



**Программа Организации  
Объединенных Наций по  
окружающей среде**

Distr.: General  
21 November 2006

Russian  
Original: English

---

**Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях**  
**Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей**  
**Второе совещание**  
Женева, 6-10 ноября 2006 года

**Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических  
загрязнителей о работе его второго совещания**

**Добавление**

**Характеристики рисков линдана**

На своем втором совещании Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей принял характеристики рисков линдана на основе проекта, содержащегося в документе UNEP/POPS/POPRC.2/10. Текст характеристик рисков с внесенными в него поправками приводится ниже. Этот документ не проходил официального редактирования.

# **ЛИНДАН**

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ РИСКОВ**

Документ принят Комитетом по рассмотрению стойких органических загрязнителей на его втором совещании

**Ноябрь 2006 года**

## Содержание

Резюме.....	4
1. Введение.....	5
1.1 Идентификационные данные химического вещества .....	5
1.2 Вывод Комитета по рассмотрению в отношении информации, полученной в рамках приложения D .....	7
1.3 Источники данных .....	7
1.4 Статус химического вещества в рамках международных конвенций .....	8
2. Сводная информация по характеристике рисков .....	10
2.1 Источники .....	10
а) Производство, торговля, накопление .....	10
б) Виды использования.....	11
с) Выбросы в окружающую среду .....	12
2.2 Экологическая "судьба".....	12
2.2.1. Стойкость .....	12
2.2.2. Биоаккумуляция.....	13
2.2.3. Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния ...	14
а) Изомеризация.....	15
б) Данные экологического мониторинга .....	16
2.3 Воздействие .....	17
2.4 Оценка опасности по критическим параметрам .....	19
3. Обобщение информации.....	23
4. Заключение.....	24
Выражение признательности .....	24
Литература.....	24

## Резюме

Мексикой было внесено предложение о включении гамма-гексахлорциклогексана (линдана) в приложение А к Стокгольмской конвенции. На своем первом совещании Комитет по рассмотрению проанализировал информацию, представленную Мексикой в соответствии с приложением D, и пришел к выводу, что "линдан соответствует всем критериям отбора, перечисленным в приложении D".

К числу международных инициатив по линдану относятся Протокол о стойких органических загрязнителях к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Роттердамская конвенция, Комиссия ОСПАР по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики, Двусторонняя стратегия Соединенных Штатов Америки и Канады по токсичным веществам в районе Великих озер, а также Североамериканский региональный план действий по линдану и другим изомерам гексахлорциклогексана, принятый в рамках Комиссии по экологическому сотрудничеству между Канадой, США и Мексикой.

При производстве каждой тонны линдана попутно образуется примерно 6-10 тонн других изомеров. В последние годы производство линдана быстро сокращалось, и на сегодняшний день он, по-видимому, производится только в Румынии<sup>1</sup> и Индии. Линдан применяется в качестве инсектицида широкого спектра действия для протравливания семян и внесения в почву, внекорневой обработки растений, обработки лесоматериалов и древесины, а также для борьбы с наружными паразитами животных и человека.

При попадании в окружающую среду линдан способен распределяться по всем экологическим средам. Считается, что он мало подвержен разложению путем гидролиза и фотолиза, а его период полураспада в воздухе, воде и почве составляет, по имеющимся данным, соответственно 2-3 суток, 3-300 суток и до 2-3 лет. Существуют также оценки, согласно которым период полураспада линдана в воздухе равен 96 суткам.

Линдан обладает способностью к беспрепятственной биоаккумуляции в пищевой цепи благодаря его высокой растворимости в липидах; возможен быстрый рост его биоконцентраций в микроорганизмах, беспозвоночных, рыбе, птицах и млекопитающих. В лабораторных условиях коэффициент биоконцентрации линдана в водных организмах составлял приблизительно от 10 до 4220. В полевых условиях зафиксированы коэффициенты биоконцентрации от 10 до 2600. Хотя биоконцентрация линдана может повышаться быстрыми темпами, его биотрансформация, выведение и удаление из организма также происходят сравнительно быстро после прекращения воздействия.

Об обнаружении остаточных концентраций линдана в самых различных районах Северной Америки, Арктики, Южной Азии, западной части Тихого океана и Антарктики сообщается в многочисленных исследованиях. Изомеры ГХГ, включая линдан, являются наиболее распространенными и стойкими из хлорорганических загрязнителей, встречающихся в Арктике, где они никогда не применялись; это свидетельствует об их переносе на большие расстояния.

В качестве возможного объяснения неожиданно высоких концентраций альфа-ГХГ по сравнению с гамма-ГХГ в арктических районах была предложена гипотеза об атмосферной изомеризации гамма-ГХГ, ведущей к его превращению в альфа-ГХГ. Однако на

---

<sup>1</sup> Румыния прекратила производство линдана в 2007 году.

сегодняшний день не представлено никаких экспериментальных данных, однозначно подтверждающих изомеризацию в воздушной среде. Кроме того, хотя определенные указания на возможность биоизомеризации линдана в ходе его биохимического разложения имеются, этот фактор, судя по всему, играет лишь незначительную роль в общем процессе деградации гамма-ГХГ.

Линдан присутствует во всех экологических нишах, а данные о его содержании в воздухе, воде, почвенных отложениях, водных и наземных организмах, а также в продуктах питания были получены при измерениях, проводившихся на всем земном шаре. Соответственно, воздействию линдана подвергается и население, о чем свидетельствуют заметные уровни его концентрации в крови, жировых тканях и материнском молоке человека, выявленные в ходе ряда исследований в различных странах. Особую обеспокоенность вызывает воздействие линдана на детей и беременных женщин.

Имеются данные о гепатотоксических и иммунотоксических свойствах линдана, а также о его воздействии на репродуктивную систему и развитие организма, полученные в ходе лабораторных исследований на животных. АООС США относит линдан к категории веществ, имеющих "заслуживающие внимания признаки канцерогенности, которых, однако, недостаточно для оценки потенциального канцерогенного воздействия на организм человека". Линдан высоко токсичен для водных организмов и умеренно токсичен для птиц и млекопитающих при остром воздействии. Хронические вредные последствия его воздействия на птиц и млекопитающих, изучавшиеся при исследовании репродуктивных функций, проявляются уже при низких концентрациях в форме снижения яйценоскости, ухудшения показателей роста и выживания, а также замедленного прибавления в весе у млекопитающих, на фоне ряда признаков эндокринных расстройств.

Эти данные, в сочетании с фактами, свидетельствующими о переносе линдана на большие расстояния, и ряд осуществляемых сейчас местных и глобальных инициатив в отношении линдана, также опирающихся на процедуры тщательного анализа и отбора, можно считать достаточным основанием для принятия глобальных мер в рамках Стокгольмской конвенции.

## **1. Введение**

### **1.1 Идентификационные данные химического вещества**

Предложение Мексики о включении гамма-гексахлорциклогексана (линдана) в приложение А к Стокгольмской конвенции было внесено 29 июля 2005 года. В нем представлена информация о гамма-изомере этого вещества, но одновременно отмечается, что «другие изомеры гексахлорциклогексана также заслуживают рассмотрения в связи с данным предложением»<sup>2</sup>.

Линдан: гамма-гексахлорциклогексан  
Химическая формула:  $C_6H_6Cl_6$   
Номер КАС: 58-89-9  
Молекулярный вес: 290,83

---

<sup>2</sup> UNEP/POPS/POPRC.1/8 и UNEP/POPS/POPRC.1/INF/8.

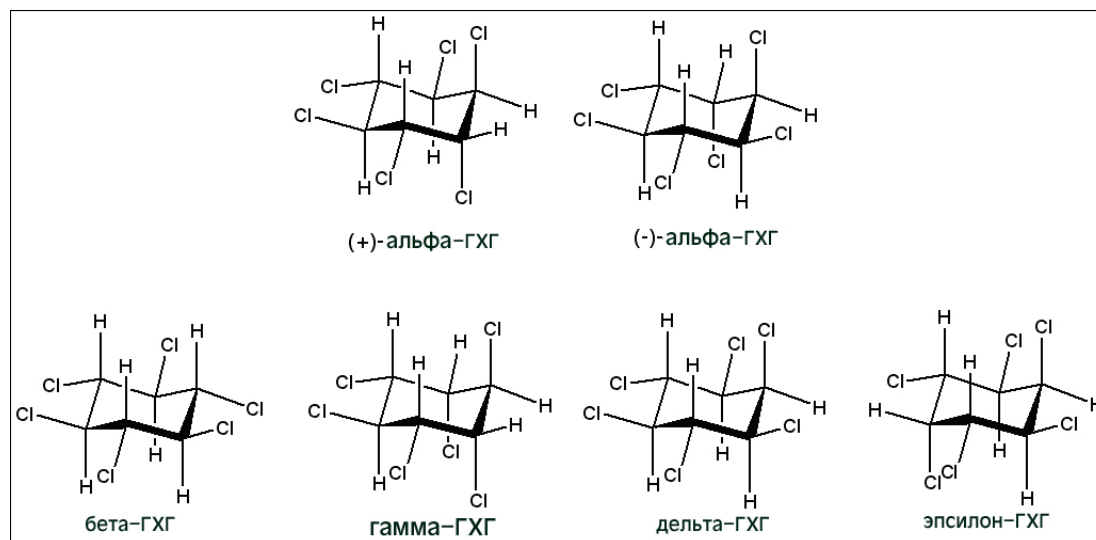
## Физические и химические свойства гамма-ГХГ

Физическое состояние	Твердое кристаллическое вещество
Температура плавления	112,5 °С
Температура кипения при 760 мм рт. ст.	323,4 °С
Давление паров при 20° С	$4,2 \times 10^{-5}$ мм рт. ст.
Константа Генри при 25° С	$3,5 \times 10^{-6}$ атм м <sup>3</sup> /моль

Агентство США по регистрации токсичных веществ и заболеваний (АРТЗ), 2005 год

Линдан - общепринятое название гамма-изомера 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексана (ГХГ). Технический ГХГ представляет собой смесь изомеров, состоящую преимущественно из пяти форм данного вещества, которые отличаются друг от друга только пространственным (аксиальным или экваториальным) расположением атомов хлора по отношению к циклогексановому кольцу. Пять основных изомеров присутствуют в смеси в следующих пропорциях: альфа-гексахлорциклогексан (53-70%) в двух энантиомерных формах ((+)альфа-ГХГ и (-)альфа-ГХГ), бета-гексахлорциклогексан (3-14%), гамма-гексахлорциклогексан (11-18%), дельта-гексахлорциклогексан (6-10%) и эpsilon-гексахлорциклогексан (3-5%). Свойствами сильнодействующего инсектицида обладает только гамма-изомер.

## Структура альфа-, бета-, гамма-, дельта- и эpsilon-изомеров ГХГ



Заимствовано с изменениями из Buser et al, 1995.

Для обозначения ГХГ широко используется также термин "бензолгексахлорид" (БГХ), хотя он и не соответствует правилам ИЮПАК. Тем не менее этот термин употребляется, и, следовательно, "гамма-БГХ" также следует считать одним из названий линдана. В настоящей характеристике рисков под линданом понимается гамма-ГХГ не менее чем 99-процентной чистоты; термин "БГХ" здесь не используется.

## 1.2 Вывод Комитета по рассмотрению в отношении информации, полученной в рамках приложения D

Проанализировав предусмотренную приложением D информацию на своем первом совещании, состоявшемся в Женеве с 7 по 11 ноября 2005 года, Комитет постановил, что «в отношении линдана были соблюдены критерии отбора», и пришел к выводу, что "линдан соответствует всем критериям отбора, перечисленным в приложении D". Члены Комитета согласились, что соответствующее обсуждение может охватывать также альфа- и бета-изомеры, хотя возможное решение о том, чтобы предложить включить данное химическое вещество в Конвенцию, будет распространяться только на линдан, т.е. гамма-изомер<sup>3</sup>.

## 1.3 Источники данных

Источники данных, представленных Мексикой как автором предложения:

1. ATSDR Toxicological Profile Information Sheet 2001
2. AMAP. 1998. Persistent Organic Pollutants. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP), 183-373. Oslo, Norway.
3. DeVoto, E., L. 1998. *Arch. Environ. Health* 53:147-55.
4. Extoxnet.1996. USDA/Extension Service/National Agricultural Pesticide Impact Assessment Program.
5. Gregor, 1989. *Environ. Sci. technol.* 23: 561-565.
6. IARC Monographs, <http://monographs.iarc.fr>
7. Mössner, S., 1994. *Fres. J. Anal Chem.* 349: 708-16.
8. Raum, E, A. 1998. *J. Epidemi. Commun. Health* 52 (suppl 1): 50S-5S.
9. U.S Environmental Protection Agency. IRIS.
10. Walker, K., 1999. *Environ. Sci. Technol.* 33:4373-4378.
11. Wania, F., 1999. *Environ. Toxicol. Chem.* 18: 1400-1407.
12. WHO. 1991. Environmental Health Criteria 124 Lindane
13. Willett, K., 1998. *Environ. Sci. Technol.* 32: 2197-207.
14. Yi, F. L., *Sci. and Technol.* Vol 30, No 12, 1996.

Источники данных, использовавшихся Комитетом:

1. UNEP/POPS/POPRC.1/8
2. Nagabe, et al., *Environmental Science and Technology*. 27: 1930–1933. 1993.
3. Harner, T. et al., *Environmental Science and Technology*. 33: 1157–1164. 1999.
4. Harner, T. et al., *Geophysical Research Letters*. 27: 1155–1158. 2000.
5. *Environmental Health Criteria No. 124: Lindane*. International Programme on Chemical Safety.
6. UNEP, ILO, WHO. Geneva. 1991.  
(<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc124.htm>).
7. Brock et al., *Alterra Report* 89, Netherlands. 2000.
8. *Guidance document on risk assessment for birds and mammals under Council Directive*
9. *91/414/EEC*. European Union. SANCO/4145/2000 - final, Brussels. 2002.
10. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Norway. 2002.
11. Gregor, D., et al., *Environmental Science and Technology*. 23: 561–565, 1989.

<sup>3</sup> UNEP/POPS/POPRC.1/10.

12. Brubaker, W. W., and Hites, R.A. 1998. *Environmental Science and Technology* 32 : 766–769.

Ответы на запрос об информации, предусмотренной приложением Е к Конвенции, были получены от следующих Сторон и наблюдателей: Республика Македония, Международная ассоциация по ГХГ и пестицидам, Республика Армения, Гаити, Всемирный фонд природы, "Кроплайф интернэшнл", Международная сеть по ликвидации СОЗ, Марокко, Республика Маврикий, Европейское сообщество, Бразилия, Литовская Республика, Канада, Соединенные Штаты Америки, Австралия, Япония, Мексика, Ливан и Польша. Более подробный обзор представленной информации выпущен в виде отдельного документа **POPRC/POPS/POPRC.2/INF.18 "Обзор данных, представленных Сторонами и наблюдателями в качестве информации, предусмотренной приложением Е к Конвенции"**.

В Интернете имеются следующие общедоступные материалы, посвященные оценке свойств линдана:

- Assessment of Lindane and other Hexachlorocyclohexane Isomers. USEPA. February 2006 <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/2006/February/Day-08/p1103.htm>
- Toxicological Profile for Hexachlorocyclohexane, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, updated in 2005. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.html>
- USEPA Reregistration Eligibility Decision (RED) for Lindane. 2002. See RED and supporting health and eco assessments included in the docket. [http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/lindane\\_red.pdf](http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/lindane_red.pdf)
- The North American Regional Action Plan (NARAP) on Lindane and Other Hexachlorocyclohexane (HCH) Isomers. Draft for Public Comment. October 2005. North American Commission for Environmental Cooperation [http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/Lindane-NARAP-Public-Comment\\_en.pdf](http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/Lindane-NARAP-Public-Comment_en.pdf)
- Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution, Joint WHO/convention task force on the health aspects of air pollution. WHO/Europe. 2003. Chapter 3: Chapter 3/ Hexachlorocyclohexanes <http://www.euro.who.int/Document/e78963.pdf>
- Technical Review Report on Lindane. Reports on Substances Scheduled for Re-assessments Under the UNECE POPs Protocol. Prepared by Austria in 2004 (доступно по адресу: [http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Dossier\\_Lindane.pdf](http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Dossier_Lindane.pdf))
- IPCS International Programme on Chemical Safety. Health and Safety Guide No. 54 LINDANE (Gamma-HCH) HEALTH AND SAFETY GUIDE. United Nations Environment Programme. International Labour Organisation. World Health Organization. Geneva, 1991. <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg054.htm>

#### 1.4 Статус химического вещества в рамках международных конвенций

Линдан в качестве «вещества, использование которого подлежит ограничению», включен в приложение II к **Протоколу 1998 года по стойким органическим загрязнителям к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния**. Это



означает, что применение продуктов, в которых по крайней мере 99 процентов изомеров ГХГ имеют гамма-форму (т.е. линдана, КАС: 58-89-9), ограничивается следующими видами использования: 1) протравливание семян; 2) внесение в почву с непосредственной последующей заделкой в верхний слой; 3) профессиональная защитная и промышленная обработка пиломатериалов, лесоматериалов и древесины; 4) локальный инсектицид в здравоохранении и ветеринарии; 5) локальное применение без использования самолетов при выращивании сеянцев, ограниченное использование при культивировании газонов и выращивании саженцев и декоративных растений на открытом воздухе и в закрытых помещениях; 6) применение в промышленности и в быту в закрытых помещениях. Все допускаемые виды использования линдана должны быть вновь рассмотрены в соответствии с Протоколом не позднее двух лет после его вступления в силу. Протокол вступил в силу 23 октября 2003 года<sup>4</sup>.

Линдан, а также смесь изомеров ГХГ включены в приложение III к **Роттердамской конвенции** о процедуре предварительного обоснованного согласия в качестве "химических веществ, подпадающих под действие процедуры предварительного обоснованного согласия". Роттердамская конвенция вступила в силу 24 февраля 2004 года<sup>5</sup>.

Изомеры гексахлорциклогексана, и в том числе его гамма-изомер линдан, включены (по состоянию на 2005 год) в Перечень веществ, в отношении которых необходимы первоочередные меры, **Комиссии ОСПАР по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики**. Принятая в рамках этой инициативы стратегия по опасным веществам преследует цель предотвращения загрязнения моря путем постоянного сокращения сбросов, выбросов и утечек опасных веществ, с тем чтобы в конечном итоге довести их концентрацию в морской среде до уровней, близких к фоновым для веществ, встречающихся в природе, и близких к нулю - для синтетических веществ антропогенного происхождения. Конвенция ОСПАР вступила в силу 25 марта 1998 года<sup>6</sup>.

ГХГ (включая линдан) отнесен к веществам уровня II согласно принятой США и Канадой **Двусторонней стратегии по токсичным веществам в районе Великих озер**; это означает, что у одной из этих двух стран имеются основания констатировать стойкость этого вещества в окружающей среде, его способность к биоаккумуляции и токсичность<sup>7</sup>.

В рамках Проекта по рациональному регулированию химических веществ, являющегося одной из современных инициатив по снижению создаваемого токсичными веществами риска для здоровья людей и окружающей среды в Северной Америке, разрабатывается Североамериканский региональный план действий (НАРАП) по линдану и другим изомерам гексахлорциклогексана. Данная программа является частью программы "Загрязняющие вещества и здоровье людей", осуществляемой **Комиссией по экологическому сотрудничеству** между тремя странами НАФТА – Канадой, США и Мексикой (СЕС, 2005).

Линдан включен также в перечень веществ, приводимый в **Рамочной директиве ЕС по водным ресурсам**. Эта директива представляет собой нормативный акт Европейского

<sup>4</sup> Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния <http://www.unece.org/env/lrtap/>.

<sup>5</sup> Роттердамская конвенция <http://www.pic.int>.

<sup>6</sup> Конвенция ОСПАР о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики <http://www.ospar.org/>.

<sup>7</sup> Двусторонняя стратегия по токсичным веществам в районе Великих озер <http://www.epa.gov/glnpo/gls/index.html>.

сообщества, посвященный водным ресурсам. Она требует, чтобы к 2015 году все внутренние водоемы и прибрежные воды были приведены как минимум в "благополучное состояние". Линдан отнесен к числу опасных веществ, требующих первоочередного внимания, для которых на уровне ЕС будут установлены стандарты качества и нормы контроля за выбросами, с тем чтобы их выбросы были полностью прекращены в пределах 20-летнего срока<sup>8</sup>.

## 2. Сводная информация по характеристике рисков

### 2.1 Источники

#### а) Производство, торговля, накопление

Технический ГХГ производится путем фотохлорирования бензола, при котором образуется смесь из пяти основных изомеров. Эту смесь подвергают фракционированной кристаллизации и концентрированию для получения линдана 99-процентной чистоты, выход которого составляет не более 10-15 процентов. Таким образом, производство линдана является неэффективным, т.к. на каждую полученную тонну линдана (гамма-изомера) образуется примерно 6-10 тонн других изомеров (ИПРА, 2006). Согласно данным *Международной ассоциации по ГХГ и пестицидам* (МАГП (ИПРА) - доклад и приложения), технологии производства ГХГ и линдана, а также уничтожения или повторного использования изомеров ГХГ существовали в нескольких вариантах. Однако со временем применение большинства методов обработки или повторного использования изомеров ГХГ, образующихся в качестве побочного продукта, прекратилось, и, таким образом, в последние 50 лет основная часть этой побочной продукции направлялась на свалки в качестве отходов (ИПРА, 2006). Производители линдана утверждают, что современная производственная технология позволяет перерабатывать ненужные изомеры в ТХБ (трихлорбензол) и HCl (соляную кислоту), сокращая или устраняя тем самым загрязнение окружающей среды этими побочными продуктами (Crop Life, 2006).

В прошлом технический ГХГ и линдан производились во многих странах Европы, в том числе в Чешской Республике, Испании, Франции, Германии, Соединенном Королевстве, Италии, Румынии, Болгарии, Польше и Турции. В большинстве случаев их производство началось в 1950-е годы или ранее и прекратилось в 1970-1990-е годы. Как показали исследования, проведенные МАГП, производство технического ГХГ и линдана имело место и в других государствах, включая Австрию, Азербайджан, Албанию, Аргентину, Бразилию, Венгрию, Гану, Китай, Индию, Россию, Словакию, США и Японию. Получение точной информации затрудняется тем, что во многих странах данные о производстве, продаже и применении пестицидов за прошлые годы не хранятся либо рассматриваются производителями как коммерческая информация, не подлежащая распространению (ИПРА, 2006).

Общее количество линдана, использованное во всем мире с 1950 по 2000 год для нужд земледелия, животноводства, лесного хозяйства, здравоохранения и для других целей, оценивается примерно в 600 000 тонн. В таблице ниже приведены данные о сельскохозяйственном использовании линдана на разных континентах в период с 1950 по 2000 год (ИПРА, 2006).

---

<sup>8</sup> Рамочная директива ЕС по водным ресурсам [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html).

Континент	Использовано (тонн)
Европа	287 160
Азия	73 200
Америка	63 570
Африка	28 540
Океания	1 032
<b>Всего</b>	<b>435 500</b>

В последние годы производство линдана, по-видимому, резко сократилось и продолжается сейчас лишь в небольшом числе стран. Странами, где до сих пор производится линдан, остаются только Румыния<sup>9</sup>, Индия и, возможно, Россия (ИПРА, 2006 и USEPA, 2006, СЕС, 2005 Annex A). По сведениям из других источников, в России (Li et al, 2004) и Китае (USEPA, 2006) производство линдана прекращено. Индия производит и применяет линдан для борьбы с клещами при выращивании сахарного тростника в объеме 200 тонн в год.

Общемировое производство линдана в 1990-1995 годах составляло около 3222 тонн ежегодно. Десятью европейскими странами, в которых линдан с 1950 по 2000 год применялся наиболее интенсивно и на долю которых приходилось 96 процентов всего объема его использования в Европе, являлись Чехословакия, Германия, Италия, Франция, Венгрия, Испания, Россия, Украина, Югославия и Греция (ИПРА, 2006).

В ходе инвентаризации просроченных, ненужных и/или запрещенных пестицидов, проведенной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций в 1998 году, на различных свалках в странах Африки и Ближнего Востока было обнаружено в общей сложности 2785 тонн технического ГХГ, 304 тонны линдана и 45 тонн ГХГ-материалов неопределенного состава (Walker et al, 1999).

По информации, имеющейся в рамках проекта по пестицидам с истекшим сроком годности Программы действий по борьбе с загрязнением Арктики Арктического совета, вероятно, до 1000 тонн запасов технических ГХГ и линдана с истекшим сроком годности по-прежнему находятся в Российской Федерации после запрещения производства в начале 90-х годов.

## **в) Виды использования**

Линдан используется в качестве инсектицида контактного действия с широким спектром применения для сельскохозяйственных и иных целей. Его применяют для протравливания семян и внесения в почву, для внекорневой обработки растений, обработки лесоматериалов и древесины, а также для борьбы с наружными паразитами животных и человека (WHO, 1991).

Ввиду своих токсических и предположительно канцерогенных свойств, стойкости, способности накапливаться в живых организмах и, возможно, вызывать эндокринные расстройства, линдан вошел в число веществ, которым уделяется особое внимание в странах Европейского сообщества. Все виды применения ГХГ, включая линдан, были запрещены, однако в государствах-членах может допускаться до 31 декабря 2007 года использование технического ГХГ в качестве промежуточного продукта в химическом производстве, а также использование препаратов с не менее чем 99-процентным содержанием гамма-изомера

<sup>9</sup> Румыния прекратила производство линдана в 2007 году.

(линдана) только для локального применения в здравоохранении и ветеринарии (UNEP, 2004). В США линдан на сегодняшний день допущен к использованию в сельском хозяйстве исключительно для протравливания семян; разрешается также его применение для борьбы с вшами и чесоточным клещом у человека (СЕС, 2005). В Канаде линдан использовался главным образом при выращивании канолы и кукурузы, однако в настоящее время его разрешается применять только в целях здравоохранения, против вшей и чесоточного клеща (СЕС, 2005).

### **с) Выбросы в окружающую среду**

Поскольку при получении каждой тонны линдана образуется примерно от 6 до 10 тонн других изомеров ГХГ, вместе с этим инсектицидом производилось значительное количество остаточных продуктов. На протяжении десятилетий эти ненужные изомеры, как правило, вывозились на открытые свалки в близлежащих полях или в других местах по соседству с объектами, где производился ГХГ. После такого удаления отходы изомеров подвергались разложению, испарению и вымыванию (USEPA, 2006).

Если оценки, согласно которым с 1950 по 2000 год в мире было использовано 600 000 тонн линдана, соответствуют действительности, то общее количество присутствующего сегодня на планете остаточного ГХГ (исходя из усредненной цифры в 8 тонн изомеров, направляемых в отходы при производстве каждой тонны линдана) может составлять 4,8 млн. тонн, что дает представление о масштабах связанного с этим загрязнения окружающей среды (ИПРА, 2006).

Загрязнение атмосферы линданом возможно при сельскохозяйственном применении и воздушном распылении этого инсектицида, а также в процессе его производства или удаления. Кроме того, линдан может попадать в атмосферу посредством испарения после того, как он был использован (Shen et al, 2004). Улетучивание из воды не рассматривается как существенный фактор ввиду сравнительно высокой водорастворимости линдана (WHO/Europe, 2003).

## **2.2 Экологическая "судьба"**

### **2.2.1. Стойкость**

Период полураспада линдана в воздухе был определен в 2,3 суток на основании константы максимальной скорости реакции его паров с гидроксильными радикалами в воздушной среде; продолжительность его пребывания в тропосфере оценивается в 7 суток и определяется скоростью реакции газовой фазы с гидроксильными радикалами; на основе параметров атмосферной реакции с ОН-радикалами в тропиках определен период сохранения в 13 суток (Maskau, 1997). По расчетам Brubaker and Hites (1998), линдан сохраняется в атмосфере в течение 96 суток. Период полураспада линдана в водах рек составляет от 3 до 30 суток, а в озерах – от 30 до 300 суток. Согласно другим источникам, период полураспада линдана в условиях гидролиза, определенный расчетным и экспериментальным путем, составляет от 92 до 3090 часов, в зависимости от исследования; сообщалось также, что линдан может сохраняться в почве от 2 до 3 лет (Maskau et al, 1997).

Попадая в окружающую среду, линдан способен распределяться по всем экологическим средам; доказано, однако, что наибольшую роль в распространении линдана в окружающей среде играет процесс испарения. Результаты нескольких исследований, посвященных адсорбционно-десорбционным свойствам линдана, свидетельствуют о том, что он обладает очень малой мобильностью в почвах с высоким содержанием органики и более мобилен там,

где почва содержит меньше органических веществ. Изучался также процесс диффузии линдана, которая, как выяснилось, существенно зависит от влажности почвы и температуры. В материалах Международной программы по химической безопасности отмечается, что при разложении линдана под действием природных факторов в полевых условиях период его полураспада колеблется от нескольких суток до трех лет в зависимости от многих параметров, включая климатические условия, тип почвы, температуру и влажность (WHO, 1991).

Считается, что гидролиз не играет большой роли в разложении линдана в водной среде при нейтральном pH. Линдан устойчив к гидролизу при pH 5 и 7, когда период его полураспада равен 732 суткам, и при pH 9, когда период полураспада составляет от 43 до 182 суток. Сообщается также о следующих значениях периода полураспада линдана, полученных путем оценок или расчетов: 1,1 года при pH 8 и 20°C в морской воде, 42 года при pH 7,6 и 5°C в озере Гурон и 110 лет в Северном Ледовитом океане при pH 8 и 0°C (USEPA, 2006).

Линдан устойчив к воздействию света. Не имея в своем составе поглощающих свет хромофоров, он не должен подвергаться прямому фотолизу ни в атмосфере, ни в воде, ни в почве. Даже при наличии возможности косвенного фотолиза в присутствии фотосенсибилизирующего агента явных признаков фоторазложения линдана не наблюдается. Линдан очень медленно разлагается под воздействием микроорганизмов; так, расчетный период его полураспада в почве, определенный в лаборатории при аэробных условиях, составляет 980 суток. В анаэробной среде разложение происходит быстрее, чем в присутствии кислорода. Возможными продуктами разложения являются пентахлорциклогексен, 1,2,4,-трихлорбензол и 1,2,3-трихлорбензол (USEPA, 2006).

### 2.2.2. Биоаккумуляция

Значения коэффициента биоконцентрации (КБК) в водных организмах, измеренные в лабораторных условиях, находятся в диапазоне от примерно 10 до 6000; в полевых условиях коэффициент биоконцентрации составлял от 10 до 2600 (WHO, 1991). В ходе других исследований отмечались коэффициенты биоконцентрации (log КБК) от 2,26 в креветках до 3,85 в радужной форели (по отношению к липидной базе на ранних стадиях жизни) и 4,3 в зоопланктоне, а также коэффициент биоаккумуляции (log КБА) до 4,1 в радужной форели (Mackay et al, 1997). При этом для радужной форели на ранних стадиях жизни были определены кинетические константы поглощения и выведения в диапазонах, соответственно, от 180 до 939 ч<sup>-1</sup> и от 0,031 до 0,13 ч<sup>-1</sup> по отношению к липидной базе (Mackay et al, 1997).

Высокая растворимость линдана в жировых тканях способствует его интенсивной биоаккумуляции в пищевой цепи и быстрому росту его биоконцентраций в микроорганизмах, беспозвоночных, рыбе, птицах и млекопитающих. Разброс значений коэффициента биоконцентрации (КБК) в водных организмах весьма велик: так, по данным различных экспериментов, этот коэффициент может составлять от 3 до 36 (Berny, 2002); от 43 до 4220 по отношению к живому весу, при среднем КБК по отношению к липидной базе равном 11 000 (Geyer et al, 1997); а также от 1200 до 2100 (Oliver et al, 1985).

Расчеты на основании ряда исследований приводят к среднему значению log КБК, равному 2,28 для беспозвоночных и 2,87 для позвоночных (Donkin et al., 1997, Renberg et al., 1985, Thybaud et al., 1988, Yamamoto et al., 1983, Butte et al., 1991, Carlberg et al., 1986, Kanazawa et al., 1981, Kosian et al., 1981 La Rocca et al., 1991, Oliver et al., 1985, Vigano et al., 1992). Аналогичным образом, пользуясь данными других исследований (Oliver et al., 1988, Chevreuil et al., 1991, Hartley et al., 1983, Caquet et al., 1992), можно рассчитать log КБА,

равный 2,94 для беспозвоночных и 3,80 для позвоночных. В литературе приводятся также коэффициенты биоконцентрации, составляющие 780 для филе, 2500 для внутренних органов и 1400 для всего организма у рыб (USEPA, 2002).

В ходе эксперимента, проведенного Geyer et al. (1997), была показана зависимость коэффициента биоконцентрации от вида рыб и от содержания липидов в их организме. Кроме того, наблюдавшийся существенный разброс значений КБК может объясняться совокупностью таких факторов, как различия в путях поглощения вещества, метаболизме, источниках загрязнения и даже в условиях эксперимента. Большинство данных указывает также на то, что хотя биоконцентрация линдана может повышаться быстрыми темпами, его биохимическое преобразование, выведение и удаление из организма также происходят сравнительно быстро после прекращения воздействия (WHO, 1991).

Биоаккумуляция линдана отмечалась у большинства таксономических групп от растений и водорослей до позвоночных. Следует учитывать экологические последствия сочетания потенциала такой биоаккумуляции с высокой токсичностью - уровни неотмеченных неблагоприятных последствий (NOAELs) в объеме 0,3 мг/кг по весу тела в день - и экотоксичности - концентрации неотмеченных последствий в водных экосистемах (NOEC) ниже 1 µg/l (*Environmental Health Criteria No. 124, 1991*; and Brock et al., 2000). Например, замеряемые полевые уровни у земляных червей (0,3 мг/кг для почвы, содержащей 80 µg/kg) сопоставляются с данными токсичности у млекопитающих (*Environmental Health Criteria No. 124, 1991*) с использованием реалистичных коэффициентов потребления пищи в объеме 0,63 (*Guidance document on risk assessment for birds and mammals 2002*), а данные указывают на область, вызывающую экотоксикологическую озабоченность, которая требует дальнейшего изучения.

Сообщалось о наличии линдана у морских птиц, рыб и млекопитающих в Арктике (ATSDR, 2005). Отмечались концентрации линдана у морских млекопитающих в таких же или даже более высоких объемах, чем присущие более гидрофобным загрязнителям, таким, как полихлорированные дифенилы (ПХД) и ДДТ (ATSDR, 2005). Кроме того, линдан присутствовал в грудном молоке инуитов Арктики и у морских млекопитающих (Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2002).

### 2.2.3. Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния

Многие исследователи сообщают об обнаружении остаточных концентраций ГХГ, в частности альфа- и гамма-изомеров, на всей территории Северной Америки, Арктики, Южной Азии, западной части Тихого океана и Антарктики. Изомеры ГХГ, включая линдан, являются наиболее распространенными и стойкими из хлорорганических инсектицидов, встречающихся в арктической природной среде; их присутствие в Арктике и Антарктике, где никогда не использовались ни технический ГХГ, ни линдан, свидетельствует о переносе этих веществ на большие расстояния. Изомеры ГХГ, и в том числе линдан, подвержены процессу «глобальной дистилляции», т.е. испарению в атмосферу в теплом климате низких широт и переносу воздушными массами в более высокие широты. В средних широтах процессы осаждения и испарения сменяют друг друга в зависимости от времени года. Холодный климат высоких широт благоприятствует осаждению (Walker et al, 1999).

Достижению нынешних атмосферных концентраций гамма-ГХГ в Арктике способствовало применение линдана в таких странах, как Канада, где в 2000 году было использовано около 500 тонн этого вещества, а также в некоторых европейских государствах, в частности во Франции. Содержание линдана в воздухе было зафиксировано в арктическом поселке

Алерт, где оно в 1993 году составляло от 10 до 11 пг/м<sup>3</sup>, а к 1997 году снизилось до 6,4 пг/м<sup>3</sup> (CACAR, 2003).

В ходе исследования, проведенного в 2004 году Shen et al., использовались 40 станций пассивного отбора проб воздуха, размещенные на трансектах от крайнего севера Канады, вдоль восточного побережья Канады и США, вдоль канадско-американской границы, а также на юге Мексики и в Центральной Америке и функционировавшие в течение одного года. Повышенные уровни альфа-ГХГ на востоке Канады (воздушная концентрация в пробоотборнике - от 1,5 до 170 пг/м<sup>3</sup>) были объяснены выделением газообразного альфа-ГХГ из холодных арктических течений, откуда он возвращается в атмосферу при попадании воды в более теплые южные широты. Высокое содержание гамма-ГХГ в воздухе (объемная концентрация в пробоотборнике - от 5 до 400 пг/м<sup>3</sup>) отмечалось также в степных районах Канады, к северу от озера Онтарио, в южном Квебеке, в штатах средней части Атлантического побережья и на юге Мексики, что соответствует региональной географии применения линдана (Shen et al, 2004). Процесс переноса линдана через Тихий океан изучался путем отбора проб в Юконе, где были зафиксированы значения от 4 до 18 пг/м<sup>3</sup> (Bailey et al., 2000). Уровни изомеров ГХГ, включая линдан, замерялись с июня 1999 по июнь 2000 года на станции, расположенной в горах на острове Тенерифе. Концентрация гамма-ГХГ в атмосфере над этой точкой составляла 18-31 (среднее значение - 26) пг/м<sup>3</sup> (Van Drooge et al., 2002).

Линдан очень широко распространен в морской среде и в почвах, а его способность к воздушному переносу на большие расстояния доказана исследованиями, проводившимися в Европейском союзе (WHO/Europe, 2003), в частности по линии Европейской программы мониторинга и оценки (ЕПМО). Высокое содержание гамма-ГХГ в воздухе отмечалось во Франции, Португалии, Испании, Нидерландах и Бельгии, что можно объяснить большой интенсивностью его выбросов в этих странах. Сравнительно высокие атмосферные концентрации также были обнаружены в Германии, Италии, Швейцарии и Люксембурге, несмотря на меньший объем выбросов линдана в этих государствах. Эти повышенные уровни, вероятно, являлись следствием атмосферного переноса из других европейских стран, где в прошлом имели место интенсивные выбросы (Shatalov and Malanichev, 2000; Shatalov et al., 2000).

#### **а) Изомеризация**

Гипотеза о том, что гамма-ГХГ может превращаться в альфа-ГХГ путем изомеризации в атмосфере, была выдвинута в качестве возможного объяснения наблюдавшегося в 80-е годы отношения воздушных концентраций альфа- и гамма-ГХГ, которое в некоторых случаях достигало 18, в то время как исходя из пропорции, в которой эти изомеры содержатся в технической смеси ГХГ, оно должно было составлять не более 5 (Oehme et al 1984a, Oehme et al, 1984b, Расуна et al, 1988). Однако экспериментальных данных, однозначно подтверждающих атмосферную изомеризацию, до сих пор не получено.

В развивающемся эту тему исследовании Walker et al. (1999) отмечается, что если гамма-ГХГ после попадания в атмосферу подвергается фотохимической трансформации с образованием альфа-ГХГ, то это должно приводить к повышенному содержанию альфа-ГХГ в воздухе южного полушария. Однако недавние измерения показали, что концентрации альфа-ГХГ в южном полушарии, равно как и в Северном Ледовитом океане, со временем снижаются, что в условиях продолжающегося использования линдана не подтверждает гипотезу об изомеризации. Отношение содержания альфа-ГХГ к содержанию гамма-ГХГ в пробах воздуха, взятых в южном полушарии в 1980-1990 годы, как правило, составляло 1 к 2,3 (Ballschmiter et al., 1991, Bidleman et al., 1993, Iwata et al., 1993, Kallenborn et al., 1998,

Lakaschus et al., 2002; Schreitmüller et al., 1995), а по данным последнего из исследований, проводившихся в Антарктике, оно равнялось 0,81 (Dickhut et al., 2005).

В других исследованиях высказывается мысль о том, что различия в скорости газообмена между атмосферой и океаном могут приводить к разделению изомеров ГХГ и преимущественному накоплению альфа-изомера в воздушных массах, переносимых над океаном на большие расстояния. Это может служить частичным объяснением повышенного содержания альфа-ГХГ по сравнению с гамма-ГХГ в атмосфере в зимний период, но не тех крайне высоких концентраций, которые были зафиксированы в летние месяцы авторами ранних исследований (Расуна et al., 1988 и Oehme et al., 1991). Walker et al. (1999) пришли к выводу, что даже в случаях, когда эксперименты подтверждают возможность фотоизомеризации, указания на то, что этот процесс играет существенную роль в наблюдающемся в Арктике резком превышении концентраций альфа-изомера над гамма-изомером, носят косвенный характер и допускают несколько различных толкований.

Авторы ряда исследований сообщали также о фотолитической изомеризации, вызывающей переход гамма-ГХГ в альфа-форму. Хотя в этих исследованиях была продемонстрирована изомеризация в конденсированных средах, в них не приводились данные о том, что она происходит в газовой фазе при естественных атмосферных условиях. В лаборатории было показано, что гамма-ГХГ может трансформироваться в другие изомеры путем биохимического распада в почве или отложениях, но хотя биоизомеризация линдана и является возможной, она, по всей видимости, не играет заметной роли в общем процессе разложения гамма-ГХГ (Walker et al, 1999 и Shen et al, 2004).

#### **b) Данные экологического мониторинга**

От Польши поступили сведения о концентрациях гамма-ГХГ в речных отложениях в диапазоне от 2,4 до 9,4 мгк/кг. Результаты, полученные в этой стране в рамках Национальной программы ветеринарного контроля за содержанием остаточных веществ, указывают на то, что уровни гамма-ГХГ в пищевых продуктах животного происхождения не достигают пороговой величины 1000 мгк/кг, при которой требуется принятие мер (информация за 2006 год, представленная Польшей в рамках приложения E).

Министерство окружающей среды Японии проводило наблюдения за содержанием линдана в воде, где его концентрация по результатам анализа 60 проб, отобранных по всей стране в 2003 году, составляла от 32 до 370 пг/л. В том же 2003 году было изучено в общей сложности 186 образцов донных отложений: во всех них был обнаружен линдан в концентрациях от следовых (1,4) до 4000 пг/г сухой массы, при среднем геометрическом значении 45 пг/г сухой массы. Результаты недавнего (2003 год) исследования на моллюсках, рыбах и птицах показали присутствие линдана во всех проанализированных образцах в концентрациях от 5,2 до 130 пг/г живого веса для моллюсков, 130 пг/г живого веса для рыб и от 1800 до 5900 пг/г живого веса для птиц. Содержание линдана было зафиксировано во всех 35 пробах воздуха, взятых в 35 пунктах на территории Японии в теплые месяцы 2003 года; оно составляло от 8,8 до 2200 пг/м<sup>3</sup> при среднем геометрическом значении 63 пг/м<sup>3</sup>. Исследование, проведенное в тех же пунктах, за исключением одного, в холодные месяцы 2003 года, показало концентрации от 3,1 до 330 пг/м<sup>3</sup> при среднем геометрическом значении 14 пг/м<sup>3</sup> (информация за 2006 год, представленная Японией в рамках приложения E).

По данным, поступившим от Австралии, ни в одном из образцов мяса и сельскохозяйственных культур, прошедших в этой стране контроль на содержание



остаточных веществ, не содержалось поддающихся обнаружению концентраций линдана (информация за 2006 год, представленная Австралией в рамках приложения E).

Согласно информации, полученной от США, концентрация гамма-ГХГ не достигала уровня обнаружения ни в одном из образцов, проанализированных в ходе подготовки третьего национального доклада о воздействии на человека химических веществ, присутствующих в окружающей среде. Линдан в концентрациях от 0,652 до 8,56 частей на миллиард (ppb) был обнаружен в тканях рыб, выловленных в озерах и водохранилищах в ходе проводившегося АООС США общенационального гистологического исследования озерной рыбы. Содержание линдана в воздухе и атмосферных осадках контролируется Сетью комплексного наблюдения за атмосферными осадками в районе Великих озер, где оно в начале 1990-х годов составляло 15-90  $\text{нг/м}^3$ , а начиная с 2000 года снизилось до 5-30  $\text{нг/м}^3$ . Средние (средневзвешенные по объему) концентрации линдана в пробах атмосферных осадков, взятых в 1997-2003 годах в семи основных пунктах наблюдения, составляли 690-1400  $\text{нг/л}$ . В последние годы, за которые имеются аналитические данные программы АООС США по наблюдению за состоянием рыбы в Великих озерах (1982-2000), концентрации линдана в филе рыбы, разрешенной для спортивного лова (чавыча, кижуч и радужная форель), находилась в диапазоне от следовых уровней до 0,005 частей на миллион (ppm). В рамках программы Национального управления по исследованию океанов и атмосферы, посвященной изучению текущего положения и тенденций на общенациональном уровне (National Status and Trends (NS&T) Program), с 1986 года по настоящее время замеряется содержание линдана в тканях двустворчатых моллюсков вдоль всего побережья США и в Великих озерах. За годы реализации программы были отобраны образцы в общей сложности в 283 пунктах на всей континентальной территории США, на Аляске, на Гавайях и в Пуэрто-Рико; общее число случаев обнаружения гамма-изомера составило 4990. Медианная концентрация гамма-ГХГ по результатам этих измерений составляла 0,56 (при диапазоне от 0 до 71,0)  $\text{нг/г}$  сухого веса. Анализ тенденций на основе объединения данных, полученных по всем США, указывает на статистически значимое снижение уровней концентрации линдана в период с 1986 по 2003 год (информация за 2006 год, представленная Соединенными Штатами Америки в рамках приложения E).

В Канаде природоохранным управлением провинции Альберта в 1999-2000 годах был осуществлен проект по определению свойств пестицидов, присутствующих в окружающей среде многих населенных пунктов этой провинции, а также выяснению их относительных концентраций и сезонной динамики. Линдан был обнаружен во всех пробах атмосферного воздуха, взятых в г. Летбридж в период с мая по август. Наивысший уровень содержания линдана, составлявший 1,15  $\text{нг/м}^3$ , был зафиксирован 15 июня, а самая низкая его концентрация в окружающем воздухе (0,23  $\text{нг/м}^3$ ) наблюдалась 22 июня 1999 года. Поскольку линдан используется для протравливания семян, высеваемых в апреле и в начале мая, посевные работы сопровождаются его высвобождением в атмосферу, что и является причиной майского повышения атмосферных концентраций, за которым следует их постепенное снижение до низких и/или не поддающихся обнаружению уровней к августу и сентябрю (Kumar, 2001).

### 2.3 Воздействие

Линдан присутствует во всех экологических нишах; его поддающиеся измерению концентрации были обнаружены в атмосфере, воде, почвенных отложениях, водных и наземных организмах и продуктах питания во всех районах мира. Таким образом, можно говорить о воздействии этого вещества на человека, что подтверждается фиксируемыми при

исследованиях уровнями его содержания в крови, жировой ткани и материнском молоке у людей (WHO/Eurore, 2003).

Особую обеспокоенность вызывает тот факт, что изомеры ГХГ, включая линдан, имеют свойство накапливаться в холодных климатических зонах. Высокие концентрации изомеров ГХГ, и в том числе линдана, зафиксированы в Море Бофорта и на Канадском архипелаге (СЕС, 2005). Из окружающей среды гамма-ГХГ может попадать в пищевую цепь и накапливаться в жировых тканях животных, что является одним из важных путей воздействия на арктическую и антарктическую фауну, а также на население, в базовый рацион которого входят подвергающиеся такому воздействию животные (USEPA, 2006)

Потенциальные общие пути воздействия гамма-ГХГ на человека связаны с его пероральным поступлением в организм, прежде всего при употреблении пищевых продуктов животного происхождения, таких как молоко и мясо, а также содержащей этот пестицид питьевой воды. Установлено, что концентрация линдана в жировых тканях крупного рогатого скота может в 10 раз превышать его содержание в кормах (ATSDR, 2005), что говорит о возможности воздействия этого химиката на животных через пищу, и даже при его применении против наружных паразитов. В странах, где линдан до сих пор используется в качестве пестицида, зафиксировано его содержание в коровьем молоке. В ходе исследования, проводившегося в Уганде, Африка, концентрации гамма-ГХГ в коровьем молоке были определены, соответственно, в 0,006 мг/кг для жидкого молока и 0,036 мг/кг для сливочного масла. Средние уровни гамма-ГХГ, выявленные при анализе проб молока из двух разрозненных районов Индии, составили 0,002 и 0,015 мг/кг. При контрольном обследовании 192 проб коровьего молока в Мексике были обнаружены концентрации гамма-ГХГ в диапазоне от 0,002 до 0,187 мг/кг (ATSDR, 2005).

Содержание линдана в тканях человеческого организма определялось в ходе обследований населения в целом ряде стран. В Нидерландах были обнаружены концентрации этого вещества в крови порядка  $< 0,1-0,2$  мкг/л. В начале 1980-х годов среднее содержание гамма-ГХГ в жировых тканях человека, зафиксированное в Чехословакии, Федеративной Республике Германии и Нидерландах, составляло, соответственно, 0,086, 0,024-0,061 и 0,01-0,02 мг/кг по отношению к жировой базе. Исследования по оценке суточного поступления гамма-ГХГ в организм на основе его содержания в общем рационе и в рыночном ассортименте продуктов питания выявили отчетливую динамику с течением времени: на рубеже 1970-х годов суточная доза составляла до 0,05 мкг/кг массы тела, тогда как к 1980 году она снизилась до 0,003 мкг/кг массы тела или менее (WHO/Eurore, 2003).

Исследование, проведенное в Индии, показало, что жители сельских районов, потребляющие животную пищу, с большей вероятностью подвергаются воздействию гамма-ГХГ: так, в крови женщин, рацион которых включал говядину, баранину или свинину, а также куриное мясо и яйца, концентрация пестицидов, включая линдан, была выше, чем у женщин, придерживавшихся вегетарианской диеты (ATSDR, 2005). К числу других источников прямого воздействия относятся предприятия, где до сих пор производится линдан, заброшенные объекты по производству пестицидов и места удаления опасных отходов (USEPA, 2006).

Отдельным поводом для беспокойства является воздействие линдана на детей. Присутствие гамма-ГХГ зафиксировано в материнской жировой ткани и крови, в пробах крови из пуповины и в материнском молоке. Установлено также, что линдан способен преодолевать плацентарный барьер. Средний уровень содержания линдана в материнском молоке, определенный в ходе исследования в Индии, составлял 0,084 мг/л. Исследование, проведенное в канадской провинции Альберта, показало среднюю концентрацию линдана в

материнском молоке на уровне 6 ppb (ATSDR, 2005). Линдан был обнаружен во всех пробах материнского молока, отобранных в 12 регионах Австралии для анализа на содержание хлорорганических пестицидов; его средняя концентрация равнялась 0,23 нг/г липидов, при разбросе значений от 0,08 до 0,47 нг/г липидов (информация за 2006 год, представленная Австралией в рамках приложения E).

Присутствие линдана в материнском молоке человека отмечалось еще в целом ряде стран, в том числе в Канаде, Германии, Нидерландах и Соединенном Королевстве. Уровни его концентрации составляли от <0,001 до 0,1 мг/кг по отношению к жировой базе (WHO/Europe, 2003).

В районах, где молочный и мясной скот непосредственно обрабатывается линданом для борьбы с паразитами, это представляет собой дополнительный путь воздействия на детей. Поскольку дети потребляют больше молока на единицу массы тела, чем взрослые, в их организме могут накапливаться значительные концентрации остаточного линдана, содержавшегося в выпитом молоке (СЕС, 2005). Обеспокоенность вызывает также медицинское использование соответствующих препаратов для борьбы с вшами и чесоточным клещом у детей, хотя вредные последствия при этом наблюдались, как правило, лишь в случаях нарушения правил применения. Еще одна возможность воздействия на организм потенциально значительных количеств линдана существует при контакте с домашней пылью в определенных условиях, что также необходимо учитывать, особенно когда речь идет о детях (ATSDR, 2005).

#### **2.4 Оценка опасности по критическим параметрам**

Линдан обладает наиболее острой токсичностью из всех изомеров ГХГ, оказывая воздействие на центральную нервную систему и эндокринную функцию. Острый контакт с линданом в высоких концентрациях может приводить к различным последствиям для человеческого организма: от легкого раздражения кожи до головокружения, головной боли, диареи, тошноты, рвоты и даже судорог и летального исхода (СЕС, 2005). Сообщается также о последствиях острого или хронического ингаляционного воздействия линдана на органы дыхания, сердечно-сосудистую систему, состав крови, печень и эндокринную функцию у человека. Имеются данные о таких гематологических изменениях, как лейкопения, лейкоцитоз, гранулоцитопения, гранулоцитоз, эозинофилия, моноцитоз и тромбопения, наблюдавшихся после хронического контакта с гамма-ГХГ на производстве (ATSDR, 2005).

Следует также отметить, что линдан был обнаружен в сыворотке крови, жировых тканях и семенной жидкости лиц, подвергавшихся воздействию этого вещества на рабочем месте или в окружающей среде (ATSDR, 2005). У мужчин, имевших профессиональный контакт с гамма-ГХГ, отмечалось значительно повышенное содержание лютеинизирующих гормонов в сыворотке крови. В пробах сыворотки, взятых у подвергавшихся воздействию лиц, было также зафиксировано увеличение средней концентрации фоллитропина и пониженное содержание тестостерона, однако отличие от показателей не подвергавшейся воздействию контрольной группы не было статистически значимым (ATSDR, 2005).

В случаях перорального воздействия гамма-ГХГ чаще всего сообщается о последствиях неврологического характера. Основная часть имеющейся информации связана с острыми отравлениями гамма-ГХГ. У лиц, случайно или сознательно принявших внутрь линдан в форме гранулированного инсектицида или жидкого противочесоточного средства, либо с загрязненной пищей, наблюдались приступы судорог (WHO/Europe, 2003).

В ходе исследования, проведенного в Индии, у 135 больных раком молочной железы в возрасте от 41 до 50 лет отмечалось значительно более высокое содержание гамма-ГХГ в крови, чем у контрольной группы лиц, не страдавших этим заболеванием. Однако при аналогичных исследованиях в других странах какой-либо корреляции между заболеваемостью раком молочной железы и повышенным содержанием гамма-ГХГ в крови не наблюдалось (ATSDR, 2005).

У крыс, подвергнутых четырехчасовому ингаляционному воздействию различных концентраций гамма-ГХГ, в течение до 22 суток последующих наблюдений отмечались неврологические последствия, тяжесть которых зависела от концентрации. При вдыхании линдана в концентрации  $101 \text{ мг/м}^3$  наблюдался легкий или умеренный седативный эффект; при концентрации  $378 \text{ мг/м}^3$  седативный эффект варьировал от легкого до резко выраженного; воздействие концентраций в  $642$  и  $2104 \text{ мг/м}^3$  приводило к беспокойному состоянию, перевозбуждению и расстройству координации движений; при наивысшей из использовавшихся концентраций ( $2104 \text{ мг/м}^3$ ) отмечались также судороги (ATSDR, 2005).

Гепатотоксическое действие линдана было продемонстрировано многочисленными исследованиями на лабораторных животных. У крыс, вдыхавших линдан на протяжении 90 суток в форме аэрозоля с концентрацией  $5 \text{ мг/м}^3$ , наблюдалось повышение уровней цитохрома Р-450, а после затравки  $1,8$  миллиграммами линдана на килограмм веса тела в течение 15 и 30 суток отмечались увеличение активности цитохрома Р-450, повышенные уровни цитоплазматической супероксиддисмутазы и перекисное окисление липидов. При исследовании хронического воздействия на крыс, получавших с рационом линдан в дозах  $7-8 \text{ мг/кг}$  веса тела, через 38-70 недель наблюдались некроз печени и ожирение, а у крыс породы Вистар, подвергавшихся такому воздействию в течение 104 недель – гипертрофия (WHO/Europe, 2003). У крыс, получавших  $15 \text{ мг}$  гамма-ГХГ на килограмм веса в сутки в течение пяти дней и  $2,5 \text{ мг}$  гамма-ГХГ на килограмм веса в сутки в течение 21 дня, отмечались значительное увеличение абсолютного веса печени, а также повышение активности Р-450 и ЭРОД, обнаруживавшие зависимость от дозы и времени воздействия (ATSDR, 2005).

Имеются данные об иммунотоксическом воздействии линдана на лабораторных животных, выражавшемся, в частности, в подавлении иммунитета и ослаблении функции образования антител. Пониженный иммунитет наблюдался у крыс, получавших линдан в течение пяти недель в дозах  $6,25$  и  $25 \text{ мг/кг}$  веса тела. Ослабленный первичный гуморальный ответ отмечался у мышей-альбиносов, в рацион которых в течение 12 недель включался линдан в количестве  $9 \text{ мг/кг}$  веса тела в сутки; ослабление вторичного гуморального ответа было зафиксировано при той же дозе через три недели (WHO/Europe, 2003).

Сообщается о воздействии линдана на репродуктивную функцию у подопытных животных: у самок крыс, получавших в течение 15 недель пероральную дозу  $10 \text{ мг/кг}$  веса тела в сутки, наблюдалось снижение эстрогенной активности. Воздействие гамма-ГХГ в количестве  $0,8 \text{ мг/кг}$  веса тела три дня в неделю на протяжении 12 недель вызывало ингибирование овуляции у кроликов. У самцов крысы снижение количества сперматид и эпидидимальных сперматозоидов наблюдалось после пероральной затравки гамма-ГХГ в количестве  $6 \text{ мг/кг}$  веса тела в течение пяти дней или одновременно в количестве  $30 \text{ мг/кг}$  веса тела (WHO/Europe, 2003). У самцов крысы, получавших перорально  $75 \text{ мг/кг}$  веса тела в сутки в течение 90 дней, наблюдались также атрофия яичек, дистрофия семенных канальцев и нарушение сперматогенеза (WHO/Europe, 2003). Таким образом, свойства линдана указывают на его способность вызывать эндокринные расстройства. Воздействие линдана в гестационный период единовременной дозой в  $30 \text{ мг/кг}$  веса тела на 15-й день беременности

приводило к изменениям либидо и снижению уровней тестостерона у мужского потомства крыс (USEPA, 2006).

Имеются также данные о воздействии линдана на развитие организма. У мышей, получавших дозы в 30 и 45 мг/кг путем желудочной интубации на 12-й день беременности, наблюдались снижение веса эмбриона, веса эмбрионального тимуса и веса плаценты. Отмечалось и эмбриотоксическое действие линдана, которое может объясняться индуцированным окислительным стрессом, усиленным перекисным окислением липидов и разрывами одноцепочечной ДНК в тканях эмбриона и плаценты (WHO/Eurore, 2003). При воздействии на уровне 1,7, 3,4 и 6,8 мкМ – что соответствует дозам, которые могут быть получены при потреблении загрязненных овощей (80-250 мкг/кг) или загрязненной питьевой воды (0,02 мкг/л), – в течение 12 недель у крыс отмечались изменения скорости роста, сокращение количества сперматозоидов, а также снижение уровней тестостерона в периоды беременности, лактации или отлучения потомства. Данные, указывающие на повышенную чувствительность молодых особей, были получены в ходе исследования репродуктивной функции на нескольких поколениях крыс, а также исследования нейротоксического воздействия на процесс развития у крыс (USEPA, 2002).

Имеющиеся данные по генотоксичности свидетельствуют о наличии у гамма-ГХГ определенного генотоксического потенциала. Доказана его способность увеличивать число хромосомных аномалий в клетках костного мозга мышей, получавших путем затравки через зонд дозу в 1,6 мг/кг веса тела в сутки в течение семи дней (ATSDR, 2005). Тем не менее линдан не классифицируется в Европейском союзе как генотоксичное вещество (WHO/Eurore, 2003). Нарушения структуры ДНК наблюдались при воздействии гамма-ГХГ на культуры клеток слизистой оболочки носоглотки и желудка крыс, а также культуры клеток, взятых из носоглотки человека; отмечался также индуцированный внеочередной синтез ДНК в определенных типах клеток, таких как периферические лимфоциты человека (ATSDR, 2005).

Международное агентство по изучению раковых заболеваний (МАИР) относит линдан к категории веществ, потенциально способных оказывать канцерогенное воздействие на человеческий организм; к таким веществам оно также относит технический ГХГ и альфа-ГХГ (ATSDR, 2005). АООС США недавно изменило классификацию линдана, занеся его в категорию веществ, имеющих "заслуживающие внимания признаки канцерогенности, которых, однако, недостаточно для оценки потенциального канцерогенного воздействия на организм человека". АООС США классифицирует технический ГХГ и альфа-ГХГ как вещества, вероятно обладающие канцерогенными свойствами для человека, а бета-ГХГ – как вещество, которое может обладать такими свойствами (ATSDR, 2005).

Канцерогенное действие линдана изучалось в ходе различных экспериментов с пероральным введением этого вещества. Некоторые из этих исследований не показали существенного увеличения числа опухолей эндокринных желез, щитовидной железы, гипофиза, надпочечников, печени и яичников у крыс, получавших с рационом 10,8-33 мг гамма-ГХГ/кг в сутки в течение 80 недель или 0,07-32 мг гамма-ГХГ/кг в сутки в течение 104 недель, однако значимость этих результатов не столь велика из-за низкой выживаемости подопытных особей (WHO/Eurore, 2003). Другие исследователи сообщают о возникновении злокачественных гепатом у мышей, получавших с рационом 13,6-27,2 мг гамма-ГХГ/кг в сутки в течение 80 или 104 недель, а также у мышей, рацион которых содержал 27,2 мг/кг в сутки в течение 96 недель, но эти результаты были получены на мышах, которые из-за доминантной мутации были более других подвержены развитию специфических новообразований.

Линдан высоко токсичен для водных организмов и умеренно токсичен для птиц и млекопитающих при остром воздействии. Хронические последствия для птиц и млекопитающих, изучавшиеся в ходе исследований репродуктивной функции, проявляются уже при низких дозах в виде таких негативных явлений, как снижение яйценоскости, ухудшение показателей роста и выживания у птиц, а также замедленное прибавление в весе у млекопитающих, на фоне ряда признаков эндокринных расстройств. Данные об острой токсичности для водных видов свидетельствуют о том, что линдан чрезвычайно токсичен как для пресноводных рыб (ЛК<sub>50</sub> в диапазоне от 1,7 до 131 ppb), так и для водных беспозвоночных (ЛК<sub>50</sub> в диапазоне от 10,0 до 520 ppb). Данные о хронической токсичности для пресноводных организмов свидетельствуют о замедлении роста мальков пресноводных рыб при КННВ (концентрация, при которой не наблюдается вредного воздействия), равной 2,9 г/л, и снижении темпов размножения водных беспозвоночных при КННВ, равной 54 г/л (СЕС, 2005 и USEPA, 2006).

Линдан оказывал статистически значимое воздействие на соотношение полов в потомстве (71% мужских особей) лягушек при концентрации 0,1 ppb, а также воздействовал на эстрогенную активность и вызывал изменения реакции сперматозоидов на прогестерон и индуцированную экспрессию рецепторов вителлогенина и эстрогена в опытах *in vitro* (USEPA, 2006). Воздействие на репродуктивную функцию и популяционные параметры у беспозвоночных было в ходе 35-дневного исследования зафиксировано при НУНВ (наименьший уровень, при котором наблюдается вредное воздействие) 13,5 мкг/л. Линдан в концентрациях 100 ppm и 25 ppm вызвал снижение вылупляемости яиц, соответственно, у кур-несушек и у японского перепела (USEPA, 2006).

В 2002 году АООС США опубликовало результаты оценки риска, связанного с употреблением загрязненных линданом продуктов питания коренными жителями Арктики. Эта оценка основывалась на ряде допущений относительно степени опасности и уровней воздействия и была направлена на определение степени риска для населения Аляски и других районов арктического заполярья, в базовый рацион которого входят продукты из северного оленя, тюленя и кита. Суммарная доза, получаемая с пищей, находилась у взрослых в диапазоне от 0,000055 до 0,00071 мг/кг в сутки. При этом контрольный уровень (КУ) для неканцерогенного воздействия составлял 0,0016 мг/кг в сутки. Риск, связанный с поступлением линдана в организм с пищей, не превышал КУ (USEPA, 2002).

Хотя решение о включении линдана в Стокгольмскую конвенцию должно быть принято лишь на основе данных о гамма-изомере, КРСОЗ постановил, что в ходе обсуждения могут рассматриваться также альфа- и бета-изомеры. Поэтому ниже приводится информация об альфа- и бета-изомерах, полученная в ходе оценки риска, которую АООС США провело в 2006 году.

В феврале 2006 года АООС США опубликовало для открытого обсуждения результаты оценки риска, связанного с линданом, а также с альфа- и бета-изомерами ГХГ, образующимися в качестве побочных продуктов при производстве линдана (USEPA, 2006). Были рассчитаны суммарные дозы их суточного поступления с пищей в организм взрослых и детей, составившие от 0,00057 до 0,051 мг/кг для альфа-ГХГ и от 0,00037 до 0,01 мг/кг для бета-ГХГ. Эти дозы были сопоставлены установленным АООС США контрольным уровнем (КУ) для хронического воздействия. Применительно к неканцерогенным факторам КУ соответствует РДх (референтная доза при хроническом воздействии) = 0,00006 мг/кг в сутки для бета-ГХГ и РДх = 0,001 мг/кг в сутки для альфа-ГХГ, что означает дозу, при которой, по заключению АООС США, вредное воздействие на организм не должно выходить за рамки разумно допустимого. КУ для канцерогенных факторов соответствует уровню, при котором максимальный прогнозируемый риск возникновения раковых заболеваний превышает один

случай на миллион. Результаты оценки риска, связанного с продуктами питания, свидетельствуют о том, что риск хронического и канцерогенного воздействия альфа- и бета-ГХГ на жителей арктических районов, рассчитанный по верхним значениям получаемых с пищей доз этих веществ, превышает установленные АООС США контрольные уровни (КУ).

### 3. Обобщение информации

Линдан обладает доказанными нейротоксическими, гепатотоксическими и иммунотоксическими свойствами; продемонстрирована его способность воздействовать на репродуктивную функцию у лабораторных животных. Данные о случаях острого отравления этим веществом у людей свидетельствуют о том, что оно обладает резко выраженным неврологическим эффектом, а данные о хроническом воздействии дают основания полагать, что оно влияет также на гематологические параметры. Международное агентство по изучению раковых заболеваний (МАИР) классифицирует линдан как вещество, потенциально способное оказывать канцерогенное воздействие на человеческий организм (ATSDR, 2005). АООС США относит линдан к категории веществ, имеющих "заслуживающие внимания признаки канцерогенности, которых, однако, недостаточно для оценки потенциального канцерогенного воздействия на организм человека.

Воздействие линдана на людей, особенно когда речь идет о беременных женщинах и детях, вызывает беспокойство, усугубляемое продолжающимся присутствием изомеров ГХГ, включая линдан, в тканях и материнском молоке человека. Повышенного внимания заслуживают случаи прямого контакта с этим веществом при использовании фармацевтических препаратов для борьбы с чесоточным клещом и вшами. Потенциальное беспокойство вызывает также воздействие линдана, присутствующего в богатом животными жирами рационе некоторых этнических групп, включая те, у которых соответствующие продукты составляют основу минимально необходимого питания (USEPA, 2006 и СЕС, 2005). Поводом для беспокойства является, кроме того, воздействие на работников производственных предприятий, так как технология производства линдана предполагает контакт персонала и с другими изомерами ГХГ, например альфа-изомером, который с большой вероятностью относят к веществам, канцерогенным для человека (USEPA, 2006).

Линдан очень широко распространен в морской среде и в почвах, причем его концентрации часто бывают более высокими в холодных климатических зонах. В рамках европейского региона продемонстрирована подверженность линдана атмосферному переносу на большие расстояния (WHO/Eurore, 2003).

Хотя производство линдана в настоящее время, судя по всему, сокращается, и он продолжает выпускаться лишь в немногих странах, малоэффективная технология, долгие годы использовавшаяся для изготовления этого инсектицида, привела к загрязнению окружающей среды в глобальных масштабах и оставила после себя огромную массу вызывающих такое загрязнение отходов, которая, возможно, продолжает расти и по сей день (ИПРА, 2006).

Анализ результатов лабораторных экспериментов с линданом указывает на то, что его способность к биоаккумуляции и биоусилению, по-видимому, меньше той, которую предполагают у других хлорорганических пестицидов. По существу, с точки зрения биоаккумуляции линдан следует рассматривать как пограничный случай. К счастью, в наличии имеется обширная информация о наблюдениях за биотой, позволяющая реально оценить характер рисков, связанных с линданом, и сопоставить его в этом отношении с другими хлорорганическими пестицидами. Огромное количество данных, полученных путем практических наблюдений в полевых условиях, приводит к однозначному выводу:

концентрации линдана в образцах биоты, собранных на большом расстоянии от районов его использования, близки к тем, которые наблюдались у других хлорорганических пестицидов, что подтверждает опасения относительно стойкости этого вещества, его способности к биоаккумуляции и переносу на большие расстояния.

Учитывая, что по степени токсичности линдан также близок к другим хлорорганическим пестицидам или даже превосходит их, следует заключить, что свойства линдана как стойкого органического загрязнителя должны вызывать такую же обеспокоенность, как и аналогичные свойства других химических веществ, уже включенных в Стокгольмскую конвенцию. Например, Weisbrod et al. (2000) обнаружили в организме черных дельфинов концентрации линдана, соответствующие или лишь незначительно уступающие концентрациям альдрина, эндрина, гептахлора или мирекса. Суммарные концентрации ГХГ, эквивалентные суммарным концентрациям хлорданов, также были зафиксированы Sørmo et al. (2003) и Kannan et al. (2004), соответственно, в организмах серого тюленя и морской выдры.

#### 4. Заключение

Линдану посвящены многочисленные доклады об оценках риска, подготовленные в разных учреждениях, а также целый ряд национальных постановлений и международных инициатив, свидетельствующие о всеобщей обеспокоенности свойствами этого хлорорганического соединения и о том, что в отношении него уже принимаются меры на глобальном уровне.

Информация, представленная в настоящем документе, равно как и содержание множества опубликованных докладов об оценке риска, связанного с линданом, указывает на то, что линдан обладает стойкостью, способностью к биоаккумуляции и токсическими свойствами и присутствует в пробах окружающей среды, отобранных по всему миру, а также в крови, материнском молоке и жировых тканях представителей различных обследованных групп населения и особенно жителей Арктики, не имеющих возможности разнообразить свой базовый рацион. Полученные результаты указывают на то, что линдан в результате его переноса в окружающей среде на большие расстояния может вызвать серьезные неблагоприятные последствия для здоровья человека и окружающей среды, которые потребуют глобальных действий.

#### Выражение признательности

Авторы благодарят Йона Арнота и Дона Маккея (Трентский университет) Фрэнка Уэйниа (университет Торонто), Джанис Йенсен (АООС США) и Джона Вийгена (МАГП) за переписку и ценную информацию, предоставленную в процессе работы над настоящим документом. Авторы особенно признательны Терри Бидлеману, старшему научному сотруднику Центра экспериментальных исследований атмосферы при министерстве окружающей среды Канады, предоставившему документ на тему "*Изомеризация линдана*", который выпущен в качестве документа UNEP/POPS/POPRC.2/INF.18.

#### Литература

Arctic Monitoring and Assessment Programme. 2002. Norway.

ATSDR, 2005. Toxicological Profile for Hexachlorocyclohexanes, U.S. Department of Health & Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, August, 2005. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.html>



- Australia, 2006. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. January 2006.
- Bailey, R., Barrie, L., Halsall, C., Fellin, P., Muir, D. 2000. Atmospheric organochlorine pesticides in the western Canadian Arctic: Evidence of transpacific transport. *Journal of Geophysical Research*. 105:11805-11811.
- Ballschmiter, K., Wittlinger, R. 1991. Interhemispheric exchange of HCH, hexachlorobenzene, polychlorobiphenyls and 1,1,1-trichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethane in the lower troposphere. *Environmental Science and Technology*. 25:1103-1111.
- Berny, Ph., Lachaux, O., Buronfosse, T., Mazallon, M., Gillet, C. 2002. Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*), as Indicators of Freshwater Contamination with Lindane. *Environmental Research, Section A*.90:142-151.
- Bidleman, T., Walla, M., Roura, R., Carr, E., Schmidt, S. 1993. Organochlorine pesticides in the atmosphere of the Southern Ocean and Antarctica, January - March, 1990. *Marine Pollution Bulletin*. 26:258-262.
- Buser, H.F.; Müller M. 1995. Isomer and Enantioselective Degradation of Hexachlorocyclohexane Isomers in Sewage Sludge under Anaerobic Conditions. *Environmental Science and Technology*.. 29:664-672.
- Brock, T.C.M., R.P.A. van Wijngaarden & G.J. van Geest. 2000. Ecological risks of pesticides in freshwater ecosystems; Part 2: insecticides. 142 pp.
- Brubaker, W.W., Hites, R.A. 1998. *Environmental Science and Technology* 32: 766–769.
- Butte, W., K. Fox, G-P. Zauke. 1991. Kinetics of Bioaccumulation and Clearance of Isomeric Hexachlorocyclohexanes. *Science of the Total Environment*. 109/110:377-382
- CACAR. 2003. Canadian Arctic Contaminants Assessment Report II. Sources, occurrence, trends and pathways in the physical environment. Northern Contaminants Program. Indian and Northern Affairs Canada.
- Caquet, T., E. Thybaud, S. Le Bras, O. Jonot, F. Ramade.1992. Fate and Biological Effects of Lindane and Deltamethrin in Freshwater Mesocosms. *Aquatic Toxicology*. 23:261-278
- Carlberg, G.E., K. Martinsen, A. Kringstad, E. Gjessing, M. Grande, T. Källqvist, J. U. Skåre, 1986. Influence of Aquatic Humus on the Bioavailability of Chlorinated Micropollutants in Atlantic Salmon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 15:543-548
- CEC, 2005. Commission for Environmental Cooperation. The North American Regional Action Plan (NARAP) on Lindane and Other Hexachlorocyclohexane (HCH) Isomers. Draft for public comment dated 5 October 2005.
- [http://www.cec.org/pubs\\_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=1821](http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=1821)
- Chevreuil, M., P. Testard. 1991 Monitoring of Organochlorine Pollution (PCB, Pesticides) by a Filter Feeder Lamellibranch (*Dreissena polymorpha* Pallas) C.R. Acadadamy of. Science Ser.II 312:473-477
- CropLife, 2006. Information submitted by CropLife International on behalf of Chemtura. Annex E information. Stockholm Convention.

Dickhut, R.M., Cincinelli, A., Cochran, M., Ducklow, H.W. 2005. Atmospheric concentrations and air-water flux of organochlorine pesticides along the western Antarctic Peninsula. *Environmental Science and Technology*. 39:465-470.

Donkin, P., J. Widdows, S.V. Evans, F.J. Staff, T. Yan. 1997. Effect of Neurotoxic Pesticides on the Feeding Rate of Marine Mussels (*Mytilus edulis*). *Pesticide Science*. 49:196-209

Environmental Health Criteria No. 124: 1991. Lindane. International Programme on Chemical Safety. UNEP, ILO, WHO. Geneva.. (<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc124.htm>).

Geyer, H.J. Scheunert, I. Brüggemann, R. Langer, D. Korte, F. Kettrup, A. Mansour, M. Steinberg, C.; Nyholm, N. Muir, D. 1997. Half-lives and Bioconcentration of lindane (gamma-HCH) in different fish species and relationship with their lipid content. *Chemosphere* . 35:343-351.

Guidance document on risk assessment for birds and mammals under Council Directive 91/414/EEC. 2002. European Union. SANCO/4145/2000 – final, Brussels.

Hartley, D. M. J.B. Johnston. 1983 Use of the Freshwater Clam *Corbicula manilensis* as a Monitor for Organochlorine Pesticides. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 31:33-40

IHPA. 2006. The Legacy of Lindane HCH Isomer Production. A global Overview of residue Management, Formulation and Disposal. International HCH & Pesticides Association [www.ihpa.info](http://www.ihpa.info)

Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R. 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environmental Science and Technology*. 27:1080-1098.

Japan. 2006. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2006.

Kallenborn, R., Oehme, M., Wynn-Williams, D., Schlabach, M., Harris, J. 1998. Ambient air levels and atmospheric long-range transport of persistent organochlorines to Signey Island, Antarctica. *Science of the Total Environment*. 220:167-180.

Kanazawa, J. 1981 Measurement of the Bioconcentration Factors of Pesticides by Freshwater Fish and Their Correlation with Physicochemical Properties or Acute Toxicities. *Pesticide Science*. 12:417-424

Kannan K., Kajiwara N., Watanabe M., Nakata H., Thomas N.J., Stephenson, M., Jessup D.A., Tanabe, S. 2004. Profiles of polychlorinated biphenyl congeners, organochlorine pesticides, and butyltins in Southern sea otters and their prey. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 23:49-56.

Kosian, P., A. Lemke, K. Studders, G. Veith, 1981. The Precision of the ASTM Bioconcentration Test. EPA 600/3-81-022, U.S.EPA, Duluth, MN :20 p

Kumar, Y. 2001. Pesticides in Ambient Air in Alberta. ISBN 0-7785-1889-4. Report prepared for the Air Research Users Group, Alberta Environment, Edmonton, Alberta.

La Rocca, C., A. Di Domenico, and L. Vittozzi, 1991. Chemiobiokinetic Study in Freshwater Fish Exposed to Lindane: Uptake and Excretion Phase Rate Constants and Bioconcentration Factors. *International Journal of Environmental Health Research*. 1:103-116

- Lakaschus, S., Weber, K., Wania, F., Bruhn, R., Schrems, O. 2002. The air-sea equilibrium and time trend of HCHs in the Atlantic Ocean between the Arctic and Antarctica. *Environmental Science and Technology*. 36:138-145.
- Li Y. F., Zhulidov A. V., Robarts R. D., Korotova L. G. 2004. Hexachlorocyclohexane Use in the Former Soviet Union. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 48:10–15.
- Li, Y.F., Macdonald, R.W., Jantunen, L.M., Harner, T., Bidleman, T. 2002. The Transport of beta-hexachlorocyclohexane to the western Arctic Ocean: a contrast to alpha-HCH. *The Science of the Total Environment*. 291:229-246.
- Mackay, D., Shiu, W.Y., Ma, K-C. 1997. *Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties of Environmental Fate for Organic Chemicals*. CRC Press.
- Oehme, M., Manø, S. 1984a. The long-range transport of organic pollutants to the Arctic. *Fresenius Zeitschrift fur Analitische Chemie*. 319:141-146.
- Oehme, M., Ottar, B. 1984b. The long range transport of polychlorinated hydrocarbons to the Arctic. *Geophysical Research Letters*. 11:1133-1136.
- Oliver, B.G., and A.J. Niimi, 1985. Bioconcentration Factors of Some Halogenated Organics for Rainbow Trout: Limitations in Their Use for Prediction of Environmental Residues. *Environmental Science and Technology*. 19:842-849
- Oliver, B.G. and A.J. Niimi. 1988. Trophodynamic Analysis of Polychlorinated Biphenyl Congeners and Other Chlorinated Hydrocarbons in the Lake Ontario Ecosystem. *Environmental Science and Technology*. 22:388-397
- Pacyna, J., Oehme, M. 1988. Long-range transport of some organic compounds to the Norwegian Arctic. *Atmos. Environ*. 22:243-257.
- Poland. 2006. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention.
- Renberg, L., M. Tarkpea, E. Linden. 1985. The Use of the Bivalve *Mytilus edulis* as a Test Organism for Bioconcentration Studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 9:171-178
- Schreitmüller, J., Ballschmiter, K. 1995. Air-water equilibrium of HCHs and chloromethoxybenzenes in the North and South Atlantic. *Environmental Science and Technology*. 30 :852-858.
- Shatalov, V., Malanichev, A., Berg, T., Larsen, R. 2000. Investigation and assessment of POP transboundary transport and accumulation in different media. Part 1. EMEP report 4/2000, Meteorological Synthesizing Centre - East, Moscow.
- Shatalov, V., Malanichev, A. 2000. Investigation and assessment of POP transboundary transport and accumulation in different media. Part 2. EMEP report 4/2000, Meteorological Synthesizing Centre - East, Moscow.
- Shen, L., Wania, F., Lei, Y.D., Teixeira, C., Muir, D.C., Bidleman, T. 2004. Hexachlorocyclohexanes in the North American Atmosphere. *Environmental Science & Technology*. 38 :965-975.

Sørmo, E., Skaare J., Jüssi I., Jüssi M., Jenssen, B.M. 2003. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Baltic and Atlantic gray seal (*Halichoerus grypus*) pups. *Environmental Toxicology and Chemistry*.22:2789–2799.

Thybaud, E., S. Le Bras. 1988 Absorption and Elimination of Lindane by *Asellus aquaticus* (Crustacea, Isopoda). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 40:731-735.

UNECE, 2004. Technical Review Report on Lindane. Reports on Substances Scheduled for Re-assessments Under the UNECE POPs Protocol. Prepared by Austria in 2004  
[http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Dossier\\_Lindane.pdf](http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Dossier_Lindane.pdf)

UNEP/POPS/POPRC.1/8

United States of America. 2006. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. January, 2006.

USEPA, 2002. Revised EFED RED Chapter for Lindane, prepared by the Environmental Fate and Effects Division, Office of Pesticide Programs for the Lindane Reregistration Eligibility Decision (RED) for Lindane. U.S. Environmental Protection Agency.

[http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/lindane/efed\\_ra\\_revised.pdf](http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/lindane/efed_ra_revised.pdf)

USEPA, 2006. Assessment of Lindane and Other Hexachlorocyclohexane Isomers. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/2006/February/Day-08/p1103.htm>

Van Drooge, B.L., Grimalt, J.O., Garcia, C.J.T., Cuevas, E. 2002. Semivolatile organochlorine compounds in the free troposphere of the North Eastern Atlantic. *Environmental Science and Technology*. 36:1155-1161.

Vigano, L., S. Galassi, and M. Gatto. 1992. Factors Affecting the Bioconcentration of Hexachlorocyclohexanes in Early Life Stages of *Oncorhynchus mykiss* *Environmental Toxicology and Chemistry*. 11:535-540

Walker, K., Vallero D.A., Lewis R.G. 1999. Factors influencing the distribution of lindane and other hexachlorohexanes. *Environmental Science & Technology*. 33:4373-4378.

Weisbrod A.V., Shea D., Moore, M.J., Stegeman J.J. 2000. Bioaccumulation patterns of polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides in Northwest Atlantic pilot whales. *Environmental Toxicology and Chemistry*.19:667–677.

WHO. 1991. IPCS International Programme on Chemical Safety. Health and Safety Guide No. 54 Lindane (gamma-HCH) health and safety guide. United Nations Environment Programme. International Labour Organisation. World Health Organization. Geneva, 1991.  
<http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg054.htm>

WHO/Europe. 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Joint WHO/convention task force on the health aspects of air pollution. Chapter 3. Hexachlorocyclohexanes

<http://www.euro.who.int/Document/e78963.pdf>

Yamamoto, Y., M. Kiyonaga, T. Watanabe. 1983. Comparative Bioaccumulation and Elimination of HCH Isomers in Short-necked Clam (*Venerupis japonica*) and Guppy (*Poecilia reticulata*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 31:352-359

