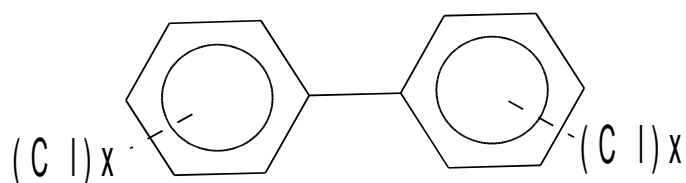


## Полихлорированные бифенилы (ПХБ)

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) — группа органических соединений, которая включает все хлорзамещённые производные бифенила, отвечающие общей формуле:



Общая молекулярная структура ПХБ представлена ниже:



Всего существует 209 индивидуальных представителей ПХБ, отличающихся числом (от 1 до 10) и положением атомов хлора в молекуле, которые в англоязычной литературе обозначаются как «congeners», что в переводе на русский означает — «вещь или человек того же вида или категории, что и другой» (сородич, собрат, нечто родственное и т. д.). Этот термин был заимствован и перенесён в отечественную литературу, поэтому представителей ПХБ, а также представителей полихлорированных дибензодиоксинов ([ПХДД](#)) и дибензофуранов ([ПХДФ](#)) называют конгенерами. Конгенеры с одинаковым количеством атомов хлора в молекуле, поскольку имеют одинаковый состав молекул, но разную структуру, подпадают под определение «изомер». Этот факт отмечен в таблице 1. Так, например, в группе конгенов ПХБ с пятью атомами хлора содержится 46 геометрических изомеров пентахлорбифенила. Каждому из представителей ПХБ для удобства идентификации по системе IUPAC присвоен индивидуальный номер от 1 (монохлорбифенил) до 209 (декахлорбифенил), которые приведены в таблице.

Ниже по аналогии с диоксинами показано, как влияет замещение атомов водорода на атомы хлора в молекулах

конгенов ПХБ с соответствующими номерами на липофильность молекулы.

Таблица 1. Липофильные свойства конгенов и изомеров ПХБ.

Количество атомов хлора в молекуле	Номера конгенов и изомеров	Кол-во изомеров в группе	Р-римость в воде (мг/л)	Среднее значение Log Pow для группы изомеров
Бифенил (0)	0	1	7.00	4.00
1	1 — 3	3	5.50	4.61
2	4 — 15	12	2.00	5.09
3	16 — 39	24	0.14	5.55
4	40 — 81	42	0.01	5.98
5	82 — 127	46	0.0010	6.40
6	128 — 169	42	0.0006	6.82
7	170 — 193	24	0.0004	7.16
8	194 — 205	12	0.0001	7.62
9	206 — 208	3	0.00001	7.87
10	209	1	0.000001	8.18

В этом ряду наблюдается быстрое падение растворимости в воде и близкая к линейной ( $R = 0,996$ ) корреляция между количеством атомов хлора в молекуле бифенила или её номером и её коэффициентом распределения в системе октанол/вода, что представлено на графике ниже.

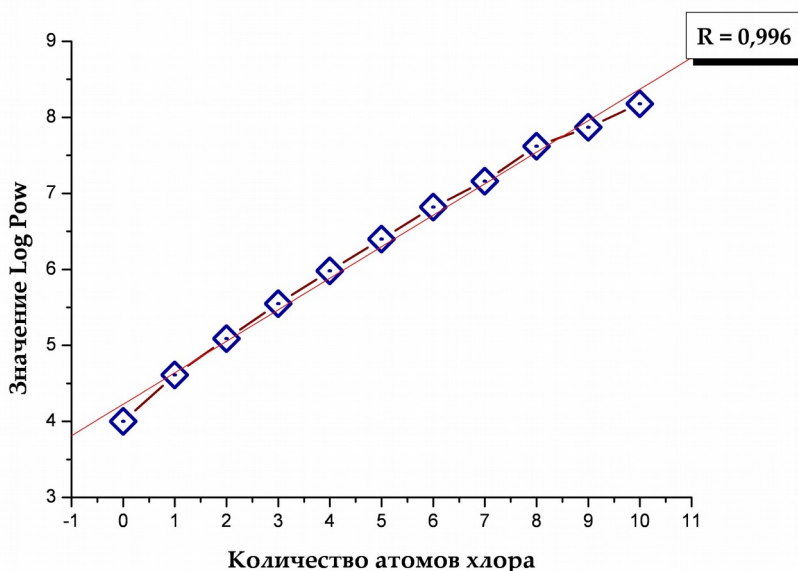


Рисунок 1. Зависимость коэффициента распределения от числа атомов хлора в молекулах полихлорированных бифенилов.

ПХБ находили и находят до сих пор широкое применение в качестве диэлектриков в трансформаторах и конденсаторах, охлаждающих и гидравлических жидкостей в теплообменных системах и подъёмных механизмах, входили в состав пластификаторов, красок, лаков, смазочных масел и пр. Промышленное производство ПХБ в СССР было начато в конце 30-х годов XX столетия. За весь период производства этих соединений в нашей стране с 1939 г. по 1993 г. было произведено более 180 тыс. т ПХБ различных марок. В мире по разным оценкам объём производства исчислялся в миллионах тонн. Принято считать, что около 30% от всего произведенного объёма ПХБ по разным причинам оказалось в виде загрязнений в окружающей среде и в настоящее время представляют серьёзную угрозу для фауны в целом и для внутренней среды человека в частности. Следует отметить, что ПХБ продолжают поступать в окружающую среду и в настоящее время. Это касается той доли мировых запасов этих веществ, которые в своё время имели «открытое» применение в виде пластификаторов, лаков, красок, герметиков, смазочных масел и гидравлических жидкостей. Так, например, одна Германия до сих пор ежегодно эмитирует в окружающую среду от 7 до 12 т разных смесей ПХБ из открытых источников. Опасность, создаваемая ПХБ для представителей фауны и человека, связана с миграцией этих веществ по вертикали пищевых цепей с постепенным накоплением этих липофильных веществ в жировой ткани и последующим отсроченным проявлением их токсических эффектов, которые выражаются в мутагенезе, тератогенезе, канцерогенезе, нарушениях в эндокринной,

нервной и иммунной системах, а также в негативном влиянии на печень, почки и кожу. Всё сказанное о биологических свойствах **СОЗ** в соответствующем разделе в полной мере относится и к ПХБ.

В первую очередь это относится к хищным позвоночным и человеку, которые занимают высшие ступени пищевых цепей. Следует учитывать при этом, что все промышленные марки ПХБ представляют собой сложные смеси конгенов и изомеров с разным содержанием хлора. Вместе с тем, показано, что все эти смеси наряду с ПХБ **всегда** в тех или иных концентрациях содержат намного более токсичные ПХДД и ПХДФ.

В таблице ниже представлены так называемые «индикаторные» ПХБ, которые по мнению специалистов в наибольшем количестве распространены в окружающей среде.

Таблица 2. «Индикаторные» ПХБ

№	Наименование	Номер конгенера	Номер CAS
1	2,4,4'-Trichlorobiphenyl	28	7012-37-5
2	2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl	52	35693-99-3
3	2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl	101	37680-73-2
4	2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl	118	31508-00-6
5	2,2',3,4,4',5'- Hexachlorobiphenyl	138	35065-28-2
6	2,2',4,4',5,5'- Hexachlorobiphenyl	153	35065-27-1
7	2,2',3,4,4',5,5'- Heptachlorobiphenyl	180	35065-29-3

Наибольшей острой токсичностью для теплокровных обладают ПХБ, представленные в следующей таблице. Для наглядности указана токсичность веществ по сравнению с наиболее токсичным из всех известных представителей СОЗ — ТХДД, который всегда присутствует в смесях ПХБ, особенно в «отработанных».

Таблица 3. Относительная токсичность «диоксиноподобных» ПХБ

№	Наименование	Уровень токсичности (%)
1	2,3,7,8-Тетрахлордибензо-п-диоксин (ТХДД)	<b>100</b>
2	2,3,4,4',5- Пентахлобифенил (114)	0,05
3	3,3',4,4',5-Пентахлобифенил (126)	<b>10</b>
4	2,3,3',4,4',5-Гексахлобифенил (156)	0,05
5	2,3,3',4,4',5'-Гексахлобифенил (157)	0,05
6	3,3',4,4',5,5'-Гексахлобифенил (169)	<b>1</b>

Остальные конгенеры обладают меньшей острой токсичностью, но это не исключает их токсических свойств, которые могут проявляться при их накоплении в жировых тканях и длительном воздействии на различные системы организма.

По аналогии с [ПАУ](#) ниже приводятся сведения о содержании ПХБ в почве, кормах и молоке молочных хозяйств. Самое низкое содержание ПХБ отмечалось в почве разных подмосковных молочных хозяйств. Суммарная концентрация ПХБ (n = 60) в почвах 6 молочных хозяйств варьировала от 0,5 до 2,5 нг/г. Концентрация ПХБ в кормах была несколько выше — от 3,0 до 7,5 нг/мл. Более высокая концентрация ПХБ наблюдалась в молоке — от 25 до 60 нг/г липидной фракции. Ещё более высокие концентрации ПХБ мы наблюдали в крови коров и телят. Эти данные могут быть сопоставлены с нашими данными по содержанию ПАУ в почве, кормах и молоке этих же хозяйств. Следует отметить, что при значительно более низком содержании ПХБ в почве и кормах, их концентрации в молоке сопоставимы. Это ещё раз свидетельствует о высокой степени биоаккумуляции ПАУ и ПХБ в организме коров. Наряду с этим, можно с уверенностью констатировать, что биоаккумуляция ПАУ в некоторой степени компенсируется их

биотрансформацией в системе метаболизма ксенобиотиков и выводом их части в виде более гидрофильных метаболитов из организма, в то время как значительно более низкая степень биотрансформации ПХБ в этой системе увеличивает коэффициенты их биоаккумуляции и степень их переноса в молоко по сравнению с ПАУ по отношению к потребляемым кормам.

## Рекомендуемая литература

1. Юфит С.С. Яды вокруг нас. Цикл лекций. Москва: Джеймс, 2001.
2. Википедия. Полихлорированные бифенилы.  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Полихлорированные\\_дифенилы#Нормирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полихлорированные_дифенилы#Нормирование)  
Wikipedia. Polychlorinated biphenyls.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Polychlorinated\\_biphenyl](https://en.wikipedia.org/wiki/Polychlorinated_biphenyl)
3. Клюев Н.А., Бродский Е.С. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Инф. выпуск № 5 ВИНТИ, Москва, 2000, с. 31-63.
4. IARC Monograph, 2015, POLYCHLORINATED BIPHENYLS AND POLYBROMINATED BIPHENYLS.
5. Weber, R. et al. \ \ Reviewing the relevance of dioxin and PCB sources for food from animal origin and the need for their inventory, control and management \ \ Environ. Sci. Eur., 2018, 30, 42-84.

**А.И.Сотниченко, В.В.Оханов**

**01.01.2020**

**Москва**