



Программа Организации
Объединенных Наций по
окружающей среде



Distr.: General
4 December 2007

Russian
Original: English

Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях
Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей
Третье совещание
Женева, 19-23 ноября 2007 года

Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей о работе его третьего совещания

Добавление

Пересмотренная характеристика рисков по хлордекону

На своем третьем совещании Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей пересмотрел и утвердил характеристику рисков по хлордекону на основе проекта, содержащегося в документе UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.2. Текст этой характеристики рисков с внесенными поправками приводится ниже. Он не был официально отредактирован.

ХЛОРДЕКОН

ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКОВ

Утверждено Комитетом по рассмотрению
стойких органических загрязнителей
на его третьем совещании

Ноябрь 2007 года

СОДЕРЖАНИЕ

Резюме	4
1 Введение.....	5
1.1 Идентификационные данные предлагаемого химического вещества.....	5
1.1.1 Наименования и регистрационные номера	5
1.1.2 Структура	5
1.1.3 Физические и химические свойства.....	5
1.2 Заключение Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей в отношении полученной в рамках приложения D информации о хлордеконе.....	6
1.3 Источники данных	7
1.4 Статус химического вещества в рамках международных конвенций.....	7
2 Сводная информация по характеристике рисков	8
2.1 Источники.....	8
2.1.1 Производство	8
2.1.2 Торговля и складские запасы.....	8
2.1.3 Виды применения	8
2.1.4 Выбросы в окружающую среду.....	9
2.2 Экологическая "судьба"	9
2.2.1 Стойкость	9
2.2.2 Биоаккумуляция.....	10
2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния.....	11
2.3 Воздействие	14
2.3.1 Концентрации в окружающей среде	14
2.3.2 Воздействие на человека.....	15
2.4 Оценка опасности по критическим параметрам	15
2.4.1 Токсичность	15
2.4.2 Экотоксичность	20
3 Обобщение информации.....	24
4 Заключение	24
Литература.....	26

Резюме

Европейское сообщество и входящие в него государства-члены, являющиеся Сторонами Стокгольмской конвенции, предложили включить хлордекон в перечень, содержащийся в Конвенции. На своем совещании в ноябре 2005 года Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей пришел к заключению о соответствии этого вещества критериям отбора, изложенным в приложении D к Конвенции, и о необходимости подготовки проекта характеристики рисков в целях дальнейшего рассмотрения данного предложения.

Хлордекон представляет собой синтетическое хлорированное органическое соединение, которое используется главным образом в качестве сельскохозяйственного инсектицида, майгицида и фунгицида. Впервые он был изготовлен в 1951 году и поступил на рынок в Соединенных Штатах Америки в 1958 году (торговые названия "Кепон®" и "GC-1189"). Он имелся в продаже в Соединенных Штатах до 1976 года. Во Франции хлордекон предлагался на рынке под торговым названием "Кюрлон" с 1981 по 1993 годы. Традиционно хлордекон используется в различных регионах мира для борьбы с самыми разнообразными вредителями. Он широко применяется при выращивании бананов в качестве средства от долгоносиков, для уничтожения личинок мух, в качестве фунгицида при борьбе с паршой яблони и настоящей мучнистой росой и для борьбы с колорадским картофельным жуком, войлочковым клещом на неплодоносящих цитрусовых, а также с картофельным и табачным проволочником, поражающим гладиолусы и другие растения. Учитывая специфичное использование хлордекона в качестве пестицида, можно ожидать, что все объемы произведенного вещества в конечном итоге попадут в окружающую среду.

Гидролиз или биоразложение хлордекона в водной среде или в почве маловероятны. Масштабы прямого фоторазложения невелики. Поэтому хлордекон считается крайне стойким в окружающей среде. Значения КБК для хлордекона достигают в водорослях 6000, в беспозвоночных - 21 600, а в рыбах - 60 200, причем имеются подтвержденные случаи биоусиления; в силу этого считается, что он обладает высокой способностью к биоаккумуляции и биоусилению.

Имеющиеся данные не дают оснований для окончательного вывода о переносе хлордекона в газообразной форме на большие расстояния в атмосфере. Вместе с тем атмосферный перенос вещества, соединенного с твердыми частицами, и перенос частиц в составе отложений океанскими течениями, равно как и биотический перенос, могут в свою очередь способствовать переносу хлордекона на большие расстояния в окружающей среде. Из-за отсутствия данных по мониторингу хлордекона оценка его способности к переносу на большие расстояния основывалась на соответствующих физико-химических свойствах и применении моделей переноса на большие расстояния.

Хлордекон легко поглощается организмом и накапливается в нем при продолжительном воздействии. Этот высокотоксичный пестицид продолжительное время сохраняет свою токсичность и, согласно результатам исследований, при дозах от 1 до 10 мг/кг живой массы в сутки вызывает токсическое поражение нервной, иммунной, репродуктивной и опорно-двигательной систем, а также печени у подопытных животных. Дозы на уровне 1 мг/кг живой массы в день приводили к раку печени у крыс, и при аналогичных дозах наблюдается воздействие на репродуктивные функции. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к категории возможных канцерогенов человека (группа МАИР 2В). Кроме того, хлордекон весьма токсичен для водных организмов, среди которых наиболее уязвимой группой являются беспозвоночные.

Исходя из имеющихся фактических данных, хлордекон может в результате его переноса на большие расстояния в окружающей среде приводить к столь значительным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и для окружающей среды, что это обуславливает необходимость принятия соответствующих мер на глобальном уровне.

1 Введение

Европейское сообщество и входящие в него государства-члены, являющиеся Сторонами Стокгольмской конвенции, предложили включить хлордекон в перечень, содержащийся в приложении А к Конвенции (UNEP/POPS/POPRC.1/6).

Соответствующий проект характеристики рисков подготовлен во исполнение принятого Комитетом по рассмотрению стойких органических загрязнителей на его первом совещании в ноябре 2005 года решения учредить специальную рабочую группу в целях дальнейшего рассмотрения данного предложения (UNEP/POPS/POPRC.1/10).

В настоящем документе все данные представлены согласно Международной системе единиц (СИ), и поэтому многие из них пересчитаны из других единиц в исходных данных. Кроме того, все значения концентрации выражены в кг или л (например, мкг/кг или мл/л).

1.1 Идентификационные данные предлагаемого химического вещества

Хлордекон представляет собой синтетическое хлорированное органическое соединение, которое используется главным образом в качестве сельскохозяйственного инсектицида, майтицида и фунгицида.

1.1.1 Наименования и регистрационные номера

Химическое наименование КАС:

1,1a,3,3a,4,5,5a,5b,6-декахлор-октагидро-1,3,4-метан-2H-циклобута-[cd]-пентален-2-один

Синонимы:

декахлор-пентацикло-[5,2,1,0^{2,6},0^{3,9},0^{5,8}]-декан-4-один,
декахлор-октагидро-1,3,4-метан-2H,5H-циклобута-[cd]-пентален-2-один
декахлоркетон

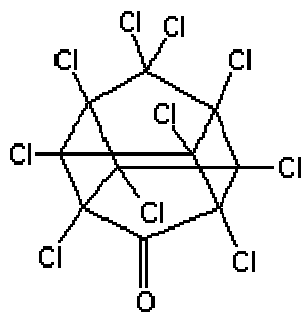
Торговые названия:

GC 1189, Кепон, Мирекс, ENT 16391, Кюрлон

Регистрационный номер КАС:

143-50-0

1.1.2 Структура



Источник: <http://webbook.nist.gov>, согласно ссылке на сайте: <http://ecb.jrc.it>.

В химическом отношении хлордекон весьма схож с мирексом – пестицидом, который уже включен в перечень, предусмотренный в Стокгольмской конвенции. Химическая структура хлордекона отличается от мирекса тем, что кислород в кетонной группе хлордекона замещен в мирексе двумя атомами хлора.

1.1.3 Физические и химические свойства

Физические и химические свойства хлордекона перечислены в таблице 1.1. Она наглядно свидетельствует о широком разбросе между исходными данными по таким физическим свойствам, как давление паров и растворимость в воде. Это подтверждается тем, что значения константы закона Генри различаются на целый порядок величины в зависимости от типа данных, используемых для расчета. В целом источники использованных данных считаются надежными; оценка качества соответствующих данных дана в принятых на основе консенсуса международных/национальных документах (МАИР (IARC), Руководство по санитарии и безопасности (РСБ) МПХБ (IPCS HSG), Критерии санитарного состояния окружающей среды (КССОС) МПХБ

(IPCS EHC) и АРТВЗ США (US ATSDR)); проведена также оценка качества данных, опубликованных в работах Hansch *et al.* и Howard (Pedersen *et al.*, 1995).

Таблица 1.1. Физические и химические свойства хлордекона

Свойства	Единицы	Значения	Ссылки
Молекулярная формула		C10Cl11O	
Молекулярный вес	г/моль	490,6	
Внешний вид при нормальных температуре и давлении		Белое твердое кристаллическое вещество с бежеватым оттенком	IARC, 19791
Давление паров	Па	3,0x10 ⁻⁵ (25°C) < 4,0x10 ⁻⁵ (25°C) 4,0x10 ⁻⁵ (25°C)	Kilzer, I et al., 19792 IARC, 19791 HSG 41 (PCB-41), IPCS, 1990 HSG 41 (PCB-41), IPCS, 1990 EHC 43 (KCCOC-43), IPCS, 1990
Растворимость в воде	мг/л	0,35-1,0x 1-2 2,7 (25°C) 3,0	Kilzer, I et al., 19792 Kenaga, 1980
Температура плавления	°C	350; (разлагается)	IARC, 19791
Температура кипения	°C	Нет данных	
Log KOW		4,50	Howard, 19911
Log KAW		5,41	Hansch et al., 19952
Log KOC		-6,69	Scheringer et al., 2006
		3,38-3,415	Howard, 19911
		5,45x10 ⁻³ (25°C)	Расчетная величина ²
Константа закона Генри	Па м ³ /моль	2,53x10 ⁻³ (20°C) 4,9x10 ⁻³ 2,0x10 ⁻²	Howard, 19911 Расчетная величина ³ Расчетная величина ⁴
Константа скорости реакции атмосферного ОН	см ³ /молекула-сек	≈ 0 (25° C) ^j	Meylan & Howard, 19932

* Вероятно, что цифра 0,35 выбивается из ряда. Поскольку в источнике (PCB-41 МПХБ) не приводится соответствующих ссылок, установить происхождение этого значения не представляется возможным. В более основательном докладе МПХБ - КССОС-43 - ссылка приводится и использовано значение 1-2 мг/л. Оно находится в том же диапазоне, что и другие значения в подобных рассмотренных статьях. АРТВЗ ссылается на значение в 3 мг/л из работы Kenaga.

1: Сведения из доклада US ATSDR, 1995.

2: Сведения с веб-сайта: <http://esc.syres.com/interkow/webprop.exe>.

3: Рассчитано исходя из максимального значения растворимости в воде и минимального значения давления паров, приводимых в данной таблице.

4: Рассчитано исходя из минимального достоверного значения растворимости в воде (1 мг/л) и максимального значения давления паров, приводимых в данной таблице.

1.2 Заключение Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей в отношении полученной в рамках приложения D информации о хлордеконе

На своем первом совещании, состоявшемся 7-11 ноября 2005 года¹, Комитет по рассмотрению СОЗ применил критерии отбора, оговоренные в приложении D к Стокгольмской конвенции, и в соответствии с пунктом 4 а) статьи 8 Конвенции постановил, что он удовлетворен тем, что критерии отбора по хлордекону выполнены. Кроме того, в соответствии с пунктом 6 статьи 8 Конвенции и пунктом 29 решения СК-1/7 Конференции Сторон Стокгольмской конвенции он принял решение учредить специальную рабочую группу для дальнейшего рассмотрения данного предложения и подготовки проекта характеристики рисков в соответствии с приложением E к Конвенции. Руководствуясь пунктом 4 а) статьи 8 Конвенции, он предложил Сторонам и наблюдателям представить в секретариат информацию, оговоренную в приложении E к Конвенции, до 27 января 2006 года.

¹ См. доклад о работе совещания по адресу: www.pops.int/documents/meetings/poprc.

1.3 Источники данных

Настоящая характеристика рисков основана главным образом на информации из следующих обзорных докладов:

- Критерии санитарного состояния окружающей среды (КССОС) (Environmental Health Criteria) 43: хлордекон. Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева, 1990 г. (имеется на сайте: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc43.htm>);
- Руководство по санитарии и безопасности (РСБ) (Health and Safety Guide) № 41, 1990. Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева, 1990 г. (имеется на сайте: <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg041.htm>);
- Токсикологические характеристики мирекса и хлордекона. Министерство здравоохранения и социального обеспечения США, Агентство по регистрации токсичных веществ и заболеваний (АРТВЗ), август 1995 г. (имеется на сайте: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp66-p.pdf>).

Вышеуказанные подробные обзорные доклады использовались в качестве основных источников информации о данном химическом веществе, предложенном для включения в перечень СОЗ. Прежде чем приступить к составлению настоящей характеристики рисков, был предпринят детальный поиск литературы по хлордекону, который не привел к выявлению каких-либо дополнительных докладов по оценке этого химического вещества, будь то международных или на уровне отдельных стран. В случаях цитирования соответствующих обзоров, цитируемый (или цитируемый с изменениями) текст включает ссылки, приводимые в исходном обзоре. Такие ссылки не указываются отдельно в приводимом перечне литературы.

В ответ на просьбу Комитета по рассмотрению СОЗ о представлении по хлордекону дополнительной информации, оговариваемой в приложении Е к Конвенции, соответствующая информация была представлена, причем в основном она была почерпнута из открытых источников. Вместе с тем Франция представила подготовленный для Национального собрания доклад, в котором изложена история производства и использования хлордекона на Мартинике и Гваделупе (Beaugendre, 2005).

Был проведен и поиск более недавней информации, в частности, с использованием ресурсов библиотеки Датского технического университета и базы данных FINDit (поиск по ключевым словам: "хлордекон", "кепон", "мирекс"), а также поиск в общедоступных базах данных. К их числу относятся "Экотокс" (АООС США, <http://www.epa.gov/ecotox/>), "NITE" (Национальный институт технологии и оценки, Япония, <http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>), доклады ФУОС (BUA Reports) (<http://www.gdch.de/taetigkeiten/-bua/berichte.htm>) и База данных по экологической "судьбе" (<http://www.syres.com/esc/efdb.htm>). Этот поиск велся по ключевым словам: "хлордекон", "кепон" и "номер КАС 143-50-0". Кроме того, были проведены консультации с Программой мониторинга и оценки для Арктики² и с участниками региональной оценки стойких токсичных веществ в рамках соответствующего Глобального доклада ЮНЕП³. В большинстве случаев дальнейшей информации относительно хлордекона получить не удалось.

1.4 Статус химического вещества в рамках международных конвенций

Хлордекон указан в приложении А Протокола по стойким органическим загрязнителям к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (КТЗВБР). Положения Протокола обязывают Стороны (их в настоящее время - 25) поэтапно прекратить все производство и использование хлордекона. Хлордекон включен в Конвенцию ОСПАР как вещество, потенциально вызывающее беспокойство⁴.

Предложение включить хлордекон в Роттердамскую конвенцию ЮНЕП/ФАО было изучено Комитетом по рассмотрению химических веществ (КРХВ) на его первом совещании в феврале 2005 года. КРХВ постановил, что, исходя из имевшейся на то время информации, уведомления от Швейцарии и Таиланда удовлетворяют

² <http://www.amap.no/>.

³ http://www.chem.unep.ch/pts/gr/Global_Report.pdf.

⁴ Химически родственное соединение - мирекс - уже охвачено Стокгольмской конвенцией. Как мирекс, так и хлордекон включены в Орхусский протокол ЕЭК ООН 1998 года по стойким органическим загрязнителям (СОЗ). Оба вещества охвачены в Конвенции ОСПАР как вызывающие потенциальную беспокойность.

всем критериям, оговоренным в приложении II, за исключением критерия b) iii)⁵. В этой связи КРХВ пришел к заключению о том, что хлордекон пока не может быть рекомендован для включения в приложение III к Роттердамской конвенции.

2 Сводная информация по характеристике рисков

2.1 Источники

2.1.1 Производство

Хлордекон образуется в результате реакции гексахлорциклопентадиена и трехоксида серы при высокой температуре и под давлением с использованием в качестве катализатора пятихлористой сурьмы. Продукт реакции подвергается гидролизу щелочным раствором и нейтрализуется кислотой; хлордекон извлекается путем центрифугирования или фильтрации и высушивания горячим воздухом (Epstein, 1978) (цитируется по US ATSDR, 1995).

Хлордекон был впервые изготовлен в 1951 году, запатентован в 1952 году и предложен к продаже в Соединенных Штатах Америки компанией "Эллайд кемикл" (Allied Chemical) в 1958 году под торговыми названиями "Кепон®" и "GC-1189" (Epstein, 1978; Huff and Gerstner, 1978). Технические сорта хлордекона, обычно содержавшие 94,5 процента хлордекона, имелись на рынке в Соединенных Штатах Америки до 1976 года (IARC, 1979). Кроме того, присутствие хлордекона в концентрациях до 2,58 мг/кг было выявлено в технических сортах мирекса, а в концентрациях до 0,25 мг/кг – в препаратах мирекса, использовавшихся в качестве приманки (EPA, 1978b; IARC, 1979a) (цитируется по US ATSDR, 1995).

2.1.2 Торговля и складские запасы

С 1951 по 1975 годы в Соединенных Штатах было произведено приблизительно 3,6 млн. фунтов (1,6 млн. кг) хлордекона (Epstein, 1978) (цитируется по US ATSDR, 1995). Производство хлордекона в США было прекращено в 1976 году. Однако годом позже поступили сообщения о том, что одна из французских компаний рассматривает вопрос о создании соответствующих производственных мощностей во Франции (Anonymous, 1978b), однако дальнейшая информация об этом намерении отсутствует (по материалам КССОС-43 (IPCS, 1984)).

Текущих данных относительно объемов импорта хлордекона не имеется. К 1976 году технический хлордекон из Соединенных Штатов не экспортировался, и данное соединение в этой стране более не производилось. С 1951 по 1975 годы компания "Эллайд кемикл" (Allied Chemical) в больших количествах экспортировала технические сорта разбавленного хлордекона (80 процентов активного ингредиента) в Европу, особенно в Германию (Epstein, 1978), где разбавленный технический продукт преобразовывался в аддукт под названием "Келеван". Келеван является производным соединением хлордекона и используется в тех же целях. В окружающей среде он в результате окисления превращается в хлордекон и поэтому может наряду с хлордеконом рассматриваться на предмет включения в Стокгольмскую конвенцию. Приблизительно 90-99 процентов всего объема хлордекона, произведенного за этот период, было экспортировано в Европу, Азию, Латинскую Америку и Африку (DHHS, 1985; EPA, 1978b) (по материалам US ATSDR, 1995). Нет сведений, указывающих на то, что Келеван производится или используется в настоящее время.

С 1981 по 1993 годы хлордекон продавался на рынке Франции компанией "Де Лагарик" (De Laguarique) в виде препарата "Кюрлон". Этот препарат использовался на Мартинике и Гваделупе после поразивших эти страны в 1979 и 1980 годах ураганов "Аллен" и "Дэвид", которые привели к значительному заражению сельскохозяйственными вредителями. Хлордекон для данного препарата был синтезирован в Бразилии. В 1990 году министерство сельского хозяйства Франции отозвало разрешение на кюрлон. Его использование продолжалось до сентября 1993 года (Beaugendre, 2005). В Канаде с 2000 года не зарегистрировано никаких хлордеконсодержащих продуктов для использования в целях борьбы с вредителями.

2.1.3 Виды применения

Хлордекон широко используется в тропиках для борьбы с банановым долгоносиком (Anonymous, 1978a; Langford, 1978). Это единственный известный вид его использования при выращивании продовольственных культур. Он считается эффективным инсектицидом в борьбе с насекомыми-листорезами, но менее эффективен против сосущих насекомых (Information Canada, 1973). Хлордекон традиционно используется в различных

⁵ Этот критерий предусматривает требование о том, чтобы из представленной документации явствовало, что окончательное регламентационное постановление основано на результатах оценки рисков с учетом преобладающих условий в Стране, принимающей такое постановление.

регионах мира для борьбы с широким кругом вредителей. Он может использоваться для уничтожения личинок мух, в качестве фунгицида против парши яблони и настоящей мучнистой росы (Information Canada, 1973), а также для борьбы с колорадским картофельным жуком (Motl, 1977), войлочковым клещом на неплодоносящих цитрусовых и с картофельным и табачным проволочником, поражающим гладиолусы и другие растения (Suta, 1978). Кроме того, хлордекон в концентрациях на уровне приблизительно 0,125 процента используется в такой бытовой продукции, как ловушки для муравьев и тараканов (IARC, 1979a). В приманке для муравьев и тараканов используемая концентрация составляла приблизительно 25 процентов (Epstein, 1978) (по материалам КССОС-43 (IPCS, 1984) и US ATSDR, 1995).

2.1.4 Выбросы в окружающую среду

Учитывая конкретное предназначение хлордекона в качестве пестицида, можно ожидать, что все произведенные объемы в конечном итоге попадут в окружающую среду. Использование хлордекона как пестицида на Мартинике и Гваделупе до 1993 года привело к серьезному загрязнению почвы и поверхностных вод, которые в настоящее время являются объектом мониторинга (Bocquene & Franco, 2005; Beaugendre, 2005).

Имели место значительные выбросы хлордекона в воздух, поверхностные воды и почву вокруг крупного объекта по его производству в г. Хопуэлл, шт. Вирджиния, США. Выбросы с этого предприятия в конечном итоге привели к загрязнению воды, отложений и биоты в реке Джеймс, впадающей в Чесапикский залив (цитируется по US ATSDR, 1995).

2.2 Экологическая "судьба"

Распределение хлордекона в окружающей среде будет определяться высоким значением его $\log K_{ow}$ (5,41 или 4,50) и относительно низкой растворимостью в воде (1-3,0 мг/л), за счет чего происходит сорбция на твердые частицы (пыль, почва и отложения) и органическую материю (живые организмы).

Эти свойства в сочетании с величиной давления паров ($3,0-4,0 \times 10^{-5}$ Па) хлордекона обуславливают относительно низкую способность к испарительному переносу, поскольку соответствующая константа закона Генри составляет от $2,0 \times 10^{-2}$ до $5,45 \times 10^{-3}$ Па м³/моль (25° С) в зависимости от того, какие данные используются при расчете (таблица 1.1).

В КССОС-43 (IPCS, 1984) испарительный перенос хлордекона оценивался на основе лабораторных и полевых наблюдений, свидетельствующих о том, что испарительного переноса хлордекона в сколь-либо значительной степени не происходит (Dawson, 1978). Вместе с тем выброс обильных количеств хлордеконсодержащей пыли с производственных объектов является значительным источником загрязнения окружающей среды и вредного воздействия на людей. Известны случаи переноса хлордекона в воздухе на расстояние до 60 миль от точечного источника (Feldmann, 1976), и существует вероятность дальнейшего рассеивания мелких частиц (Lewis & Lee, 1976) (цитируется с сокращениями по КССОС-43 (IPCS, 1984).

В US ATSDR (1995) выведено заключение о том, что попадающий в окружающую среду хлордекон разделяется между почвой и отложениями. Небольшие объемы могут остаться растворенными в воде, а в конечном итоге попадающий в атмосферу хлордекон осаждается на почве или поверхностных водах.

2.2.1 Стойкость

В КССОС-43 (IPCS, 1984) цитируются ранние доклады, где не приводится каких-либо данных, свидетельствующих о разложении хлордекона в природной среде (Dawson, 1978; Geer, 1978), а также одно из более недавних исследований, показывающее, что под воздействием микробов хлордекон преобразовывался в моногидро- и, возможно, дигидрохлордекон (Orndorff & Colwell, 1980a).

В КССОС-43 (IPCS, 1984) выведено заключение о том, что хлордекон является чрезвычайно устойчивым соединением, разложение которого в окружающей среде в сколь-либо значительной степени маловероятно. Вместе с тем имеются сообщения о выявлении следовых количеств моногидрохлордекона (Carver *et al.*, 1978; Orndorff & Colwell, 1980b), однако ясность относительно механизмов его формирования отсутствует. Воздействие солнечных лучей на хлордекон в присутствии этилендиамина приводит к 78-процентному разложению через 10 суток (Dawson, 1978) (цитируется по КССОС-43 (IPCS, 1984). Однако этилендиамин в атмосфере обычно не присутствует, и поэтому на момент проведения соответствующего исследования информации относительно фотолитической устойчивости хлордекона в условиях окружающей среды не имелось.

В более недавнем обзоре (US ATSDR, 1995) выведено заключение об отсутствии оснований ожидать, что хлордекон подвержен прямому фоторазложению в атмосфере. Кроме того, выведено заключение о том, что хлордекон стоек к аэробному разложению, хотя определенное анаэробное биоразложение все же происходит, и что хлордекон характеризуется высокой стойкостью в окружающей среде. Хлордекон будет прочно

прикрепляться к органической материи в воде, отложениях и почве. Прикрепившись к почве, богатой органическими веществами, хлордекон остается крайне неподвижным, однако при адсорбции на твердые частицы в поверхностных водах хлордекон еще до перехода в отложения может переноситься на большие расстояния. Разложение хлордекона в почве или отложениях происходит главным образом путем анаэробного биоразложения (цитируется с сокращениями по US ATSDR, 1995).

Информация относительно стойкости хлордекона, датируемая после 1995 года, является скудной, однако его использование до 1993 года на острове Мартиника в Карибском море привело к серьезному загрязнению, после чего были начаты соответствующие мониторинговые исследования. В работе Воскуене & Франко (2005) сообщается о концентрациях в пробах 2002 года в воде (твердые частицы) и отложениях в реках на уровнях, соответственно, до 57 мкг/кг и до 44 мкг/кг. Авторы цитируют другие исследования, в которых сообщалось об обнаружении в пробах речной воды, взятых в 2000-2001 годах, концентраций в диапазоне от 1,20 до 2,13 мкг/л.

Несмотря на запрещение хлордекона в материковой Франции, было предоставлено освобождение, разрешавшее использовать его во французской Вест-Индии до сентября 1993 года. Недавнее исследование показало, что он все еще обнаруживается в различных экосистемах Мартиники (Coat, S. *et. al.*, 2006). Не исключено, что запасы хлордекона использовались на Мартинике и после 1993 года, но предполагается, что его использование было прекращено несколько лет назад. Однако остаточное загрязнение все еще наблюдается как в речной воде, так и в отложениях, причем преобладающие анаэробные условия последних допускают единственный известный способ биотического разложения хлордекона. Это тем более примечательно, что климат в данном регионе оптимален не только для сельскохозяйственных культур и вредителей, но и для биоразложения.

Заключение

Гидролиз или биоразложение хлордекона в аэробной водной среде или в почве представляется маловероятным; однако имеются некоторые данные, свидетельствующие о разложении при анаэробных условиях. Степень прямого фоторазложения незначительна. Исходя из всех имеющихся данных, хлордекон считается крайне стойким в окружающей среде.

2.2.2 Биоаккумуляция

В силу липофильного характера данного соединения (высокий коэффициент разделения октанол/вода: (log Kow 4,50–5,41) хлордекон обладает способностью как к биоаккумуляции, так и – с учетом незначительности или отсутствия очистки в ходе обмена веществ – к биоусилению в водных пищевых цепях.

В таблице 2.1 подытожена информация о значениях коэффициентов биоконцентрации (КБК), отобранная из базы данных АООС США "Экотокс" (US EPA, 2006). Включенные результаты основаны на замеренных концентрациях, причем в случае организмов, отличных от водорослей, - выведены из экспериментов на основе воздействия в проточной воде. Таким образом, полученные результаты должны отражать уровни биоконцентрации, достигнутые при постоянном воздействии четко определенных концентраций соответствующего вещества. Что касается рыб, то в таблицу не включены результаты серии опытов продолжительностью в четыре дня, поскольку достижение равновесного состояния за это время считается маловероятным⁶. Дополнительно в таблицу включены результаты двух исследований из КССОС-43 (IPCS, 1984).

Таблица 2.1. Значения КБК по хлордекону

Виды	Продолжительность опытов	Концентрации воздействующего вещества в мкг/л	КБК	Ссылки ¹
Зеленые водоросли (<i>Chlorococum sp.</i> , <i>Dunaliella tertiolecta</i>)	24 ч.	100	230-800	Walsh <i>et al.</i> , 1977
Зеленая водоросль (<i>Chlorococum sp.</i>)	48 ч.	40	6 000	Bahner <i>et al.</i> , 1977
Диатомовые водоросли (<i>Thalassiosira guillardii</i> , <i>Nitzschia sp.</i>)	24 ч.	100	410-520	Walsh <i>et al.</i> , 1977
Ракообразные (<i>Callinectes sapidus</i>)	96 ч.	110-210	6,2-10,4	Schimmel, 1977
Ракообразные (<i>Palaemonetes pugio</i>)	96 ч.	12-121	425-933	Schimmel, 1977

⁶ В Руководстве 305 ОЭСР по проведению опытов предписывается 28-дневная продолжительность фазы воздействия.

Виды	Продолжительность опытов	Концентрации действующего вещества в мкг/л	КБК	Ссылки ¹
Ракообразные (<i>Palaemonetes pugio</i> , <i>Americamysis bahia</i>)	21-28 сут.	0,023-0,4	5 127-13 473	Bahner <i>et al.</i> , 1977
Ракообразные (<i>Palaemonetes pugio</i>)	16 сут.	0,041	12 094	Fisher & Clark, 1990
Устрица (<i>Crassostrea virginica</i>)	19-21 сут.	0,03-0,39	9 278-9 354	Bahner <i>et al.</i> , 1977
Мотыль-хируномида (<i>Chironomus tentans</i>)	14 сут.	11,8-169,2	21 600	Adams <i>et al.</i> , 1985
Рыба (<i>Brevoortia tyrannus</i>)	1-18 сут.	0,14-1,55	2 300-9 750	Roberts & Fisher, 1985
Рыба (<i>Menidia menidia</i>)	1-28 сут.	0,08-0,8	21 700-60 200	Roberts & Fisher, 1985
Рыба (<i>Cyprinodon variegatus</i>)	28 сут.	< 0,02-1,9	3 100-7 115	Bahner <i>et al.</i> , 1977; Hansen <i>et al.</i> , 1977
Рыба (<i>Leiostomus xanthurus</i>)	30 сут.	0,029-0,4	2 340-3 217	Bahner <i>et al.</i> , 1977
Рыба (<i>Pimephales promelas</i>)	56 сут.	0,004	16 600	Huckins <i>et al.</i> , 1982 ²
Рыба (<i>Cyprinodon variegatus</i>)	Жизненный цикл	0,041	1 800-3 900	Goodman <i>et al.</i> , 1982 ²

1: Все сведения цитируются по базе данных "Экотокс" (US EPA, 2006), кроме двух случаев², когда они цитируются по КССОС-43 (IPCS, 1984).

Несмотря на ограниченность информации о биоаккумуляции, обусловленной пищей, в докладе КССОС-43 (IPCS, 1984) приводятся результаты двух соответствующих исследований; одно посвящено воздействию пищи, а другое – пищевой цепи эстуариев. При введении хлордекона с кормом малькам спота в течение 28 дней отмечалось приращение его уровня в живой массе, а равновесное состояние не достигалось (Stehlik & Merriner, 1983). В исследовании пищевой цепи эстуариев (Bahner *et al.*, 1977) были охвачены зеленые водоросли, устрицы, мизиды, травяные креветки, изменчивые карпозубики и споты. Передача от водорослей к устрицам была очень медленной; однако четкая передача от креветки к мизидам и от мизид к споту указывала на то, что большая часть хлордекона передается через трофические уровни. В креветках и рыбе очищение протекало медленно, а уровни хлордекона в тканях снижались на 30-50 процентов за 24-28 суток.

В докладе US ATSDR (1995), где рассмотрены процессы биоаккумуляции хлордекона и мирекса, указывается, что оба вещества характеризуются высокой степенью липофильности и поэтому обладают высокой способностью к биоконцентрации. Они биоаккумулируются в водных пищевых цепях, причем разложения этих соединений в подвергающихся их воздействию организмах практически не происходит (de la Cruz и Naqvi, 1973; Epstein, 1978; Huckins *et al.*, 1982; Huggett и Bender, 1980; Kenaga, 1980; Lunsford *et al.*, 1987; Naqvi and de la Cruz, 1973; Nichols, 1990; Oliver and Niimi, 1985 и 1988; Roberts и Fisher, 1985)⁷.

Имеющаяся информация о поглощении и биоаккумуляции хлордекона в пищевых цепях на суше весьма ограничена (Naqvi and de la Cruz, 1973), а данные наблюдений свидетельствуют о малой степени поглощения хлордекона растениями (Topp *et al.*, 1986).

Заключение

Поскольку значения КБК в водорослях достигают 6000, в беспозвоночных - 21 600, а в рыбах - 60 200, и задокументированы случаи биоусиления, считается, что хлордекон обладает высокой способностью к биоаккумуляции и биоусилению.

2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния

Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния можно документально определить на основе данных мониторинга из отдаленных регионов (напр., в Арктике) и/или по физико-химическим характеристикам соответствующей молекулы, способствующим такому переносу. Наиболее хорошо известным механизмом переноса на большие расстояния является атмосферный перенос веществ в паровой фазе. Вместе с тем свою роль могут играть и атмосферный перенос веществ, соединенных с частицами, перенос океанскими течениями частиц в составе отложений, а также биотический перенос (см., напр., АМАР, 2004).

⁷

Эти ссылки касаются как мирекса, так и хлордекона.

Одной из предпосылок атмосферного переноса на большие расстояния является устойчивость к разложению, а хлордекон считается весьма стойким в окружающей среде (см. раздел 2.2.1). Хлордекон не обладает сколь-либо значительной летучестью (см. раздел 2.2). Разделение хлордекона в окружающей среде будет определяться высоким значением его $\log K_{ow}$ (5,41 или 4,50) и относительно низкой растворимостью в воде (1-3,0 мг/л), обуславливающими сорбцию на твердые частицы (пыль, почва и отложения), а также на органические вещества и живые организмы. Поэтому предполагается, что перенос на большие расстояния происходит именно через эти каналы.

В докладе US ATSDR (1995) указывается, что результаты анализа проб, отобранных из фильтров крупнообъемных воздухозаборников в Хопуэлле, подтвердили факт атмосферного переноса пыли, содержащей частицы хлордекона, в годы, когда там велось его производство. Приблизительно в 200 ярдах от предприятия по производству хлордекона отмечалось присутствие этого вещества в диапазоне от 3,0 до 55 мкг/м³ в зависимости от погодных условий и даты отбора проб. В мае 1975 года на более отдаленных участниках отмечались уровни в диапазоне от 1,4 до 21 нг/м³. В частности, в Саут-Ричмонде, расположенном в 15,6 милях к северо-западу от Хопуэлла, соответствующий уровень составлял 1,41 нг/м³. В аэропорту "Бэрд", расположенном в 14,12 милях к северу от Хопуэлла, уровень составлял 1,93 нг/м³. В Питерсберге, расположенном в 8,19 милях к юго-западу от Хопуэлла, уровень составлял 20,7 нг/м³ (Epstein, 1978). В заключение авторы указывают на известные случаи присутствия взвешенного в воздухе хлордекона на расстоянии до 60 миль от точечного источника (Feldmann, 1976) и делают вывод о возможности дальнейшего рассеивания мелких частиц (Lewis & Lee, 1976) (US ATSDR, 1995).

Перенос в водной среде наглядно подтверждается результатами замеров содержания в двухстворчатых моллюсках и устрицах из реки Джеймс, произведенных в нескольких местах на расстоянии 8-64 миль от Хопуэлла, шт. Вирджиния; в них было обнаружено от 0,2 до 0,8 мг/кг хлордекона (Epstein, 1978).

Вместе с тем отсутствуют документальные данные относительно концентраций хлордекона в районах, находящихся на большом расстоянии от мест его производства или использования. Поэтому оценка способности хлордекона к переносу на большие расстояния должна основываться на соответствующих физических свойствах. В этих целях наиболее значимыми свойствами – помимо стойкости – считаются давление паров и константа закона Генри. Для всесторонней оценки способности к переносу в атмосфере на большие расстояния требуются сведения о давлении паров как при высокой, так и при низкой температурах (напр., 25°C и 0°C). Такая информация, однако, имеется только по немногим веществам (AMAP, 2004), в связи с чем для измерения летучести соответствующего вещества используется давление паров при 25°C.

В качестве общего правила принято, что вещества с давлением паров на уровне $>1,33 \times 10^{-2}$ Па будут находиться полностью в паровой фазе, а вещества с давлением паров на уровне $<1,0 \times 10^{-4}$ Па будут иметь форму частиц (US ATSDR, 2004).

Один из способов оценки характеристик и воздействия того или иного вещества, по которому отсутствует достаточно информации, заключается в сопоставлении его с более изученными веществами, обладающими схожими характеристиками. Такой подход (известный как "подход на основе опорных параметров") был предложен в работах Scheringer (1997) и Beyer *et al.* (2000) и в последнее время использовался в ряде недавних исследований, касающихся стойкости загрязнителей и их переноса в окружающей среде (см., напр., Vulykh *et al.*, 2006, и Klasmeier *et al.*, 2006). Для измерения значений свойств, позволяющих считать то или иное вещество способным к переносу в атмосфере на большие расстояния, используются параметры тех СОЗ, которые в настоящее время включены в соответствующие перечни. Однако информация относительно физико-химических свойств тех или иных химикатов зачастую сильно различается в зависимости от источников, а качество соответствующих данных не поддается сопоставлению без конкретного анализа отдельных исследований. Об этом наглядно свидетельствуют имеющиеся данные о физико-химических свойствах хлордекона, приведенные в таблице 1.1. Два значения давления паров являются довольно схожими (0,3 и $0,4 \times 10^5$ Па), однако имеющиеся в литературе данные о растворимости в воде различаются на целый порядок величины (от 0,35 до 3,0), причем наименьшее значение считается недостоверным⁸.

Результаты сопоставления хлордекона с уже включенными в соответствующие перечни СОЗ приводятся в таблице 2.2. В качестве отправной точки для такого сопоставления использовались максимальные и минимальные значения по хлордекону (таблица 1.1). По уже включенным в соответствующие перечни СОЗ поиск информации велся на сетевой странице ЮНЕП, посвященной СОЗ. Из СОЗ, включенных в настоящее время в соответствующие перечни, данные, касающиеся большинства представляющих интерес свойств, имелись по альдрину, хлордану, дильдрину, ДДТ, гексахлорбензолу, мирексу, токсафену, эндрину и гептахлору. Справки о недостающей информации (растворимость мирекса в воде) находились в докладах US

⁸ Наличие высококачественных данных относительно соответствующих физико-химических свойств позволило бы подкрепить более определенные выводы.

ATSDR (1995) и АМАР (2004). В докладе US ATSDR (1995) цитируются значения на уровне 0,2 и 0,6 мг/л, тогда как в докладе АМАР (2004) цитируется работа Маскау, где приведено весьма низкое значение растворимости в воде: $6,5 \times 10^{-5}$ мг/л. С тем чтобы избежать внесения в такое сопоставление явно выбивающихся из ряда значений, для растворимости мирекса в воде использовалось значение из доклада US ATSDR (1995).

Данные о растворимости в воде и давлении паров, а также рассчитанные на их основе значения константы закона Генри для СОЗ, включенных в настоящее время в соответствующие перечни, наряду с информацией по хлордекону из таблицы 1.1, обобщены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Значения растворимости в воде (РВ), давления паров (ДП) и (расчетной) константы закона Генри (КЗГ) (при 25°C) для хлордекона и СОЗ, включенных в настоящее время в соответствующие перечни

Вещества	РВ в мг/л	ДП в Па	КЗГ в Па м ³ /моль
Хлордекон-мин	1,0	0,00003	0,0049 ¹
Хлордекон-макс	3,0	0,00004	0,02 ²
СОЗ-мин	0,0012 (ДДТ)	0,000025 (ДДТ)	0,04 (эндрин)
СОЗ-макс	3,0 (токсафен)	27 (токсафен)	3 726 (токсафен)
СОЗ-2 ^й макс	0,5 (дильдрин)	0,04 (гептахлор)	267 (гептахлор)

- 1: Рассчитано исходя из максимального значения растворимости в воде и минимального значения давления паров.
- 2: Рассчитано исходя из минимального достоверного значения растворимости в воде и максимального значения давления паров.

Данные в таблице 2.2 показывают, что значения растворимости хлордекона в воде находятся на уровне наиболее растворимых в воде СОЗ из числа включенных в настоящее время в соответствующие списки (токсафен и дильдрин), тогда как по давлению паров он сопоставим с ДДТ. Из рассчитанных для хлордекона двух значений константы закона Генри наиболее высокое имеет тот же порядок величины, что и значение для эндрина. Следует отметить, что при представлении данных в таблице 2.2 не предполагается, что соответствующее химическое вещество (в данном случае хлордекон) считается удовлетворяющим критерию переноса в окружающей среде на большие расстояния лишь потому, что оно вписывается в тот же диапазон значений СОЗ, что и СОЗ, включенные в настоящее время в соответствующие перечни.

В дополнение к вышесказанному следует упомянуть, что в последнем из докладов АМАР по СОЗ (АМАР, 2004) рассматриваются возможности переноса вместе с твердыми частицами веществ, значения константы закона Генри (КЗГ) которых близки к значению для хлордекона (КЗГ = 0,0049 или 0,056). На основе значений КЗГ из доклада АМАР (2004) выведено заключение о том, что такие полувolatile соединения, как линдан (γ -НСН) (КЗГ = 0,000149) и хлордан (КЗГ = 0,342), распределяются между взвешенными в воздухе частицами и газообразной фазой в зависимости от температуры. Они могут вымываться осадками и временно осаждаться в морской воде или почве, а также могут абсорбироваться водой, растениями и поверхностной почвой из газообразной фазы. При благоприятных теплых погодных условиях эти соединения в результате испарения снова попадают в атмосферу, где происходит их дальнейший перенос. Такое повторное обретение подвижности называют также "эффектом кузнечика". Роль бурь в попадании вновь обретших подвижность полувolatile соединений в атмосферу очевидна, но все еще мало исследована (АМАР, 2004).

Помимо вышесказанного, такие отдельные физико-химические свойства хлордекона, как коэффициенты разделения $\log K_{ow}$ (коэффициент разделения октанол/вода) и $\log K_{aw}$ (коэффициент разделения воздух/вода), схожи с соответствующими свойствами некоторых компонентов токсафена, что в дополнение к его стойкости в воздухе и воде будет означать вероятность сопряженного переноса на большие расстояния в атмосфере и океанах (т. е. данное вещество переходит из атмосферной газовой фазы в океаническую растворенную фазу и обратно, а также может переноситься в любой из этих фаз) (Wania, F., 2006, сообщение автора). Значение константы закона Генри для хлордекона является весьма низким, а его тяжелая фракция присутствует в воде, из чего можно предположить, что перемещение с океанскими течениями способствует переносу хлордекона на большие расстояния.

В ходе недавнего исследования на основе моделирования, Scheringer *et al.* (2006), исследовались стойкость и способность к переносу на большие расстояния потенциальных СОЗ, включая хлордекон и гексабромдифенил, с использованием принятой в ОЭСР методике отбора, в соответствии с которой общая стойкость в окружающей среде и способность к переносу оценивались на основе результатов применения нескольких из

имеющихся в настоящее время моделей экологической "судьбы" в различных средах (более подробное разъяснение см. также в работах Klasmeier *et al.*, 2006 и Fenner *et al.*, 2005). По итогам такой оценки авторы пришли к выводу о том, что четыре потенциальных СОЗ обладают свойствами стойкости и способности к переносу на большие расстояния, которые схожи со свойствами нескольких известных СОЗ. Кроме того, проведенный ими анализ факторов неопределенности, в том числе неопределенности относительно качества данных, показал, что, несмотря на значительную неопределенность в отношении химических свойств четырех потенциальных СОЗ, соответствующие результаты являются обоснованными. Следует отметить, что результаты моделирования экологической "судьбы" во многом зависят от допустимых предположений, особенно когда неизвестны такие существенно важные данные, как периоды полураспада в окружающей среде. Кроме того, результаты по веществам типа хлордекона, которые прочно соединяются с частицами и обладают очень низкой летучестью, в значительной степени определяются средой, в которую эти вещества попадают, т.е. в воздух, в воду или в почву. Сценарий выбросов в атмосферу во всех случаях показывает наивысшую эффективность переноса, значения которой фигурируют в приводимых в работе Scheringer *et al.* (2006) графиках. При оценке в рамках сценариев выбросов в почву и воду значения эффективности переноса будут наверняка отличаться на несколько порядков величины.

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что, как следует из приведенной выше информации, имеющиеся данные о хлордеконе не позволяют сделать окончательных выводов в том, что касается атмосферного переноса на большие расстояния в газообразной форме. Вместе с тем атмосферный перенос веществ, соединенных с твердыми частицами, перенос частиц в отложениях океанскими течениями, равно как и биотический перенос, могут со своей стороны способствовать перемещению хлордекона в окружающей среде на большие расстояния. Вполне возможным представляется также сопряженный перенос из атмосферы в океан и обратно.

Ввиду отсутствия данных мониторинга по хлордекону, оценка его способности к переносу на большие расстояния должна основываться на соответствующих физико-химических свойствах и данных моделирования. Проведенное исследование на основе моделирования, Scheringer *et al.*, 2006, ясно показывает, что перенос в окружающей среде на большие расстояния возможен (и, возможно, в большей степени, чем согласно фактическим оценкам), даже принимая во внимание неопределенность относительно физико-химических свойств.

В соответствии с пунктом 7 а) статьи 8 Конвенции и с учетом того, что отсутствие полной научной определенности не должно препятствовать рассмотрению того или иного предложения, можно утверждать, что хлордекон в результате его переноса в окружающей среде на большие расстояния приводит к столь значительным и неблагоприятным последствиям для здоровья человека и для окружающей среды, что это обуславливает необходимость принятия соответствующих мер на глобальном уровне.

2.3 Воздействие

2.3.1 Концентрации в окружающей среде

Имеющаяся информация относительно концентраций хлордекона в окружающей среде является весьма ограниченной и касается только районов вблизи мест производства (США) или использования (Мартиника).

В докладе US ATSDR (1995) приводятся данные о присутствии хлордекона в окружающей среде по прекращении производства этого вещества. В 1977 году, т.е. через 12 лет после начала производства хлордекона и через два года после прекращения его производства, средние уровни концентрации хлордекона в устьевых водах (в растворенном виде) составляли <10 нг/л (промилле) (Nichols, 1990). В октябре 1981 года, т.е. через шесть лет после прекращения производства, уровни концентрации хлордекона в воде находились в диапазоне от не поддающихся выявлению до 0,02 мкг/л (частей на миллиард) (Lunsford *et al.*, 1987). Несмотря на отсутствие данных мониторинга грунтовых вод, широкомасштабное просачивание хлордекона в грунтовые воды маловероятно, поскольку он вступает в прочную связь с содержащимися в почве органическими веществами (цитируется с сокращениями по US ATSDR, 1995).

Недавние данные мониторинга в Соединенных Штатах наглядно свидетельствуют о стойкости хлордекона, известного в Соединенных Штатах под названием "кепон". Данное вещество охвачено Национальным исследованием тканей озерной рыбы, проводимым АООС США в целях оценки распределения в стране остатков отдельных веществ в ткани рыб из озер и водоемов 48 континентальных штатов. В период с 2000 по 2005 годы был проведен сбор и анализ в общей сложности 881 пробы. Наличие хлордекона отмечено в 152 случаях (17,25 процента) – в диапазоне от 12,3 до 2008 частей на миллиард (Jensen, 2006).

Широко распространенное использование хлордекона до 1993 года на Мартинике привело к загрязнению почв и поверхностных вод на большей части острова (Bosqueñé & Franco, 2005). Авторы сообщили результаты проводившегося с 2002 года исследования на предмет присутствия ряда пестицидов в воде устьев семи рек.

Произведенные ими замеры показали, что хлордекон присутствует в твердых частицах или отложениях шести из семи рек в концентрациях до 57 мкг/кг в твердых частицах и до 44 мкг/кг в отложениях.

В работе Vosquené & Franco (2005) цитируются результаты других исследований, в ходе которых в 2001-2002 годах в реках Мартиники были замерены концентрации хлордекона в диапазоне от 1,20 до 2,13 мкг/л. В этой же работе констатировалось "повсеместное" наличие хлордекона в речной воде, используемой для питья.

Помимо этого, в докладе, подготовленном для Национального собрания (Beaugendre, June 2005), изложена история использования хлордекона на Гваделупе и Мартинике и упомянуты несколько программ мониторинга, по итогам которых в конце 2005 года должны были быть подготовлены соответствующие доклады. Однако на момент составления настоящего документа эти доклады не поступили.

2.3.2 Воздействие на человека

В докладе US ATSDR (1995) опыт по итогам производства хлордекона обобщается следующим образом: хлордекон не обнаружен в жировых тканях человека или в пробах крови у населения в целом, хотя история знает случаи его обнаружения в пробах материнского молока, взятых в юго-восточной части Соединенных Штатов (EPA 1978c). Имеется информация относительно уровней хлордекона в крови работников, подвергавшихся его воздействию в 1974-1975 годах в силу своей профессиональной занятости на соответствующем объекте в Хопуэлле, шт. Вирджиния, а также в крови членов их семей (Cannon *et al.*, 1978; Epstein 1978; Knishkowsky & Baker 1986; Taylor *et al.*, 1978) (цитируется по US ATSDR, 1995). Дополнительные данные о воздействии на человека цитируются в разделе 2.4.1.

Информации относительно воздействия на человека в результате прямого использования (применения) хлордекона на островах в Карибском море не имеется. Вместе с тем данные мониторинга по сельскохозяйственным почвам, культурам, пресноводным рыбам, прибрежным рыбам и моллюскам указывают на сохраняющуюся возможность воздействия на человека более чем через десять лет после прекращения использования хлордекона на Мартинике и Гваделупе. В почвах, обрабатывавшихся хлордеконом, остаточное загрязнение сельскохозяйственных культур пропорционально загрязнению почв и может превышать рекомендуемые национальные лимиты остаточного загрязнения (50 мкг/кг до 200 мкг/кг). Это касается главным образом таких корнеплодов, как редис (макс. измеренная концентрация: 0,55 мкг/кг), сладкий картофель (макс. измеренная концентрация: 0,300 мкг/кг), корень таро (макс. измеренная концентрация: 0,230 мкг/кг), но также и наземной части таких растений, как сахарный тростник (макс. измеренная концентрация: 0,690 мкг/кг) или ананас (макс. измеренная концентрация: 0,160 мкг/кг). Кроме того, прямому воздействию загрязненных почв подвергаются работники. Установлено также, что концентрации в продуктах рыбного хозяйства (пресные и устьевые воды) в некоторых случаях превышают национальные лимиты остаточного загрязнения на величину, достигающую стократного размера (макс. измеренная концентрация: 20 мкг/кг). На национальном уровне приняты положения, призванные запретить ведение рыбного хозяйства в зараженных районах (Cabidoche *et al.*, 2006).

2.4 Оценка опасности по критическим параметрам

2.4.1 Токсичность

Токсикокинетика у подопытных животных и у человека

Как и в докладе US ATSDR (1995), так и в докладе КССОС-43 (IPCS, 1984) отмечается, что хлордекон хорошо поглощается при поступлении оральным путем, через кожу или дыхательные пути. Токсикокинетические данные получены главным образом в результате опытов на животных (напр., Blanke *et al.*, 1978; Boylan *et al.*, 1979; Cohn *et al.*, 1978; Egle *et al.*, 1978; Fujimori *et al.*, 1982a; Guzelian *et al.*, 1981; Hall *et al.*, 1988; Hewitt *et al.*, 1986b; Kavlock *et al.*, 1980; Plaa *et al.*, 1987; Richter *et al.*, 1979; Shah *et al.*, 1987; Skalsky *et al.*, 1980; согласно докладу ИПС, 1984). После поглощения хлордекон широко распределяется по тканям, накапливаясь в печени и – в меньшей степени – в жировых тканях, тканях мозга и почек; это подтверждено исследованиями с использованием подопытных животных и человека (согласно докладам US ATSDR (1995) и КССОС-43 (IPCS, 1984). После единоразового введения крысам оральным путем дозы в 40 мг/кг живой массы наивысшие уровни концентрации наблюдались в надпочечниках и печени, за которыми следовали жировые ткани и легкие (Egle *et al.*, 1978; цитируется по ИПС, 1984). Имеются сведения о том, что посредством восстановительной биотрансформации хлордекон в крысах медленно метаболизируется в хлордеконовый спирт (Blanke *et al.*, 1978; согласно докладу КССОС-43). Удаление из организма происходит медленными темпами, поскольку период полувыведения составляет порядка нескольких месяцев, причем из печени хлордекон выводится медленнее, чем из других тканей (Egle *et al.*, 1978; цитируется по ИПС, 1984). Химикат устраняется главным образом с экскрементами, причем, согласно исследованию Egle, за 84 дня после его введения с экскрементами

было выведено в общей сложности 66 процентов соответствующей дозы, а с мочой – 2 процента (Egle *et al.*, 1978; цитируется по IPCS, 1984).

В докладе КССОС-43 сообщается, что высокие концентрации хлордекона были обнаружены в печени (в диапазоне от 13,3 до 173 мг/кг), общем объеме крови (в диапазоне от 0,6 до 32 мг/л) и подкожном жире (в диапазоне от 2,2 до 62 мг/кг) у 32 рабочих-мужчин (Cohn *et al.*, 1976; по материалам IPCS, 1984). У рабочих, подвергавшихся воздействию хлордекона на производстве, его концентрации в сыворотке составляли от 120 до 2109 мкг/л и снизились до 37–486 мкг/л через 6-7 месяцев после прекращения воздействия (Adir *et al.*, 1978; согласно докладу IPCS, 1984). Период полувыведения хлордекона из организма этих рабочих оценивался в пределах от 63 до 148 суток. Восстановительная биотрансформация в хлордеконовый спирт отмечена также у людей (Blanke *et al.*, 1978; согласно докладу КССОС-43). Хлордекон выводился главным образом с экскрементами, причем средний суточный темп составлял 0,075 процента от его общего расчетного объема в организме (Cohn *et al.*, 1976; цитируется по IPCS, 1984).

Токсичность хлордекона в опытах на животных

Опыты на животных продемонстрировали высокую токсичность хлордекона; так, ЛД₅₀ составила приблизительно 100 мг/кг для крыс; другие ее значения находились в диапазоне от 65 мг/кг для кроликов до 250 мг/кг для собак (по материалам IPCS, 1984, таблица 2). К числу симптомов острого отравления относится тремор, свидетельствующий о нейротоксическом воздействии на нервную и/или опорно-двигательную систему; этот эффект, как указывается в US ATSDR (1995), отмечался многими авторами в ходе их исследований. Имеются данные о нейротоксическом воздействии хлордекона на цыплят (Naber & Ware, 1965), куропаток (McFarland & Lacy, 1969), рыб (Couch *et al.*, 1977), хомяков (Martinez *et al.*, 1976), мышей (End *et al.*, 1979), крыс (Epstein, 1978) и человека (Martinez *et al.*, 1978). С введением крупных доз хлордекона оральным путем также связывают нарушение репродуктивных функций (Khera *et al.*, 1976; Uzodinma *et al.*, 1984a; Yarbrough *et al.*, 1981) и, согласно некоторым исследованиям, токсикоз печени (Fujimori *et al.*, 1983; Mehendale 1977b, 1981b; Teo & Vore 1991) (цитируется по US ATSDR (1995)).

Множественное поступление хлордекона в дозах до 10 мг/кг живой массы в сутки также оказывает токсическое воздействие на репродуктивную, нервную, опорно-двигательную системы и печень; вместе с тем отмечались и нарушения функций других органов, включая почки, щитовидную железу, надпочечники и яички (US ATSDR, 1995; IPCS, 1984). В ходе трехмесячного наблюдения за крысами, которым данное вещество вводилось с кормом, был зафиксирован наименьший уровень, при котором наблюдается вредное воздействие (НУНВ) в 1,17 мг/кг живой массы в сутки, причем из проявлений токсикоза были отмечены точечный некроз печени, увеличение надпочечников, гиперактивность и чрезмерный старт-рефлекс (Cannon and Kimbrough, 1979; цитируется по US ATSDR, 1995). В ходе продолжавшегося 21 месяц исследования с принудительным кормлением крыс были обнаружены гистопатологические изменения в печени, сокращение размеров фолликул щитовидной железы и ее коллоидного содержания и увеличение высоты эпителиальных клеток, причем НУНВ в мужских особях составил 0,07 мг/кг живой массы в сутки (Chu *et al.*, 1981; цитируется по US ATSDR, 1995). В ходе двухгодичных опытов над крысами, связанных с введением вещества с кормом, было отмечено нарушение функции почек (протеинурия и обострение гломерулосклероза), а УННВ составил 0,05 мг/кг/сут (Larson *et al.*, 1979b; цитируется по US ATSDR, 1995). Введение хлордекона оральным путем вызывало уменьшение массы селезенки и вилочковой железы, ухудшение лейкоцитарной формулы, снижение активности природных клеток-киллеров и снижение реактивности митогенов (EPA 1986c; Smialowicz *et al.*, 1985; Swanson and Wooley, 1982); снижение активности природных клеток-киллеров (Smialowicz *et al.*, 1985); значительное увеличение количества бляшкообразующих клеток (Chetty *et al.*, 1993c) (согласно докладу ATSDR, 1995). УННВ составил 5 мг/кг живой массы в сутки, а НУНВ – 10 мг/кг живой массы в сутки.

Продемонстрирована гепатоканцерогенность хлордекона (способность вызывать злокачественную гепатому) для крыс и мышей (как мужских, так и женских особей) (NCI 1976; Reuber, 1978, 1979; цитируется по IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995). Возникновение опухолей наблюдалось уже при дозах до 1 мг/кг живой массы в сутки у крыс и 2,6 мг/кг живой массы в сутки у мышей (NCI, 1976; цитируется по US ATSDR, 1995). В 1987 году Международное агентство по изучению раковых заболеваний пришло к выводу о наличии достаточных доказательств того, что хлордекон вызывает канцерогенный эффект у мышей и крыс и, возможно, у человека (группа 2B). При проведении анализов *in vitro* на генную мутацию клеток микробов и млекопитающих генотоксичность хлордекона выявлена не была, что характерно также для теста на кластогенность и анализа на доминантную леталь (Mortelmans *et al.*, 1986; Probst *et al.*, 1981; Schoeny *et al.*, 1979; Tong *et al.*, 1981; Williams, 1980; Khera *et al.*, 1976; Simon *et al.*, 1986; согласно докладу ATSDR, 1995); вместе с тем имеются сообщения о том, что хлордекон нарушает каналы связи между клетками (Tsushimoto *et al.*, 1982; Caldwell and Loch-Carusio, 1992; согласно докладу US ATSDR, 1995); высказано предположение о том, что хлордекон вызывает различные виды опухолей печени, причем в этом процессе задействован эпигенетический механизм, способствующий возникновению в печени опухолей в связи с ее токсикозом или гипертрофией, включая возбуждение цитохромов P-450.

Пероральное введение хлордекона животным вызывает снижение фертильности или потенциальной плодовитости, уменьшение численности приплода, сокращение количества сперматозоидов и атрофию яичек (Khera *et al.*, 1976; Linder *et al.*, 1983; Uzodinma *et al.*, 1984a; Yarbrough *et al.*, 1981; согласно докладу US ATSDR, 1995). В ходе трехмесячного наблюдения за крысами, получавшими соответствующий корм, изменения в сперме были зарегистрированы при НУНБВ в 0,83 мг/кг/сут, а нарушения функции семенных пузырьков и предстательной железы проявлялись при уровне в 1,67 мг/кг живой массы в сутки (Linder *et al.*, 1983; цитируется по US ATSDR, 1995).

Хлордекон оказывает токсическое воздействие и на развитие. Как сообщается в US ATSDR (1995) и КССОС-43 (IPCS, 1984), воздействие на крыс и мышей низкими дозами хлордекона в период беременности вызывало увеличение процента мертворождений, снижение постнатальной выживаемости, уменьшение массы и/или скелетной оссификации плода или новорожденного потомства, а также возникновение таких пороков, как увеличение почечных лоханок, неопущение яичек, увеличение желудочков головного мозга, косолапость, сращивание позвонков или ребер и мозговая грыжа. Введение хлордекона в дозах 2, 6 и 10 мг/кг живой массы в сутки крысам и в дозах 2, 4, 8 и 12 мг/кг живой массы в сутки мышам с 7 по 16 сутки беременности вызывало материнскую смертность у 19 процентов крыс при максимальной дозе, в то время как у плода отмечались уменьшение массы, снижение оссификации, отеки, неопущение яичек, увеличение почечных лоханок и желудочков головного мозга (Chernoff & Rogers, 1976; согласно докладу ИПС, 1984). При более низких дозах наблюдались уменьшение массы плода и снижение оссификации. У мужских особей, рожденных подвергшимися воздействию самками, каких-либо нарушений репродуктивной функции не отмечалось. У мышей, получавших по 0, 10, 30 или 37,5 мг хлордекона на килограмм корма, нарушались репродуктивные функции в форме сокращения численности приплода и ухудшения состояния потомства (Huber, 1965; согласно докладу ИПС, 1984). Самки, получавшие 40 мг/кг, не производили потомства, однако воспроизводство возобновилось в пределах 7 недель после прекращения введения хлордекона, хотя приплод все же был более малочисленным, чем у не подвергавшейся воздействию контрольной группы (цитируется по ИПС, 1984). У самок мышей, получавших дозы хлордекона на уровне 2 мг/кг живой массы в сутки, наблюдались ановуляция и хроническая вагинальная течка (Swartz *et al.*, 1988; цитируется по US ATSDR, 1995); схожие изменения наблюдались и у женских особей из потомства крыс, самки которых получали по 15 мг/кг/сут хлордекона с 14 по 20 день беременности (Gellert and Wilson, 1979; цитируется по US ATSDR, 1995), хотя у женских особей из потомства мышей, самки которых получали по 20 мг/кг/сут хлордекона с 8 по 12 или с 14 по 18 день беременности, никаких нарушений вагинальной проходимости или фертильности не наблюдалось (Gray and Kavlock 1984; цитируется по US ATSDR, 1995).

Токсичность хлордекона для человека

Имеющиеся данные в отношении людей подтверждают вывод о том, что хлордекон оказывает на человека токсическое воздействие, аналогичное тому, которое наблюдалось в ходе опытов над животными. Как сообщается в US ATSDR (1995), среди отдельной группы рабочих, подвергавшихся воздействию хлордекона при его производстве, наблюдались частые случаи токсического поражения нервной системы (Cannon *et al.*, 1978; Martinez *et al.*, 1978; Sanbom *et al.*, 1979; Taylor, 1982, 1985; Taylor *et al.*, 1978; по материалам US ATSDR, 1995). Воздействие на данную группу происходило одновременно разными путями – при вдыхании, оральным путем и через кожу, хотя предполагается, что поступление через кожу преобладало. Токсический эффект проявлялся в виде тремора, расстройств зрения, мышечной слабости, нарушения координации движений, в том числе при ходьбе, головной боли и повышения давления цереброспинальной жидкости (US ATSDR, 1995). Высказано предположение, что продолжительное воздействие хлордекона в высоких концентрациях на рабочем месте вызывало олигоспермию и ограничение подвижности сперматозоидов у мужчин, хотя функции фертильности не были нарушены (Guzelian, 1982a; Taylor, 1982, 1985; Taylor *et al.*, 1978; по материалам US ATSDR, 1995). Однако сделать окончательный вывод о корреляции между уровнем вещества в крови, его уровнем в атмосфере и воздействием на сперму представляется затруднительным (US ATSDR, 1995). Эпидемиологические данные, свидетельствующие о канцерогенности хлордекона для людей, подвергшихся его воздействию через дыхательные пути, являются чрезвычайно ограниченными (US ATSDR, 1995; ИПС, 1984). Биопсия печени, проведенная у 12 рабочих, страдавших увеличением ее размеров в результате среднесрочного или постоянного воздействия хлордекона в высоких концентрациях, не показала наличия рака (Guzelian *et al.*, 1980; по материалам US ATSDR, 1995). Однако выводы по итогам этого исследования носят ограниченный характер, поскольку обследованием было охвачено очень малое число рабочих (US ATSDR, 1995).

Воздействие на эндокринную систему

Нарушение репродуктивных функций под воздействием хлордекона свидетельствует о том, что этот пестицид поражает эндокринную систему. Он был подвергнут оценке в рамках Стратегии ЕС по веществам,

вызывающим эндокринные расстройства⁹, и отнесен к первой категории (наличие доказательств нарушения функций эндокринной системы по меньшей мере у одного вида животных в ходе опытов над животными, ранее не подвергавшимися воздействию) в приоритетном перечне химических веществ, составленном на основе Стратегии ЕС. В основу такой классификации положены данные о вызывающем эндокринные расстройства воздействии, продемонстрированном в ходе нескольких экспериментов, включая проведение у мышей утеротропного анализа, и об увеличении маточной массы у крыс, неоднократно получавших инъекции хлордекона в постнатальный период, а также тесты на связывание с рецепторами, указывающие на наличие эстрогенного эффекта (согласно докладам ВКН, 2000; US ATSDR, 1995).

Заключение об оценке воздействия хлордекона и его токсичности

Хлордекон легко поглощается организмом и накапливается в нем при продолжительном воздействии. Этот высокотоксичный пестицид длительное время сохраняет свою токсичность и при дозах от 1 до 10 мг/кг живой массы в сутки вызывает токсическое поражение нервной, иммунной, репродуктивной, опорно-двигательной систем и печени у подопытных животных. При дозе в 1 мг/кг живой массы в сутки применение препарата приводило к раку печени у крыс, а при дозе в 2,6 мг/кг живой массы в сутки – у мышей; кроме того, при аналогичных дозах наблюдалось и нарушение репродуктивных функций. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к категории веществ, потенциально канцерогенных для человека (группа МАИР 2В).

Итоги ключевых токсикологических исследований по хлордекону, включая выведенные в каждом из них УННВ/НУНВ, обобщены в таблице 2.3. Исследования, представленные в этой таблице, отобраны из весьма обширной базы данных о токсикологических исследованиях по хлордекону с учетом значимости изучаемых критических параметров (напр., токсическое нарушение репродуктивных функций, канцерогенность, прочие виды токсикоза ключевых исследуемых органов), основательности описываемых исследований и уровня дозы (УННВ/НУНВ), при котором отмечалось возникновение последствий. Был сделан вывод о том, что указанные исследования особенно актуальны для определения токсикологических рисков, связанных с данными соединениями, и некоторые из них использовались АРТВЗ США для установления минимальных уровней риска (МУР) применительно к хлордекону (US ATSDR, 1995).

Таблица 2.3. Сводные данные о результатах ключевых токсикологических исследований по хлордекону

Виды	Типы исследования	Последствия	НУНВ/УННВ (мг/кг жм/сут)	Ссылки
Крыса "Фишер" 344	Изучение краткосрочного/острого токсикоза после 10 дней принудительного кормления с повторением дозы	65-процентная потеря живой массы, изменения клинико-химических параметров	10 мг/кг жм/сут (НУНВ) 5 мг/кг жм/сут (УННВ)	EPA, 1986 (согласно ссылке в US ATSDR, 1995)
Крыса "Фишер" 344	Изучение краткосрочного/острого токсикоза после 10 дней принудительного кормления с повторением дозы	Уменьшение массы селезенки и вилочковой железы, числа нейтрофилов и снижение активности природных клеток-киллеров в качестве вторичного воздействия после общего токсикоза	10 мг/кг жм/сут (НУНВ) 5 мг/кг жм/сут (УННВ)	EPA, 1986; Smialowicz <i>et al.</i> , 1985 (согласно ссылке и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Фишер" 344	Изучение краткосрочного/острого токсикоза после 10 дней принудительного кормления с повторением дозы	Повышенный старт-рефлекс	2,5 мг/кг жм/сут (НУНВ) 1,25 мг/кг жм/сут (УННВ)	EPA, 1986с (согласно ссылке и в US ATSDR, 1995)

⁹ http://europa.eu.int/comm/environment/endocrine/strategy/substances_en.htm.

Виды	Типы исследования	Последствия	НУНВ/УННВ (мг/кг жм/сут)	Ссылки
Крыса "Шерман"	3-месячное наблюдение за введением с кормом	Точечный некроз печени, увеличение надпочечников, гиперплазия и гипертрофия корковых клеток, тремор, гиперактивность, чрезмерный старт-рефлекс	1,17 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Cannon and Kimbrough, 1979 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Вистар"	2-годичное наблюдение за введением с кормом	Нарушение функции почек (протеинурия и обострение гломерулосклероза)	0,25 мг/кг жм/сут (НУНВ) 0,05 мг/кг жм/сут (УННВ)	Larson <i>et al.</i> , 1979b (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Спрейг-Доули"	Исследование с применением принудительного кормления (21 месяц)	Гистопатологические изменения печени, уменьшение размера фолликул и коллоидного содержимого и увеличение высоты эпителиальных клеток щитовидной железы	0,07 мг/кг жм/сут (НУНВ), в мужских особях	Chu <i>et al.</i> , 1981 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Вистар"	3-месячное наблюдение за введением с кормом	Атрофия яичек	0,5 мг/кг жм/сут (НУНВ) 0,25 мг/кг жм/сут (УННВ)	Larson <i>et al.</i> , 1979b (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Осборн-Мендель" и мышь "ВЗС6F1"	Наблюдение за введением с кормом (80 недель)	Гепатоцеллюлярная аденома и гепатома	1,2 мг/кг жм/сут (НУНВ, крысы) и 2,6 мг/кг жм/сут (НУНВ, мыши)	NCI, 1976; Reuber, 1978, 1979 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса	Многочисленные инъекции хлордекона новорожденным крысам	Утеротропная реакция – увеличение маточной массы пропорционально увеличению дозы	10 мг/кг жм/сут (НУНВ, Gellert, 1978) ≤6 мг/кг жм/сут (НУНВ, Hammond <i>et al.</i> , 1979)	Gellert 1978; Hammond <i>et al.</i> , 1979 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса "Готцман", женская особь, не достигшая зрелости, с ректотомией яичников	Крысам трехкратно вводилось от 0 до 45 мг/кг жм/сут хлордекона ± 0,01, 0,1, 1 или 10 мг/кг жм/сут бензоата эстрадиола	Утеротропная реакция. Наблюдавшийся эффект дополнял последствия применения бензоата эстрадиола по всему диапазону вводимых доз	Доза в 20 мг/кг жм/сут хлордекона, по-видимому, являлась пороговой с точки зрения функций имплантации эмбрионов	Johnson, 1996
Крыса	Наблюдение за введением с кормом (90 дней)	Уменьшение подвижности и жизнеспособности сперматозоидов, уменьшение их количества, уменьшение массы семенных пузырьков и предстательной железы	0,83 мг/кг жм/сут (НУНВ) для воздействия на спермообразование 1,67 мг/кг жм/сут (НУНВ) для воздействия на семенные пузырьки и предстательную железу	Linder <i>et al.</i> , 1983 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Мышь "Бальбк"	Наблюдение за введением с кормом (130 дней)	8-процентное уменьшение численности приплода и 19-процентное увеличение количества дней, благоприятных для спаривания с возможностью получения приплода (хроническая течка)	1,3 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Huber, 1965 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)

Виды	Типы исследования	Последствия	НУНВ/УННВ (мг/кг жм/сут)	Ссылки
Крысы и мыши	Введение путем принудительного кормления 2, 6, и 10 мг/кг жм/сут крысам и 2, 4, 8, и 12 мг/кг жм/сут мышам с 7 по 16 сутки беременности	Уменьшение массы плода, снижение оссификации, отек, неопущение яичек, увеличение почечных лоханок и желудочков головного мозга. Уменьшение массы плода и снижение оссификации при более низких дозах. Материнская смертность при максимальных дозах. В мышах фетотоксичность наблюдалась только при максимальных дозах и выражалась в учащении случаев гибели плода и косолопости	2 мг/кг жм/сут (НУНВ, крысы)	Chernoff & Rogers, 1976 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Мышь "Бальбек"	Наблюдение за введением с кормом (160 дней)	Активизация овуляции, хроническая течка	2 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Swartz <i>et al.</i> , 1988 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)
Крыса	Токсическое расстройство репродуктивных функций	Активизация овуляции, хроническая течка у потомства (женские особи) самок, получавших хлордекон с 14 по 20 сутки беременности	15 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Gellert and Wilson, 1979 (согласно ссылке в US ATSDR, 1995)
Человек	Воздействие на производстве	Наблюдались тремор, беспричинная нервозность или беспокойство и расстройства зрения, а также высыпания на коже.	Средние уровни хлордекона в крови у рабочих с жалобами на вредное воздействие составляли 2,53 миллионной доли. Сообщения о случаях высыпаний на коже у рабочих с уровнями хлордекона в крови, превышавшими 2 мкг/л	Cannon <i>et al.</i> , 1978 (согласно ссылке в IPCS, 1984, и в US ATSDR, 1995)

2.4.2 Экоотоксичность

Сводные данные о результатах проверок хлордекона на предмет экоотоксичности в водной среде из базы данных "Экотокс" (US EPA, 2006) приведены в таблице 2.4.

Помимо этого, в КССОС-43 (IPCS, 1984) подведены итоги серии экспериментов по исследованию биодоступности хлордекона и отмечена его высокая способность адсорбироваться на отложения. Следовательно, воздействие на водные организмы происходит частично через водную фазу и частично через отложения. D'Asaro & Wilkes (1982) изучали эффект, производимый отложениями, ранее подвергшимися воздействию хлордекона в известных концентрациях, а также отложениями реки Джеймс, загрязненными хлордеконом, на обитающую в устьевых водах популяцию, помещенную в аквариумы, которые снабжались нефилтрованной морской водой. Было установлено, что уровень смертности мизид зависит от дозы при их контакте с отложениями, достигшими ранее равновесного состояния на уровнях 0,1, 1,0 или 10 мкг хлордекона на литр. Отложения из реки Джеймс воздействия на мизид не оказывали. Привести данные о концентрации в отложениях, если таковые имеются. У устриц наблюдалось зависящее от доз замедление роста раковин при контакте с отложениями, достигшими равновесного состояния по хлордекону, а также была отмечена отрицательная реакция на речные отложения. Пескожилы *Arenicola cristata* погибали через 28 дней после контакта с отложениями, загрязненными на уровне 10 мкг хлордекона на литр, хотя более низкие дозы воздействия на их численность не оказывали. Как в пескожилах, так и в устрицах имела место концентрация хлордекона из отложений (цитируется по КССОС-43 (IPCS, 1984).

Таблица 2.4. Сводные данные о результатах ключевых экотоксикологических исследований по хлордекону

Таксономические группы и виды	Критические параметры	Продолжительность	Результаты в мг/л	Ссылки ¹
Водоросли <i>Chlorococcum sp.</i> , <i>Dunaliella tertiolecta</i> , <i>Nitzschia sp.</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i>	ЭК ₅₀ замедление роста	7 суток	0,35 – 0,60 (препарат)	Walsh <i>et al.</i> , 1977
Водоросли <i>Chlorococcum sp.</i> , <i>Dunaliella tertiolecta</i> , <i>Nitzschia sp.</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i>	ЭК ₅₀ замедление роста	7 суток	350–600 (препарат)	Hansen <i>et al.</i> , 1977
Ракообразные <i>Daphnia magna</i>	ЭК ₅₀ неподвижность	48 часов	0,120–0,690	Barera & Adams, 1983; Adams & Heidolph, 1985; Ziegenfuss <i>et al.</i> , 1986
Ракообразные <i>Americamysis bahia</i> , <i>Callinectes sapidus</i> , <i>Palaemonetes pugio</i>	ЛК ₅₀	96 часов	0,01-0,210	Nimmo <i>et al.</i> , 1977, 1981; Hansen <i>et al.</i> , 1977; Schimmel, 1977; US EPA, 1976
Ракообразные <i>Daphnia magna</i>	КННВ воспроизводство	21 сутки	0,0283	McKee & Knowles, 1986
Ракообразные <i>Daphnia magna</i>	КННВ рост	21 сутки	0,025	Adams & Heidolph, 1985
Ракообразные <i>Americamysis bahia</i>	МДКТВ рост	28 суток	0,000026– 0,00034	Nimmo <i>et al.</i> , 1981
Насекомые <i>Chironomus tentans</i>	ЛК ₅₀	48 часов	0,17–2,3	Adams <i>et al.</i> , 1985; Ziegenfuss <i>et al.</i> , 1986
Рыбы 9 видов	ЛК ₅₀	96 часов, филтра-ция	0,0066–0,512	Roberts & Bendl, 1982; Roberts & Fisher, 1985; Schimmel, 1977; Hansen <i>et al.</i> , 1977; Mallat & Barron, 1988; Buckler <i>et al.</i> , 1981
Насекомые <i>Chironomus tentans</i>	КННВ развитие	14 суток	17,9 мг/кг в отложениях	Adams <i>et al.</i> , 1985

1: Все ссылки соответствуют приведенным в базе данных "Экотокс" (US EPA, 2006).

В одной из публикаций Общества экологической токсикологии и семьи была представлена и проанализирована подборка образцов критического остаточного загрязнения тканей (КОЗТ) (Jarvinen *et al.*, 1999). Соответствующая база данных содержит 32 позиции по хлордекону, причем источником этих данных являются разные исследования (см. таблицу 2.5). Некоторые из образцов остаточного загрязнения тканей были получены в результате исследований, не выявивших никакого воздействия, и поэтому они могут не отражать реального КОЗТ. Значения критического остаточного загрязнения тканей, полученные в ходе исследований, выявивших соответствующее воздействие, насчитывают 15 значений КОЗТ по трем видам рыб. По толстоголовому гольяну имеются результаты двух исследований, в ходе которых были получены значения, составляющие 1,7 и 3,8-5,4 мг/кг сырого веса. По изменчивому карпозубику имеются 12 значений КОЗТ в диапазоне от 0,13 до 17 мг/кг сырого веса со средним значением на уровне 5,9 мг/кг сырого веса. Кроме того, имеется одно значение КОЗТ по споту, составляющее 2,7 мг/кг сырого веса.

Заключение

Подводя итоги, можно утверждать, что хлордекон является весьма токсичным для водных организмов. Наиболее уязвимой группой являются беспозвоночные, что неудивительно, поскольку речь идет о веществе со свойствами инсектицида. Даже если признать аномальной самую низкую из эффективных концентраций (0,000026 мг/л), наименьшие эффективные концентрации будут составлять значительно менее 1 мг/л, причем результаты краткосрочных тестов (смертность) проявляются в диапазоне от 0,01 до 0,69 мг/л, а результаты долгосрочных тестов (нарушение репродуктивных функций и задержка роста) – в диапазоне от 0,0025 до 0,0028 мг/л.

Таблица 2.5 Подборка образцов критического остаточного загрязнения тканей (КОЗТ)

Виды	Жизненные стадии	Пути воздействия	Воздействие концентраций	Результаты мг/г (сырой вес)	Последствия
Ветвистоусый рачок, <i>Daphnia magna</i> (Пв)	1-я возрастная стадия	Вода	175 нг/л	0,133	Выживание, размножение - без последствий
Травяная креветка, <i>Palaemonetes pugio</i> (Св)	0,09 г	Вода; пища	0,04 мкг/л; 0,118 мкг/г (сырой вес)	0,147	Рост - без последствий
Голубой краб, <i>Callinectes sapidus</i> (Св)	Молодая особь	Пища	2,26 - 2,50 мкг/г (сырой вес)	2,54-4,61	Выживание, рост - без последствий
Толстоголовый голянь, <i>Pimephales promelas</i> (Пв)	Личинки - взрослая особь	Вода	3,1 мкг/л	3,8-5,4	Выживание, рост - сокращение
Толстоголовый голянь, <i>Pimephales promelas</i> (Пв)	Личинки - взрослая особь	Вода	1,2 мкг/л	2,6	Выживание, рост - без последствий
Толстоголовый голянь, <i>Pimephales promelas</i> (Пв)	Эмбрион, 2-е поколение	Вода; взрослые особи рыб	0,31 мкг/л; 0,21-0,38 мкг/г	1,7	Выживание (выводимость) - сокращение
Толстоголовый голянь, <i>Pimephales promelas</i> (Пв)	Эмбрион, 2-е поколение	Вода; взрослые особи рыб	0,17 мкг/л; 0,17-0,46 мкг/г	0,26	Выживание - без последствий
Толстоголовый голянь, <i>Pimephales promelas</i> (Пв)	Личинки, 2-е поколение	Вода; взрослые особи рыб	0,31 мкг/л; 0,21-0,38 мкг/г	0,50	Выживание, рост - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Взрослая особь	Вода	0,8 мкг/л	2,5-3,6	Выживание - сокращение на 22%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Взрослая особь	Вода	1,9 мкг/л	11-12	Выживание - сокращение на 80%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Взрослая особь	Вода	7,8 мкг/л	17	Выживание - сокращение на 100%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Взрослая особь	Вода	0,16 мкг/л	0,65-0,90	Выживание - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион	Взрослые особи рыб	11-12 мкг/г	11	Выживание - сокращение на 25%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион	Взрослые особи рыб	2,5 - 3,6 мкг/г	4,7	Выживание - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Личинки - молодая особь	Вода; взрослые особи рыб	1,9 мкг/л; 11-12 мкг/г	8,4	Выживание - сокращение на 63%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Личинки - молодая особь	Вода	2,0 мкг/л	7,8	Выживание - сокращение на 40%
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Личинки - молодая особь	Вода	0,8 мкг/л	2,0	Выживание - без последствий

Виды	Жизненные стадии	Пути воздействия	Воздействие концентраций	Результаты мг/г (сырой вес)	Последствия
(Св)					
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Личинки - молодая особь	Взрослые особи рыб	11-12 мкг/г	0,13	Рост – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Личинки - молодая особь	Вода	0,08 мкг/л	1,1	Рост – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион - взрослая особь	Вода	0,78 мкг/л	5, 6,8*	Выживание - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион - взрослая особь	Вода	0,39 мкг/л	2,2, 3*	Рост – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион - взрослая особь	Вода	0,12 мкг/л	0,86, 1,2*	Рост - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион - взрослая особь	Вода	0,78 мкг/л	5, 6,8*	Размножение – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион - взрослая особь	Вода	0,39 мкг/л	2,2, 3*	Размножение - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион, 2-е поколение	Взрослые особи рыб + вода	0,78 мкг/л	2,3	Выживание – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Эмбрион, 2-е поколение	Взрослые особи рыб + вода	0,39 мкг/л	1,3	Выживание - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Мальки, 2-е поколение	Взрослые особи рыб + вода	0,78 мкг/л	2,3	Выживание - без последствий
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Мальки, 2-е поколение	Взрослые особи рыб + вода	0,12 мкг/л	0,41	Рост – сокращение
Изменчивый карпозубик, <i>Suprinodon variegatus</i> (Св)	Мальки, 2-е поколение	Взрослые особи рыб + вода	0,074 мкг/л	0,30	Рост - без последствий
Спот, <i>Leiostomus xanthurus</i> (Св)	Молодая особь	Пища	3,3 мкг/г (сырой вес)	2,7	Выживание – сокращение
Спот, <i>Leiostomus xanthurus</i> (Св)	Молодая особь	Пища	3,3 мкг/г (сырой вес)	0,7	Выживание - без последствий
Спот, <i>Leiostomus xanthurus</i> (Св)	Молодая особь	Вода; пища	0,04 мкг/л; 0,101 мкг/г (сырой вес)	0,144	Рост - без последствий

3 Обобщение информации

Хлордекон представляет собой синтетическое хлорированное органическое соединение, которое используется главным образом в качестве сельскохозяйственного инсектицида. В химическом отношении он весьма схож с мирексом – пестицидом, который уже включен в перечень, содержащийся в приложении А к Стокгольмской конвенции. Хлордекон также включен в перечень, содержащийся в приложении I к Протоколу ЕЭК ООН по СОЗ.

Согласно имеющимся данным, хлордекон можно считать высокостойким в окружающей среде. Его гидролиз или биоразложение в морской среде или в почве маловероятны. Масштабы прямого фоторазложения невелики. Хлордекон не обладает сколь-либо выраженной летучестью.

Значения КБК для хлордекона достигают в водорослях 6000, в беспозвоночных - 21 600, а в рыбах - 60 200, причем имеются документально подтвержденные случаи биоусиления; поэтому считается, что он обладает высокой способностью к биоаккумуляции и биоусилению.

О способности хлордекона оказывать вредное воздействие имеются убедительные данные. Хлордекон легко усваивается тканями организма, где при продолжительном контакте с ним происходит его накопление. Этот высокотоксичный пестицид длительное время сохраняет свою токсичность и при дозах от 1 до 10 мг/кг живой массы в сутки вызывает токсическое поражение нервной, иммунной, репродуктивной, опорно-двигательной систем и печени у подопытных животных. При дозе в 1 мг/кг живой массы в сутки применение препарата привело к раку печени у крыс; кроме того, при аналогичных дозах наблюдалось и нарушение репродуктивных функций. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к категории веществ, потенциально способных оказывать канцерогенное воздействие на человека (группа МАИР 2В). Помимо этого, хлордекон весьма токсичен для водных организмов, наиболее уязвимой группой которых являются беспозвоночные.

Имеющиеся данные по хлордекону не позволяют прийти к окончательному выводу в том, что касается атмосферного переноса в газообразной форме на большие расстояния. Следует отметить, что атмосферный перенос веществ, соединенных с твердыми частицами, и перенос частиц в составе отложений океанскими течениями, равно как и биотический перенос, могут в свою очередь способствовать перемещению хлордекона на большие расстояния в окружающей среде.

Из-за отсутствия данных мониторинга по хлордекону оценка его способности к переносу на большие расстояния основана на соответствующих физико-химических свойствах и особенно на данных моделирования. Если первый из этих двух подходов еще может представляться в чем-то недостаточным, то данные моделирования однозначно указывают на способность хлордекона к переносу на большие расстояния в окружающей среде.

Исходя из имеющихся данных, хлордекон следует рассматривать как СОЗ, в отношении которого оправдано принятие соответствующих мер на глобальном уровне.

В развитых странах производство и использование хлордекона в последние десятилетия прекращено, но не исключено, что он все еще производится или применяется в качестве сельскохозяйственного пестицида в некоторых развивающихся странах. Если хлордекон все еще используется в качестве пестицида, то он автоматически попадает в окружающую среду. Более того, ввиду высокой стойкости этого вещества оно вызвало серьезное загрязнение почвы и вод в районах, где оно применялось, и эти загрязненные участки могут оставаться источником загрязнения в течение долгого времени.

4 Заключение

Наглядно доказано, что хлордекон отвечает всем критериям, изложенным в приложении D к Стокгольмской конвенции. Более того, в химическом отношении он весьма схож с мирексом - хлорорганическим пестицидом, который уже фигурирует в перечне, содержащемся в Стокгольмской конвенции. Он обладает высокой стойкостью в окружающей среде и высоким потенциалом к биоаккумуляции; к тому же имеются данные, однозначно свидетельствующие о его способности к биоусилению. Хотя данные мониторинга по районам, удаленным от источников, отсутствуют, соответствующие физические и химические свойства, а также результаты моделирования позволяют предположить, что хлордекон может переноситься на большие расстояния в соединении с твердыми частицами в воздухе и в воде, а также, возможно, путем комбинированного переноса в этих двух средах. С хлордеконем связывают возникновение разнообразных вредных последствий как для млекопитающих, так и для водных организмов.

Поскольку хлордекон может перемещаться в атмосфере далеко от его источников, ни одна страна или группа стран не в состоянии собственными силами добиться снижения уровня загрязнения, вызываемого этим веществом. Уже поставлен вопрос о необходимости принятия региональных мер, и на хлордекон наложен полный запрет согласно Протоколу по стойким органическим загрязнителям к Конвенции ЕЭК ООН о

трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Производство и использование хлордекона в большинстве стран, по-видимому, прекращено, однако возможность его повторного появления на рынке сохраняется. Это может привести к увеличению объема выбросов и уровня его содержания в окружающей среде.

Исходя из имеющихся фактических данных, не исключено, что хлордекон в результате его переноса в окружающей среде на большие расстояния приведет к столь значительным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и для окружающей среды, что это обуславливает необходимость принятия соответствующих мер на глобальном уровне.

Литература

- AMAP (2004): AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 2004.
- Beaugendre, M.J. (2005): Rapport d'information déposé en application de l'Article 145 du Règlement par la Commission des Affaires Economiques, de l'Environnement et du Territoire sur l'utilisation du chlordécone et des autres pesticides dans l'agriculture martiniquaise et guadeloupéenne. N° 2430, Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 30 juin 2005.
- Beyer A., D. Mackay, M., Matthies, F., Wania, and E. Webster, (2000): Assessing long-range transport potential of persistent organic pollutants. *Environ. Sci. Technol.*, v.34, pp. 699-703.
- BKH Final Report (2000): Towards the Establishment of a Priority List of Substances for Further Evaluation of their Role in Endocrine Disruption. Подготовлено для ГД по окружающей среде Европейской комиссии. http://europa.eu.int/comm/environment/docum/pdf/bkh_main.pdf.
- Bocquené, G. and Franco, A. (2005): Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Mar. Poll. Bull.* 51, 612-619.
- Cabidoche Y-M., Jannoyer M., Vanniere H. (2006): Conclusions du groupe d'étude et de prospective « Pollution par les organochlorés aux Antilles ». Report CIRAD/INRA, pp. 66. (Имеется по адресу: http://www.cirad.fr/fr/prest_produit/services/index.php).
- Coat, S., Bocquené, G. and Godard, E. (2006): Contamination of some aquatic species with the organochlorine pesticide chlordecone in Martinique. *Aquat. Living Resour.* 19, 181-187.
- Fenner, K., M. Scheringer, M. MacLeod, M. Matthies, T.E. McKone, M. Stroebe, A. Beyer, M. Bonnell, A. C. Le Gall, J. Klasmeier, D. Mackay, D. van de Meent, D. Pennington, B. Scharenberg, N. Suzuki, F. Wania. (2005): Comparing estimates of persistence and long-range transport potential among multimedia models. *Environ. Sci. Technol.* 39, 1932-1942.
- <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc43.htm>
- <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg041.htm>
- IARC (1979): International Agency for Research on Cancer (IARC) – Summaries & Evaluations, Chlordecone, VOL.: 20 (1979) (p. 67).
- IPCS (1984): Критерии санитарного состояния окружающей среды 43 (КССОС-43): хлордекон. Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева 1990.
- IPCS (1990): хлордекон. Руководство по санитарии и безопасности No. 41 (РСБ-41). Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева 1990.
- Jarvinen, A.W., G.T. Ankley (1999): Linkage of effects to tissue residues: Development of a comprehensive database for aquatic organisms exposed to inorganic and organic chemicals, SETAC Technical Publication 99-1, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Pensacola, FL, USA.
- Jensen, J. (2006): Personal communication between Leanne Stahl, project manager for the USEPA National Lake Fish Tissue Study, and Janice Jensen, USEPA, Office of Pesticide Programs, on January 17, 2006. <http://www.epa.gov/waterscience/fishstudy/>; цитируется по представленному США 27 января 2006 года согласно приложению E материалу по хлордекону.
- Johnson, D.C. (1996): Estradiol-chlordecone (Kepone) interactions: additive effect of combinations for uterotrophic and embryo implantation functions. *Toxicology Letters* 89, 57 – 64.
- Klasmeier, J., M. Matthies, K. Fenner, M. Scheringer, M. Stroebe, A. Beyer, A.-C. Le Gall, M. MacLeod, T.E. McKone, N. Suzuki, D. van de Meent, F. Wania (2006): Application of multimedia models for screening assessment of long-range transport potential and overall persistence. *Environ. Sci. Technol.* 40, 53-60.
- Pedersen, F., H. Tyle, J.R. Niemelä, B. Guttman, L. Lander & A. Wedeband (1995): Environmental Hazard Classification – data collection and interpretation guide (2nd edition). TemaNord 1995:581. Nordic Council of Ministers. Copenhagen.

Schering M. (1997): Characterization of the environmental distribution behaviour of organic chemicals by means of persistence and spatial range. Environ. Sci. Technol., v. 31, No. 10, pp. 2891-2897.

Schering, M., M. MacLeod & F. Wegmann (2006): Analysis of four current POP candidates with the OECD P_{ov} and LRTP screening tool. Имеется по адресу: <http://www.sust-chem.ethz.ch/downloads/>.

US ATSDR (1995): Toxicological profile for mirex and chlordecone. U.S. Department of Health and Human Services. August 1995, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp66-p.pdf>.

US ATSDR (2004): Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers.

US EAP (2006): База данных "Экотокс" (ранее известна как "AQUIRE"), <http://www.epa.gov/ecotox/>.

Vulykh, N., S. Dutchak, E. Mantseva, V. Shatalov (2006): "EMEP contribution to the Preparatory Work for the Review of the CLRTAP Protocol on POPs. New Substances: Model Assessment of Potential for Long-range Transboundary Atmospheric Transport and Persistence of PentaBDE, Endosulfan, Dicifol, HCBd, PeCB, PCN" EMEP/MSC-E Technical Report 1/2006, имеется по адресу: <http://www.msceast.org/publications.html>.

Wania, F. (2006): Сообщение автора от 4 июля 2006 года.
