



**Программа Организации
Объединенных Наций по
окружающей среде**

Distr.: General
31 July 2006

RUSSIAN
Original: English

Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях
Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей
Второе совещание
Женева, 6-10 ноября 2006 года
Пункт 5 b) предварительной повестки дня*

Рассмотрение проекта характеристики рисков:
хлордекон

Проект характеристики рисков: хлордекон

Записка секретариата

1. На своем первом совещании Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей принял решение КРСОЗ -1/4 по хлордекону¹. В пункте 2 этого решения Комитет постановил учредить специальную рабочую группу для дальнейшего рассмотрения предложения относительно включения хлордекона в приложение А к Конвенции (UNEP/POPS/POPRC.1/6 и UNEP/POPS/POPRC.1/INF/6) и подготовки проекта характеристики рисков согласно приложению Е.
2. Список членов специальной рабочей группы по хлордекону и ее наблюдателей содержится в приложении VI к документу UNEP/POPS/POPRC.1/10.
3. На своем первом заседании Комитет принял типовой план работы по подготовке проекта характеристики рисков².
4. В обобщенном виде процесс разработки проекта характеристики рисков описан в документе UNEP/POPS/POPRC.2/INF/14.
5. В соответствии с решением КРСОЗ-1/4 и типовым планом работы, принятым Комитетом, специальная рабочая группа по хлордекону подготовила проект характеристики рисков,

* UNEP/POPS/POPRC.2/1.

¹ UNEP/POPS/POPRC.1/10, приложение I.

² Там же, пункт 42 и приложение II.

K0652297 110906

Из соображений экономии настоящий документ напечатан в ограниченном количестве экземпляров. Просьба к делегатам приносить свои копии на заседания и не запрашивать дополнительных копий

представленный в приложении к настоящей записке. Этот проект характеристики рисков не был официально отредактирован.

Возможные действия Комитета

6. Комитет, возможно, пожелает:
 - a) принять, с любыми поправками, проект характеристики рисков, представленный в приложении к настоящей записке;
 - b) принять, в соответствии с пунктом 7 статьи 8 Конвенции и на основании характеристики рисков, решение о том, может ли данное химическое вещество в результате его переноса на большие расстояния вызвать серьезные неблагоприятные последствия для здоровья человека и/или окружающей среды, которые потребуют глобальных действий, и следует ли дать предложению ход;
 - c) постановить, в зависимости от решения, принятого согласно пункту b) выше:
 - i) предложить всем Сторонам и наблюдателям представить информацию в соответствии с приложением F к Конвенции, учредить специальную рабочую группу для подготовки проекта оценки регулирования рисков и согласовать план завершения работы над проектом; или
 - ii) предоставить характеристику рисков всем Сторонам и наблюдателям и отклонить это предложение.

Приложение

ХЛОРДЕКОН

ПРОЕКТ ХАРАКТЕРИСТИКИ РИСКОВ

Проект подготовлен специальной рабочей группой по хлордекону при Комитете по рассмотрению стойких органических загрязнителей в рамках Стокгольмской конвенции

Настоящий проект характеристики рисков основан на проекте, подготовленном Milieu/DHI Water & Environment Consortium по заказу Генерального управления по окружающей среде Европейской комиссии

Июль 2006 года

СОДЕРЖАНИЕ

Резюме	5
1. Введение.....	6
1.1 Идентификационные данные предлагаемого химического вещества.....	6
1.1.1 Названия и регистрационные номера	6
1.1.2 Структура	6
1.1.3 Физико-химические свойства	6
1.2 Вывод Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей в отношении полученной в рамках приложения D информации о хлордеконе	7
1.3 Источники данных	8
1.4 Статус химического вещества в рамках международных конвенций.....	8
2. Сводная информация по характеристике рисков	9
2.1 Источники.....	9
2.1.1 Производство	9
2.1.2 Объемы продаж и запасов.....	9
2.1.3 Применение.....	9
2.1.4 Поступление в окружающую среду	10
2.2 Экологическая "судьба"	10
2.2.1 Стойкость	10
2.2.2 Биоаккумуляция.....	11
2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния.....	13
2.3 Воздействие	15
2.3.1 Концентрация в окружающей среде	15
2.3.2 Воздействие на человека.....	16
2.4 Оценка опасности по критическим параметрам	16
2.4.1 Токсичность	16
2.4.2 Экоотоксичность	21
3. Обобщение информации.....	22
4. Заключение	23

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 выводу о соответствии данного вещества критериям отбора, изложенным в приложении D к Конвенции, и о необходимости подготовки проекта характеристики рисков с целью дальнейшего рассмотрения данного предложения.

Хлордекон представляет собой синтетическое хлорированное органическое соединение, которое используется главным образом в качестве сельскохозяйственного инсектицида, майтицида и фунгицида. Впервые оно было изготовлено в 1951 году и поступило на рынок в Соединенных Штатах Америки в 1958 году (торговые названия "Кепон®" и "GC-1189"). Оно имелось в продаже в США до 1976 года. Во Франции хлордекон предлагался на рынке под торговым названием "Кюрлон" с 1981 по 1990 год. Исторически хлордекон использовался в различных странах мира для борьбы с самыми разнообразными вредителями. Он широко применялся 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 жуком, войлочковым клещом на неплодоносящих цитрусовых, а также с картофельным и табачным проволочником, поражающим гладиолусы и другие растения. Учитывая специфичное предназначение хлордекона в качестве пестицида, можно ожидать, что весь объем произведенного вещества в конечном итоге поступит в окружающую среду.

Гидролиз или биоразложение хлордекона в морской среде или в почве маловероятны. Масштабы прямого фоторазложения невелики. Поэтому считается, что хлордекон обладает высокой стойкостью 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 всего этого считается, что он обладает высоким потенциалом к биоаккумуляции и биоусилению.

Имеющиеся данные не дают оснований для окончательного вывода о способности хлордекона в газообразной форме к переносу на большие расстояния в атмосфере. Вместе с тем 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 переносу хлордекона на большие расстояния в окружающей среде. Из-за отсутствия данных о мониторинге хлордекона оценка вероятности его переноса на большие расстояния была произведена исходя из его физико-химических свойств. Если взять наименьшее из имеющихся достоверных данных по хлордекону значение его растворимости в воде и наибольшее значение давления паров, то это вещество с точки зрения свойств, которые играют решающую роль в атмосферном переносе молекул в паровой фазе на большие расстояния, подпадает под категорию СОЗ, перечисленных в текущем перечне.

Хлордекон легко усваивается тканями организма, где при продолжительном контакте с ним происходит его накопление. Этот высокотоксичный пестицид продолжительное время сохраняет свою токсичность и 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. При дозе в 1 мг/кг живой массы в сутки применение препарата приводило к раку печени у крыс; кроме того, при аналогичных дозах наблюдалось и нарушение репродуктивной функции. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к числу веществ, потенциально способных оказывать канцерогенное воздействие на организм человека (группа МАИР 2В). Помимо этого хлордекон весьма токсичен для морских организмов, среди которых наиболее уязвимой группой являются беспозвоночные.

В свете имеющихся данных существует немалая вероятность того, что хлордекон может в результате его переноса в окружающей среде на большие расстояния вызвать значительные неблагоприятные последствия для здоровья человека и/или окружающей среды, которые потребуют глобальных действий.

1 Введение

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

Настоящий проект характеристики рисков подготовлен во исполнение принятого Комитетом по рассмотрению стойких органических загрязнителей на его первом совещании в ноябре 2005 года решения об учреждении специальной рабочей группы для дальнейшего рассмотрения данного предложения (UNEP/POPS/POPRC.1/10).

В настоящем документе все данные выражены в единицах, используемых в Международной системе единиц (СИ); поэтому многие из них были переведены из других единиц, использованных в источниках, откуда такие данные почерпнуты. 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:

1,1а,3,3а,4,5,5а,5b,6-декахлор-октагидро-1,3,4-метан-2Н-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-2Н,5Н циклобута[cd]пентален-2-один
декахлоркетон

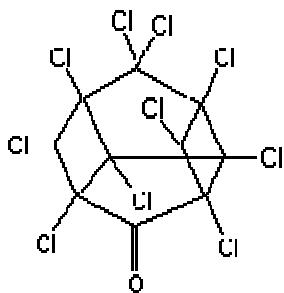
Торговые названия:

GC 1189, Кепон, Мирекс, ENT 16391, Кюрлон

Регистрационный номер КАС:

143-50-0

1.1.2 Структура



Источник: <http://webbook.nist.gov>, сведения с веб-сайта <http://ecb.jrc.it>

В химическом отношении хлордекон весьма схож с мирексом – пестицидом, который уже фигурирует в перечне, содержащемся в Стокгольмской конвенции. С точки зрения химического состава отличие хлордекона от мирекса состоит в том, что кислород, присутствующий в кетонной группе в хлордеконе, замещен в мирексе двумя атомами хлора.

1.1.3 Физико-химические свойства

Физико-химические свойства хлордекона представлены в таблице 1.1. Она наглядно свидетельствует о широком разбросе данных о таких физических свойствах, как давление паров и растворимость в воде, в зависимости от источника. Данное наблюдение подтверждается тем, что значения константы Генри отличаются друг от друга на порядок в зависимости от того, какие данные использованы для расчетов. В целом источники использованных данных считаются надежными; оценка качества данных произведена в принятых консенсусом международных/национальных документах (МАИР, Руководство по санитарии и

безопасности (РСБ) МПХБ, Критерии санитарного состояния окружающей среды (КССОС) МПХБ и АРТЗ США); была проведена и оценка данных, опубликованных Hansch *et al.* и Howard, (Pedersen *et al.* 1995).

Таблица 1.1 Физико-химические свойства хлордекона

Свойство	Единица	Значение	Ссылка
Молекулярная формула		$C_{10}Cl_{10}O$	
Молекулярный вес	г/моль	490,6	
Внешний вид при нормальной температуре и давлении		Белое кристаллическое твердое вещество с бежеватым оттенком	IARC, 1979 ¹
Давление паров	Па	$3,0 \cdot 10^{-5}$ (25°C) $< 4,0 \cdot 10^{-5}$ (25°C) $4,0 \cdot 10^{-5}$ (25°C)	Kilzer, I <i>et al.</i> , 1979 ² IARC, 1979 ¹ HSG 41, IPCS, 1990
Растворимость в воде	мг/л	0,35-1,0* 1-2 2,7 (25°C) 3,0	HSG 41, IPCS, 1990 КССОС-43, IPCS, 1990 Kilzer, I <i>et al.</i> , 1979 ² Kenaga, 1980
Температура плавления	°С	350; (разлагается)	IARC, 1979 ¹
Температура кипения	°С	Данные отсутствуют	
Log K _{ow}		4,50 5,41	Howard, 19911 Hansch <i>et al.</i> , 1995 ²
Log K _{aw}		-6,69	Scheringer et al 2006
Log K _{oc}		3,38-3,415	Howard, 1991 ¹
Константа Генри	Па м ³ /моль	$5,45 \cdot 10^{-3}$ (25°C) $2,53 \cdot 10^{-3}$ (20°C) $4,9 \cdot 10^{-3}$ $2,0 \cdot 10^{-2}$	Расчетная величина ² Howard, 19911 Расчетная величина ³ Расчетная величина ⁴
Константа скорости реакции атмосферного ОН	см ³ /молекула-сек	≈ 0 (25°C) ^j	Meylan & Howard, 1993 ²

* Весьма вероятно, что цифра 0,35 выбивается из ряда. Поскольку в источнике (МПХБ РСБ-41) не приводятся соответствующие ссылки, установить происхождение этого значения не представляется возможным. В более основательном докладе МПХБ КССОС-43 ссылка приводится и использовано значение 1-2 мг/л. Оно сравнимо с другими значениями, фигурирующими в подобных рассмотренных статьях. АРТЗ приводит использованное Kenaga значение в 3 мг/л.

1: Сведения из US ATSDR, 1995.

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

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

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

1.2 Вывод 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 года³, Комитет по рассмотрению СОЗ применил критерии отбора, установленные 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. Далее, в соответствии с пунктом 6 статьи 8 Конвенции и пунктом 29 решения СК-1/7 Конференции Сторон Стокгольмской конвенции он принял решение об учреждении специальной рабочей группы для дальнейшего рассмотрения данного предложения и о подготовке проекта характеристики рисков в соответствии с приложением E к Конвенции. Руководствуясь пунктом 4 а) статьи 8 Конвенции, он предложил Сторонам и наблюдателям представить секретариату информацию, указанную в приложении E к Конвенции, до 27 января 2006 года.

³

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

1.3 Источники данных

При составлении настоящего проекта характеристики рисков использовалась главным образом информация из следующих обзорных докладов:

- Критерии санитарного состояния окружающей среды (КССОС) (Environmental Health Criteria) No. 43: хлордекон. Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева 1990 (имеется на сайте: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc43.htm>);
- Руководство по санитарии и безопасности (Health and Safety Guide) No. 41, 1990. Международная программа по химической безопасности (МПХБ). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева 1990 (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 (АРТЗ) (ATSDR), август 1995 (имеется на сайте: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp66-p.pdf>).

Вышеназванные объемные обзорные доклады были использованы в качестве основных источников информации об этом химическом веществе, потенциально являющемся СОЗ. Прежде чем приступить к составлению данной характеристики рисков, был проведен детальный поиск литературы по хлордекону, в ходе которого каких-либо дополнительных аналитических докладов по этому химикату, будь то международного характера или на уровне отдельных стран, обнаружено не было. В тех случаях когда цитируются вышеназванные обзорные доклады, цитаты (либо измененные цитаты) содержат ссылки, указанные в исходном обзоре. Такие ссылки не указаны в каждом конкретном случае в приводимом перечне ссылок.

В ответ на просьбу Комитета по рассмотрению СОЗ о представлении по хлордекону дополнительной информации, требуемой согласно приложению Е к Конвенции, такая информация была представлена, причем она была почерпнута в основном из открытых источников. Однако Францией был направлен подготовленный для Национального собрания доклад, в котором излагается история производства и применения хлордекона на Мартинике и в Гваделупе (Beaugendre, 2005).

Был проведен и поиск более свежей информации, в частности, с использованием ресурсов библиотеки Датского технического университета и базы данных FINDit (поиск по ключевым словам "хлордекон", "кепон", "мирекс"), а также поиск по открытым базам данных. К их числу относились "Экотокс" (АООС США (US-EPA), <http://www.epa.gov/ecotox/>), "NITE" (японский Национальный институт технологии и оценки, <http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>), доклады ФУОС (BUA) (<http://www.gdch.de/taetigkeiten/-/bua/berichte.htm>) и База данных по экологической "судьбе" (<http://www.syrres.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 Арктики⁴ и участниками региональной оценки стойких органических загрязнителей в рамках подготовки Глобального доклада ЮНЕП⁵. В большинстве случаев дополнительной информации о хлордеконе 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. Положения Протокола обязывают Стороны (их число в настоящее время составляет 25) постепенно отказаться от всех видов производства и применения хлордекона. Хлордекон упоминается в Конвенции ОСПАР в качестве вещества, потенциально вызывающего озабоченность⁶.

Предложение о включении хлордекона 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 имеющейся на данный момент информации сообщения, представленные Швейцарией и

⁴ <http://www.amap.no/>.

⁵ http://www.chem.unep.ch/pts/gr/Global_Report.pdf.

⁶ Химически родственное соединение мирекс уже охватывается Стокгольмской конвенцией. И мирекс, и хлордекон фигурируют в Орхусском протоколе ЕЭК ООН 1998 года по стойким органическим загрязнителям (СОЗ). Оба вещества указаны в Конвенции ОСПАР в качестве вызывающих потенциальную озабоченность.

Таиландом, удовлетворяют всем критериям, изложенным в приложении II, за исключением критерия b iii⁷. Соответственно, КРХВ пришел к выводу о том, что в настоящее время хлордекон 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 получается 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 фильтрования 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 США компанией "Эллайд кемикл" в 1958 году под торговыми названиями "Кепон®" и "GC-1189" (Epstein 1978; Huff and Gerstner 1978). Хлордекон технического качества, который обычно содержал 94,5% хлордекона, имелся на рынке в США до 1976 года (IARC, 1979). Кроме того, хлордекон в различных концентрациях до 2,58 мг/кг был также обнаружен в техническом мирексе, а в концентрациях до 0,25 мг/кг – в препаратах мирекса, использовавшихся в качестве приманки (АООС (EPA) 1978b; IARC, 1979a) (цитируется по US ATSDR, 1995).

2.1.2 Объемы продаж и запасов

В период с 1951 по 1975 год в США было произведено около 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 предприятия по его производству во Франции (автор не указан, 1978b); однако дополнительная информация об этом намерении отсутствует. (По материалам КССОС-43, IPCS, 1984).

Свежих данных об объеме импорта хлордекона в наличии не имеется. К 1976 году экспорт технического хлордекона из США был прекращен, и это соединение более не производилось. С 1951 по 1975 год компания "Эллайд кемикл" экспортировала крупные партии разбавленного хлордекона технического качества (80% 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 для аналогичных целей. В окружающей среде он в результате окисления превращается в хлордекон и в силу этого может наряду с хлордеконом рассматриваться на предмет его включения в Стокгольмскую конвенцию. От 90 до 99% общего объема хлордекона, произведенного в этот период, было экспортировано в страны Европы, Азии, Латинской Америки и Африки (DHHS 1985; EPA 1978b) (по материалам US ATSDR, 1995). Нет сведений, указывающих на то, что Келеван производится или применяется в настоящее время.

С 1981 по 1990 год хлордекон продавался во Франции компанией "Де Лагарик" в виде препарата "Кюрлон". Этот препарат использовался на Мартинике и в Гваделупе после поразивших эти страны в 1979 и 1980 году ураганов Аллен и Дэвид, которые привели к массовому размножению сельскохозяйственных вредителей. Хлордекон для этого препарата был синтезирован в Бразилии. В 1990 году министерство сельского хозяйства Франции аннулировало разрешение на кюрлон. Его применение продолжалось до сентября 1993 года (Beaugendre, 2005). В Канаде после 2000 года не было зарегистрировано ни одного хлордеконсодержащего продукта для использования в целях борьбы с вредителями.

2.1.3 Применение

Хлордекон широко применялся в тропических странах для борьбы с банановым долгоносиком (автор не указан, 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). Известно, что хлордекон применялся в разных странах мира для борьбы с самыми различными вредителями. Он может использоваться

⁷ Он содержит требование о том, чтобы из представленной документации явствовало, что окончательное регламентационное постановление основано на результатах оценки рисков с учетом преобладающих условий в Стороне, принимающей постановление.

для уничтожения личинок мух, в качестве фунгицида против парши яблони и настоящей мучнистой росы (Information Canada, 1973), а также для борьбы с колорадским жуком (Motl, 1977), войлочковым клещом на неплодоносящих цитрусовых, а также картофельным и табачным проволочником, поражающим гладиолусы и другие растения (Suta, 1978). Кроме того, хлордекон в концентрациях около 0,125% (IARC, 1979a) использовался в изделиях бытовой химии, таких, как ловушки для муравьев и тараканов, а в приманке для муравьев и тараканов его концентрация составляла около 25% (Epstein 1978) (по материалам KCCOC-43 (IPCS, 1984) и US ATSDR, 1995).

2.1.4 Поступление в окружающую среду

Учитывая специфическое предназначение хлордекона в качестве пестицида, можно ожидать, что весь объем произведенного вещества в конечном итоге поступит в окружающую среду. Применение хлордекона в качестве пестицида на Мартинике и в Гваделупе до 1993 года вызвало серьезное загрязнение почвы и водоемов, и в настоящее время ведется их мониторинг (Bocquene & Franco, 2005, Beaugendre, 2005).

Зафиксировано поступление значительных количеств хлордекона в воздушную среду, водоемы и почву в районе крупного предприятия по его производству в городе Хопуэлл, штат Вирджиния, США. Выбросы с этого предприятия в конечном итоге привели к загрязнению вод, отложений и биоты в реке Джеймс, впадающей в Чесапикский залив (цитируется по US ATSDR, 1995).

2.2 Экологическая "судьба"

Распределение хлордекона в окружающей среде определяется 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 его сорбция на твердые частицы (пыль, почва и отложения) и органическую материю (живые организмы).

Эти свойства в сочетании с величиной давления паров ($3,0-4,0 \cdot 10^{-5}$ Па) хлордекона определяют его относительно низкую летучесть, поскольку – в зависимости от того, какие данные используются при подсчете (таблица 1.1), – константа Генри для этого вещества составляет от $2,0 \cdot 10^{-2}$ до $5,45 \cdot 10^{-3}$ Па м³/моль (25°C).

В KCCOC-43 (IPCS, 1984) летучесть хлордекона оценивалась исходя из данных лабораторных и полевых наблюдений, которые свидетельствуют о том, что сколь-либо значительного улетучивания хлордекона не происходит (Dawson, 1978). Вместе с тем крупным источником загрязнения окружающей среды и вредного воздействия на человеческий организм являлись обильные выбросы хлордеконсодержащей пыли с промышленных предприятий. Известны случаи переноса хлордекона воздушными массами на расстояние до 60 миль от источника (Feldmann, 1976); существует также вероятность дальнейшего рассеивания мелких твердых частиц (Lewis & Lee, 1976) (цитируется с сокращениями по KCCOC-43 (IPCS, 1984).

В US ATSDR (1995) сделан вывод о том, что выбросы хлордекона в окружающую среду распределяются между почвой и отложениями. В небольших количествах хлордекон может оставаться растворенным в воде, а вещество, попавшее в атмосферу, в конечном итоге осаждается на почве и в водоемах.

2.2.1 Стойкость

В KCCOC-43 (IPCS, 1984) воспроизведены материалы из предшествовавших докладов, где не приводилось каких-либо свидетельств разложения хлордекона в природной среде (Dawson, 1978; Geer, 1978), а также данные более поздних исследований, свидетельствующие о том, что под действием микробов хлордекон преобразуется в моногидро- и, возможно, в дигидрохлордекон (Orndorff & Colwell, 1980a).

В KCCOC-43 (IPCS, 1984) делается вывод о том, что хлордекон представляет собой чрезвычайно стабильное соединение, сколько-либо значительное разложение которого в окружающей среде маловероятно. Вместе с тем имеются сообщения об обнаружении моногидрохлордекона в микродозах (Carver *et al.*, 1978, Orndorff & Colwell, 1980b), однако ясность относительно механизма его формирования отсутствует. Хлордекон в присутствии этилендиамина подвергается под воздействием солнечных лучей 78-процентному разложению по истечении 10 суток (Dawson, 1978) (цитируется по KCCOC-43 (IPCS, 1984). Однако в обычных условиях этилендиамин в атмосфере не содержится, и поэтому на момент проведения цитируемых исследований информация относительно фотолитической стабильности хлордекона в природных условиях отсутствовала.

В более позднем обзоре (US ATSDR, 1995) сформулирован вывод об отсутствии оснований ожидать прямого фоторазложения хлордекона в атмосфере. Сделано также заключение, что хлордекон является стойким к аэробному разложению, хотя его анаэробное биоразложение в определенной мере наблюдается, и что он сохраняет высокую стойкость в окружающей среде. Хлордекон прочно соединяется с органической материей в воде, отложениях и почве. Соединившись с почвой, богатой органическими веществами, он остается связанным на долгое время; однако при адсорбции на твердые частицы в водоемах хлордекон еще до перехода в отложения может быть перенесен на большие расстояния. Разложение хлордекона в почве или отложениях

происходит главным образом путем анаэробного биоразложения (цитируется с сокращениями по US ATSDR, 1995.)

Информация о стойкости хлордекона, полученная после 1995 года, является скудной, однако известно, что его применение до 1993 года на острове Мартиника в Карибском море стало причиной серьезного загрязнения, после чего были начаты работы по мониторингу. Как указывается Восquete & Franco (2005), при отборе проб в реках в 2002 году были обнаружены водные концентрации этого вещества (твердые частицы) до 57 мкг/кг и в отложениях – до 44 мкг/кг. Авторы сослались на данные других исследований, в которых сообщалось об обнаружении в пробах, взятых в 2000-2001 годах, концентраций этого вещества в речной воде в диапазоне от 1,20 до 2,13 мкг/л.

Не исключено, что хлордекон из запасов применялся на Мартинике и после 1993 года, но, как предполагается, несколько лет назад его использование было прекращено. Однако остаточное загрязнение все еще наблюдается как в речной воде, так и в отложениях, где преобладают условия для протекания анаэробных процессов, являющихся единственным известным способом биотического разложения хлордекона. Это тем более поразительно, что климат в данном регионе оптимален не только для выращивания урожая и для распространения вредителей, но и для биоразложения.

Заключение

Гидролиз или биоразложение хлордекона в водной среде или в почве представляется маловероятным. Степень прямого фоторазложения незначительна. Поэтому считается, что хлордекон сохраняет высокую стойкость в окружающей среде.

2.2.2 Биоаккумуляция

Поскольку данное соединение является липофильным (высокий коэффициент распределения октанол/вода: log Kow 4,50 – 5,41), хлордекон обладает способностью как к биоаккумуляции, так и – в силу того, что его выведение в ходе обменных процессов незначительно или отсутствует – к биоусилению в водных пищевых цепях.

В КССОС-43 (IPCS, 1984) процесс биоаккумуляции рассматривается подробно. В докладе сообщается об исследованиях Odum & Drifmeyer (1978), представивших доказательства биоаккумуляции в наносных отложениях, например в разлагающихся *Spartina cyanosuroides*. Поскольку наносные отложения являются важным источником энергии в морской среде, они могут представлять собой крупный портал для проникновения хлордекона в водные пищевые цепи. И водные беспозвоночные, и рыбы накапливают хлордекон в весьма больших количествах. Процесс выведения в рыбах протекает медленно, в силу чего остаточное загрязнение обычно сохраняется на высоком уровне. В филе съедобных рыб был обнаружен почти такой же уровень накопленного хлордекона, что и его концентрация в полной живой массе изменчивого карпозубика и спота; из этого следует, что одним из основных резервуаров остаточного загрязнения в рыбе являются ее съедобные части (Bahner *et al.*, 1977) (цитируется по КССОС-43, IPCS, 1984).

При введении хлордекона с кормом малькам спота в течение 28 дней наблюдалось приращение его уровня в живой массе, причем равновесное состояние не достигалось (Stehlik & Merriner, 1983). Была отмечена аккумуляция хлордекона в пищевой цепи эстуариев (состоит из зеленых морских водорослей, устриц, мизид, травяной креветки, изменчивого карпозубика и спота) в концентрации 0,023 мкг/л (Bahner *et al.*, 1977). Во всех видах наблюдалось достижение равновесного уровня концентрации хлордекона в тканях через 8-17 дней после первого контакта. В устрицах выведение хлордекона протекало быстрыми темпами: через 7-20 дней после прекращения контакта его присутствие более не определялось. В креветках и рыбе процесс выведения шел медленно, а уровень хлордекона в тканях снижался на 30-50% за 24-28 дней (цитируется с сокращениями по КССОС-43, IPCS, 1984).

В US ATSDR (1995) сообщалось, что в силу липофильности данного соединения (высокий коэффициент распределения октанол/вода) хлордекон имеет тенденцию как к биоаккумуляции, так и к биоусилению в водных пищевых цепях. В ходе замеров значений коэффициента биоконцентрации (КБК) в атлантических менидиях, представляющих собой вид эстуарных рыб, были отмечены величины, превышающие 60 000.

В US ATSDR (1995), где описан процесс биоаккумуляции хлордекона и мирекса, говорится, что оба вещества весьма липофильны и вследствие этого обладают высоким потенциалом биоконцентрации. Они аккумулируются в водных пищевых цепях, причем разложения этих соединений в подвергшихся их действию организмах практически не происходит (de la Cruz and Naqui 1973; Epstein 1978; Huckins *et al.* 1982; Huggett and

Bender 1980; Kenaga 1980; Lunsford *et al.* 1987; Naqvi and de la Cruz 1973; Nichols 1990; Oliver and Niimi 1985, 1988; Roberts and Fisher 1985)⁸.

Имеющаяся информация о проникновении и биоаккумуляции хлордекона в пищевых цепях на суше (Naqvi and de la Cruz 1973) является весьма скудной, а данные наблюдений свидетельствуют о малых масштабах поглощения хлордекона растениями (Torr *et al.* 1986).

В таблице 2.1 подытожена информация о значениях КБК, взятая из базы данных АООС США "Экотокс" (US EPA, 2006). Принятые к рассмотрению результаты отражают концентрации, замеренные в различных организмах, причем во всех случаях, кроме экспериментов с водорослями, изучалось воздействие в проточной воде. Таким образом, полученные результаты должны отражать уровни биоконцентрации, достигнутые при постоянном воздействии четко определенных концентраций вещества. Что касается рыб, то в таблицу не включены результаты серии четырехдневных опытов, поскольку достижение равновесного состояния за это время считается маловероятным⁹. Дополнительно в таблицу включены результаты двух исследований, описанных в КССОС-43 (IPCS, 1984).

Таблица 2.1 Значения КБК применительно к хлордекону

Вид	Продолжительность опытов	Концентрация воздействующего вещества в мкг/л	КБК	Ссылки ¹
Зеленая водоросль (<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
Диатомовая водоросль (<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
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
Хирономида (<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 данные цитируются по базе данных "Экотокс" (US EPA, 2006), кроме двух² случаев, когда они цитируются по КССОС-43 (IPCS, 1984).

В КССОС-43 (IPCS, 1984) приводятся данные, подтверждающие биоусиление хлордекона, со ссылкой на опыты с устрицами, которые получали корм, содержащий зараженные хлордеконом водоросли, вследствие чего был достигнут максимальный суммарный уровень аккумуляции и перемещения хлордекона (или "способность к накоплению в пищевой цепи") из воды в водоросли, а затем в устрицы, составивший 2,1 (Bahner *et al.*, 1977). Когда споту скармливали мизиды, питавшиеся загрязненными хлордеконом солонowodными креветками, были получены суммарные значения КБК и КБУ в диапазоне от 3,9 до 10,5 (цитируется по

⁸ Эти ссылки касаются как мирекса, так и хлордекона.

⁹ В Руководстве 305 ОЭСР по проведению опытов предписывается 28-дневная продолжительность воздействия.

КССОС-43, ИПС, 1984), обусловленные переносом вещества из воды в солоноводные креветки, затем в мизиды и наконец в рыбу.

Заключение

Поскольку значение КБК в водорослях достигает 6000, в позвоночных 21 600, а в рыбах 60 200, и имеются документированные примеры биоусиления, хлордекон считается обладающим высоким потенциалом биоаккумуляции и биоусиления.

2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния

Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния может быть определена путем изучения данных мониторинга в отдаленных районах (например, в Арктике) и/или по физико-химическим свойствам молекулы, которые способствуют такому переносу. Наиболее известным механизмом переноса на большие расстояния является атмосферный перенос веществ в паровой фазе. Однако свою роль могут играть перенос воздушными потоками веществ в соединении с твердыми частицами, перенос океанскими течениями частиц в составе отложений, а также перенос с биотой (см., например, АМАП, 2004).

Одной из предпосылок атмосферного переноса на большие расстояния является устойчивость вещества к разложению, а хлордекон считается весьма стойким в окружающей среде (см. раздел 2.2.1). Вещество, обладающее летучестью, автоматически попадает в категорию способных к переносу в атмосфере, тогда как в отношении способности веществ с меньшей летучестью к переносу на большие расстояния полная ясность отсутствует, о чем говорится ниже. Хлордекон не обладает сколь-либо выраженной летучестью (см. раздел 2.2).

Как указано в US ATSDR (1995), результаты анализа проб, отобранных из фильтров крупнообъемных воздухозаборников в Хопуэлле, подтвердили факт атмосферного переноса пыли, содержащей частицы хлордекона, в годы, когда там осуществлялось его производство. Приблизительно в 200 ярдах от цеха по производству хлордана наблюдалось 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 большем удалении от источника наблюдались уровни в диапазоне от 1,4 до 21 нг/м³. В частности, в Саут-Ричмонде в 15,6 милях к северо-западу от Хопуэлла этот уровень составлял 1,41 нг/м³. В аэропорту "Берд" в 14,12 милях к северу от Хопуэлла уровень составил 1,93 нг/м³. В Питерсберге, находящемся в 8,19 милях к юго-западу от Хопуэлла, отмечался уровень 20,7 нг/м³ (Epstein, 1978). В заключение авторы указывают на наличие данных о присутствии взвешенного в воздухе хлордекона на расстоянии до 60 миль от его источника (Feldmann, 1976) и делают вывод о возможности дальнейшей дисперсии мельчайших частиц (Lewis & Lee, 1976) (US ATSDR, 1995).

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

Вместе с тем нет зафиксированных данных об уровнях концентрации хлордекона в районах, находящихся на большом расстоянии от места его производства или применения. Поэтому оценка способности к переносу хлордекона на большие расстояния должна основываться на его физических свойствах. Наиболее значимыми для этого – помимо стойкости – являются давление паров и константа Генри. Для всесторонней оценки способности к переносу в атмосфере на большие расстояния требуются данные о давлении паров как при высокой, так и при низкой температурах (например, 25°C и 0°C). Такая информация, однако, имеется только по немногим веществам (АМАП, 2004); по этой причине в качестве мерила летучести вещества используется давление паров при 25°C.

В качестве общего правила принято, что вещества, величина давления паров которых составляет $>1,33 \cdot 10^{-2}$ Па, находятся всецело в паровой фазе, а вещества со значением давления паров $<1,0 \cdot 10^{-4}$ Па имеют форму частиц (US ATSDR, 2004).

Один из способов оценки параметров и воздействия того или иного вещества, имеющаяся информация о котором является недостаточной, состоит в сравнении его с более изученными веществами, обладающими аналогичными свойствами. Этот подход (известный как "подход на базе опорных параметров") был предложен Scheringer (1997) и Beyer *et al.* (2000) и в последнее время использовался в ряде исследований, касающихся стойкости загрязнителей и их переноса в окружающей среде (см., например, Vulykh *et al.* 2006, и Klasmeier *et al.* 2006). Для вывода о том, можно ли считать вещество способным к переносу в атмосфере на большие расстояния, его параметры сопоставляются со значениями для тех СОЗ, которые на текущий момент фигурируют в соответствующих перечнях. Однако данные о физико-химических свойствах химикатов зачастую сильно разнятся в зависимости от источника, а качество данных не поддается сопоставлению без конкретного анализа соответствующих исследований. Это можно наблюдать в таблице 1.1, где приведены имеющиеся данные о физико-химических свойствах хлордекона. Два значения давления паров являются

относительно схожими ($0,3$ и $0,4 \cdot 10^5$ Па), однако, что касается растворимости в воде, то имеющиеся в литературе данные отличаются на порядок ($0,35 - 3,0$), причем наименьшее значение считается недостоверным¹⁰.

В таблице 2.2 хлордекон сопоставляется с СОЗ, уже фигурирующими в соответствующих перечнях. В качестве исходных при таком сопоставлении были взяты максимальное и минимальное значения по хлордекону (таблица 1.1). По уже фигурирующим в соответствующих перечнях СОЗ поиск соответствующей информации велся на сетевой странице ЮНЕП по СОЗ. Из СОЗ, уже включенных в соответствующие перечни, данные, касающиеся большинства представляющих интерес свойств, имелись по альдрину, хлордану, дильдрину, ДДТ, гексахлорбензолу, мирексу, токсафену, эндрину и гептахлору. Справки о недостающих данных (растворимость мирекса в воде) наводились в US ATSDR (1995) и АМАП (2004). В US ATSDR (1995) цитируются значения $0,2$ и $0,6$ мг/л, а в АМАП (2004) делается ссылка на Маскау, который указывает весьма низкое значение растворимости в воде: $6,5 \cdot 10^{-5}$ мг/л. Во избежание использования при таком сопоставлении значений, которые, по всей видимости, выбываются из ряда, к сведению было принято значение растворимости в воде для мирекса из US ATSDR (1995).

Сводные данные о растворимости в воде и давлении паров и рассчитанные на их основе значения константы Генри для СОЗ, фигурирующих в соответствующих текущих перечнях, а также данные по хлордекону, взятые из таблицы 1.1, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Значения растворимости в воде (РВ), давления паров (ДП) и (расчетной) константы Генри (КГ) (при 25°C) для хлордекона и СОЗ, фигурирующих в соответствующих текущих списках

Вещество	РВ в мг/л	ДП в Па	КГ 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)	3726 (токсафен)
СОЗ-2-й макс	0,5 (дильдрин)	0,04 (гептахлор)	267 (гептахлор)

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

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

Данные, приведенные в таблице 2.2, свидетельствуют о том, что хлордекон сравним с наиболее растворимыми в воде СОЗ, фигурирующими на текущий момент в соответствующих перечнях (токсафен и дильдрин), в то время как по давлению паров он сопоставим с ДДТ. Из рассчитанных для хлордекона двух значений константы Генри более высокое принадлежит к тому же порядку, что и значения для эндрина.

Помимо этого следует отметить, что в последнем из докладов АМАП по СОЗ (АМАП, 2004) представлена информация о возможности переноса в соединении с твердыми частицами веществ, значения константы Генри (КГ) которых близки к значениям для хлордекона (КГ = 0,0049 или 0,056). На основе значений КГ, почерпнутых из АМАП (2004), делается вывод о том, что полуплетучие соединения, такие, как линдан (γ -НСН) (КГ = 0,000149) и хлордан (КГ = 0,342), разделяются на фракции, соединенные с взвешенными в атмосфере твердыми частицами и находящиеся в газообразной фазе в зависимости от температуры. Они могут вымываться осадками и временно осаждаться в морской воде или на почве, а также могут абсорбироваться водой, растениями и поверхностной почвой из газовой фазы. При благоприятных теплых погодных условиях эти соединения в результате испарения попадают в атмосферу, где происходит их дальнейший перенос. Это повторное приобретение подвижности называется также "эффектом кузнечика". Роль бурь в попадании вновь обретших подвижность полуплетучих соединений в атмосферу очевидна, но все еще слабо изучена (АМАП, 2004).

Помимо этого по некоторым физико-химическим свойствам, таким как коэффициенты разделения $\log K_{ow}$ (коэффициент разделения октанол/вода) и $\log K_{aw}$ (коэффициент разделения воздух/вода), хлордекон схож с некоторыми компонентами токсафена; наличие у него таких свойств в сочетании с его стойкостью в атмосфере и в воде означает возможность его комбинированного переноса на большие расстояния в атмосфере и океанах

¹⁰ Более определенные выводы могут быть сделаны при наличии качественных данных о физико-химических свойствах.

(т. е. когда вещество переходит из атмосферной газообразной фазы в морскую растворенную фазу и обратно и может быть перенесено в любой из них) (Wania, F. 2006, сообщение автора). Тот факт, что значение константы Генри для хлордекона является весьма низким и что его тяжелая фракция присутствует в воде, говорит в пользу того, что океанские течения способствуют его переносу на большие расстояния.

В ходе недавнего исследования с применением моделирования Scheringer *et al.* (2006) изучали стойкость и способность к переносу на большие расстояния потенциальных СОЗ, включая хлордекон и гексабромбифенил, используя методику, согласно которой значения этих двух свойств выводились из некоторых имеющихся моделей трансформации в различных экологических средах (более подробное пояснение см. также у Klasmeier *et al.*, 2006 и Fenner *et al.* 2005). Авторы пришли к выводу о том, что четыре потенциальных СОЗ обладает стойкостью и способностью к переносу на большие расстояния, аналогичными ряду известных СОЗ. Кроме того, при анализе неопределенности они учли и неопределенность относительно качества данных; этот анализ показал, что полученный результат сохраняет силу несмотря на значительную степень неопределенности в отношении химических свойств четырех потенциальных СОЗ. К этому можно добавить, что анализ продемонстрировал сходство свойств гексабромбифенила и хлордекона и что уже задокументирована способность первого из этих веществ к биоаккумуляции в арктической биоте (см. проект характеристики рисков для гексабромбифенила).

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что, как следует из приведенной выше информации, имеющиеся данные о хлордеконе в части, касающейся его атмосферного переноса на большие расстояния в газообразной форме, не позволяют сделать окончательный вывод. Однако перенос веществ, соединенных с твердыми частицами, в атмосфере и перенос частиц в отложениях океанскими течениями, а также перенос с биотой могут со своей стороны способствовать перемещению хлордекона в окружающей среде на большие расстояния; вполне возможным представляется и комбинированный перенос в системе атмосфера/океан.

Ввиду отсутствия данных мониторинга по хлордекону его способность к переносу на большие расстояния приходится оценивать исходя из физико-химических свойств и данных моделирования. Если взять достоверные наименьшие значения растворимости в воде и максимальные значения давления паров, то по свойствам, играющим решающую роль в переносе молекул в паровой фазе в атмосфере на большие расстояния, хлордекон вписывается в категорию СОЗ, фигурирующих в нынешних перечнях. Значения $\log K_{ow}$ и $\log K_{aw}$ также говорят в пользу способности хлордекона к переносу в окружающей среде на большие расстояния, а в проведенном Scheringer *et al.* 2006 исследовании с применением моделирования наглядно продемонстрирована такая его способность (возможно, более высокая, чем принято считать в настоящее время) даже с учетом неопределенностей, касающихся его физико-химических свойств.

2.3 Воздействие

2.3.1 Концентрация в окружающей среде

Имеющаяся информация о концентрации хлордекона в окружающей среде является весьма скудной и касается лишь территорий вблизи мест производства (США) или применения (Мартиника).

В US ATSDR (1995) приводятся данные о присутствии хлордекона в окружающей среде по прекращении его производства. В 1977 году, через 12 лет после начала производства хлордекона и через два года после его прекращения, средний уровень концентрации хлордекона в устьевых водах (в растворенном виде) составлял <10 нг/л (промилле) (Nichols 1990). В октябре 1981 года, через шесть лет после прекращения производства, уровни концентрации хлордекона в воде находились в диапазоне от не поддающихся измерению до 0,02 мкг/л (миллиардная доля) (Lunsford *et al.*, 1987). Хотя данных мониторинга грунтовых вод не имеется, массивное просачивание хлордекона в грунтовые воды маловероятно, поскольку он вступает в прочную связь с находящимися в почве органическими веществами (цитируется с сокращениями по US ATSDR, 1995).

Данные недавнего мониторинга в США свидетельствуют о стойкости хлордекона, известного в США под названием "кепон". Данное вещество было охвачено национальным гистологическим исследованием озерной рыбы, проводившимся АООС США (US EPA) с целью оценки положения дел в различных районах страны с остаточным загрязнением отдельными веществами тканей рыбы, водящейся в озерах и водоемах в 48 континентальных штатах страны. В период с 2000 по 2005 год был произведен отбор и анализ в общей сложности 881 пробы. Наличие хлордекона отмечено в 152 случаях (17,25%) – в диапазоне от 12,3 до 2008 миллиардных долей (Jensen, 2006).

На Мартинике повсеместное использование хлордекона до 1993 года привело к загрязнению почв и водоемов на большей части острова (Vocquené & Franco, 2005). Авторы обнародовали данные проводившегося в 2002 года обследования на присутствие ряда пестицидов в воде устьев семи рек. Произведенные ими замеры

показали, что в шести реках из семи хлордекон присутствует в виде твердых частиц в воде в концентрациях до 57 мкг/кг и в отложениях – в концентрациях до 44 мкг/кг.

Wosqueñé & Franco (2005) приводят выдержки из других исследований, в ходе которых в 2001-2002 годах в реках Мартиники были обнаружены концентрации хлордекона в диапазоне от 1,20 до 2,13 мкг/л. Они также констатировали "повсеместное наличие" хлордекона в речной воде, используемой для питья.

Помимо этого в докладе, подготовленном для Национального собрания (Beaugendre, June 2005), излагается история применения хлордекона в Гваделупе и на Мартинике и упоминаются некоторые программы мониторинга, по итогам которых в конце 2005 года должны были быть подготовлены доклады. Однако на момент составления настоящего документа эти доклады еще не поступили.

2.3.2 Воздействие на человека

В US ATSDR (1995) по итогам производства хлордекона сделан следующий обобщенный вывод: хлордекон не был обнаружен в жировой ткани или крови не связанных с производством лиц, хотя история знает случаи его обнаружения в пробах женского молока, взятых в юго-восточных районах США (EPA 1978с). Имеется информация об уровнях хлордекона в крови рабочих, подвергавшихся его воздействию на предприятии в Хопуэлле, штат Вирджиния, в 1974-1975 годах, и 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 приводятся в разделе 2.4.1.

Информация о контакте человека с хлордеконом после его применения на островах Карибского моря отсутствует.

2.4 Оценка опасности по критическим параметрам

2.4.1 Токсичность

Токсикокинетика у подопытных животных и человека

И в US ATSDR (1995), и в KCCOC-43 (IPCS, 1984) констатируется, что хлордекон хорошо усваивается при поступлении оральным путем, через кожу или дыхательные пути. Токсикокинетические данные получены главным образом в результате опытов на животных (например, 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; приводятся по IPCS, 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 (по материалам US ATSDR (1995) и KCCOC-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 IPCS, 1984). Имеются сведения о том, что посредством восстановительной биотрансформации хлордекон в крысах медленно метаболизируется в хлордеконовый спирт (Blanke *et al.*, 1978, цитируется по KCCOC-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 IPCS, 1984). Химикат выводится главным образом с экскрементами, причем согласно данным исследования, проведенного Egle, за 84 дня после получения дозы с экскрементами было выведено в общей сложности 66% и с мочой – 2% этой дозы (Egle *et al.*, 1978, данные из IPCS, 1984).

В KCCOC-43 сообщается, что высокие концентрации хлордекона были обнаружены в печени (от 13,3 до 173 мг/кг), общем объеме крови (от 0,6 до 32 мг/л) и подкожном жире (от 2,2 до 62 мг/кг) 32 рабочих-мужчин (Cohn *et al.*, 1976, по материалам IPCS, 1984). У рабочих, подвергшихся воздействию хлордекона на производстве, его концентрация в сыворотке составляла от 120 до 2109 мкг/л и снизилась до 37 – 486 мкг/л через 6-7 месяцев после прекращения воздействия (Adir *et al.*, 1978; из IPCS, 1984). Согласно оценкам, период полувыведения хлордекона из организма этих рабочих составил от 63 до 148 суток. Восстановительная биотрансформация в хлордеконовый спирт отмечалась также и в людях (Blanke *et al.*, 1978, из KCCOC-43). Хлордекон выводился главным образом с экскрементами, причем средний суточный темп составлял 0,075% от расчетного общего объема отложений данного вещества в тканях организма (Cohn *et al.*, 1976, цитируется по IPCS, 1984).

Токсичность хлордекона, наблюдавшаяся 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 репродуктивной функции (Khera *et al.* 1976; Uzodinma *et al.* 1984a; Yarbrough *et al.* 1981) и, по данным некоторых исследований, 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), а также значительное увеличение количества бляшкообразующих клеток (Chetty *et al.* 1993c) (указано в 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; указано в ATSDR, 1995); вместе с тем имеются сообщения о том, что хлордекон нарушает каналы связи между клетками (Tsushimoto *et al.*, 1982, Caldwell and Loch-Carus, 1992; указано в US ATSDR, 1995). В US ATSDR (1995) высказано предположение о том, что хлордекон вызывает различные виды опухолей печени; 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 способности к деторождению, 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; указано в US ATSDR, 1995). В ходе трехмесячного наблюдения за крысами, получавшими соответствующий корм, изменения в сперме были зарегистрированы при НУНВ в 0,83 мг/кг/сут, а нарушения функции семенных пузырьков и предстательной железы наблюдались при уровне в 1,67 мг/кг живой массы в сутки (Linder *et al.* 1983; по материалам 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 вызывали 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, косопалость, 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% 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; указано в IPCS, 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 с кормом 0, 10, 30 или 37,5 мг хлордекона на килограмм, наблюдалось нарушение репродуктивной функции в форме сокращения численности приплода и ухудшения состояния потомства (Huber, 1965; сообщается в IPCS, 1984). Самки, получавшие 40 мг/кг, не производили потомства, однако воспроизводство возобновилось через 7 недель после прекращения затравки хлордеконом; при этом приплод все же был более малочисленным, чем у не подвергавшейся воздействию контрольной группы (цитируется по IPCS, 1984). У самок мышей, получавших хлордекон в количестве 2 мг/кг живой массы в сутки, наблюдались ановуляция и хроническая вагинальная течка (Swartz *et al.*, 1988; цитируется по US ATSDR, 1995); подобный эффект наблюдался и у женских особей из потомства крыс, самки которых получали 15 мг/кг/сут хлордекона с 14 по 20 день беременности (Gellert and Wilson, 1979; цитируется по US ATSDR, 1995), при том, что у женских особей из потомства мышей, самки которых получали 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).

Токсическое воздействие хлордекона на человека

Имеющиеся данные наблюдений за людьми подтверждают вывод о том, что хлордекон оказывает на человека токсическое воздействие, аналогичное тому, которое наблюдалось в ходе опытов над животными. Как указывается в US ATSDR (1995), среди членов отдельной группы рабочих, контактировавших с хлордеконом на 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; цитируется по US ATSDR, 1995). Поступление хлордекона в организм членов данной группы 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 на человека хлордекона в высоких концентрациях на производстве вызывало олигоспермию и ограничение подвижности сперматозоидов у мужчин; при этом функция фертильности не была нарушена (Guzelian 1982a; Taylor 1982, 1985; Taylor *et al.* 1978; цитируется по 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 скудными (US ATSDR, 1995, IPCS, 1984). Биопсия печени, проведенная у 12 рабочих, страдавшим увеличением ее размеров в результате среднесрочного или постоянного контакта с хлордеконом в высоких концентрациях, не показала наличия рака (Guzelian *et al.* 1980; цитируется по US ATSDR, 1995). Однако выводы по итогам этого исследования носят ограниченный характер, поскольку обследованию было охвачено очень малое число рабочих (US ATSDR, 1995).

Воздействие на эндокринную систему

Нарушение репродуктивной функции под воздействием хлордекона свидетельствует о том, что этот пестицид поражает эндокринную систему. Он был подвергнут оценке с применением критериев, содержащихся в Стратегии ЕС по веществам, вызывающим эндокринные расстройства¹¹, 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, увеличение маточной массы у крыс, неоднократно получавших инъекции хлордекона в постнатальный период, а также тесты на связывание с рецепторами, указывающие на наличие эстрогенного эффекта (описано в докладе ВКН 2000, US ATSDR, 1995).

Заключение об оценке воздействия и токсичности хлордекона

Хлордекон легко усваивается тканями организма, где при продолжительном контакте с ним происходит его накопление. Этот высокотоксичный пестицид продолжительное 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

¹¹ http://europa.eu.int/comm/environment/endocrine/strategy/substances_en.htm.

сутки – у мышей; кроме того, при аналогичных дозах наблюдалось и нарушение репродуктивной функции. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к числу веществ, потенциально канцерогенных для человека (группа МАИР 2В).

В таблице 2.3 сведены воедино результаты ключевых токсикологических исследований с применением хлордекона, включая УННВ/НУНВ, определенные в ходе каждого из них. Исследования, представленные в приведенной ниже таблице, были отобраны из весьма обширной базы данных о токсикологических исследованиях по хлордекону с учетом значимости изучаемого конечного эффекта (например, токсическое нарушение репродуктивной функции, 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 были использованы АРТЗ США (US ATSDR) для определения минимальных уровней риска (MRLs) применительно к хлордекону (US ATSDR, 1995).

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

Вид	Вид исследования	Последствия	НУНВВ/УННВВ (мг/кг жм/сут)	Ссылка
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 (из 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, (из 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 (из US ATSDR, 1995)
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 (из IPCS, 1984 и 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 (из IPCS, 1984 и 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(из IPCS, 1984 и 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 (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)

Вид	Вид исследования	Последствия	НУНВВ/УННВВ (мг/кг жм/сут)	Ссылка
Крыса "Осборн-Мендель" и мышь В3С6F1	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(из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)
Крыса	Многочисленные инъекции хлордекона новорожденным крыскам	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 (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)
Крыса "Готцман", женская особь, не достигшая зрелости, с ректомией 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 функции имплантации эмбриона	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 (из IPCS, 1984 и 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 (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)
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 косолапости.	2 мг/кг жм/сут (НУНВ, крысы)	Chernoff & Rogers, 1976) (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)
Мышь "Бальбк"	Наблюдение за введением с кормом (160 дней)	Активизация овуляции, хроническая течка	2 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Swartz <i>et al.</i> , 1988 (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)
Крыса	Токсическое расстройства репродуктивной функции	Активизация овуляции, хроническая течка у потомства (женские особи) самок, получавших хлордекон с 4 по 20 сутки вынашивания плода	15 мг/кг жм/сут (НУНВ)	Gellert and Wilson, 1979, из US ATSDR, 1995)

Вид	Вид исследования	Последствия	НУНВВ/УННВВ (мг/кг жм/сут)	Ссылка
Человек	Воздействие на производстве	Наблюдались тремор, беспричинная нервозность или беспокойство и расстройства зрения, а также высыпания на коже.	Средний уровень хлордекона в крови у рабочих с жалобами на вредное воздействие составлял 2,53 миллионной доли. Сообщения о случаях высыпаний на коже у рабочих с уровнем хлордекона в крови, превышавшим 2 мкг/л.	Cannon <i>et al.</i> , 1978 (из IPCS, 1984 и US ATSDR, 1995)

2.4.2 Экоотоксичность

В таблице 2.4 приведены сводные данные об итогах проверки хлордекона на экотоксичность для водных систем, почерпнутые из базы данных "Экотокс" (US EPA, 2006).

Помимо этого в КССОС-43 (IPCS, 1984) подведены итоги серии исследований, посвященных биодоступности хлордекона, и отмечается его высокая способность адсорбироваться на отложения. Поэтому воздействие на водные организмы оказывается частично через водную фазу, а 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 аквариум, который снабжался нефилтрованной морской водой. Было установлено, что уровень смертности мизид зависит от дозы при их контакте с отложениями, достигшими ранее равновесного состояния на уровне 0,1, 1,0 или 10 мкг хлордекона на литр. Отложения из реки Джеймс воздействия на мизид не оказывали. В устрицах наблюдалось зависящее от дозы замедление роста раковины при контакте с отложениями, достигшими равновесного состояния по хлордекону; была также отмечена их отрицательная реакция на речные отложения. Пескожилы *Arenicola cristata* погибли через 28 дней после контакта с отложениями, загрязненными на уровне 10 мкг хлордекона на литр; однако более низкие дозы воздействия на их численность не оказывали. И в пескожилах, и в устрицах наблюдалась концентрация хлордекона, поступившего из отложений (цитируется по КССОС-43, IPCS, 1984).

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

Таксономическая группа и вид	Ключевой параметр	Продолжительность	Результат в мг/л	Ссылка 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> ,	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,

Таксономическая группа и вид	Ключевой параметр	Продолжительность	Результат в мг/л	Ссылка ¹
<i>Palaemonetes pugio</i>				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>	МАТС 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, филтрация	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 значения соответствуют приведенным в базе данных "Экотокс", US EPA 2006.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что хлордекон является весьма токсичным для морских 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 составляют значительно менее 1 мг/л, причем результаты краткосрочных испытаний (смертность) проявляются в диапазоне от 0,01 до 0,69 мг/л, а результаты долгосрочных тестов (нарушение репродуктивной функции и задержка роста) – в диапазоне от 0,0025 до 0,0028 мг/л.

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 фигурирует в перечне, содержащемся в приложении А к Стокгольмской конвенции. Хлордекон уже включен в перечень, содержащийся в приложении I к Протоколу ЕЭК ООН по СОЗ.

Согласно имеющимся данным, хлордекон может считаться веществом, сохраняющим высокую стойкость 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 и в рыбах 60 200, причем имеются подтвержденные случаи биоусиления; поэтому считается, что он обладает высоким потенциалом 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 продолжительное 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; кроме того, при аналогичных дозах наблюдалось и нарушение

репродуктивной функции. Международным агентством по изучению раковых заболеваний хлордекон отнесен к числу веществ, потенциально способных оказывать канцерогенное воздействие на человека (группа МАИР 2В). Помимо этого хлордекон весьма токсичен для морских организмов, наиболее уязвимой группой которых являются беспозвоночные.

Имеющиеся данные не дают оснований для окончательного вывода о способности хлордекона в газообразной форме к переносу на большие расстояния в атмосфере. 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 о мониторинге хлордекона оценка вероятности его переноса на большие расстояния была произведена исходя из его физико-химических свойств, и особенно из 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.

В свете имеющихся данных хлордекон следует считать СОЗ, в отношении которого оправдано принятие глобальных мер. Для таких веществ, как хлордекон, не только являющихся крайне стойкими и обладающих высокой способностью к биоаккумуляции, но и сохраняющих токсичность, а возможно и канцерогенность, в течение продолжительного времени, общие безопасные уровни воздействия не могут быть установлены ввиду сложности оценки долгосрочных рисков и предсказания последствий длительного контакта с ними даже в малых концентрациях.

В развитых странах производство и применение хлордекона в последние десятилетия было 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

Продемонстрировано, что хлордекон отвечает всем критериям, изложенным в приложении D к Стокгольмской конвенции. Кроме 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, физико-химические свойства, а также результаты моделирования говорят в пользу того, 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 хлордеконом связывают возникновение разнообразных вредных последствий как для млекопитающих, так и для морских организмов.

Поскольку хлордекон может подвергаться атмосферному переносу на большие расстояния 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 был наложен полный запрет согласно Протоколу по стойким органическим загрязнителям к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Производство и применение хлордекона в большинстве стран, по-видимому, прекращены; вместе с тем возможность его повторного появления на рынке сохраняется. Это может привести к увеличению объема выбросов и уровня его содержания в окружающей среде.

В свете имеющихся данных существует немалая вероятность того, что в результате переноса в окружающей среде на большие расстояния хлордекон может вызывать серьезные неблагоприятные последствия для здоровья человека и/или окружающей среды, которые потребуют глобальных действий.

Литература

- АМАП (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
- ВКН Final Report (2000). Towards the Establishment of a Priority List of Substances for Further Evaluation of their Role in Endocrine Disruption. Подготовлено для ГУ по окружающей среде Европейской комиссии. http://europa.eu.int/comm/environment/docum/pdf/bkh_main.pdf
- Bocquene, G. & A. Franco (2005): Pesticide contamination of the coastline of Martinique Marine Pollution Bulletin, 51 (2005), 612-619
- 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 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 (Health and Safety Guide) No. 41 (HSG 41). Международная программа химической безопасности (МПХБ): Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Международная организация труда. Всемирная организация здравоохранения. Женева 1990
- 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 приложению Е к сообщению США по хлордекону от 27 января 2006 года
- 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. Guttmann, L. Lander & A. Wedebrand (1995): Environmental Hazard Classification – data collection and interpretation guide (2nd edition). TemaNord 1995:581. Nordic Council of Ministers. Copenhagen
- Scheringer 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
- Scheringer, 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/>
- АРТ3 США (1995): 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>
- АРТ3 США (2004): US ATSDR (2004): Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers
- АОС США (2006): база данных "Экотокс" (в прошлом 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
