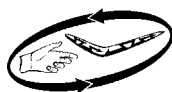


Краткий обзор потенциальных технологий для решения проблемы обезвреживания устаревших полихлорированных дифе- нилов (ПХД) и загрязненных ими отходов в Казахстане

Редактор Jindřich Petrlík
Арника, Прага 2016



TRANSITION



ECO mangystau

1. Введение

ПХД является существенной опасностью для окружающей среды и здоровья в Казахстане. основополагающий документ проекта ПРООН/ГЭФ по решению данной проблемы констатировал в 2010 г.: «Хотя начальная инвентаризация далека от завершения, она уже обнаружила значительные запасы ПХД в Казахстане. В общей сложности на территории 22 организаций (участков) имеются почти 56 000 ПХД-конденсаторов, что эквивалентно 757 тоннам ПХД в 2 500 тоннах оборудования». (UNDP and Government of Kazakhstan 2010). Также было идентифицировано большое количество трансформаторов с жидкостями содержащими ПХД. 106 из них находится у ArcelorMittal Steel в Темиртау.

Так как проблемы с ПХД актуальны для многих регионов Казахстана, то более приемлемыми будут технологии, не использующие высокотемпературное обезвреживание (сжигание), эти технологии являются более пластичными, возможно их свободное перемещение. Эти технологии могут быть внедрены в виде установок для утилизации, которые будут масштабированы в соответствии с количеством отходов, готовых к утилизации.

Конечно существует множество критериев при выборе оптимальной технологии уничтожения СОЗ и ПХД отходов. Некоторые основные шаги были предложены в публикациях IPEN (IPEN Dioxin PCBs and Waste Working Group 2010), или Costner, Luscombe и др. (1998). Ниже описаны некоторые технологии уничтожения СОЗ (группа химических веществ, к которым относятся ПХД) и уровни их эффективности.

Во всем мире обращение с СОЗ регулируется Стокгольмской конвенцией (Stockholm Convention 2010). Казахстан ратифицировал эту конвенцию и подготовил Национальный план по осуществлению в целях выполнения требований конвенции (Republic of Kazakhstan 2009).

Решение проблемы с территориями, загрязненными ПХД, является еще более сложным процессом, поэтому было разработано руководство, представленное Bell (2015) в качестве составной части более обширных докладов, подготовленных Arnika, EcoMuseum и CINEST (Arnika, AWHNE et al. 2015, Arnika, CINEST et al. 2015).

2. Эффективность уничтожения СОЗ

Для оценки эффективности технологий, используемых для утилизации отходов СОЗ были введены следующие параметры, – Коэффициент уничтожения (КУ) [англ. Destruction Efficiency, DE] и Коэффициент Уничтожения и Удаления (КУУ) [англ. Destruction and Removal Efficiency, DRE].

КУ – доля исходных СОЗ, разрушенных или необратимо преобразованных с помощью определенного метода или технологии. КУУ учитывает только выбросы в атмосферу и представляет собой долю исходных СОЗ, необратимо преобразованных и удаленных из газообразных выбросов.

- (1) КУ и КУУ являются функцией от первоначального содержания СОЗ и не охватывают непреднамеренное производство новых СОЗ в процессе уничтожения или необратимого преобразования;
- (2) КУ является важным критерием для оценки эффективности технологии уничтожения и необратимого преобразования, но он может быть трудно измерим воспроизводимым и сопоставимым образом (Basel Convention 2015). Необходимо применять следующие предварительно определенные уровни уничтожения и необратимого преобразования, основанные на численных уровнях (например в отходах, образующихся в ходе процессов обезвреживания):
 - a) Выбросы в атмосферу:
 - (i) Концентрация ПХДД и ПХДФ – 0,1 нг ТЭ Нм-3;
 - (ii) Концентрация остальных СОЗ не должна превышать требования соответствующих национальных и международных правовых норм, стандартов и руководств. Примеры соответствующих национальных правовых норм приводятся в приложении II;
 - b) Для сбросов в водные объекты применяются соответствующие национальные и международные правовые нормы, стандарты и руководства. Примеры соответствующих национальных правовых норм приводятся в приложении II;
 - (c) В твердых остатках (отходах) содержание СОЗ должно быть ниже минимального содержания СОЗ, указанного в разделе А технических руководящих принципов Базельской конвенции (Basel Convention 2015).

3. Технологии

3.1 Восстановление щелочными металлами (восстановление натрием)

Принцип действия

Взаимодействие щелочных металлов с атомами хлора, содержащимися в хлорированных соединениях.

Описание процесса

Восстановление щелочными металлами включает обработку отходов диспергированными щелочными металлами. Щелочные металлы реагируют с хлором в галоидированных отходах, образуя соли этих металлов и негалоидированные отходы. Как правило, процесс протекает при атмосферном давлении и при температуре от 60 °С до 180 °С (Ariizumi, Otsuka et al. 1997). Обработка может проводиться как на месте расположения отходов (in-situ), например, непосредственно в ПХД-трансформаторах, так и вне мест расположения отходов (ex situ), например на заводе. Существует несколько вариантов такого процесса (Piersol 1989). Металлический натрий является наиболее часто используемым восстановителем, хотя для этого метода также используются калий и сплав калия и натрия. В данном процессе следует избегать образования полимеров (которое происходило в одной или двух из известных разновидностей такой технологии), или принимать во внимание образование таких твердых веществ и внедрить стадию их отделения для получения чистого масла для повторного использования.

Обработка ПХД вне места их первоначального расположения может быть осуществлена после экстракции ПХД растворителем. Обработка целых конденсаторов и трансформаторов, может осуществляться после уменьшения их размеров путем резки на части. Предварительная обработка должна включать обезвоживание путем фазового разделения, испарения или другим способом, чтобы избежать взрывной реакции с металлическим натрием. Оборудование должно быть промыто органическими растворителями. Аналогичным образом, СОЗ, которые находятся в твердой форме или находятся в адсорбированном состоянии, должны быть растворены до требуемой концентрации или извлечены из (Piersol 1989, UNEP 2004). Процесс доступен в транспортабельном и стационарном вариантах конфигураций (UNEP 2000). Мобильные установки способны обрабатывать до 15 000 литров ПХД-загрязненного трансформаторного масла в день (UNEP 2000).

Уровни эффективности

Сообщалось о достигнутых значениях коэффициента уничтожения (КУ) больше, чем 99,9999%, и коэффициента уничтожения и удаления КУУ 99,9999% для хлордана, ГХЦГ и ПХД (Ministry of the Environment of Japan 2004). Помимо Европейского Союза, процесс восстановления натрием также продемонстрирован в соответствии нормативными критериями в Австралии, Канаде, Японии, Южной Африке и Соединенных Штатах Америки, для обработки масла ПХД-трансформаторов, (например, концентрацию менее 2 мг/кг в твердом и жидком остатках (UNEP 2004).

Уровни ПХДД/Ф и ДП ПХД для различных установок такого типа представлены в Таблице 1,

Наибольшее количество установок восстановления щелочными металлами находятся в Японии. Заводы, действовавшие в 2006 году, обрабатывали масла, загрязненные полихлорированными дифенилами (ПХД). Ряд заводов обрабатывают масла с концентрациями ПХД в диапазоне до 100 частей на миллион, в то время как на некоторых предприятиях концентрации достигают 10 процентов. На всех заводах отходящие газы очищают активированным углем (UNEP – EG BAT/BER 2006).

3.2 Катализируемое основанием разложение (КОР)

Принцип действия

Метод КОР заключается в обработке отходов в присутствии смеси реагентов, состоящей из масла – донора атомов водорода, гидроксида щелочного металла и патентованного катализатора.

Описание процесса

Когда смесь нагревают выше 300 °С, реагент выделяет химически высокоактивный атомарный водород. Атомарный водород реагирует с отходами, удаляя составляющие, которые придают соединениям токсичность. Почвы непосредственно могут быть подвергнуты обработке, однако наиболее часто необходимы различные виды предварительной обработки: а) крупные частицы, по возможности, должны быть удалены путем просеивания и измельчения, чтобы уменьшить размер частиц; б) иногда может потребоваться скорректировать уровень pH и влажности; в) косвенная термодесорбция (КТД) также используется в сочетании с КОР для удаления СОЗ из почвы до обработки. В этих случаях почву предварительно смешивают с бикарбонатом натрия перед подачей в установку термодесорбции. Из водосодержащих сред, включая шламы, необходимо испарить воду перед обработкой. Конденсаторы могут подвергаться обработке после уменьшения их габаритов посредством измельчения. Если присутствуют летучие растворители, как это бывает в случае с пестицидами, они должны быть удалены перед обработкой с помощью перегонки (CMP&F – Environment Australia 1997).

Оборудование, связанное с этим процессом, легко доступно (Rahuman, Pistone et al. 2000). Были построены специальные модульные системы, передвижные и стационарные (Vijgen 2002).

КОР применялось на двух коммерческих предприятиях в Австралии, одно из которых остается действующим до сих пор. Еще одна коммерческая система работает в Мексике с 1999 года. Кроме того, системы КОР использовались для краткосрочных проектов в Австралии, Чехии, Испании и Соединенных Штатах Америки. КОР было также использовано, например, для очистки загрязнения ПХДД/Ф и хлорорганическими пестицидами в Spolana Neratovice, Чешская Республика (UNEP – EG BAT/BER 2006).

Требования к материалам:

- а) Масла – доноры водорода
- б) Щелочные или щелочноземельные карбонаты металлов, бикарбонаты или гидроксиды, такие как бикарбонат натрия. Требуемое количество щелочи зависит от концентрации галоидированного загрязнителя в очищаемой среде (CMP&F – Environment Australia 1997). Необходимые объемы варьируют от 1% до примерно 20% массы загрязненной среды.
- в) Патентованный катализатор в количестве до 1% объема масла – донора водорода.

Уровни эффективности

Сообщалось о КУ 99,99–99,9999% для ДДТ, ПХД, ПХДД и ПХДФ (ЮНЕП 2000). КУ более 99,999% и КУУ более чем 99,9999% также были описаны для хлордана и ГХЦГ (CMP&F – Environment Australia 1997). Также сообщалось о том, что достижимо снижение концентрации хлорорганических соединений ниже 2 мг/кг (UNEP 2001). Данные о выбросах в результате осуществления катализируемого основанием разложения на двух предприятиях, действующих в Японии, одном предприятии в Австралии и одном предприятии в Чешской Республике были предоставлены группой экспертов Стокгольмской конвенции по БАТ/БЕР (UNEP – EG BAT/BER 2006), и приведены в Таблице 1. Первые три предприятия обрабатывали ПХД с различными уровнями концентрации до 10 процентов. Было отмечено, что бывший завод, который обрабатывал почву, загрязненную рядом стойких органических загрязнителей на месте площадке Sydney Olympic в Австралии, был выведен из эксплуатации в 2003 году.

3.3 Каталитическое гидрохлорирование (КГД)

Принцип действия

Водород при высоких температурах вступает в реакцию с хлорированными или не хлорированными органическими загрязнителями, такими как ПАУ.

Описание процесса

КГД включает обработку отходов газообразным водородом и катализатором (палладий на угле, Pd/C), диспергированным в парафиновом масле. Водород реагирует с хлором в галоидированных отходах, образуя хлористый водород (HCl) и негалоидированные отходы. В случае ПХД, основным продуктом является дифенил. Процесс протекает при атмосферном давлении и температуре от 180 °C до 260 °C (Noma, Muramatu et al. 2002, Noma, Ohno et al. 2003).

ПХД и ПХДД/Ф должны быть извлечены с помощью растворителей или отделены возгонкой. Вещества с низкой точкой кипения, такие как вода или спирты, должны быть удалены путем перегонки перед обработкой. Дифенил, основной продукт, отделяют от реакционного раствора перегонкой после реакции, катализатор и растворитель используются для следующей реакции (Basel Convention 2015).

КГД доступно в стационарной и транспортабельной конфигурациях, в зависимости от объема ПХД, подлежащих обработке. В Японии был построен и находится в рабочем состоянии завод, который способен обрабатывать 2 тонны ПХД в сутки с использованием процесса КГД. Заводы действуют в Кантоне, Соединенных Штатах Америки и в Янге, Австралия. В Японии, организацией Japan Environmental Storage & Safety Corporation (JESCO), в 2006 году в г.Осака был построен завод промышленных масштабов, который извлекает ПХД из трансформаторов и конденсаторов, обрабатывая их с помощью КГД процесса (JESCO 2009a). Есть много сообщений о дехлорировании ПХД использованием КГД. Как правило, использование катализатора Pd/C показывает большую степень разложения обрабатываемых веществ, по сравнению с другими применимыми металлическими катализаторами. Температура реакции может быть увеличена до 260 °C, если парафиновое масло используют в качестве растворителя для реакции (Basel Convention 2015).

Приемлемые виды отходов: КГД было продемонстрировано на ПХД, извлеченных из использованных конденсаторов. ПХДД и ПХДФ, содержащиеся в ПХД в качестве примесей, также были дехлорированы. Поставщик также утверждал, что хлорированные отходы в жидком состоянии или растворенные в растворителях могут быть обработаны КГД.

Уровни эффективности

Сообщалось о КУ 99,98-99,9999% для ПХД. Кроме того, было сообщено, что достижимо снижение содержания ПХД до менее чем 0,5 мг/кг (Basel Convention 2015). Уровни ПХДД/Ф и ДП ПХД на различных установках представлены в Таблице 1.

3.4 Химическое восстановление в газовой фазе (ХВГФ)

Принцип действия

Процесс ХВГФ заключается в термохимическом восстановлении органических соединений.

Описание процесса

При температуре свыше 850 °C и при низком давлении водород вступает в реакцию с хлорированными органическими соединениями с образованием главным образом метана, хлористого водорода (если отходы хлорированы), а также незначительные количества углеводородов с низкой молекулярной массой (бензол и этилен). Соляную (хлороводородную) кислоту нейтрализуют путем добавления каустической соды в ходе иницирующего охлаждения технологического газа, или она может быть извлечена в виде кислоты для повторного использования. Технология ХВГФ разделяется на три основных этапа: система ввода (где загрязняющие вещества переводятся в форму, подходящую для разрушения в реакторе), реактор (который уменьшает концентрацию загрязняющих веществ, в настоящем случае в газовой фазе, с использованием водорода и пара), и система сжатия и очистки газов (Basel Convention 2015).

Для разложения в реакторе ХВГФ, загрязняющие вещества должны быть в газообразной форме. Жидкие отходы могут

быть предварительно нагреты и вводиться непосредственно в реактор в непрерывном режиме, загрязняющие вещества в твердой форме сначала должны быть переведены в газовую фазу. В зависимости от вида отходов применяется одна из следующих установок предварительной обработки для перевода отходов в летучее состояние до обработки в реакторе ХВГФ:

- Реактор термического восстановления периодического действия для сыпучих материалов, в том числе в бочках (TRBP);
- Тороидальный реактор кипящего слоя для загрязненной почвы, осадков и шламов, также приспособлен для жидкостей.
- Система предварительного подогрева жидких отходов (LWPS).

Для больших конденсаторов и строительного мусора также необходима другая предварительная обработка. Большие конденсаторы вскрывают и сливают, а строительный мусор и бетон должны быть фрагментированы на части размером менее одного квадратного метра.

Газы, выходящие из реактора, промывают для удаления воды, тепла, кислот и двуокиси углерода. Стоки и твердые осадки скруббера удаляются за пределами установки. Твердые остатки, образующиеся при обработке твердых отходов, должны быть пригодны для удаления на полигон.

Метан, полученный во время процесса, может обеспечить большую часть потребности установки в топливе. Сообщалось, что требуемое энергопотребление находится в диапазоне от 96 кВт•ч на тонну обработанной почвы до около 900 кВт•ч на тонну обработанных 100% органических загрязнителей.

Процесс требует обеспечение водородом, по крайней мере, во время запуска. Сообщалось, что метан, образующийся в ходе процесса ХВГФ, может быть использован для получения достаточного количества водорода, чтобы обеспечить технологический процесс в дальнейшем. Установки для получения водорода ранее имели проблемы с надежностью, однако сейчас эти трудности уже позади. Другие требования по материалам включают в себя раствор каустика для скруббера кислот.

ХВГФ доступен в стационарной и транспортабельной конфигурациях.

Производительность процесса ХВГФ зависит от мощности трех установок предварительной обработки, как указано ниже:

- TRBP имеет производительность до 100 тонн твердых отходов в месяц или до четырех литров жидкости в минуту. Два TRBP могут использоваться параллельно для удвоения производительности;
- Тороидальный реактор кипящего слоя имеет производительность до 5000 тонн почв, осадков и шламов в месяц, однако эта установка предварительной обработки до сих пор находится в стадии разработки;
- LWPS имеет производительность до трех литров в минуту (Vijgen 2002, UNEP 2004).

Заводы ХВГФ промышленного масштаба работали в Канаде и Австралии. ХВГФ завод в Австралии работал в течение более 5 лет до 2000 года. В США планируется построить завод синтетического дизельного топлива ХВГФ производительностью 200 т в день в Фокир, штат Вирджиния.

Уровни эффективности

КУ 99,9999% был зарегистрирован для ДДТ, ГХБ, ПХД, ПХДД и ПХДФ. В датском обзоре (DANCEE 2004) было отмечено, что выбросы ПХДД/Ф от процесса химического восстановления в газовой фазе во все среды были ниже, чем выбросы от катализируемого основанием разложения (КОР). Уровни ПХДД / ДФ и ДП ПХД в различных точках представлены в таблице 1,

Таблица 1. Выбросы непреднамеренно производимых СОЗ от различных технологий, альтернативных сжиганию отходов и рассматриваемых в качестве возможных вариантов для обезвреживания ПХД-содержащих отходов.

Технологии	Конкретные объекты	Период работы	Выбросы в воздух (нг ТЭ/м ³)	Сброс сточных вод (нг ТЭ/л)	Источник
ПХДД/Ф и ДП ПХД					
Восстановление щелочными металлами	Japan Environmental Safety Corporation, Kitakyushu facility	Декабрь 2004 – Март 2015	0,0000013–0,0000530		(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
	Japan Environmental Safety Corporation, Toyota facility	Сентябрь 2005 – Март 2015	0,0000842–0,0024947	нд	
Каталитическое гидродехлорирование	Japan Environmental Safety Corporation, Osaka facility	2006 – Март 2015	0,000079–0,00010	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
Фотохимическое и каталитическое дехлорирование (ФХД и КД)	Япония		0,00007	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
Сверхкритическое окисление воды	Япония		0,001–0,002	0,0000005	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
Субкритическое окисление воды	Япония		0,00009	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
ПХДД/Ф					
Восстановление щелочными металлами	Japan Environmental Safety Corporation, Kitakyushu facility	Декабрь 2004 – Март 2015	0		
	Japan Environmental Safety Corporation, Toyota facility	Сентябрь 2005 – Март 2015	0–0,0015834	0,0000003500–0,0000077500	
Каталитическое гидродехлорирование	Japan Environmental Safety Corporation, Osaka facility	2006 – Март 2015	0,00000066–0,00000076	нд	
КОР	BCD Technologies, Queensland, Австралия		0,0119–0,05	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
КОР	Япония		<0,01	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
КОР	Spolana Neratovice – pilot, BCD CZ, s.r.o., Прага, Чехия		0,013–0,031	нд	(UNEP – EG BAT/ BEP 2006)
КОР	Spolana Neratovice – pilot, BCD CZ, s.r.o., Прага, Чехия		0,0017–0,0424	0–1,4	(Veverka, Čtvrtníčková et al. 2004)
Химическое восстановление в газовой фазе	Австралия		0,0000028–0,00027 (<0,016)	0,00000061–0,00084	(Vijgen and McDowall 2008)
ДП ПХД					
Восстановление щелочными металлами	Japan Environmental Safety Corporation, Kitakyushu facility, Япония	Декабрь 2004 – Март 2015	0,0000013–0,0000530		
	Japan Environmental Safety Corporation, Toyota facility	Сентябрь 2005 – Март 2015	0,0000842–0,0024947	0,0000372590–0,0001289250	
Каталитическое гидродехлорирование	Japan Environmental Safety Corporation, Osaka facility, Япония	2006 – Март 2015	0,000078–0,00010	0,0000372590–0,0001289250	
ПХД					
Восстановление щелочными металлами	Japan Environmental Safety Corporation, Kitakyushu facility, Япония	Декабрь 2004 – Март 2015	<0,000010 – 0,000600 мг/м ³	ND (0,003 мг/л)	
	Japan Environmental Safety Corporation, Toyota facility, Япония	Сентябрь 2005 – Март 2015	<0,001 мг/м ³	<0,0005 мг/л	
Каталитическое гидродехлорирование	Japan Environmental Safety Corporation, Osaka facility, Япония	2006 – Март 2015	0,00067–0,0024 мг/м ³	нд	

4. Экономика

Краткие сведения об экономических характеристиках, альтернативных сжиганию технологий по обезвреживанию и уничтожению ПХД-отходов, обобщены в нижеследующей таблице.

Таблица 2. Основная информация о стоимости технологий, предусматривающих отказ от сжигания.

Технология	Фирма-поставщик	ПХД-жидкости и ПХД-загрязненные масла	Почвы	Конденсаторы	Трансформаторы
Обезвреживание в высокоэнергетических шаровых мельницах ¹	EDL	\$300/т	\$250/т	\$300/т	\$300/т
Катализируемое основанием разложение ²	Multiple	\$0,7-2,2/кг в зависимости от отходов	\$300/м ³		
Каталитическое гидродехлорирование ¹	Hydrodec Group PLC	5-50ppm ПХД: \$0,40/л 50-500ppm ПХД: \$0,80/л >500ppm ПХД: \$4,00/л			
Химическое восстановление в газовой фазе ¹	Natural Energy Systems Inc.	\$2300/т – for 100% ПХД waste	\$500/т – для отходов с низким содержанием ПХД	\$1300/т – Для 40% ПХД.	\$1300/т – для 40% ПХД.
Технология сольватированного электрона ¹	Oasis Systems / Commodore	\$5512–\$6614/т	\$5512 – \$6614/т	\$5512–\$6614/т	\$5512–\$6614/т
Восстановление натрием ¹	Kinectrics Inc	\$0,9–\$7/л		\$500–1700/т	\$500–1700/т
Восстановление натрием ¹	ESI Group	\$0,35 to \$0,85/л (до 3000 ppm)	\$680 – \$1700/т	\$1700 to \$4250/т	\$800 – \$1220/т

Источники информации: ¹ SNC Lavalin (2008), ² McDowall (2007)



Печь не прямой термодесорбции в Сполане Нератовице служила для испарения стойких загрязнителей из загрязненного мусора и почвы в масло для конечной переработки в реакторе технологии КОР.



Объекта технологии КОР в Сполане Неративице (в Чехии) для переработки диоксинами загрязненного участка.



Муфельная печь в заводе технологии КОР для восстановления диоксинами и пестицидами загрязненного участка в Сполане Неративице.



Химическое восстановления в газовой фазе (GPCR) – технологический реактор, используемый для восстановления в Австралии.



Восстановление натрием (SR) используется для уничтожения ПХД масел в Филиппинах.

5. Источники

- Ariizumi, A., T. Otsuka, M. Kamiyama and M. Hosomi (1997). "Dechlorination and decomposition behaviour of PCBs by the sodium dispersion process." J. Environ. Chem. 7: 793–799.
- Arnika, AWHHE, CINEST and EcoMuseum (2015). Contaminated sites and their management. Case studies: Kazakhstan and Armenia. Prague-Karaganda, Arnika – Toxics and Waste Programme.
- Arnika, CINEST and EcoMuseum (2015). Места, загрязненные токсичными веществами в Центральном и Восточном Казахстане. Prague-Karaganda, Arnika – Toxics and Waste Programme.
- Basel Convention (2015). General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. Technical Guidelines. Geneva.
- Bell, L. (2015). Identification and Management of mercury, PCB and dioxin contaminated sites in Kazakhstan: A Collective Impact approach to civil society engagement. Contaminated sites and their management. Case studies: Kazakhstan and Armenia. J. Petrлік (editor). Prague-Karaganda, Arnika – Toxics and Waste Programme.
- CMPS&F – Environment Australia (1997). Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes Review Report Number 4. Available at www.deh.gov.au.
- Costner, P., D. Luscombe and M. Simpson (1998). Technical Criteria for the Destruction of Stockpiled Persistent Organic Pollutants, Greenpeace: 45.
- DANCEE (2004). Detailed Review of Selected Non-Incineration and Incineration POPs Elimination Technologies for the CEE Region. Copenhagen, Danish Environmental Protection Agency – DANCEE: 185.
- IPEN Dioxin PCBs and Waste Working Group (2010). Solutions for the Destruction of POPs Wastes. IPEN – Dioxin, PCB and Waste WG Fact-sheet. Prague, IPEN Dioxin, PCBs and Waste Working Group: 6.
- JESCO. (2009a). "Osaka PCB Waste Treatment Facility, Available at www.jesconet.co.jp/eg/facility/osaka.html."
- McDowall, R. et. al. (2007). Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and Other POPs Wastes. A Training Manual for Hazardous Waste Project Managers. Volume C. Geneva, Secretariat of the Basel Convention: 43.
- Ministry of the Environment of Japan (2004). Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003.
- Noma, Y., T. Muramatu, K. Nishizawa, M. Ohno and S.-I. Sakai (2002). "Dechlorination pathways of PCBs by photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination." Organohalogen compounds 56: 413-416.
- Noma, Y., M. Ohno and S.-i. Sakai (2003). "Pathways for the degradation of PCBs by palladium-catalyzed dechlorination." Fresenius Environmental Bulletin 12(3): 302-308.
- Piersol, P. (1989). The Evaluation of Mobile and Stationary Facilities for the Destruction of PCBs. Environment Canada Report EPS 3/HA/5, May 1989.
- Rahuman, M. M. S. M., L. Pistone, F. Trifirò and S. Miertus (2000). Destruction technologies for polychlorinated biphenyls (PCBs). Trieste, International Centre for Science and High Technology – United Nations Industrial Development Organization (ICS-UNIDO): 55.
- Republic of Kazakhstan (2009). National Implementation Plan of the Republic of Kazakhstan on the Obligations under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Astana: 36.
- SNC Lavalin Inc. (2008). PCB Management and Disposal Demonstration Project. Analysis of PCB Treatment & Disposal Options for the Socialist Republic of Vietnam. Final Report to The World Bank, July 2008.
- Stockholm Convention (2010). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) as amended in 2009. Text and Annexes. Geneva: 64.
- UNDP and Government of Kazakhstan (2010). Design and Execution of a Comprehensive PCB Management Plan for Kazakhstan. UNDP Project Document. Project ID 00071180.: 56.
- UNEP – EG BAT/BEP (2006). Annex II: Response to the request by the Conference of the Parties to the Basel Convention at its seventh meeting. Report of the second meeting of the Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. Geneva.
- UNEP (2000). Survey of Currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies. Available at <http://chm.pops.int/Implementation/PCBs/DocumentsPublications/tabid/665/Default.aspx>.
- UNEP (2001). Destruction and Decontamination Technologies for PCB and Other POP waste Part III. Technology Selection Process. Available at <http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html>.
- UNEP (2004). Review of the Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries.
- Veverka, Z., L. Čtvrtníčková, L. Kašparová, L. Ládyš, J. Prokop, L. Ševčíková and L. Žitný (2004). Projekt Spolana – dioxiny. Odstranění starých ekologických zátěží. Dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí (EIA report). Praha, BCD CZ, a.s.: 125.
- Vijgen, J. (2002). NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater. Available at <https://www.clu-in.org/download/partner/2001annualreport.pdf>.
- Vijgen, J. and R. McDowall (2008). Gas-Phase Chemical Reduction (GPCR). Provisional POPs Technology Specification and Data Sheets for the Secretariat of the Basel Convention. IHPA. Amsterdam, IHPA.

Этот документ был подготовлен в рамках проекта «Реализация прав граждан и общественное участие в принятии решений по экологическим вопросам – практическая реализация Орхусской конвенции в Мангистауской области», финансируемый ЕС и в рамках Transition Программы Чешской Республики. Содержание статьи является исключительной ответственностью авторов и не обязательно отражает точку зрения доноров.

Заинтересован читать дальше? Английский: www.english.arnika.org | Русский: www.ecocitizens.kz