

Приложение VI

Предварительный руководящий документ по оценке биоаккумуляции

(Представлен секретариатом без официального редактирования)

1. История вопроса

В приложении D к Стокгольмской конвенции приводятся следующие критерии биоаккумуляции:

- "с) биоаккумуляция:
- i) фактические данные, свидетельствующие о том, что фактор биоконцентрации (ФБК) или фактор биоаккумуляции (ФБА) химического вещества в случае водных видов превышает 5000 или, в отсутствие данных, характеризующих ФБК и ФБА, показатель $\log Kow$ составляет более 5;
 - ii) фактические данные, свидетельствующие о том, что химическое вещество обладает другими свойствами, вызывающими обеспокоенность, например, высоким уровнем биоаккумуляции в других видах, высокой токсичностью или экотоксичностью; или
 - iii) данные мониторинга биоты указывают на то, что потенциал биоаккумуляции химического вещества является достаточно значительным, чтобы считать его рассмотрение в рамках сферы действия настоящей Конвенции обоснованным".

Среди этих критериев i) является количественным и менее двусмысленным в том, что касается его применения. Вместе с тем ii) и iii) не являются количественными, и не ясно, как применять эти критерии. Вследствие такой неопределенности, особенно в случае тех химических веществ, которые не соответствуют критерию i), биоаккумуляция стала объектом серьезного обсуждения, однако общего понимания пока не достигнуто. (См. добавление 1: Данные о биоаккумуляции существующих СОЗ и потенциальных СОЗ.)

В настоящем документе рассматривается вопрос о том, как применять критерии биоаккумуляции ii) и iii) в тех случаях, когда не выполняется критерий i).

2. Фактические данные, свидетельствующие о биоаккумуляции, на прошлых совещаниях КРСОЗ и соответствующее группирование

1) Фактические данные, свидетельствующие о биоаккумуляции, на прошлых совещаниях КРСОЗ

До сих пор вывод о соответствии критериям отбора сделан в отношении пяти химических веществ, несмотря на их низкий показатель ФБК (<5000). Важной основой для оценок КРСОЗ является следующее: (см. добавление 2-1: Фактические данные, свидетельствующие о биоаккумуляции, на прошлых совещаниях КРСОЗ; и добавление 2-2: Фактические данные, свидетельствующие о биоаккумуляции потенциальных СОЗ согласно критериям ii) и iii).

ПФОС:

- i) ФБА(ss) составляют 240-1300, ФБА не являются надежными предсказателями биоаккумуляции;
- ii) весьма низкие темпы устранения и последствия для развития у млекопитающих на низких уровнях (по результатам исследования двух поколений крыс значение УНВВВ составляет 0,1 мг/кг веса тела/день) и iii) биомагнификация.

Линдан:

- i) ФБК составляют от 13 до 1240 (ЕНС), от 327 до 893 (Япония), от 43 до 4240 (другие);
- ii) высокая токсичность (УНВВВ не превышают 0,3 мг/кг веса тела/день) - и экотоксичность (КНВВЭ ниже 1 $\mu\text{г}/\text{л}$) (ссылки 5 и 6), измеренные полевые уровни у земляных червей (0,3 мг/кг в случае почвы, содержащей 80 $\mu\text{г}/\text{кг}$) сопоставимы с данными о токсичности у млекопитающих;

- iii) сообщается о присутствии у морских птиц, рыб и млекопитающих в Арктике. Концентрации у морских млекопитающих эквивалентны или превышают уровни ПХД и ДДТ, обнаруженные согласно сообщениям в грудном молоке у эскимосов в Арктике и у морских млекопитающих.

Альфа-ГХГ:

- i) ФБК составляют от 60 до 2750 (все тело, на основе сухого веса), 313-2400 (на основе сырого веса) (ссылки 8 и 9);
- ii) и iii) факторы биомагнификации на разных трофических уровнях (зоопланктон, беспозвончные, рыбы и млекопитающие) находятся в диапазоне 1-16. Полевые исследования в арктических морских пищевых сетях показывают, что альфа-ГХГ стереоизбирательно бионакапливается у морских видов и обладает способностью к биомагнификации в большей степени, чем гамма-ГХГ, в отношении которого сообщено о значениях вплоть до 4220; обнаружен в крови и жировых тканях у человека. Обнаружен в грудном молоке и плацентных тканях, что воздействует на потомство в критические периоды развития; информация свидетельствует о том, что биоаккумуляция альфа-ГХГ в пищевой цепи выше, чем в случае линдана.

Бета-ГХГ:

- i) ФБК составляют 250-1500 (на основе сухого веса всего тела);
- ii) и iii) полевые исследования в арктических морских пищевых сетях показывают, что бета-ГХГ может биоаккумулироваться на высших трофических уровнях. У исследованных видов присутствие бета-ГХГ, по-видимому, носит устойчивый характер. Факторы биомагнификации для бета-ГХГ в морских пищевых сетях по большей части находились в диапазоне 1-18 (с максимальным значением, составляющим 280). У птиц и в особенности морских млекопитающих бета-ГХГ может аккумулироваться до более высоких уровней, чем другие изомеры. В наземной арктической пищевой цепи бета-ГХГ может также биомагнифицироваться у млекопитающих и был обнаружен в жировых тканях и в грудном молоке у человека. Бета-ГХГ был обнаружен также в плацентных тканях, что воздействует на потомство в критические периоды развития. Информация подтверждает, что потенциал биоаккумуляции бета-ГХГ выше, чем в случае линдана.

Окта-БДЭ:

- i) высокие уровни ФБК у гомологов в коммерческой смеси;
- ii) и iii) концентрации, составляющие 220-270 нг/г липидного веса в яйцах сапсана в северной Швеции и Гренландии, оценочный период полураспада у человека составляет 100 дней, фактор аккумуляции в почвенных организмах для октабромдифенилового эфира, составляющий 197, рассчитан как 2.

2) Группирование фактических данных

Группирование вышеуказанных фактических данных, свидетельствующих о биоаккумуляции, дает следующие результаты:

ФБК не применимы:

ПФОС

Долгий период полураспада:

ПФОС и окта-БДЭ

Высокая токсичность/высокая экотоксичность:

ПФОС и линдан

Биомагнификация:

ПФОС, альфа-ГХГ и бета-ГХГ

Факты обнаружения в биоте:

Линдан, альфа-ГХГ, бета-ГХГ и окта-БДЭ

Факты обнаружения в организме человека (кровь, молоко, жировые ткани):

Линдан, альфа-ГХГ и бета-ГХГ

Подверженность воздействию на стадии развития:

Альфа-ГХГ и бета-ГХГ

3. Существующие руководящие указания по оценке биоаккумуляции

Имеется несколько руководящих документов по оценке биоаккумуляции, которые отражают точки зрения, не охваченные в критерии i). Например, в руководящем документе ЕС упоминается порядок оценки фактических научных данных об эквиваленте критериев "В" (Биоаккумуляция) в отношении ПБТ и веществ vPvB (ФБК=2000 для ПБТ, 5000 для vPvB). В Японии же имеются критерии биоаккумуляции для определения потенциала биоаккумуляции согласно Закону о контроле за химическими веществами, который охватывает вопрос о том, как поступать в случаях, когда ФБК составляют менее 5000. (См. добавление 3: Значимость периода биологического полураспада для оценки биоаккумуляции; и добавление 4: Использование данных мониторинга для оценки биоаккумуляции).

1) Руководящий документ ЕС (руководство по подготовке досье в соответствии с приложением XV о выявлении веществ, вызывающих весьма серьезную обеспокоенность: выдержка)

- a) *Данные о поглощении и метаболизме по результатам лабораторных исследований других видов, в том числе видов млекопитающих*
- b) *Иные процессы, чем разбиение жиров*
- c) *Использование данных мониторинга*

Измеренные данные в биоте служат четким показателем того, что соответствующее вещество поглощается тем или иным организмом. Вместе с тем аналитическое обнаружение тех или иных веществ в организмах не всегда само по себе является показателем того, что происходила или происходит значительная биоконцентрация или биоаккумуляция, которая привела бы к последствиям в биоте.

Полезными в этом отношении являются данные, представляющие разные трофические уровни в пределах единой пищевой цепи, где относительные различия в концентрации между различными уровнями могут зачастую давать полезную информацию о потенциале биоаккумуляции.

Одним из важных факторов, который следует принимать во внимание в отношении данных мониторинга, является качество данных. Многие вещества, обладающие свойствами типа ПБТ, с трудом поддаются анализу при низких концентрациях, и использование данных низкого качества может приводить к выведению ошибочных заключений.

Еще одним фактором, который следует принимать во внимание при рассмотрении имеющихся данных (по результатам как определенных лабораторных исследований, так и полевых данных), является то, что аккумуляция, наблюдаемая в любой данной ситуации, может в значительной степени зависеть от содержания липидов в рассматриваемых видах.

В плане оценки того, обладает ли вещество потенциалом аккумуляции, эквивалентным критерию В, следует принять подход на основе весомости доказательств, сводя воедино имеющиеся данные. В рамках такой оценки могла бы рассматриваться степень, в которой вещество не соответствует фактическим критериям В или vB в случаях, если имеются данные по ФБА. Следует отметить, что эквивалентность обеспокоенности здесь находится в соотношении с потенциалом биоаккумуляции, а не только встречаемостью в биоте.

2) Япония (критерии биоаккумуляции для определения химических веществ, подлежащих мониторингу класса 1 согласно ЗКХВ)

- a) *Высокая степень биоаккумуляции*
Значение ФБК превышает 5000
- b) *Невысокая степень биоаккумуляции*

Значение ФБК не превышает 1000 или Ков не превышает 3,5

Показатель Ков не применим к поверхностно-реактивным веществам, смесям с молекулярными распределениями веса, органическим металлическим соединениям, образцам с низкой частотой (следует ожидать метод ВЭЖХ) и неорганическим соединениям

- c) *Если значения ФБК находятся в диапазоне от 1000 до 5000, то следует рассмотреть следующий результат проверки в тех случаях, когда это необходимо для определения потенциала биоаккумуляции*
- *Проверка на предмет устранения*
 - *ФБК частей рыб (съедобные части)*

4. Прочие показатели

1) Фактор биоконцентрации и фактор биоаккумуляции

Изучаются взаимосвязи между ФБК и ФБА. Как правило, СОЗ с высокой степенью ФБК обладают также высокой степенью ФБА. Вместе с тем корреляция между ФБК и ФБА не ясна. (См. добавление 5: Взаимосвязь между данными по ФБК и ФБА существующих СОЗ и потенциальных СОЗ.)

В принципе, полученные в полевых условиях высококачественные данные о факторах биоаккумуляции (ФБА) в большей степени отражают биоаккумуляцию в окружающей среде, поскольку они включают поглощение из всех источников воздействия, а также любое влияние метаболических процессов. При оценке качества данных о ФБА и/или ФБК следует тщательно анализировать условия взятия проб (ФБА) и тестирования (ФБК).

2) Коа

Коа обсуждается как показатель потенциальной биоаккумуляции у наземных животных. Вместе с тем на настоящем этапе обсуждаются значения Коа только ограниченного числа химических веществ, для которых характерна биоаккумуляция, причем взаимосвязь между Коа и биоаккумуляцией у наземных животных еще не установлена. Следует поощрять дальнейшие исследования в этой области. (См. добавление 6: Данные о периоде биологического полураспада существующих СОЗ и потенциальных СОЗ.)

3) Метаболизм

Одним из важнейших элементов в оценке биоаккумуляции является метаболизм. Как правило, метаболизм имеет тенденцию сокращать потенциал биоаккумуляции, однако следует учитывать различия между видами.

Метаболиты могут накапливаться в организме. Затем должен рассматриваться потенциал биоаккумуляции с учетом аккумуляции материнских и связанных с ними метаболитов (например, вместе с ФБК или ФБА, выражающих совокупную аккумуляцию).

Химические вещества, не соответствующие всем характеристикам СОЗ, могут вызывать беспокойство вследствие метаболизма в биоте. Например, химическое вещество, способное к переносу на большие расстояния, преобразуется в биоте для биоаккумуляции, а любые токсические метаболиты могут представлять риск для здоровья и окружающей среды в отдаленных районах.

5. Обсуждения на основе руководящих документов

На основе руководящих документов проводится следующий пересмотр фактических данных, свидетельствующих о биоаккумуляции, в прошлой оценке КРСОЗ.

ФБК не применимы

В руководящем документе ЕС указывается на иной механизм биоаккумуляции, чем разбивание жиров. Поскольку в случае ПФОС рассматривается связывание с белком, для определения потенциала биоаккумуляции при невыполнении критерия i) может быть полезно механистическое объяснение.

Долгий период полураспада

Данная концепция включается в принятые в Японии критерии, а также рассматривается на предмет включения в документ ЕС как "поглощение и метаболизм". Информация о периоде полураспада полезна для определения потенциала биоаккумуляции при невыполнении критерия i). Следует отметить, что в обоих руководствах устанавливаются лимиты на рассмотрение данных по результатам проверок.

Высокая токсичность/высокая экотоксичность

Нормативное правило ЕС REACH предусматривает применение аналогичного уровня беспокойства в отношении ПБТ и химических веществ vP/vB. Из этого вытекает, что если ФБК стойких химических веществ с высокой степенью токсичности и/или экотоксичности превышает 2000 или эквивалентный уровень потенциала биоаккумуляции, то это должно служить достаточным основанием для серьезной обеспокоенности.

Биомагнификация

В руководящем документе ЕС говорится, что биомагнификация отражает различие в концентрации между трофическими уровнями в единой пищевой цепи, но количественные критерии не оговариваются. Биомагнификация определяется на основе полевых данных мониторинга. Следует принимать во внимание такие факторы, как надежность данных и содержание липидов у рассматриваемых видов. Может быть также необходимо рассмотрение различий в метаболизме морских видов и наземных животных.

Факты обнаружения в биоте, факты обнаружения в организме человека (кровь, молоко, жировые ткани)

В руководящем документе ЕС говорится, что "аналитическое обнаружение веществ в организме не всегда само по себе является показателем того, что происходила или происходит значительная биоконцентрация или биоаккумуляция, которая привела бы к последствиям в биоте". Поэтому данные о фактах обнаружения в биоте и организме человека сами по себе не считаются прямым свидетельством биоаккумуляции. Вместе с тем, особенно в случаях, когда данные мониторинга выявляют повышение уровня с возрастом или обнаружение в различных видах, такие данные следует тщательно рассматривать.

Подверженность воздействию на стадии развития

Это не упоминается в руководящих документах, и такая информация не является прямым свидетельством биоаккумуляции, подобно обнаружению в организме человека (кровь, молоко и жировые ткани). Вместе с тем соответствующая ситуация указывает на необходимость в тщательном рассмотрении.

6. Выводы

На основе обзора прошлой оценки КРСОЗ и рассмотрения существующих руководящих документов сочтен подходящим следующий подход.

1) Важные фактические данные

В случае оценки потенциала биоаккумуляции тех химических веществ, которые не соответствуют критерию i), важным свидетельством соответствия критериям ii) или iii) считается следующая информация. При представлении предложения на включение химических веществ в приложения А, В и С следует указывать, какие именно критерии соблюдаются согласно данным по соответствующему химическому веществу.

Определенный уровень ФБК

Такой определенный уровень, как 1000 или 2000, может служить достаточным основанием для тщательного рассмотрения потенциала биоаккумуляции химического вещества, которое не соответствует критерию i).

Долгий период полураспада, единственный в своем роде механизм биоаккумуляции

Долгий период полураспада и механистическое объяснение неприменимости критерия i) могут служить достаточным основанием для тщательного рассмотрения потенциала биоаккумуляции химического вещества, которое не соответствует критерию i).

Высокий уровень биоаккумуляции в других видах

В тех случаях, когда химическое вещество не соответствует критерию i), достаточным основанием для тщательного рассмотрения может служить высокий уровень биоаккумуляции в других видах.

Повышение концентрации с трофическими уровнями (биомагнификация)

Повышение концентрации с трофическими уровнями в рамках единой пищевой цепи дает полезную информацию о биомагнификации. Это свидетельствует о биоаккумуляции на протяжении всей пищевой цепи и может служить достаточным основанием для тщательного рассмотрения потенциала биоаккумуляции химического вещества, которое не соответствует критерию i). Данные по результатам разных исследований, представляющие разные трофические уровни из одного и того же района и высокие уровни у высших хищников, могут также служить достаточным основанием для тщательного рассмотрения. Следует отметить, что исходные данные поступают по результатам мониторинга, в связи с чем может быть необходимо тщательное рассмотрение таких аспектов использования данных мониторинга, как надежность.

Высокая токсичность/высокая экотоксичность

Высокая токсичность/высокая экотоксичность должны служить основанием для рассмотрения.

Обнаружение в биоте

Достаточным основанием для тщательного рассмотрения могут служить факты обнаружения в биоте наряду с уровнями в соответствующей окружающей среде. Измеренные данные в биоте служат четким показателем того, что вещество поглощается организмом. Вместе с тем следует принимать во внимание то, что обнаружение вещества в организмах само по себе не всегда является показателем биоаккумуляции. Относительно высокие уровни обнаружения и сопоставление с обнаруженными уровнями существующих СОЗ могут служить основанием для тщательного рассмотрения.

Сопоставление концентрации, обнаруженной в биоте, с уровнем токсичности

Желательно проводить сопоставление обнаруженного уровня в окружающей среде и силы (эко)токсичности. Если данные уровни близки, то это может служить достаточным основанием для тщательного рассмотрения. С другой стороны, вследствие многих факторов неопределенности, связанных с таким сопоставлением, вещества, для которых уровни в окружающей среде отличаются от уровней последствий в экспериментальных животных, следует также тщательно рассматривать. В случае такой информации может быть необходимо рассмотрение таких факторов, как надежность данных мониторинга.

Другие основания для обеспокоенности

Другими основаниями для обеспокоенности служат факты обнаружения в видах, находящихся под угрозой исчезновения, у уязвимых групп населения, в организме человека (кровь, молоко, жировые ткани) и подверженность воздействию на стадии развития.

2) Весомость фактических данных

При сведении воедино всей имеющейся информации следует рассматривать весомость подхода на основе фактических данных.

Добавление 1

Данные о биоаккумуляции существующих СОЗ и потенциальных СОЗ

Химическое наименование	Водные виды		ФБА (ФАБС)	Другие виды ФБА (ФАБС)	Период биол. полураспада (d)	log Коа ⁵⁾ (-)	Механизм
	Метод МЕТТ ¹⁾	ФБК Другие					
<i>Альдрин</i>	1 550 - 20 000	5 500 - 11 700 ²⁾				8,08	
<i>Дильдрин</i>	4 860 - 14 500	8 910 - 9 770 ²⁾			100 - 592 ⁴⁾	8,90	
<i>Эндрин</i>	2 360 - 12 600	5 890 - 7 410 ²⁾			2 - 4 ⁴⁾	8,13	
<i>Хлордан</i>	13 000 - 27 900	19 500 - 20 900 ²⁾			<1 - 140 ⁴⁾	8,92	
<i>ДДТ</i>	5 100 - 25 900	2 880 - 91 200 ²⁾	4 680 - 4 170 000 ²⁾		0,2 - 428 ⁴⁾	9,82	
<i>ГХБ</i>	6 000 - 30 000	3 720 - 245 000 ²⁾	1 200 - 550 000 ²⁾		12 - 1 095 ⁴⁾	7,38	
<i>Гептахлор</i>	2 020 - 17 300	8 710 - 10 000 ²⁾				7,64	
<i>Мирекс</i>		20 400 - 41 700 ²⁾	224 000 - 5 750 000 ²⁾		1,6 - 364 ⁴⁾		
<i>Токсафен</i>					1 - 19,3 ⁴⁾		
<i>ПХД</i>	600 - 21 900	2 690 - 933 000 ²⁾	11 000 - 32 400 000 ²⁾		0,3 - 1 020 ⁴⁾		
<i>ПХДД</i>		36 300 - 38 900 ²⁾			<7 - 4 125 ⁴⁾		
<i>ПХДФ</i>		2 570 - 6 030 ²⁾			0,001 - 1 168 ⁴⁾		
<i>П-БДЭ</i>		17 700 ³⁾	1,8 ³⁾	ФАБС = 11 - 34 ³⁾			
<i>ПФОС</i>	200 - 1 500	240 - 3 100 ³⁾			13,6 - 1 428 ^{3),4)}		связан с протеином в крови
<i>Г-БДЭ</i>	4 700 - 16 000	4 700 - 18 100 ³⁾			22 - 35 405 ^{3),4)}		
<i>Хлордекон</i>		6,2 - 60 200 ³⁾			8,5 - 165 ⁴⁾		
<i>Линдан</i>	327 - 893	3 - 20 000 ³⁾	10 - 12 600 ^{2),3)}		0,71 - 2 ^{3),4)}	7,85	медленное устранение через дыхание воздухом
<i>α-ГХГ</i>		60 - 13 000 ³⁾			1,6 - 6,9 ⁴⁾	7,61	медленное устранение через дыхание воздухом
<i>β-ГХГ</i>		250 - 1 500 ³⁾			2,5 - 154 ⁴⁾	8,88	медленное устранение через дыхание воздухом
<i>О-БДЭ</i>		<10 - 36 ³⁾	ФАБС = 1(гекса)-3(гепта) ³⁾ ФАБС = 9,1±1,1(гекса)		100 ³⁾		поглощение крупных молекул с питанием
<i>КЦПХ</i>	2 500 - 11 000	<1 - 138 000 ³⁾	16 440 - 25 650 ³⁾	ФАБС = 1,9 - 6,8 ³⁾	7,1 - 86,6 ³⁾		
<i>ПХБ</i>		577 - 23 000 ³⁾	125 - 117 000 ^{2),3)}		53 ³⁾		

Литература 1) Chemical Risk Information Platform (CHRIP, Japan), 2) Arnot, JA et al (2006) Supplementary information for "A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms", 3) Оценка на основе приложения D и характеристики рисков потенциальных СОЗ, 4) Банк данных об опасных веществах (Hazardous Substances Data Bank, HSDB, U.S.), 5) Shoeib, M. et al. (2002) Environ. Toxicol.Chem., 21, 5, 984-990.

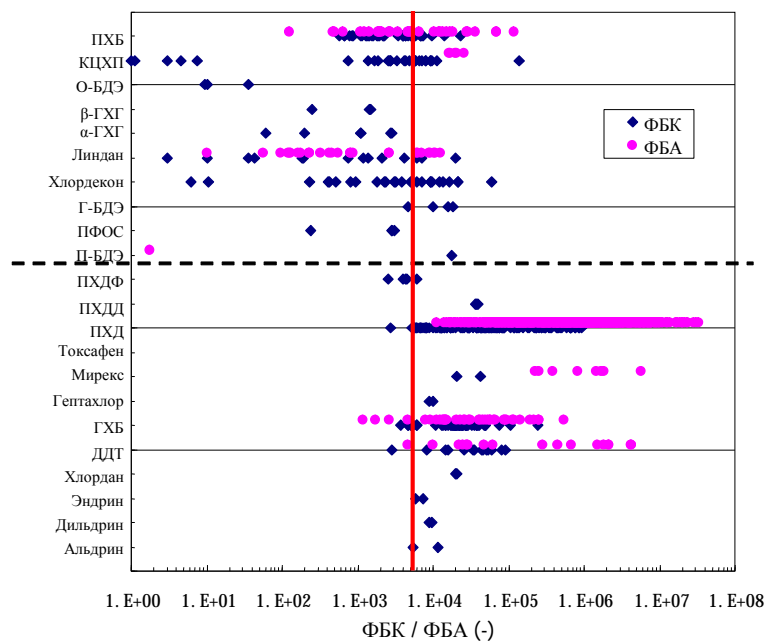


Рис. 1. Взаимосвязь между данными о ФБК и ФБА существующих СОЗ и потенциальных СОЗ

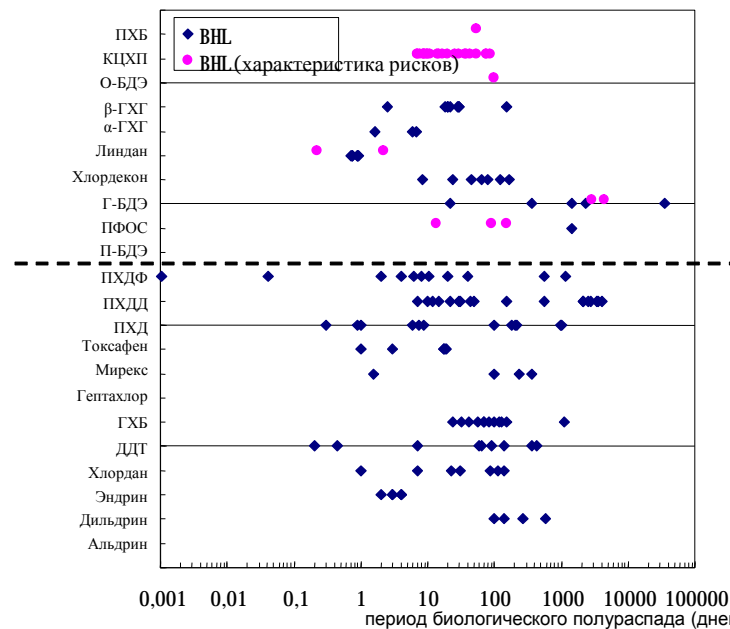


Рис. 2. Данные о периоде биологического полураспада существующих СОЗ и потенциальных СОЗ

Добавление 2-1

Данные, свидетельствующие о биоаккумуляции, на прошлых совещаниях КРСОЗ (ФБК<5000)

Биоаккумуляция в других видах		П-БДЭ	ПФОС	Г-БДЭ	Хлордекон	Линдан	α-ГХГ	β-ГХГ	О-БДЭ	КЦХП	ПХБ
						Биоаккумуляция линдана отмечается в большинстве таксономических групп – от растений и водорослей до позвоночных.		Моделируемые ФБМ у волков, в зависимости от их возраста, находятся в диапазоне от 9 до 109.	В почвенной биоте фактор аккумуляции октабромдифенилового эфира в почвенных организмах на уровне 197 рассчитан как 2.		
Токсичность	Высокая токсичность		Последствия для развития у млекопитающих на низких уровнях (УНВВВ – 0,1 мг/кг/день у крыс по результатам исследования двух поколений).			Следует рассматривать экологические последствия сочетания данного потенциала биоаккумуляции с высокой токсичностью (УНВВВ – 0,3 мг/кг/день) и экотоксичностью (КМВВЭ <ниже 1 µл).					
	Высокая токсичность					0,3 мг/кг/день) и экотоксичностью (КМВВЭ <ниже 1 µл).					
	Токсикокинетика		Очень низкие темпы устранения (токсикокинетические исследования в морских и наземных позвоночных). (*)	Токсикокинетические данные по млекопитающим и данные мониторинга в биоте подтверждают потенциал биоаккумуляции. (*)		При измерении полевых уровней в земляных червях (0,3 мг/кг в случае почвы, содержащей 80 µг/кг), они взвешиваются по отношению к данным о токсичности у млекопитающих с использованием реалистического коэффициента поглощения пищи на уровне 0,63, это сопоставление указывает сферу экотоксикологической обеспокоенности, которая должна стать объектом					Токсикокинетические данные по домашним птицам указывают на аккумуляцию во время приема пищи, а период полураспада для жировых тканей составляет 53 дня. (*)

		П-БДЭ	ПФОС	Г-БДЭ	Хлордекон	Линдан дальнейшего изучения.	α-ГХГ	β-ГХГ	О-БДЭ	КЦХП	ПХБ
Период биологического полураспада	Человек								Согласно оценкам, период полураспада у человека составляет 100 дней.		
	Животные		Очень низкие темпы устранения (токсикокинетические исследования в водных и наземных позвоночных). (*)		Полупериод выведения у млекопитающих составляет несколько месяцев.						Токсикокинетические данные по домашним птицам указывают на аккумуляцию во время приема пищи, а период полураспада для жировых тканей составляет 53 дня. (*)
Данные мониторинга в биоте	ФБМ или трофический перенос	Данные по всему миру свидетельствуют о повышении уровней соединений, родственных пента-БДЭ, при одновременном повышении трофической позиции. Последние публикации подтверждают перенос через пищевые цепи в Арктике. (*)	Данные мониторинга подтверждают биоаккумуляцию и биомагнификацию ПФОС как в наземных, так и морских млекопитающих. (*)			ФБМ в случае α-ГХГ для разных трофических уровней (зоопланктон, беспозвоночные, рыбы и млекопитающие) находятся в диапазоне от 1 до 16. Продемонстрировано, что в арктических морских пищевых сетях происходит стереоизбирательная биоаккумуляция α-ГХГ в морских видах, и имеются сообщения о его способности к биомагнификации в большей степени, чем в случае у-ГХГ, для которого соответствующие значения составляют вплоть до 4220.	ФБМ в морских пищевых сетях находились преимущественно в диапозоне от 1 до 18.				

	П-БДЭ	ПФОС	Г-БДЭ	Хлордекон	Линдан	α-ГХГ	β-ГХГ	О-БДЭ	КЦХП	ПХБ
Факты обнаружения на более высоких трофических уровнях		Данные мониторинга подтверждают биоаккумуляцию и биомагнификацию ПФОС как в наземных, так и морских млекопитающих. (*)		Обнаружение высоких уровней химического вещества у рыб и птиц.	Имеются сообщения о присутствии у морских птиц, рыб и млекопитающих в Арктике. (*)		Полевые исследования в арктических морских пищевых сетях свидетельствуют о том, что бета-ГХГ может биоаккумулироваться на высших трофических уровнях. (*) В наземной арктической пищевой цепи бета-ГХГ может также биомагнифицироваться у млекопитающих. (*)	Несмотря на свой значительный молекулярный вес, соответствующая молекула обнаруживается у высших хищников на уровнях, аналогичных уровням биоаккумулируемых тетра- и пента-БДЭ. (*) Имеются сообщения о концентрациях на уровне 220-270 нг/г липидного веса в яйцах сапсана в северной Швеции и Гренландии. (*)	Имеются сообщения об уровнях короткоцепных хлорированных парафинов у морских млекопитающих из различных регионов Арктики, а также из Канады и Гренландии. (*)	
Факты обнаружения в других видах			Токсикокинетические данные по млекопитающим и данные мониторинга в биоте подтверждают потенциал биоаккумуляции. (*)				В исследованных видах β-ГХГ, по-видимому, носит устойчивый характер.	Полевые данные дают свидетельства потенциала биоаккумуляции гептабромдифенилового эфира.	Имеются также данные, свидетельствующие об аккумуляции короткоцепных хлорированных парафинов у видов рыб из озера Онтарио, Канада.	
Факты обнаружения в отдаленных районах или Арктике	Последние публикации подтверждают передачу через пищевые цепи в Арктике. (*)				Сообщается о присутствии в морских птицах, рыбах и млекопитающих в Арктике. (*)		Полевые исследования в арктических морских пищевых сетях свидетельствуют о том, что бета-ГХГ может биоаккумулироваться на высших трофических уровнях. (*) В наземной арктической пищевой цепи бета-ГХГ может также биомагнифицироваться у млекопитающих. (*)	Несмотря на свой значительный молекулярный вес, соответствующая молекула обнаруживается у высших хищников на уровнях, аналогичных уровням биоаккумулируемых тетра- и пента-БДЭ. (*) Сообщается о концентрациях на уровне 220-270 нг/г липидного веса в яйцах сапсана в северной Швеции и Гренландии. (*)	Сообщается об уровнях короткоцепных хлорированных парафинов у морских млекопитающих из различных регионов Арктики, а также как и из Канады и Гренландии. (*)	Имеется также значительный объем данных мониторинга арктических млекопитающих, птиц, рыб, озерных отложений и мха в отдаленных районах.

	П-БДЭ	ПФОС	Г-БДЭ	Хлордекон	Линдан	α-ГХГ	β-ГХГ	О-БДЭ	КЦХП	ПХБ
Факты обнаружения в грудном молоке					Сообщается о присутствии в грудном молоке среди эскимосов в Арктике и у морских млекопитающих.	Обнаружен в крови и жировых тканях у человека. Обнаружен в грудном молоке и плацентных тканях, что подвергает потомство воздействию в критические периоды развития.	Обнаружен в жировых тканях и в грудном молоке у человека. Обнаружен в плацентных тканях, что подвергает воздействию потомство в критические периоды развития.		Короткоцепные хлорированные парафины обнаружены в грудном молоке.	
Сопоставительный уровень обнаружения других СОЗ					Концентрации линдана у морских млекопитающих обнаруживаются на эквивалентных уровнях или даже более высоких уровнях, чем в случае некоторых из таких более гидрофобных загрязнителей, как ПХБ и ДДТ.		У птиц и особенно у морских млекопитающих β-ГХГ может накапливаться до более высоких уровней, чем другие изомеры.			
Прочее			Дополнительная информация по результатам исследования мичиганского инцидента.	Такая биоаккумуляция является следствием липофильного характера данного химического вещества, для которого значение показателя log Kow составляет 4,50-6,00.		Имеющаяся информация свидетельствует о том, что биоаккумуляция альфа-ГХГ в пищевых цепях превышает биоаккумуляцию линдана.	Имеющаяся информация подтверждает, что потенциал биоаккумуляции β-ГХГ превышает соответствующий потенциал линдана.	Несмотря на свой значительный молекулярный вес, соответствующая молекула обнаруживается у высших хищников на уровнях, аналогичных уровням биоаккумулируемых тетра- и пента-БДЭ. (*)		Пентахлорбензол обнаружен в воздухе отдаленных районов, включая арктический воздух, с диапазоном концентраций от 0,017 до 0,138 нг/м ³ .

Позиции со знаком "*" подпадают под множественные категории.

Добавление 2-2

Данные, свидетельствующие о биоаккумуляции потенциальных СОЗ согласно критериям ii) и iii)

	ПФОС	Линдан	Альфа-ГХГ	Бета-ГХГ	Окта-БДЭ
i) Фактические данные, свидетельствующие о том, что фактор биоконцентрации или фактор биоаккумуляции для данного химического вещества у водных видов превышает 5000 или, в отсутствие таких данных, что log Kow превышает 5;	Значения фактора биоконцентрации для ПФОС ниже, чем критерии отбора (в диапазоне от 240 до 1300 в условиях устойчивого состояния и вплоть до 2796 с использованием динамической оценки) (ссылка 1); ПФОС является поверхностно активным веществом и в результате измерения коэффициента разделения октанол-вода не имеет актуального значения (ссылка 2). Значения фактора биоконцентрации не служат хорошими предсказателями биоаккумуляции для данного вещества, поскольку доказано, что поглощение пищи является одним из основных путей для водных организмов (ссылка 3). Биоаккумуляция не связана с липофильностью, и аккумуляция не происходит преимущественно в липидных тканях;	Данные, отраженные в Критериях гигиены окружающей среды 124 (ссылка 5), указывают на то, что факторы биоконцентрации находятся в диапазоне от 13 до 1240 . Полученные и рассмотренные на коллегиальной основе в Японии значения фактора биоконцентрации составляли от 327 до 893, в соответствии с руководящими принципами ОЭСР по тестированию. В других источниках приводятся измеренные факторы биоконцентрации в мидиях, дафниях и видах рыб в диапазоне от 43 до 4240 , в зависимости от липидного содержания в организме. Что касается фактора биоаккумуляции, то единственная информация здесь содержится в предложении Мексики, в котором приводится значение, составляющее 12 500, что может быть основано на физико-химических свойствах и экологических данных по линдану. Приводимое в предложении Мексики значение log Kow составляет 3,5;	i) Сообщаемый в предложении показатель log Kow составляет 3,8 (ссылка 1). Для беспозвоночных факторы биоконцентрации могут достигать значений от 60 до 2750 (все тело, на основе сухого веса) (ссылка 4). Для рыб факторы биоконцентрации находились в диапазоне от 313 до 2400 (на основе сырого веса) (ссылки 8 и 9);	Сообщаемый в предложении показатель log Kow составляет 3,7. Фактор биоконцентрации для рыб определялся как составляющий 1460 . Другие сообщаемые факторы биоконцентрации для рыб находились в диапазоне от 250 до 1500 на основе сухого веса всего тела (ссылка 5);	Значение log Kow для коммерческого продукта определено как составляющее около 6,29 (ссылка 3). Результаты экспериментов, представленные в докладе Европейского союза по оценке рисков, указывают на то, что окта- и гептабромдифениловые эфиры имеют низкие факторы биоконцентрации (менее 10-36); эти результаты подтверждены данными, представленными и рассмотренными на коллегиальной основе правительством Японии. Тем не менее, установлено, что другие бромированные дифенилэфиры, представленные в коммерческом октабромдифениловом эфире, обладают более значительными факторами биоконцентрации , например, 11 700-17 700 для пентабромдифениловых эфиров (ссылка 3) и 1000-5600 для гексабромдифениловых эфиров (ссылка 3);

	ПФОС	Линдан	Альфа-ГХГ	Бета-ГХГ	Окта-БДЭ
ii) Данные, свидетельствующие о том, что химическое вещество представляет другие причины для беспокойности, такие как высокая степень биоаккумуляции в других видах, высокая степень токсичности или экотоксичности;	Токсикокинетические исследования водных и наземных позвоночных показывают весьма низкие темпы устранения (ссылки 1 и 4). Кроме того, ПФОС показывает последствия для развития млекопитающих при значении на низких уровнях (уровень, при котором не наблюдается неблагоприятного воздействия (УНВВВ), составляющий 0,1 мг/кг веса тела/день у крыс в исследовании двух поколений) (ссылка 1);	i) Биоаккумуляция линдана наблюдается в большинстве таксономических групп - от растений и водорослей до позвоночных. Следует рассматривать экологические последствия сочетания данного потенциала биоаккумуляции с высокой токсичностью - уровни, при которых не наблюдается неблагоприятного воздействия (УНВВВ), составляющие столь низкую величину, как 0,3 мг/кг веса тела/день - и экотоксичности - концентрация, при которой не наблюдается какого-либо воздействия на водные экосистемы (КННВ), составляющая ниже 1 мкг/л (ссылки 5 и 6). Например, когда измеренные полевые уровни в земляных червях (0,3 мг/кг в почве, содержащей 80 мкг/кг) взвешиваются по сравнению с данными о токсичности у млекопитающих (ссылка 5) с использованием реалистического коэффициента поглощения пищи, составляющего 0,63 (ссылка 7), это сопоставление указывает на сферу экотоксикологической беспокойности, которая должна стать объектом дальнейшего изучения;	Факторы биомагнизации для альфа-ГХГ на разных трофических уровнях (зоопланктон, беспозвоночные, рыбы и млекопитающие) находятся в диапазоне от 1 до 16 (ссылки 10 и 11). Согласно полевым исследованиям в арктических морских пищевых сетях показано, что альфа-ГХГ стереоизбирательно биоаккумулируется в морских видах и обладает способностью к биомагнизации в большей степени, чем гамма-ГХГ, в случае которого сообщается о значениях вплоть до 4220 (ссылка 12); Альфа-ГХГ обнаружен в крови и жировых тканях у человека (ссылка 13). Он также обнаружен в грудном молоке и плацентных тканях, что подвергает воздействию потомство в критические периоды развития (ссылки 14, 15 и 16). Из имеющейся информации следует, что степень биоаккумуляции альфа-ГХГ в пищевых цепях выше, чем в случае линдана (ссылка 12);	Полевые исследования в арктических морских пищевых сетях продемонстрировали, что бета-ГХГ может биоаккумулироваться на высших трофических уровнях (ссылка 1). Бета-ГХГ, по-видимому, характеризуется устойчивостью в исследованных видах (ссылки 1, 6 и 7). Факторы биомагнизации для бета-ГХГ в морских пищевых сетях в основном находились в диапазоне от 1 до 18 (с максимальным значением, составляющим 280). У птиц и особенно морских млекопитающих бета-ГХГ может аккумулироваться до более высоких уровней, чем другие изомеры (ссылки 1, 6 и 8). В наземной арктической пищевой цепи бета-ГХГ может также биомагнизироваться у млекопитающих. Моделируемые факторы биомагнизации в случае волков, в зависимости от их возраста, находились в диапазоне от 9 до 109 (ссылка 9); Бета-ГХГ обнаружен в жировых тканях (ссылка 10) и в грудном молоке у человека (ссылки 11, 12 и 13). Он обнаружен в плацентных	Полевые данные содержат фактическую информацию, свидетельствующую о потенциале биоаккумуляции гептабромдифенилового эфира. Сообщается о концентрациях на уровне 220-270 нг/г липидного веса в яйцах сапана в Северной Швеции и Гренландии (ссылки 4 и 5). Эта фактическая информация говорит о том, что, несмотря на свой значительный молекулярный вес, данная молекула обнаруживается у высших хищников на уровнях, аналогичных уровням биоаккумулируемого тетра- и пентабромдифенилового эфира. Кроме того, оценочный период полураспада у человека составляет 100 дней (ссылка 6), свидетельствуя о потенциале биоаккумуляции. В почвенной биоте фактор аккумуляции в почвенных организмах для октабромдифенилового эфира 197 рассчитан как 2 (ссылка 2);

	ПФОС	Линдан	Альфа-ГХГ	Бета-ГХГ	Окта-БДЭ
<p>iii) Данные мониторинга в биоте, указывающие на то, что потенциал биоаккумуляции химического вещества служит достаточным основанием для его рассмотрения в рамках сферы действия настоящей Конвенции;</p>	<p>Данные мониторинга подтверждают биоаккумуляцию и биомагнификацию ПФОС как в наземных, так и в морских млекопитающих (ссылка 4);</p>	<p>ii) Сообщается о присутствии линдана у морских птиц, рыб и млекопитающих в Арктике (ссылка 1). Установлено, что концентрации линдана у морских животных находятся на эквивалентных уровнях или даже более высоких уровнях, чем в случае некоторых из таких более гидрофобных загрязнителей, как полихлорированные дифенилы (ПХД) и ДДТ (ссылка 1). Кроме того, сообщается о присутствии линдана в грудном молоке у эскимосов в Арктике и у морских млекопитающих (ссылка 8);</p>		<p>тканях, что подвергает воздействию потомство в критические периоды развития (ссылка 14). Кроме того, имеющаяся информация подтверждает, что потенциал биоаккумуляции бета-ГХГ выше, чем у линдана (ссылка 1).</p>	

Добавление 3

Значимость периода биологического полураспада для оценки биоаккумуляции

1. Данные о периоде биологического полураспада

Период биологического полураспада определяется как время, необходимое для того, чтобы химическое вещество утратило половину своей первоначальной величины за счет метаболизма в организме и выведения из него.

За редкими исключениями, получаемые в результате метаболиты являются более гидрофильными, в силу чего они выводятся более быстро, чем материнские вещества. Следовательно, период полураспада является одним из важных параметров сокращения потенциала биоаккумуляции.

2. Значимость данных о периоде биологического полураспада

Пример 1: Руководство по выявлению ВВСО (вещества, вызывающие весьма серьезную обеспокоенность)

Европейским агентством по химическим веществам (2007) опубликовано руководство по выявлению ВВСО. Что касается критерия биоаккумуляции, то в качестве показателя потенциала биоаккумуляции вещества используется ФБК в водных организмах. Данные, которые могли бы также использоваться для демонстрации или подтверждения высокого потенциала биоаккумуляции по отношению к обеспокоенности в части эквивалентов, включают данные о периоде полураспада: "Данные о поглощении и метаболизме по результатам лабораторных исследований других видов, в том числе видов млекопитающих".

Пример 2: Оценка потенциала биоаккумуляции с использованием показателя log Kow

В случае липофильных веществ предполагается существование корреляций между значениями log Kow и ФБК. Вместе с тем очевидно, что имеются существенные расхождения между измеренными и рассчитанными значениями ФБК, которые становятся более выраженными с увеличением значения log Kow (United Nations (2005)).

Причины этих расхождений объясняются сокращением динамики мембранного проникания, сокращением биотической растворимости липидов в крупных молекулах, такими экспериментальными построениями, как недостижение равновесия, и аналитическими ошибками.

Одной из таких причин также считается метаболизм. Рыбы способны метаболизировать многие разные классы ксенобиотиков, а некоторые из ферментов, катализирующих эти реакции, выявлены и охарактеризованы. Метаболиты, являющиеся продуктом реакции биотрансформации, обладают иными физическими и химическими свойствами, чем их материнские вещества. Потенциал биоаккумуляции может быть сокращен за счет видоизменения вещества в более гидрофильное производное.

Пример 3: Оценка потенциала биомагнификации

См. [Использование данных мониторинга для оценки биоаккумуляции].

3. Факторы, сказывающиеся на данных о периоде биологического полураспада

В проверках на биоконцентрацию у рыб оценки периода полураспада можно рассчитать на основе изменения химической концентрации или изменения химического содержания (нагрузка на тело) за удельную единицу времени. Различие между двумя единицами расчета обусловлено увеличением веса тела, т.е. "ослаблением роста", за время исследования. Рост может стать одним из важных факторов в исследованиях стойких химических веществ в тех случаях, когда соответствующие уровни являются объектом мониторинга на протяжении длительного периода времени (Niimi, A.J. (1987)).

Более того, на оценки периода полураспада могут влиять такие факторы, как различия между видами, интервал времени между прекращением воздействия химического вещества и

взятием первых проб, использование соединений с радиоактивной меткой, а также использование перво- и многопорядковой динамики.

В исследованиях токсикокинетики данные о периоде полураспада обычно выводятся из концентраций плазмы. Могут измеряться также уринарные, билиарные или фекальные выделения. Липофильные химические вещества сначала устраняются в фекалии, в связи с чем период полураспада может представляться коротким. Вместе с тем часть того, что поглощается организмом, может сохраняться в липидных тканях длительное время, результатом чего является более продолжительный период полураспада.

Ссылки:

European Chemicals Agency (2007) Guidance for the preparation of an Annex XV dossier on the identification of substances of very high concern.

Niimi, A.J. (1987) Biological half-lives of chemicals in fishes, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 99, 1-46.

United Nations (2005) Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (ghs), Annex 9 Guidance on hazards to the aquatic environment.

Добавление 4

Использование данных мониторинга для оценки биоаккумуляции

1. Использование данных мониторинга

При использовании данных мониторинга для оценки потенциала биоаккумуляции должна проявляться осмотрительность. Европейским агентством по химическим веществам (2007) опубликовано руководство в отношении использования данных мониторинга по результатам полевых исследований.

"Данные измерений в биоте служат четким показателем того, что вещество поглощается организмами. Вместе с тем аналитическое обнаружение веществ в организме само по себе не всегда является показателем того, что происходила или происходит существенная биоаккумуляция или биоаккумуляция, которая привела бы к последствиям в биоте.

Истолкование таких данных с точки зрения фактических факторов биоаккумуляции или биомагнификации может быть особенно затруднительным в тех случаях, когда источники и уровни воздействия (например, через воду, а также пищу) не известны или не могут быть оценены достаточно обоснованно."

2. Соображения, связанные с использованием данных мониторинга для оценки биоаккумуляции

а) Фактор биомагнификации (ФБМ) путем передачи через пищевые сети

Хотя имеются различные определения биомагнификации, в документе POPRC1 (2005) она характеризуется следующим образом:

"Биомагнификация является процессом, посредством которого концентрации химического вещества обычно выражаются на нормализованной липидной основе. Биомагнификация является результатом передачи химического вещества на трофических уровнях через питание с более низкого трофического уровня на более высокий".

Ввиду значительной изменчивости подходов к расчету фактора биомагнификации (ФБМ), для оценки критерия биоаккумуляции вместо ФБМ следует использовать потенциал биомагнификации. В случае выявления потенциала биомагнификации его следует рассматривать как вызывающий конкретную обеспокоенность при оценке критерия 1 с).

При сопоставлении концентрации между трофическими уровнями по ФБМ следует использовать концентрацию на основе липидов. Значения ФБМ, основанные на весе всего тела, как правило, бывают ниже, чем ФБМ на липидной основе.

ФБМ = концентрация химического вещества в организме на липидной основе/концентрация химического вещества в пище на липидной основе.

В работе Schwarzenbach, R.P. (2003) сообщается о некоторых примерах концентраций конкретных хлорорганических соединений в организмах, образующих простые пищевые цепи или пищевые сети. Если ФБМ > 1, то считается, что произошла передача хищнику более высокого уровня. Вместе с тем метаболизм и очищение в таких микроорганизмах, как планктон, протекают быстрыми темпами, в связи с чем отсутствие равновесия между трофическими уровнями с трудом поддается установлению.

ФБМ имеет тенденцию к увеличению по мере увеличения липидной растворимости химического вещества. Это, как правило, обуславливается медленным процессом устранения. В случае таких химических веществ с относительно низкой растворимостью липидов, как ГХГ (Kow=3,8), процесс устранения протекает быстрее, в связи с чем потенциал биомагнификации уменьшается.

У хищников высокого уровня, способных метаболизировать химические вещества, ФБМ может быть ниже единицы. Например, птицы могут биотрансформировать ГХГ более легко, чем их добыча, в связи с чем ФБМ ГХГ у морских птиц составляет 0,3.

b) Временной тренд данных мониторинга

Временной тренд данных может также представлять весьма полезную информацию с точки зрения того, происходит ли со временем нарастание уровней вещества в окружающей среде, хотя и в этом случае истолкование таких данных не всегда бывает прямолинейным.

c) Сопоставление с измеренными концентрациями существующих СОЗ

Сопоставление с измеренными концентрациями таких веществ с высокой степенью биоаккумуляции, как существующие СОЗ, может служить ориентиром для потенциала биоаккумуляции.

d) Данные проб по результатам обнаружения на высоких уровнях

Хотя аккумуляция органических соединений обычно происходит в печени или липидных тканях, данные об обнаружении в других частях тела (например, белок крови) могут помочь выявить конкретную динамику аккумуляции химического вещества и истолковать механизм аккумуляции.

Хотя ФБК обычно выводится из экспериментов с водными организмами, данные об обнаружении на высоких уровнях в других организмах (например, наземные организмы) могут помочь обнаружить организмы, подверженные биоаккумуляции, и истолковать механизм аккумуляции.

3. Оценка качества данных мониторинга

Одним из важных факторов, который следует принимать во внимание в отношении данных мониторинга, является качество этих данных. Многие вещества со свойствами СОЗ с трудом поддаются анализу при низких концентрациях, а использование низкокачественных данных может привести к выведению ошибочных заключений. Программой арктического мониторинга и оценки (АМАР, 2001) опубликованы рекомендации в отношении оценки качества данных мониторинга для использования при определении пространственных и временных трендов и истолкования других видов данных. На основе соображений, связанных с гарантией качества, предлагаются следующие четыре категории данных:

- a) данные, свидетельствующие о сертификации или отражении в документации гарантии качества на всех стадиях процесса сбора данных;
- b) некоторые элементы процесса гарантирования качества (ГК)/контроля качества (КК) могут быть отражены в документации (но не всегда бывают полностью охарактеризованы, например, в опубликованных докладах);
- c) данных о процедурах ГК/КК не имеется, однако результаты не противоречат другим докладам, касающимся проб тех же видов;
- d) отсутствие свидетельств о ГК или сопоставимости данных с потоком сертифицированных данных.

АМАР рекомендует, что для исследования пространственных и временных трендов или истолкования базовых данных других видов следует принимать только данные в категориях А или В. Данные категории С можно использовать для показа относительных трендов при условии, что они внутренне согласованы. В процессе оценки не следует использовать данные категории D.

4. Факторы изменчивости данных мониторинга

Имеется множество факторов, которые могут сказываться на данных мониторинга, и некоторые из этих факторов тесно связаны друг с другом. В работе *Borga et al. (2004)* приводятся предложения относительно последствий этих факторов, как подытоживается ниже.

Липиды

Содержание липидов в организме различается в зависимости от таких экологических факторов, как сезонные колебания, а также от таких индивидуальных факторов, как возраст, пол, величина тела и репродуктивная стадия. Хотя в исследованиях биоаккумуляции для учета такой

изменчивости используются нормализованные концентрации липидов, следует рассматривать влияние этих факторов.

Организмы, живущие в таких районах с холодной температурой, как Арктика, имеют тенденцию к аккумуляции значительного объема липидов в своем теле для сохранения энергии в качестве стратегии выживания в холодном климате. Большинство СОЗ характеризуются высокой степенью растворимости липидов и разделением в липидную фазу, в связи с чем они обнаруживаются на высоких уровнях в арктической биоте.

Сезонные колебания

В Арктике на аккумуляции СОЗ сказываются сезонные изменения интенсивности солнечного излучения.

На биодоступность СОЗ в толще воды влияют образование и таяние льдов или изменения содержания органических веществ в воде вследствие сезонного увеличения или уменьшения первичного производства.

Увеличение первичного производства приводит к избытию пищи, в результате чего увеличивается величина тела и/или содержание липидов в организме. Увеличение содержания липидов позволяет увеличить сохранение липофильных химических веществ.

Жизненный цикл

В случае пелагических организмов увеличение массы тела приводит к сокращению относительной площади поверхности и тем самым к сокращению устранения через поверхность тела.

В случае растущих организмов, особенно птиц и млекопитающих, очевидная концентрация СОЗ уменьшается с увеличением массы тела (ослабление роста).

В случае зрелых организмов концентрации СОЗ имеют тенденцию к увеличению с возрастом, поскольку многие из этих веществ характеризуются стойкостью и весьма медленно устраняются.

На процесс аккумуляции и/или устранения СОЗ могут влиять происходящие с возрастом изменения в питании или среде обитания.

Женские особи млекопитающих на репродуктивной стадии устраняют СОЗ, накопленные в их организме, посредством эмбрионов и молока.

Среда обитания

Разная среда обитания различается по таким характеристикам, как структура водной системы (например, глубина толщи воды и отложений) и разбиение химического вещества между отделениями.

СОЗ имеют тенденцию адсорбироваться к частицам и осаждаться в отложения, в связи с чем установлено, что их содержание выше в бентических организмах, чем в пелагических организмах на том же самом трофическом уровне. Глубоководные рыбы, живущие в среде обитания с более значительным взаимодействием между отложениями и водой, аккумулируют больший объем СОЗ, чем рыбы, обитающие у поверхности воды.

Мигрирующие организмы подвержены воздействию различных уровней СОЗ за время их жизненного цикла в зависимости от региональных различий.

Метаболизм (биотрансформация)

Потенциал биоаккумуляции и биомагнификации химического вещества определяется скорее темпами метаболизма, а не поглощения.

Из фактора высокой степени биоаккумуляции не обязательно вытекает высокий потенциал биомагнификации в тех случаях, когда химическое вещество может метаболизироваться.

Способность организма к метаболизму в значительной степени зависит от конкретного химического вещества и различается среди видов, а также в зависимости от возраста, массы тела, пола и т.д.

Не исключено, что метаболиты характеризуются большей степенью стойкости, биоаккумулятивности и/или токсичности, чем материнское соединение.

Трофическая позиция

Когда тот или иной организм, находящийся на более высокой трофической позиции, потребляет свою добычу, накопленные добычей химические вещества поглощаются из пищи.

В случае стойких и биоаккумулятивных веществ типа СОЗ медленное устранение из тела организмов на каждом трофическом уровне приводит к увеличению концентрации в организмах на следующем уровне.

ФБМ имеют тенденцию к усилению вместе с ростом трофического уровня. Однако метаболическое преобразование химического вещества у хищников вызывает достижение хищником более низкой концентрации, чем концентрация в его добыче (трофическое ослабление).

Ссылки:

AMAP (2001) Guidelines for the AMAP Phase 2 Assessments. Arctic Monitoring and Assessment Programme. AMAP Report 2001:1.

Borga, K., Fisk, A.T., Hoekster, P.F., and Muir, D.C.G. (2004) Biological and chemical factors of importance in the bioaccumulation and trophic transfer of persistent organochlorine contaminants in arctic marine food webs. Environ. Toxicol. Chem., 23, 10, 2367–2385.

European Chemicals Agency (2007) Guidance for the preparation of an Annex XV dossier on the identification of substances of very high concern.

Schwarzenbach, R.P., Gschwend, P.M., Imboden, D.M. (2003) Environmental Organic Chemistry second edition. Wiley-interscience.

UNEP (2005) Definitions of bioconcentration, bioaccumulation and biomagnification, Persistent Organic Pollutants Review Committee, First meeting.

Добавление 5

Взаимосвязи между ФБК и ФБА

1) Факторы биоконцентрации (ФБК)

- Измеряются в лабораторных экспериментах при регулируемых условиях
- Подверженность воздействию исключительно из воды – применимо только к водным видам
- Чистый результат поглощения через дыхательную поверхность (например, жабренная мембрана у рыб) по сравнению с очищением через дыхание, фекальное устранение, биотрансформацию и т.п.
- Обычно рассчитываются как отношение концентрации химического вещества в организме к концентрации в воде при устойчивом состоянии. Если устойчивое состояние не достигается, то используется кинетический метод

2) Факторы биоаккумуляции (ФБА)

- Измеряются в лабораторных (модель экосистемы) экспериментах или полевых исследованиях
- Подверженность воздействию из внешней среды (воздух, вода, отложения, почва) и питания – применимо также к неводным видам
- Чистый результат поглощения через оба пути (дыхательная поверхность и пища) в сравнении с очищением
- Рассчитываются как отношение концентрации химического вещества в организме к концентрации во внешней среде
- ФБА у бентических организмов выражается как фактор аккумуляции в биоте-седиментах (ФАБС)
- Отношение концентрации химического вещества в организме к концентрации в его пище (добыча) выражается как фактор биомагнификации (ФБМ)
- Результаты экспериментов с питанием применительно к биоаккумуляции (исследования с использованием кормления) выражаются в ФБМ

3) Корреляция между значениями ФБК (фактор биоконцентрации) и ФБА (фактор биоаккумуляции)

- В случае многих химических веществ ФБА имеет тенденцию иметь более высокий уровень, чем ФБК, что возможно объясняется увеличением путей подверженности воздействию
- В таблице 1 перечисляются сводные статистические данные по пяти химическим веществам, отобранным в тематическом исследовании для сопоставления ФБК и ФБА одного и того же химического вещества у видов рыб (Arnot, J.A. et al. (2006)). В случае химических веществ, о которых известно, что они биомагнифицируются в пищевых сетях, полевые ФБА могут быть почти на два порядка величины больше, чем ФБК по результатам лабораторных экспериментов. Однако, согласно наблюдениям, некоторые химические вещества имеют более значительную степень ФБК, чем ФБА

Таблица 1. Проведенное в рамках тематического исследования сопоставление приемлемых значений фактора биоконцентрации (ФБК) и фактора биоаккумуляции (ФБА) у рыб для пяти химических веществ (Arnot, J.A. et al. (2006))

Химическое вещество (критическая точка)	Log Kow	n	Регистрационное значение диапазона (СКО)	Срединное регистрационное значение	Среднее регистрационное значение (СО)
Хлорбензол (ФБК)	2,84	2	1,13-1,34 (0,15)	1,24	1,24 (0,11)
Хлорбензол (ФБА)	2,84	3	1,81-2,88 (0,55)	2,09	2,26 (0,32)
Линдан (ФБК)	3,72	33	2,16-3,32 (0,35)	2,84	2,80 (0,06)
Линдан (ФБА)	3,72	4	3,43-3,97 (0,25)	3,90	3,80 (0,13)
Гексахлорбензол (ФБК)	5,73	21	3,57-4,70 (0,32)	4,26	4,12 (0,07)
Гексахлорбензол (ФБА)	5,73	26	3,91-5,74 (0,48)	4,75	4,74 (0,09)

Химическое вещество (критическая точка)	Log Kow	<i>n</i>	Регистрационное значение диапазона (СКО)	Срединное регистрационное значение	Среднее регистрационное значение (СО)
<i>p,p'</i> -ДДТ (ФБК)	6,91	5	4,17-4,72 (0,27)	4,65	4,48 (0,12)
<i>p,p'</i> -ДДТ (ФБА)	6,91	7	5,84-6,62 (0,27)	6,33	6,31 (0,10)
ДЭХП (ФБК)	7,73	6	2,43-2,98 (0,18)	2,79	2,76 (0,07)
ДЭХП (ФБА)	7,73	2	1,86-2,83 (0,69)	2,35	2,35 (0,49)

Примечание: *n* - количество наблюдений; СКО – среднее квадратическое отклонение; СО – стандартная ошибка в среднем значении; и *p,p'*-ДДТ – 1,1-(2,2,2-трихлорэтилен)бис(4-хлорбензол); ДЭХП – 1,2-бензолдикарбоксилициловая кислота, сложный эфир бис(2-этилгексил).

4) Неопределенность при оценке выведенных в полевых условиях значений ФБА

- Фоновая концентрация за прошлые периоды не известна
- Биодоступность химического вещества зависит от условий на конкретном объекте (температура, содержание органического углерода...)
- Влияние временных и пространственных факторов (сезонные колебания, географические характеристики и т.п.)
- Различия между видами (питание, трофическая позиция, среда обитания, метаболизм и т.п.)
- Различия в статусе отдельных организмов (возраст, пол, репродуктивная стадия, величина тела, содержание липидов и т.п.)
- Трудности измерения химического вещества во внешней среде в случаях, когда степень концентрации исключительно низка (т.е. близка к пределу обнаружения)
- Влияние совокупной подверженности воздействию других химических веществ

Ссылки:

Arnot, J.A. and Gobas, F.A.P.C (2006) Review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. Environ. Rev. 14:257-297.

Добавление 6

Коэффициент разделения октанола/воздуха и биоаккумуляция

1. Введение

Поскольку вещества типа СОЗ имеют тенденцию к разделению скорее на липидную стадию, а не водную, коэффициенты разделения октанола-воды (K_{ow}) используются в качестве показателя потенциала биоаккумуляции. Считается, что химические вещества с низким показателем K_{ow} имеют низкий потенциал биоаккумуляции в водных организмах, поскольку они легко устраниваются в воду. Вместе с тем сообщалось о том, что в случае наземных организмов, которые дышат воздухом, а не водой, химические вещества с высоким показателем K_{oa} могут иметь высокий потенциал биоаккумуляции, несмотря на низкие значения K_{ow} , поскольку они с трудом устраниваются в воздух.

2. Log K_{oa} и биоаккумуляция

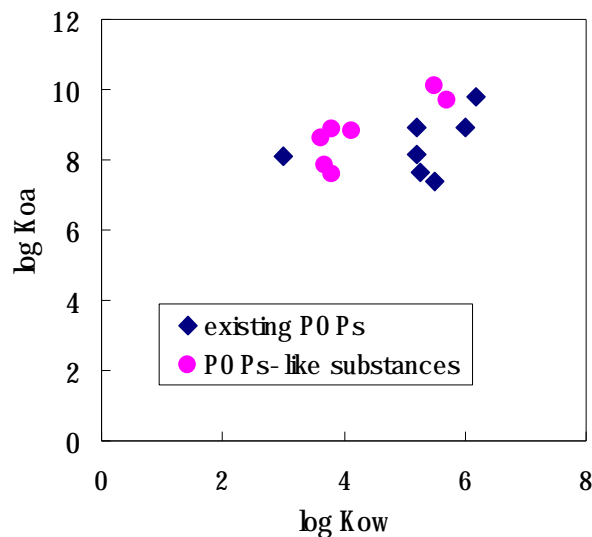
Согласно работе Kelly et al. (2007), такие вещества с относительно низкими значениями K_{ow} , как ГХГ ($K_{ow}=10^{3,8}$), тетрахлорбензолы ($K_{ow}=10^{4,1}$) и эндосульфат ($K_{ow}=10^{3,8}$), которые не биомагнифицируются в водной пищевой сети, показывают высокую степень биоаккумуляции в наземной пищевой сети или у дышащих воздухом организмов пищевой сети морских млекопитающих. Аналогичные заключения сообщались также относительно ПФОС ($K_{ow}<10^5$). Это может обуславливаться высоким показателем K_{oa} ($\geq 10^6$), вызывающим медленное респираторное устранение в сочетании с не столь низким показателем K_{ow} ($>10^2$), вызывающим медленное устранение в моче или азотсодержащих отходах у дышащих воздухом организмов.

Проведенный теми же авторами анализ показал, что дышащие воздухом организмы проявляют более высокие показатели ФБМ, чем дышащие водой организмы, ввиду их большей способности поглощать и усваивать свое питание, что связано с различиями в физиологии пищеварительного тракта и температурой тела.

	lg K_{ow}	lg K_{oa}
Альдрин	3,01	8,08
Дильдрин	5,2	8,9
Эндрин	5,2	8,13
сис-хлордан	6	8,92
p,p'-ДДТ	6,19	9,82
ГХБ	5,5	7,38
Гептахлор	5,27	7,64
Линдан	3,7	7,85
α -ГХГ	3,81	7,61
β -ГХГ	3,8	8,88
δ -ГХГ	4,14	8,84
Эндосульфат	3,62	8,64
p,p'-ДДЭ	5,7	9,68
p,p'-ДДД	5,5	10,1

◆ существующие СОЗ

● вещества типа СОЗ



Log K_{ow} и Log K_{oa} существующих СОЗ и веществ типа СОЗ

3. Измерение K_{oa}

В работе Shoeib et al. (2002) измеряется показатель K_{oa} 19 хлорорганических пестицидов.

Газообразный азот (темпы потока: 200-300 mL/мин) насыщался октанолом путем обрызгивания через колонку высотой приблизительно 20 см, а затем пропускался через охлаждающую батарею в октаноловую ловушку для обеспечения конденсации избыточного октанола до достижения генераторной колонки.

Как охлаждающая батарея, так и октаноловая ловушка и генераторная колонка погружались в регулируемую термостатом ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) водяную ванну, которая всегда была, по меньшей мере, на 10°C прохладнее, чем октанол, используемый для насыщения газового потока.

Генераторная колонка представляла собой стеклянные шарики, покрытые 300 μ л смешанного типового октанолового раствора. Химические вещества на уравновешенной газовой фазе в газовом потоке, выходящем из генераторной колонки, собирались на адсорбентную ловушку, которая содержала приблизительно 20 г консолидированного С18 кремния.

Для определения совокупных типовых объемов темпы потока измерялись на выходе адсорбентной ловушки.

Ловушки извлекались с использованием 15 мл 50:50 гексана: дихлорметана (v/v), а затем сокращались в объеме приблизительно до 500 μ л с помощью несильной струи азота. Концентрированные вытяжки анализировались с использованием газового хроматографа.

4. Прочая информация по Коа

В работе Kelly et al. (2007) сообщалось о том, что показатели Коа ГХГ значительно различаются среди изомеров. Значения \log Коа относительно α -ГХГ (с приданным значением на уровне 1) составляют, соответственно, 19, 1,7 и 22 для изомеров β -, γ - и δ -ГХГ. Кроме того, обнаружена логарифмическая взаимосвязь между показателем Коа и обратным значением абсолютной температуры.

Ссылки:

Kelly et al. (2007). Food-web specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science*, 317, 236-239.

Shoeib et al. (2002). Using measured octanol-air partition coefficients to explain environmental partitioning of organochlorine pesticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 21, No. 5, 984-990.