроль суперэкоотоксикантов в окружающей среде и источники их появления // Журн. аналит. хим. 1996. Т. 51, № 2. С. 163-172.
2. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.
3. Трегер Ю.А. Розанов В.Н. // Диоксины супертоксиканты XXI века. Проблемы; Инф. вып. М.: ВИНТИ. 1997. №1. С. 25-31.
4. Herbicides and defoliants in war. / Vietnam courier, Hanoi. 1983, -98 p.
5. Определение ТХДД, ТХДФ и родственных соединений в промышленном гербициде 2,4-Д / Бродский Е.С., Ключев Н.А., Жильников В.Г., Муринец Н.В., Бочаров Б.В., Русинов Г.А. // ЖАХ. 1992. Т. 47, № 81. С.1497-1503.
6. Федоров Л.А., Мясоедов Б.Ф. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы// Успехи химии. 1990. Т.59, №11. С.1818.
7. Choudhry G.G., Webster G.R.B. Environmental photochemistry of PCDDs // Chemosphere. 1985. V. 14, №1. P. 9 - 26.
8. Bumpus J., Aust S.D. Solving hazardous waste problems: learning from dioxins' Adv. Chem. Soc. Ed. J.H. Exner, Washington: Amer. Chem. Soc. 1987. V.338. P.340.
9. Weber R., Sakurai T., Hagenmaier H. Formation and destruction of PCDD and PCDF during hit treatment of fly ash from fluidized bed incinerator // Dioxin'98. Organohalogen Compounds. V.36. P.45.
10. Marple L., Brunck R., Throop L.// Environ. Sci. Technol. 1986. V.20. P. 180.
11. Matsuda M., Funeno H. Hoang Trong Quynh // Dioxin'94 Shot Papers. Organohalogen Compounds. Kyoto. 1994. V.20. P.41-45.
12. Hayatsu H. Cellulose bearing covalently linked copper phthalocyanine trisulphonate as an adsorbent selective for polycyclic compounds and its use in studies of environmental mutagens and carcinogens //Journal of

Chromatography. 1992. V.597. P.37-56.

13. Safariková M., Safarik I. The use of copper phthalocyanine dye on magnetic carriers for the isolation of planar organic compounds //Экологическая химия. 1996. Т.5. С.205-209.

14. In situ surfactant washing of polychlorinated-biphenil and oils from a contamination site /Abdul A.S., Gibson A.N., Ang C.C. Smith J.C. Sobczynski R.E.//Ground Water. 1992 V.31, № 2. P.219-231.

15. Yufit S.S. // Dioxin'97. Organohalogen Compounds. 1997. V. 33, P.165-168.

# Sheffield Analytical Chemistry

— Concentrated information/or Professionals —

## INDUCTIVELY COUPLED PLASMA SPECTROMETRY AND ITS APPLICATIONS

*Sheffield Analytical Chemistry, Volume 1*

Edited by **Steve J Hill**, Department of Environmental Sciences, University of Plymouth.

The first volume in a new series which presents the state of the art in chosen sectors of analytical chemistry. This volume considers the principles of inductively coupled plasmas, the instrumentation, the methodology and applications within the three principal areas of environmental analysis, earth science and food science. There are two chapters on ICP-MS.

For analytical chemists, environmental scientists, food scientists, earth scientists and pharmaceutical chemists.

### CONTENTS

Introduction. Fundamental principles of inductively coupled plasmas. Instrumentation for ICP-AES. Aerosol generation and sample transport in plasma spectrometry. Fundamental aspects of ICP-MS. Use of ICP-MS for isotope ratio measurements. Alternative plasmas and sample introduction systems. Environmental applications of plasma spectrometry. Geological applications of plasma spectrometry. Applications of plasma spectrometry in food science. References. Index.



ISBN 1-85075-936-7    £89.00    Published

Hardback    234 x 156 mm    384 pages    illustrated

## EXTRACTION METHODS IN ORGANIC ANALYSIS

*Sheffield Analytical Chemistry, Volume 2*

Edited by **Alan J Handley**, LGC, Runcorn, Cheshire.

In this volume, authors drawn from respected laboratories around the world cover conventional and more recent techniques of extraction and sample preparation — crucial elements in accurate analysis. In recent years, there has been an explosion of interest in new methodologies, fuelled by the need for faster and simpler analysis, but until now there has been no book dedicated to this important area. In the present volume, each chapter covers some background theory, the available instrumentation and the strengths and weaknesses of the method. Key applications areas are then addressed. The book is thoroughly referenced and indexed.

For analytical chemists, organic chemists, environmental scientists, food scientists, pharmaceutical chemists, polymer chemists and earth scientists working in the academic and industrial sectors.

### CONTENTS

Introduction. Solvent and membrane extraction in organic analysis. Solid phase extraction (SPE) in organic analysis. Solid phase micro extraction (SPME) and membrane extraction with a sorbent interface (MESI) in organic analysis. Supercritical fluid extraction in organic analysis. Pressurized fluid extraction (PFE) in organic analysis. Microwave-assisted solvent extraction in organic analysis. Biological / pharmaceutical applications. Polymers and polymer additives. Environmental applications. References. Index.

ISBN 1-85075-941-3    £79.00    March 1999

Hardback    234 x 156 mm    c 320 pages    illustrated



### Sheffield Academic Press

Mansion House, 19 Kingfield Road, Sheffield, S11 9AS, England.  
Tel. +44 (0)114 255 4433 Fax: +44 (0)114 255 4626  
Sales@sheffac.demon.co.uk