

ОТЧЕТ

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ (СОЗ) НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

**ФЦП "Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской
природной территории на 2012-2020 годы"**

*Результаты работы совместной экспедиции ИПМ «НПО «ТАЙФУН» и ЛИН СО
РАН в 2014г.*



Обнинск 2015 г.

Оглавление

1. Введение.....	5
2. Мониторинг атмосферного воздуха.....	8
2.1. Полихлорированные бифенилы (ПХБ).....	10
2.2. Хлорорганические пестициды (ХОП).....	10
2.3. Гексахлорциклогексан (ГХЦГ).....	13
2.4. <i>Цис</i> и <i>транс</i> -Хлорданы; <i>Цис</i> и <i>транс</i> -Нонахлор.....	13
2.5. Токсафены.....	13
2.6. Бромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ).....	17
3. Поверхностные воды.....	18
3.1. Полихлорированные бифенилы.....	18
3.2. Хлорорганические пестициды.....	20
3.3. Токсафены.....	22
3.4. Полибромированные дифениловые эфиры.....	23
3.5. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны (ПХДД/ПХДФ)	23
4. Стойкие органические соединения в почве и донных отложениях.....	24
4.1. Почва.....	24
4.1.1. Хлорорганические пестициды.....	24
4.1.2. Полихлорированные бифенилы.....	25
4.1.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ).....	27
4.2. Донные отложения.....	27
4.2.1. Хлорорганические пестициды.....	27
4.2.2. Полихлорированные бифенилы.....	28
5. Стойкие органические соединения в объектах флоры и фауны оз. Байкал.....	29
5.1. Рыба.....	30
5.1.1. Черный байкальский хариус (<i>Thymallus baicalensis</i> , Dybowski, 1874.)....	30
5.1.2. Байкальский омуль - <i>Coregonus migratorius</i> (Georgi, 1775).....	33
5.1.3. Елец (<i>Leuciscusleuciscus baicalensis</i> , Dybowski, 1874).....	36
5.1.4. Бычок.....	38
5.1.5. Окунь (<i>Percafluviatilis</i> Linnaeus, 1758).....	41
5.2. Зоопланктон.....	42
5.2.1. Хлорорганические пестициды.....	42

5.2.2. Полихлорированные бифенилы.....	43
5.2.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	44
5.3. Фитопланктон	45
5.4. Водоросли	45
5.4.1. Хлорорганические пестициды	46
5.4.2. Полихлорбифенилы	46
5.4.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	47
5.5. ГУБКИ.....	47
5.5.1. Хлорорганические пестициды.....	47
5.5.2. Полихлорбифенилы	48
5.5.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	49
5.6. Ракообразные	49
5.6.1. Хлорорганические пестициды	49
5.6.2. Полихлорированные бифенилы.....	50
5.6.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	52
5.7. Моллюски и прочее	53
5.7.1. Хлорорганические пестициды	53
5.7.2. Полихлорбифенилы	53
5.7.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	53
6. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны	54
7. Заключение	55

1. Введение

Федеральным законом «Об охране озера Байкал» установлена Байкальская природная территория (БПТ), площадью 386 тыс. км², расположенная на территориях трех субъектов Российской Федерации: Иркутской области, Республика Бурятия и Забайкальский край и состоящая из трех функциональных экологических зон: центральной экологической зоны, буферной экологической зоны и экологической зоны атмосферного влияния.

Мониторинг уникальной экологической системы озера Байкал включает мониторинг состояния акватории озера, экологических зон БПТ, на которых формируются влияющие на озеро факторы и состояния флоры и фауны озера.

Особую опасность для экосистемы Байкала представляют стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), включенные в список Стокгольмской конвенции, ратифицированной Россией в 2011 году. Включение СОЗ в состав постоянно контролируемых показателей качества окружающей среды полностью соответствует современным международным стандартам и обязательствам России.

Целью проводимого обследования является получение базовых данных по содержанию СОЗ в различных объектах окружающей среды озера Байкал на текущий момент для долговременного мониторинга и исследования динамики накопления и выведения токсикантов из экосистемы.

Перечень СОЗ, контролируемых в объектах окружающей среды, приведен в таблице 1.1

Таблица 1.1. Стойкие органические загрязнители (СОЗ)

А) Пестициды					
№	Соединение	№	Соединение	№	Соединение
1	Гексахлорбензол	9	Альдрин	17	Октахлорстирол
2	α- ГХЦГ	10	Мирекс	18	Пентахлоранизол
3	β- ГХЦГ	11	2,4'-ДДТ	19	Тетрахлорвератрол
4	γ- ГХЦГ	12	4,4'-ДДТ	20	Трихлорвератрол
5	Гептахлор	13	2,4'-ДДД	21	Оксихлордан
6	Гептахлорэпоскид	14	4,4'-ДДД	22	<i>транс</i> -Хлордан
7	Эндрин	15	2,4'-ДДЕ	23	<i>цис</i> -Хлордан
8	Диэльдрин	16	4,4'-ДДЕ	24	<i>Цис</i> и <i>транс</i> -Нонахлор
Б) Токсичные полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны					
№	Соединение	№	Соединение	№	Соединение
1	2,3,7,8-ТХДД	7	ОХДД	13	2,3,4,6,7,8- ГкХДФ
2	1,2,3,7,8-ПеХДД	8	2,3,7,8-ТХДФ	14	1,2,3,7,8,9- ГкХДФ
3	1,2,3,4,7,8-ГкХДД	9	1,2,3,7,8-ПеХДФ	15	1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ
4	1,2,3,6,7,8-ГкХДД	10	2,3,4,7,8-ПеХДФ	16	1,2,3,4,7,8,9- ГпХДФ
5	1,2,3,7,8,9-ГкХДД	11	1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	17	ОХДФ
6	1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	12	1,2,3,6,7,8- ГкХДФ		

Таблица 1.1. Стойкие органические загрязнители (СОЗ), продолжение

В) Токсичные диоксиноподобные (планарные) полихлорированные бифенилы					
№	Соединение	№	Соединение	№	Соединение
1	#77 [CL4]	6	#123 [CL5]	11	#169 [CL6]
2	#81 [CL4]	7	#126 [CL5]	12	#170 [CL7]
3	#105 [CL5]	8	#156 [CL6]	13	#180 [CL7]
4	#114 [CL5]	9	#157 [CL6]	14	#189 [CL7]
5	#118 [CL5]	10	#167 [CL6]		
Г) Полихлорированные бифенилы (по номенклатуре IUPAC)					
1	# 1 [CL1]	15	28 # [CL3]	29	# 74 [CL4]
2	# 3 [CL1]	16	# 33 [CL3]	30	# 70 [CL4]
3	# 10 [CL2]	17	# 22 [CL3]	31	# 95 [CL5]
4	# 8 [CL2]	18	# 37 [CL3]	32	# 101 [CL5]
5	# 15 [CL2]	19	# 52 [CL4]	33	# 99 [CL5]
6	# 19 [CL3]	20	# 49 [CL4]	34	# 87 [CL5]
7	# 18 [CL3]	21	# 44 [CL4]	35	# 110 [CL5]
8	# 155 [CL6]	22	# 183 [CL7]	36	# 205 [CL8]
9	# 149 [CL6]	23	# 177 [CL7]	37	# 208 [CL9]
10	# 153 [CL6]	24	# 171 [CL7]	38	# 206 [CL9]
11	# 128 [CL6]	25	# 191 [CL7]	39	# 209 [CL10]
12	# 188 [CL7]	26	# 202 [CL8]		
13	# 178 [CL7]	27	# 201 [CL8]		
14	# 187 [CL7]	28	# 199 [CL8]		
Д) Токсафены					
1	2-эндо,3-экзо,5-эндо,6-экзо,8,9,10,10-октахлорборнан (ТОХ 26)				
2	2-эндо,3-экзо,5-эндо,6-экзо,8,8,9,10,10-нонахлорборнан (ТОХ 50)				
3	2,2,5,5,8,9,9,10,10-нонахлорборнан (ТОХ 62)				
Е) Бромированные дифениловые эфиры (антипирены)					
1	2,4,4'-трибромдифениловый эфир (#28 IUPAC)				
2	2,2',4,4'-тетрабромдифениловый эфир (#47 IUPAC)				
3	2,2',4,4',5-пентабром -дифениловый эфир (#99 IUPAC)				
4	2,2',4,4',6-гексабром -дифениловый эфир (#100 IUPAC)				
5	2,2',4,4',5,5'-гексабром-дифениловый эфир (#153 IUPAC)				
6	2,2',4,4',5,6'-гексабром-дифениловый эфир (#154 IUPAC)				
7	2,2',4,4',5',6-гептабром -дифениловый эфир (#183 IUPAC)				
8	Декабромдифениловый эфир (#209 IUPAC)				

Данные исследований загрязнения БПТ антропогенными соединениями, проводимые в предыдущие годы имеют различную степень точности и достоверности. Методики анализа и используемая аналитическая аппаратура зачастую имели недостаточную чувствительность, что не позволяло надежно идентифицировать и количественно определять содержание многих видов СОЗ. Ряд соединений просто не

попадал в поле зрения исследователей. В то же время, получаемые данные для одних и тех же районов у различных исследователей, могли отличаться в десятки раз.

В текущей работе для идентификации и количественного определения содержания СОЗ в различных объектах применялись самые совершенные на настоящее время методы анализа – хромато-масс-спектрометрия высокого разрешения на приборах последнего поколения (DFS-HR и Agilent7200 Q-TOF) с изотопным разбавлением, что позволяло проводить максимально достоверную идентификацию аналитов и определять их количественное содержание.

Обобщенные результаты анализов содержания СОЗ в объектах окружающей среды озера Байкал изложены в разделах 1 – 6 настоящего отчета. Полностью же результаты мониторинга СОЗ приведены в ***Приложении***.

2. Мониторинг атмосферного воздуха

Атмосферный перенос СОЗ является одним из значимых факторов попадания и накопления антропогенных токсикантов в водах и биообъектах оз. Байкал. При этом ряд соединений, не применявшихся в СССР и РФ, попадают в экосистему за счет дальнего трансграничного переноса. Систематического контроля атмосферного переноса СОЗ до сих пор не проводилось. Следует отметить, что определенная часть высокотоксичных СОЗ промышленного происхождения (ПХБ, гексахлорбензол и т.п.) может попадать в акваторию озера из Иркутского промышленного узла – Усолье-Сибирское, Ангарск, Иркутск. Перенос токсикантов обусловлен в значительной мере тем, что промышленные центры расположены на линии преобладающих ветров, направленных в сторону оз. Байкал.



Методология количественного измерения поступления СОЗ путем воздушного переноса включает два аспекта:

а) постоянный активный пробоотбор значительных объемов воздуха с использованием стационарных установок в различных точках акватории озера с концентрированием аэрозольной и паровой компонентов СОЗ на аэрозольные фильтры и сорбенты,

б) пассивный пробоотбор СОЗ на сорбционные ловушки.

При этом пассивный пробоотбор позволяет оценить локальное выпадение СОЗ. Корреляция этих двух методов дает возможность оценить количественное поступление СОЗ в экосистему за счет воздушного переноса.

В период 2013-2014 г. силами НПО «Тайфун» и Иркутского УГМС в южной части озера Байкал (метеостанции п. Листвянка, Култук, Танхой) установлены и запущены три станции мониторинга СОЗ в атмосфере. Станции представляют собой установки **Tisch TE1123** позволяющие проводить непрерывный отбор пробы воздуха в течение недели с концентрированием аналитов на аэрозольные фильтры и сорбенты. При этом объем еженедельной пробы составлял от 3 до 5 тысяч кубических метров. Установки расположены на линии преобладающих ветров, проходящих через промышленную зону Иркутской области (Ангарск, Усолье-Сибирское, Иркутск) и проводили синхронный отбор проб в период июнь – октябрь 2014г. В дополнение к установкам активного отбора проб воздуха на станциях мониторинга установлены пассивные пробоотборники, контролирующие интегральное поступление СОЗ за период 3 месяца.

Данные анализа проб зафиксировали атмосферный перенос ПХБ, токсафенов, как традиционных, так и неиспользовавшихся в РФ пестицидов, а так же нового класса СОЗ – бромированных антипиренов. Использование эффективных стекловолоконистых аэрозольных фильтров типа TFAGF-41 позволяющих улавливать аэрозольные частицы размером более 0.3 мкм с эффективностью 99, 97% дало возможность установить, что доля СОЗ, переносимая в виде аэрозолей составляет 8-12% от общего количества веществ, концентрируемых из атмосферы. Месторасположение установок мониторинга загрязнения атмосферного воздуха указано на рисунке 2.1.

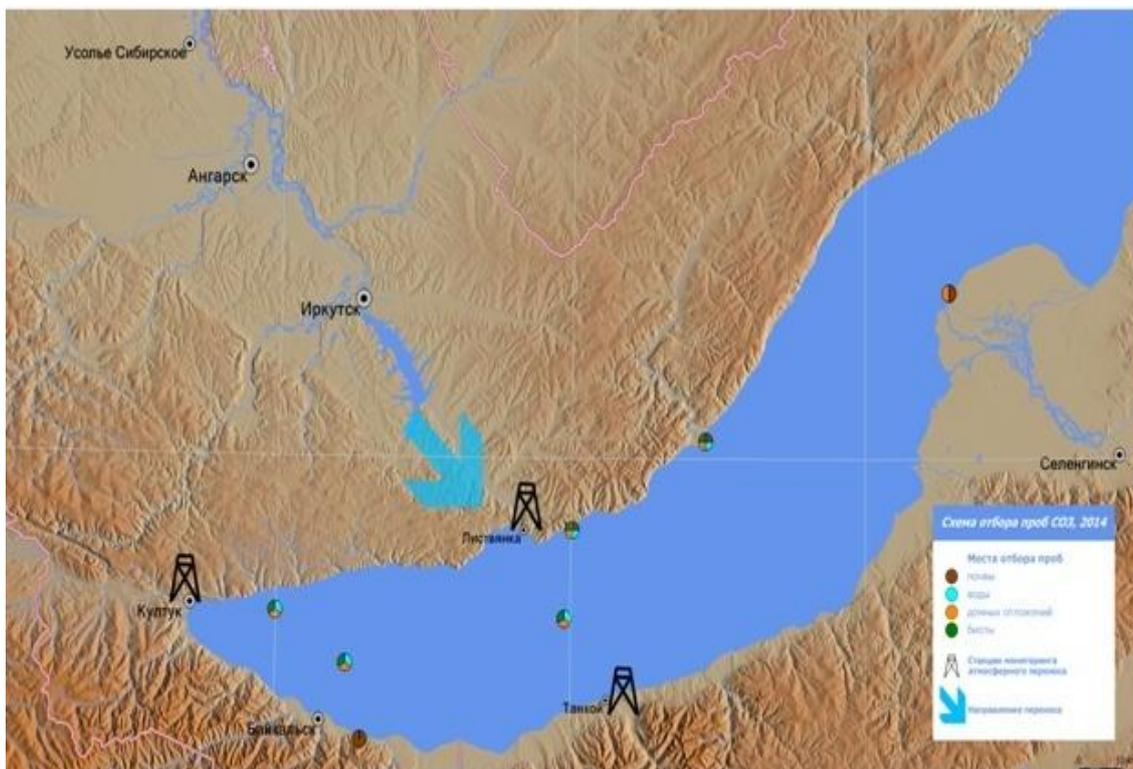


Рис.2.1. Месторасположение установок мониторинга воздуха

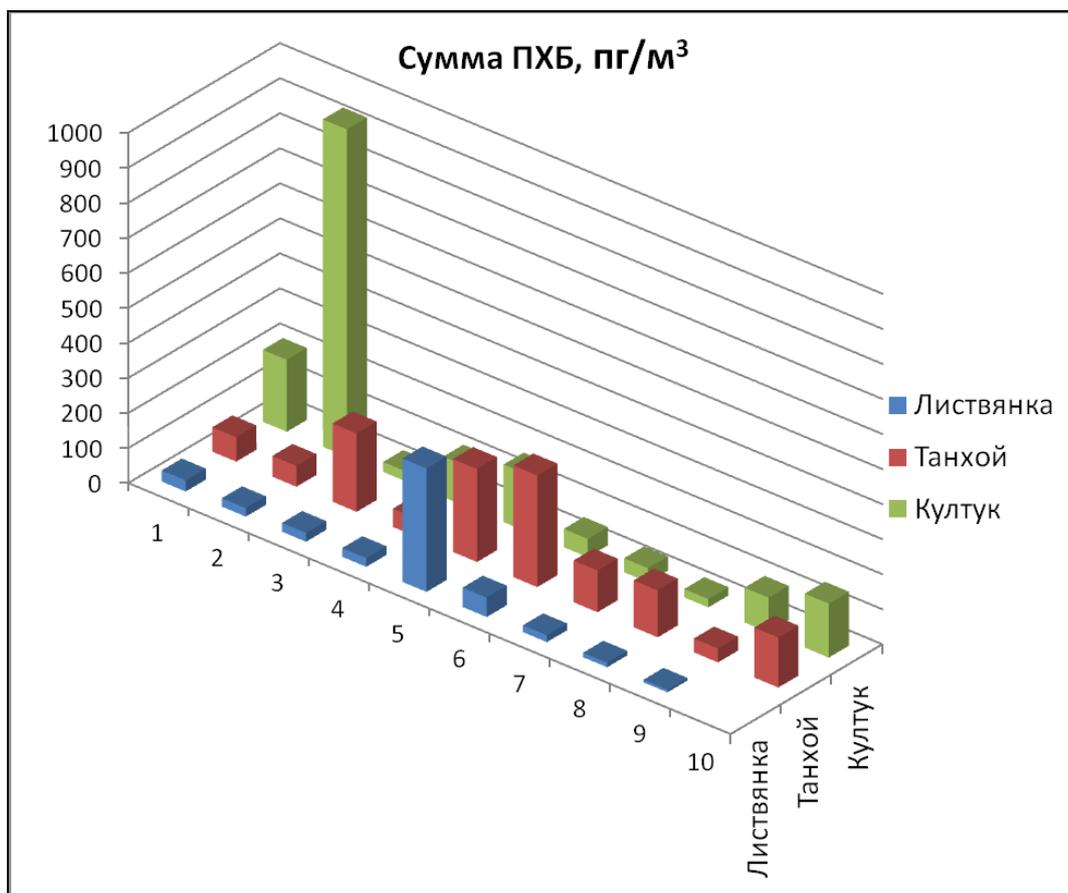


Рис. 2.2. Суммарное содержание конгенов ПХБ в атмосферном воздухе, пг/м³

2.1. Полихлорированные бифенилы (ПХБ)

Известно, что содержание ПХБ в атмосферном воздухе представляет собой глобальный фон, уровень которого может изменяться в зависимости от времени года и наличия локальных источников. На станциях наблюдения на побережье озера Байкал суммарное содержание ПХБ в атмосферном воздухе изменялось в диапазоне от 7 до 900 пг/м³ (Рис.2.2.). Характер изменения уровней концентраций ПХБ за период наблюдений заметно отличаются для трех станций наблюдения. Если для станции Листвянка содержание ПХБ в атмосферном воздухе имеет один максимум и снижается от июня до октября, что может быть связано с общим понижением температуры, на пунктах Танхой и Култук изменение концентраций ПХБ показывает ряд максимумов, причем общая концентрация превышает таковую для станции Листвянка в 3-20 раз. Обнаруженный эффект может быть связан техногенной деятельностью и наличием локальных источников в зоне станций мониторинга. ПХБ, зафиксированные на трех станциях мониторинга, представлены, в основном, легколетучими три-пентахлорированными конгенерами.

2.2. Хлорорганические пестициды (ХОП)

ДДТ и его метаболиты

Запрещение или ограничение использования ДДТ в большинстве стран привело к существенному снижению концентрации этого пестицида в атмосферном воздухе. Общий фон ДДТ определяется, в основном, вторичным переносом из сельскохозяйственных угодий, в почве которых пестицид может сохраняться длительное время. На пункте мониторинга Листвянка, в районе которого нет сельхозугодий, а зона земледелия в Бурятии и Китае отделена зеркалом озера Байкал, фиксируется незначительное количество ДДТ в атмосфере (0,5-3,5 пг/м³), уровень которого уменьшается по мере снижения общей температуры. На станциях мониторинга Танхой и Култук зафиксированы повышения концентраций ДДТ до 35 пг/м³ в летний период, что может быть связано с локальным применением этого пестицида как на территории РФ, так сопредельных государств (Рис.2.3.)

4,4'-ДДЕ, являющийся продуктом трансформации 4,4'-ДДТ, более устойчив в окружающей среде, чем исходный продукт и может сохраняться в почве 50 и более лет. Поступление этого метаболита в атмосферу целиком обусловлено вторичным переносом из почв районов, в которых проводилось массированное применение 4,4'- ДДТ. Уровень содержания этого метаболита ДДТ в атмосферном воздухе за период наблюдений составлял 0,5-8 пг/м³ (Рис. 2.4.).

Средний уровень содержания метаболита 4,4'-ДДЕ в атмосфере (Рис. 2.4.) составляет всего 0,2-2,0 пг/м³. Причина кратковременного экстремального повышения концентрации этой формы метаболита ДДТ в воздухе, зафиксированная на станции Култук неясна.

Гексахлорбензол

Гексахлорбензол – пестицид и технический полупродукт, применение которого ограничено Стокгольмской конвенцией. Минимальное содержание этого пестицида в атмосфере за период наблюдений отмечено на пункте мониторинга Листвянка (1.5-4

пг/м³). На пунктах Танхой и Култук за период наблюдения зафиксированы повышения концентраций гексахлорбензола до уровней 20-100пг/м³, Рис.2.6.

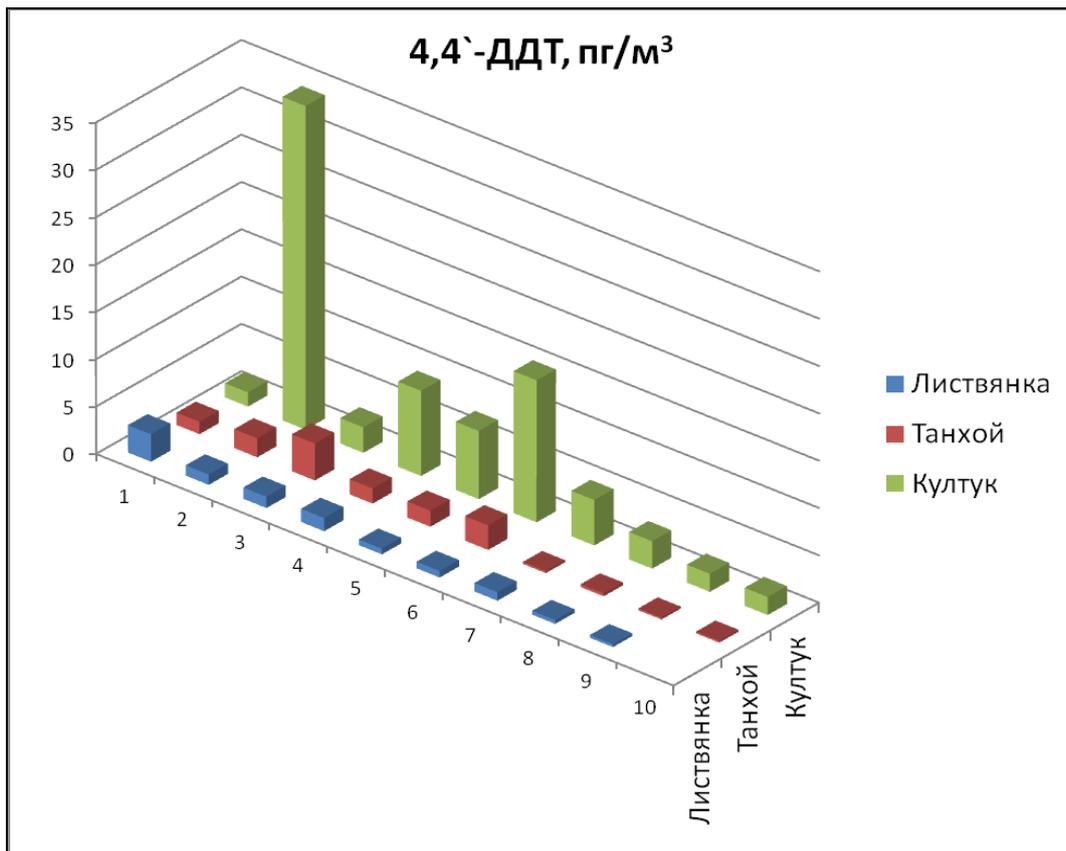


Рис. 2.3. Содержание 4,4'- ДДТ в атмосферном воздухе, пг/м³

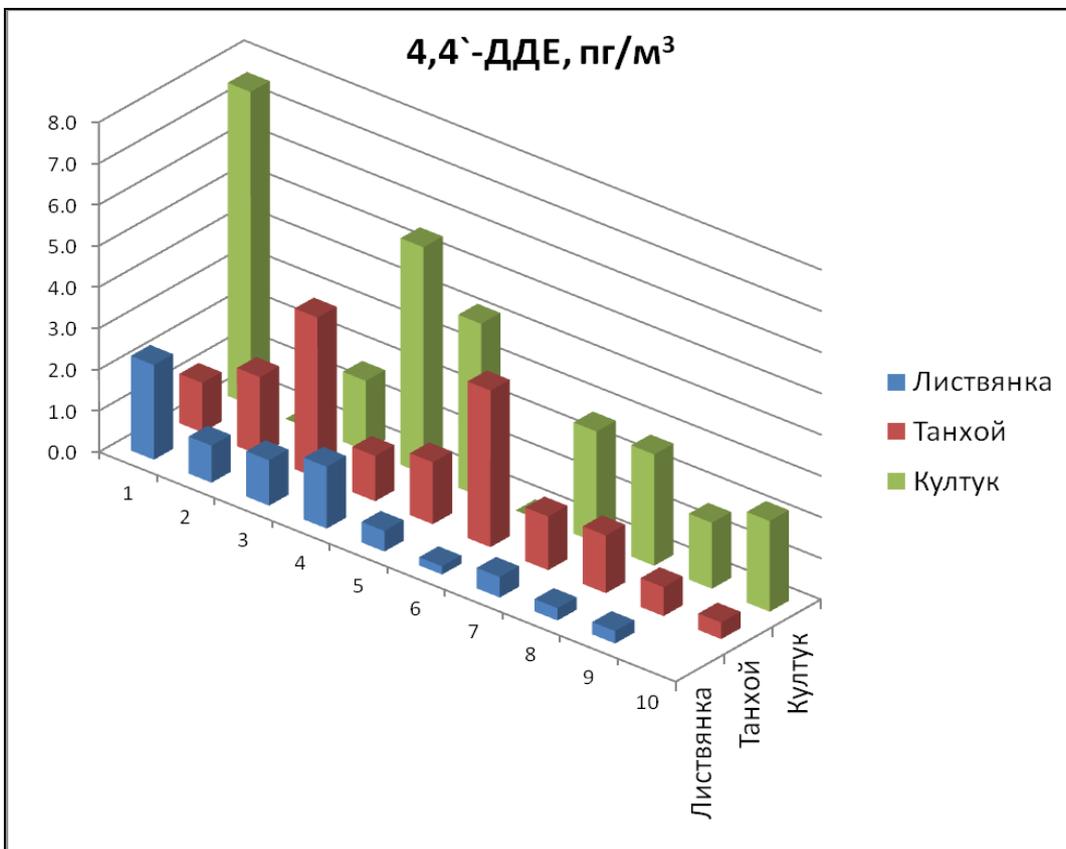


Рис. 2.4 Содержание 4,4'- ДДЕ в атмосферном воздухе, пг/м³

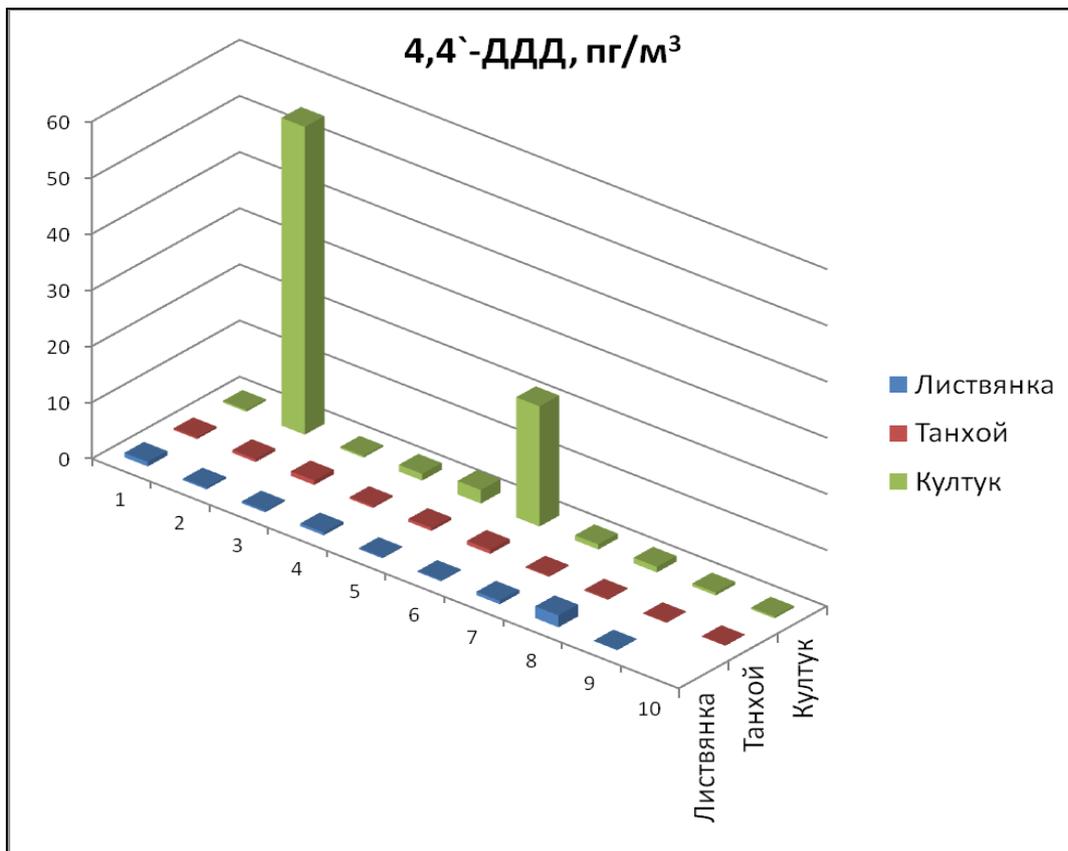


Рис. 2.5. Содержание 4,4'- ДДД в атмосферном воздухе, пг/м³

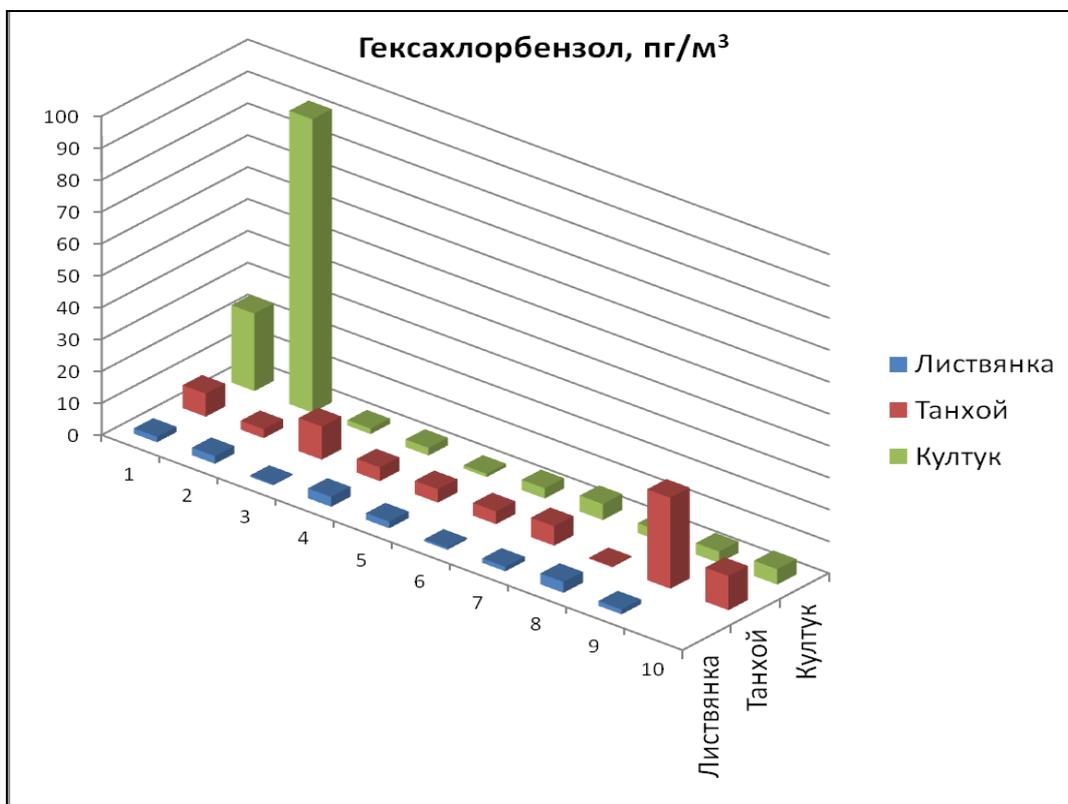


Рис. 2.6. Содержание гексахлорбензола в атмосферном воздухе, пг/м³

2.3. Гексахлорциклогексан (ГХЦГ)

Гексахлорциклогексан, внесенный в список запрещенных пестицидов Стокгольмской конвенции в 2008 г, широко использовался в разных странах. Благодаря высокой летучести этот препарат легко попадает в атмосферу и может переноситься на значительные расстояния. До настоящего времени ГХЦГ ограничено применяется в странах Азии и Китае. Следует отметить, что в Китае широко использовали изомер α -ГХЦГ, а территории России более эффективную форму пестицида - изомер γ -ГХЦГ (линдан). За период наблюдений наличие изомеров ГХЦГ в атмосферном воздухе зафиксировано на трех станциях мониторинга. Зафиксированные уровни содержания ГХЦГ в воздухе на станциях существенно отличаются. Минимальное содержание всех изомеров ГХЦГ наблюдалось на станции Листвянка. На станциях мониторинга Танхой и Култук в начале июня наблюдалось экстремальное повышение концентраций α -ГХЦГ в атмосферном воздухе (до 40 $\mu\text{г}/\text{м}^3$), что, возможно, связано с применением этого препарата в Китае в этот период. На период июль-август на всех станциях мониторинга отмечено повышение концентраций в воздухе изомера γ -ГХЦГ, что может быть связано как с несанкционированным локальным применением этого препарата на территории РФ, так и влиянием повышения средних температур на поступление его в атмосферу из почв в районах, где γ -ГХЦГ использовался в прошедшие годы.

β -ГХЦГ – устойчивая форма пестицида, получаемая как побочный продукт при синтезе α и γ изомеров ГХЦГ, обладающих большей биологической активностью. Уровни содержания в атмосферном воздухе этого изомера зафиксированные на всех станциях достаточно низки (0,1-0,3 $\mu\text{г}/\text{м}^3$). Причина кратковременного экстремального повышения концентрации этой формы пестицида в воздухе, зафиксированная на станции Култук неясна.

2.4. Цис и транс-Хлорданы; Цис и транс-Нонахлор

Цис и *транс*-Хлордана так же *Цис* и *транс*-Нонахлор – пестициды, запрещенный к использованию в начале 2000 годов, практически не использовались на территории СССР и РФ. Наличие этих пестицидов в атмосфере целиком связано с глобальным атмосферным переносом. Уровни содержания хлорданов и нонахлоров зафиксированные на станциях мониторинга находятся в пределах 0,3-3,5 $\mu\text{г}/\text{м}^3$.

2.5. Токсафены

Токсафен (полихлорпинен, полихлоркамфен) – препарат, представляющий собой смесь более 30 тысяч различных конгенов, выделен отдельной строкой в списке запрещенных СОЗ Стокгольмской конвенции. Препарат изготавливался и применялся на территории СССР в 60-70 годы прошлого века как дешевая замена ДДТ. Официальных данных о применении этого препарата на Байкальской природной территории не обнаружено, хотя, вероятно, что он использовался для подавления клещевой активности и борьбы с непарным шелкопрядом. Наличие биологически активных конгенов токсафена фиксируется в почвах в зоне озера Байкал. Попадание в атмосферу токсафена связано с процессами глобального переноса и испарением остатков пестицида из почв. Зафиксированная суммарная концентрация конгенов токсафена в воздухе близка для всех станций мониторинга и находится в пределах 0,1-0,6 $\mu\text{г}/\text{м}^3$. Изменения концентраций связаны, очевидно, с изменением среднесуточных температур в период отбора проб.

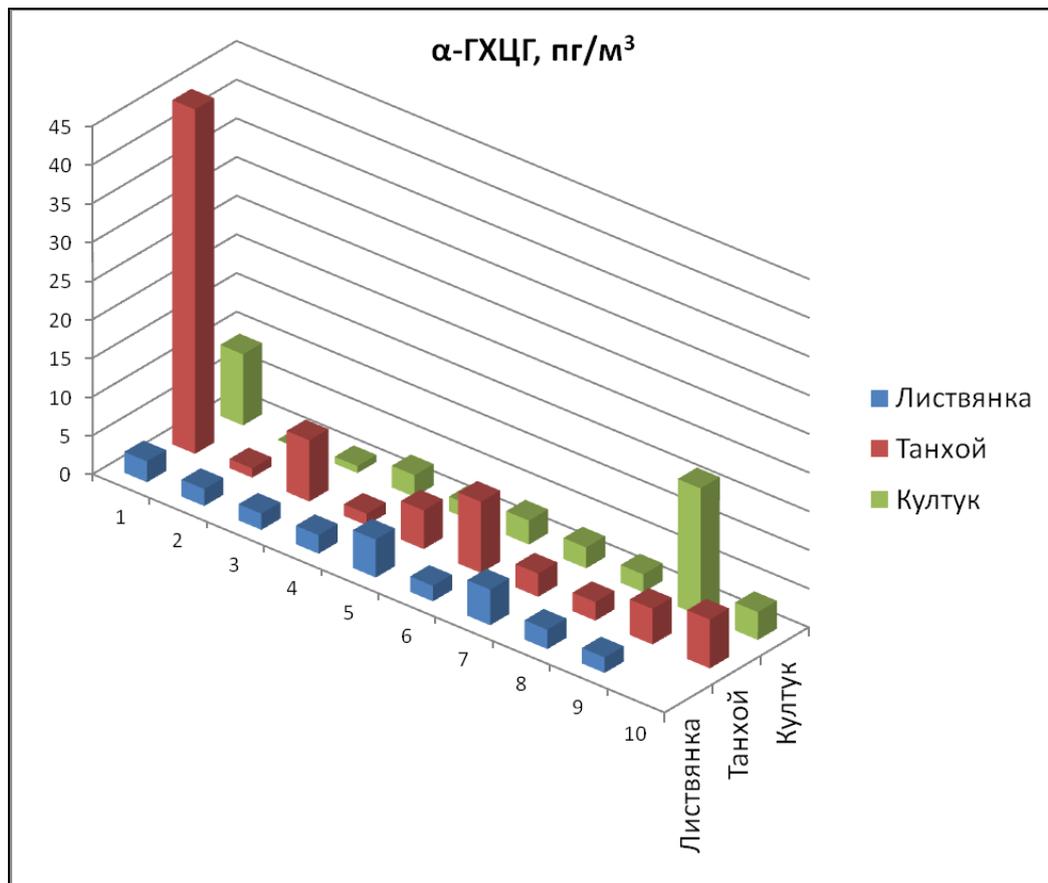


Рис. 2.7. Содержание α-ГХЦГ а в атмосферном воздухе, пг/м³

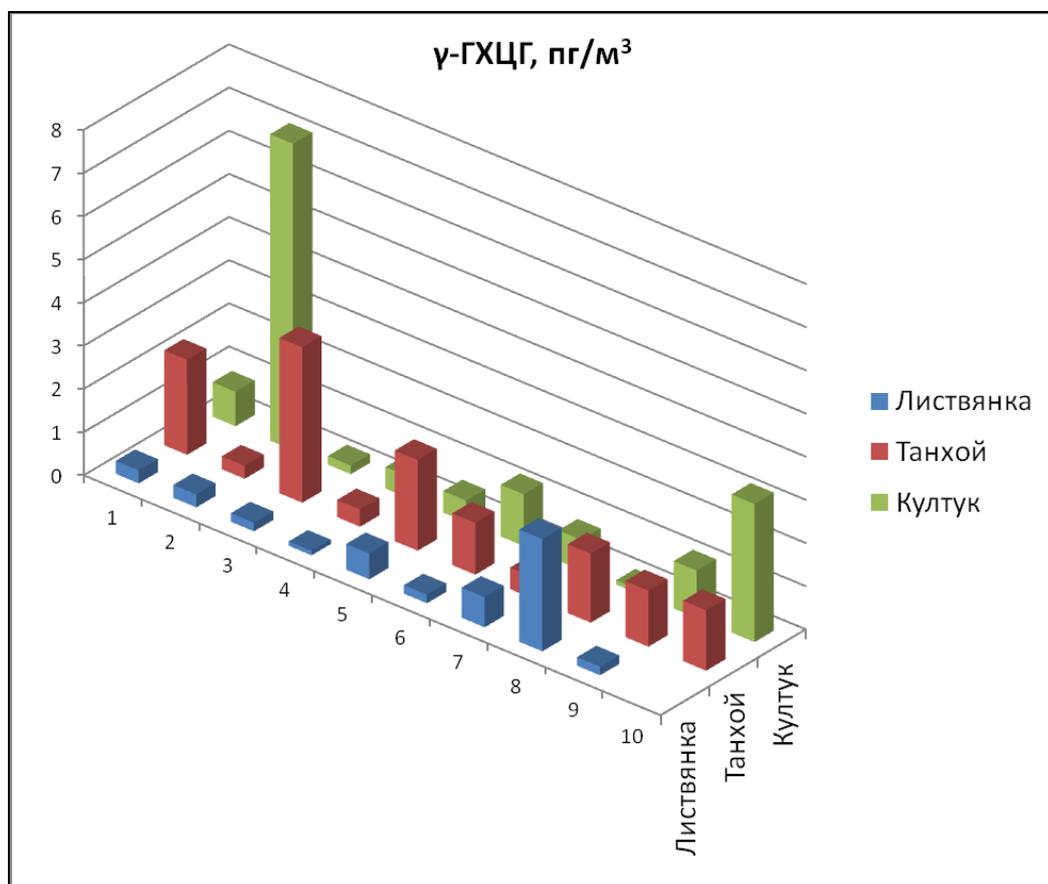


Рис. 2.8. Содержание γ-ГХЦГ а в атмосферном воздухе, пг/м³

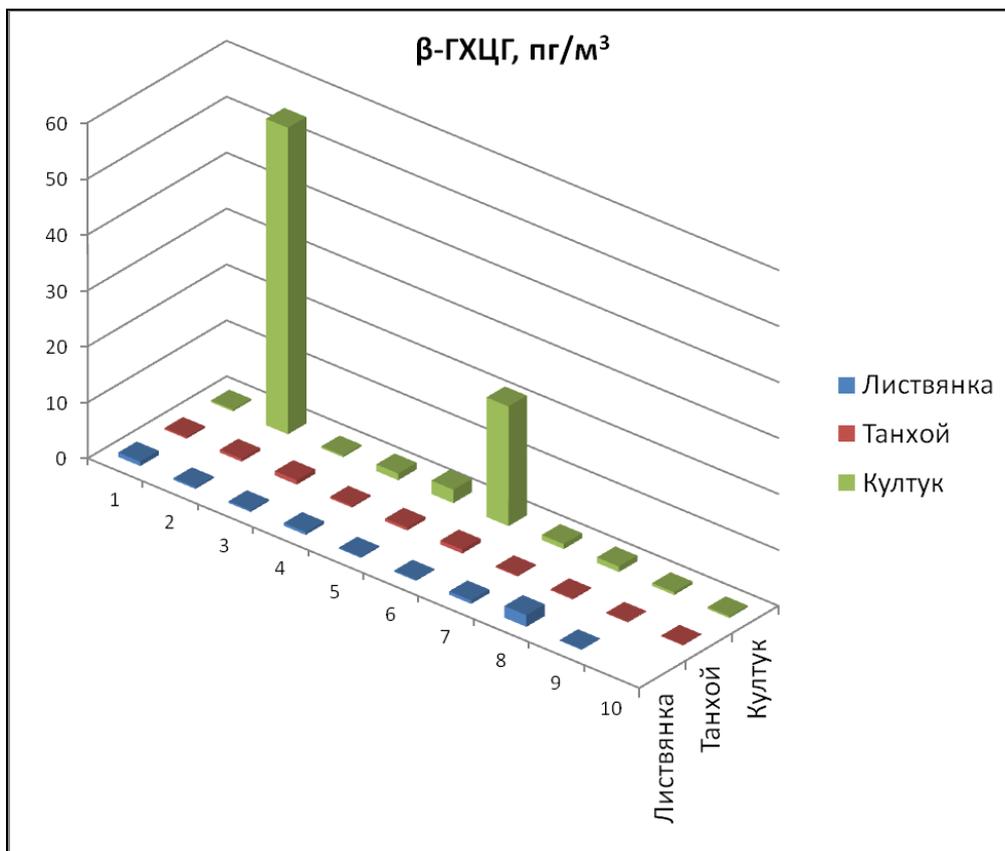


Рис. 2.9. Содержание **β-ГХЦГ** а в атмосферном воздухе, пг/м³

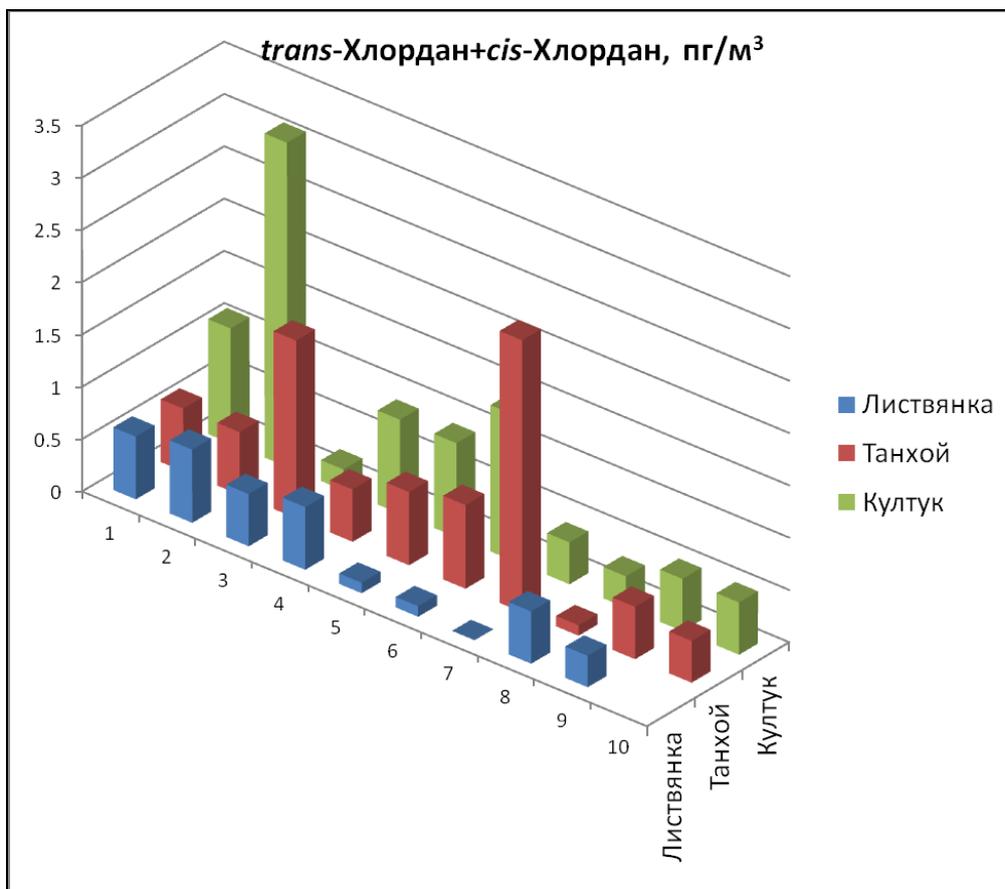


Рис. 2.10. Суммарное содержание **Цис и транс-Хлордана** в атмосферном воздухе, пг/м³

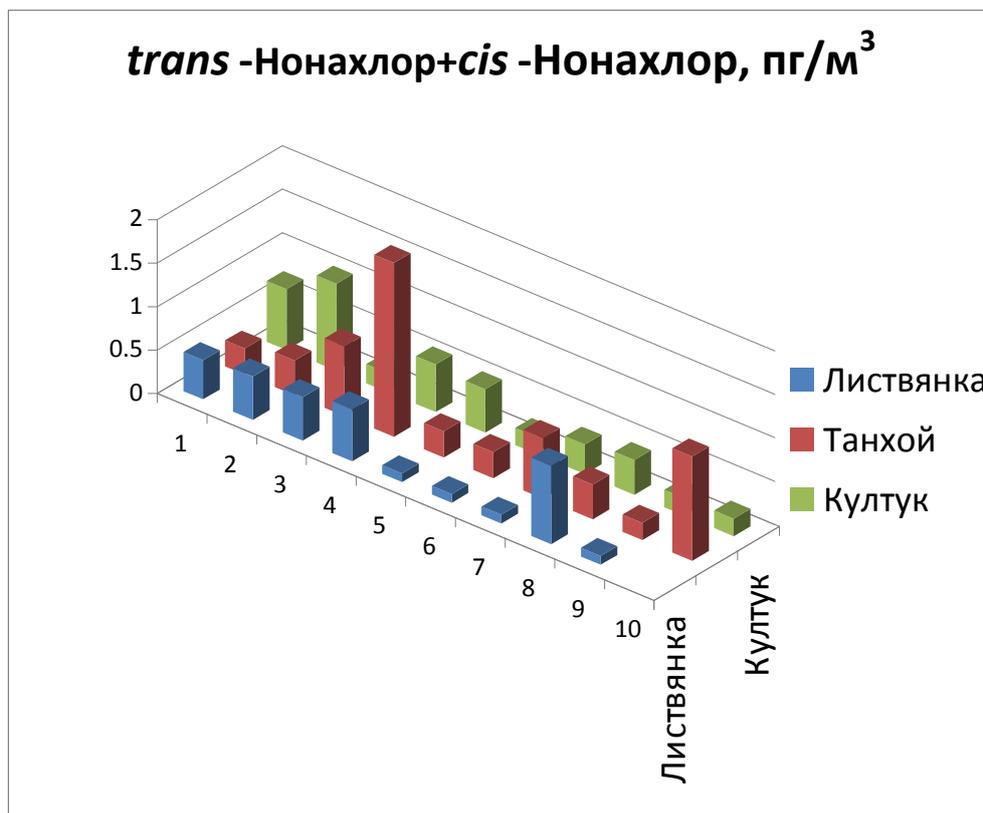


Рис. 2.11. Суммарное содержание *Цис* и *транс*-Нонахлора в атмосферном воздухе, пг/м³

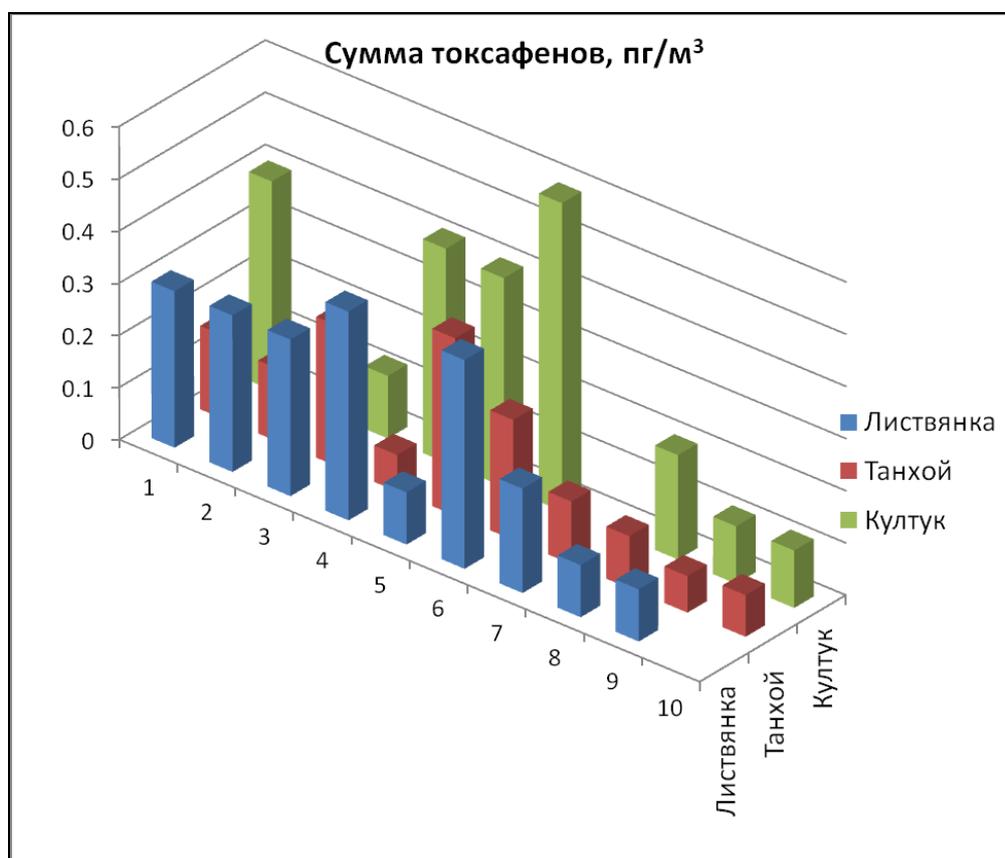


Рис. 2.12. Суммарное содержание токсичных конгенов токсафена в атмосферном воздухе, пг/м³

2.6. Бромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

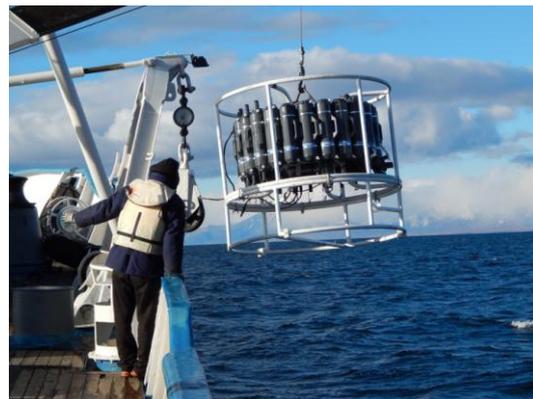
Бромированные дифениловые эфиры – относительно новый класс СОЗ, внесенный в Стокгольмский список в 2008 году. Этот препарат начал достаточно широко использоваться в начале этого века для снижения горючести пластмасс. На территорию РФ попадает в виде импорта, и применяется ограничено. Поступление в атмосферу Байкальской природной территории конгенов ПБДЭ происходит целиком за счет глобального атмосферного переноса. В настоящее время уровень содержания ПБДЭ в атмосфере промышленных центров достигает заметных величин, в фоновых районах обычно фиксируется следовые уровни концентраций. Возрастание концентраций ПБДЭ в воздухе может служить индикатором изменения антропогенной нагрузки.

На станциях мониторинга атмосферы зафиксировано наличие конгенов ПБДЭ, суммарный уровень концентраций которых находится в пределах 0,1-0,3 $\mu\text{г}/\text{м}^3$.

Данные мониторинга атмосферы приведены в соответствующем разделе *Приложения*.

3. Поверхностные воды

Содержание CO₂ в поверхностных водах оз. Байкал исследовалось в ходе кругобайкальских экспедиций, организованных Лимнологическим институтом СО РАН в 2013 -2014г. Экспедиции проводились на судах ЛИН при непосредственном участии сотрудников института. Отбор проб осуществлялся автоматическим батометром с глубин 2, 20 и 100 м. Точки отбора были расположены на всей акватории озера, включая фоновые районы и районы, приближенные к заселенной зоне.



Пробы воды объемом 10 л, отобранные на различных горизонтах, фильтровались через сорбционные диски EMPORE-C18, что позволяло сконцентрировать CO₂ и повысить чувствительность анализа. Для количественных измерений и учета коэффициентов проскока в пробы перед фильтрацией вносилась смесь аналитов изотопно-меченых по углероду C¹³

Отдельно ряд проб воды был отобран на береговой линии в зоне заплеска. Для отбора пробы на береговой линии формировалась лунка, глубиной до 50 см, вода, фильтрованная через слой грунта и накопившиеся в лунке, отбиралась на анализ.

Схемы расположения мест отбора проб и концентрирования CO₂ из проб воды приведены на рис 3.1 и 3.2 соответственно.

3.1. Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) - основной загрязнитель байкальских вод из числа CO₂. Этот вид соединений, запрещенных в настоящее время, имеет исключительно промышленное применение (трансформаторные масла, теплоносители, конденсаторные жидкости) попадает в окружающую среду в ходе техногенных аварий и переносится в фоновые районы, как правило, воздушными массами и атмосферными осадками. В водах оз. Байкал ПХБ представлены, в основном, конгенерами, содержащими от трех до шести атомов хлора. Суммарное содержание конгенов ПХБ незначительно изменяется по глубинам от 2 до 100м и для разных районов находится в диапазоне от 1600 до 4800 пг/л. Небольшие локальные повышения уровней содержания ПХБ наблюдаются в поверхностных водах прибрежной зоны вблизи поселений (Максимиха, Северобайкальск, Хужир). По полученным данным, наблюдается вынос повышенное содержание ПХБ в устье р. Селенга. Кроме того, сточные воды г. Северобайкальск имеют суммарное содержание ПХБ на порядок превышающее средний уровень загрязнения озера (до 28000 пг/л). Распределение концентраций конгенов для всех точек отбора кроме сточных вод Северобайкальска имеет сходный характер, максимальные уровни содержания наблюдаются для пентахлорированных соединений - PCB 99, PCB101, PCB118, PCB105. Данный факт свидетельствует о том, что загрязнение вызвано глобальным воздушным переносом из удаленных источников и состав его в значительной степени нивелирован

Точки отбора проб

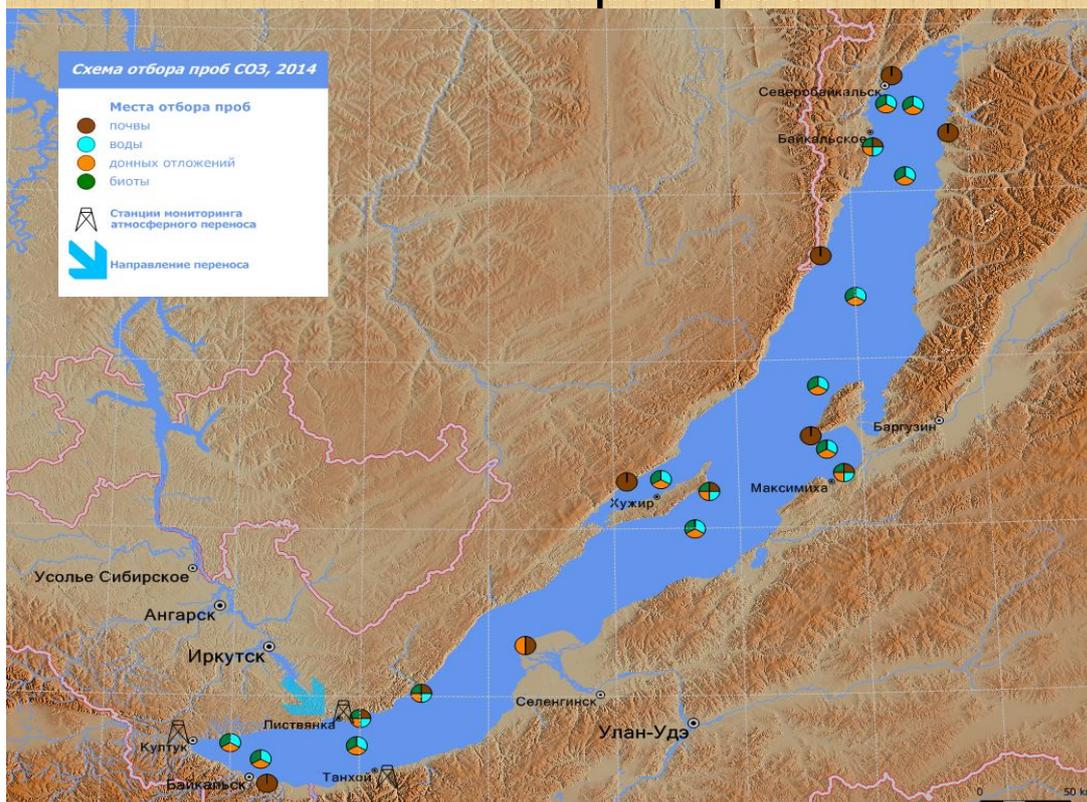


Рис 3.1. Месторасположение отбора проб воды.

Схема концентрирования CO₂ из проб воды

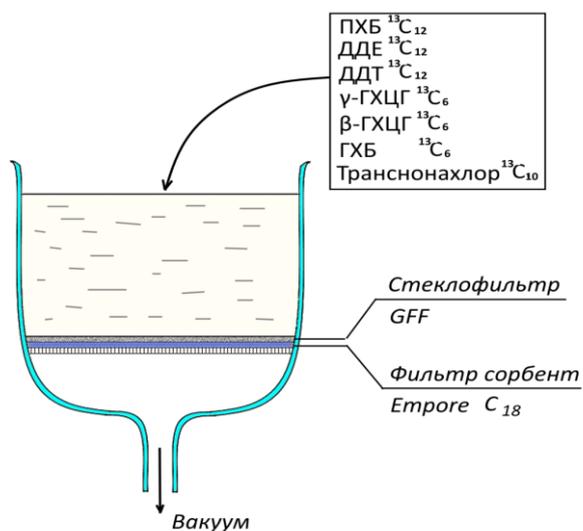


Рис 3.2. Схема концентрирования CO₂ из проб воды.

для всей акватории. Напротив, локальный источник в виде сточных вод г. Северобайкальск имеет существенно иной состав – повышенное содержание низкохлорированных три- и тетрахлорированных ПХБ, а так же заметное содержание гептахлорированных ПХБ.

В ходе работы проводился отбор и анализ проб воды из лунок в заплесковой зоне. Точки отбора находились в районе п. Листвянка, Максимиха, Байкальск (вблизи БЦБК) и г. Северобайкальск. Средний суммарный уровень содержания ПХБ в этих пробах не превышает таковой для вод озера. Однако в составе ПХБ фиксируется незначительное повышение концентраций низкохлорированных ПХБ, что особенно, это заметно для пробы в заплесковой зоне г. Северобайкальск.

Данные по содержанию конгенов ПХБ в пробах воды по горизонтам приведены в *Приложении*, а также представлены на рис 3.3 (совместно с некоторыми ХОП).

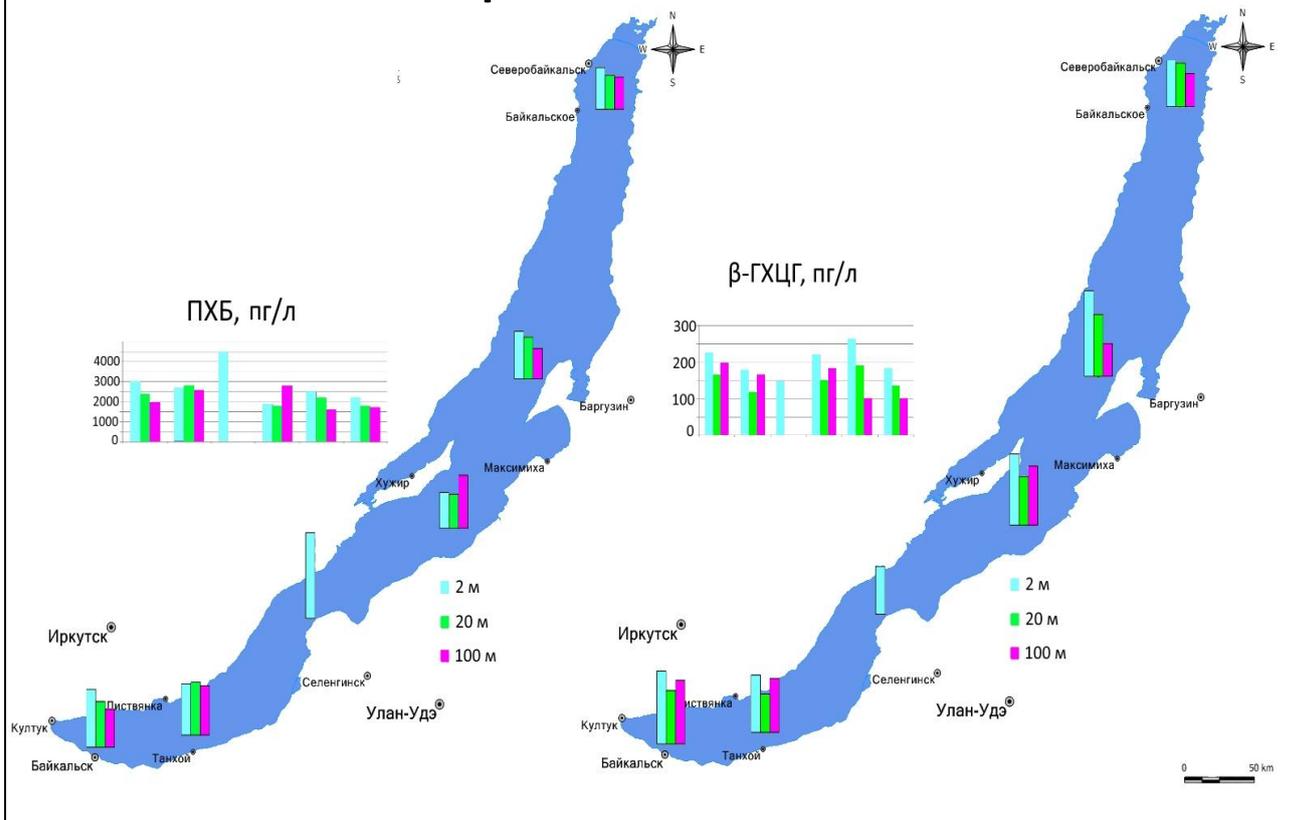
3.2. Хлорорганические пестициды

Хлорорганические пестициды, входящие в список запрещенных в настоящее время СОЗ, имели в недавнем прошлом широкое применение в сельском хозяйстве. Такие соединения, как изомеры ГХЦГ, ДДТ, гексахлорбензол широко использовались во всем мире, в том числе и в РФ. Эти соединения могут переноситься в акваторию оз. Байкал стоками с сельхозполей, вторичным атмосферным и ветровым переносом. Другая часть СОЗ из этой группы никогда не производилась и не использовалась на территории СССР или РФ и поступление ее в воды оз. Байкал возможно за счет глобального атмосферного переноса

По результатам исследований установлено, что в группе пестицидов основным загрязнителем поверхностных вод оз. Байкал являются изомеры ГХЦГ. Следует отметить, что для этих соединений максимальные уровни наблюдаются для β -ГХЦГ (до 270 пг/л). Характерно, что этот изомер, внесенный в Стокгольмский перечень запрещенных пестицидов, практически не попадает в обзоры по состоянию загрязнения воды.

Суммарное содержание α , β и γ -ГХЦГ в разных точках озера колеблется от 145 до 450 пг/л и в каждой конкретной точке на горизонтах 2-100м незначительно меняется с глубиной. Соотношений концентраций изомеров так же близко для всех точек, при этом концентрация $\beta > \alpha > \gamma$. Наиболее чистый район по содержанию в воде пестицидов этой группы наблюдается в северной части озера. В то же время, концентрации ГХЦГ в южной котловине, берега которой подвергаются наибольшему техногенному влиянию и в центральной части озера, сопоставимы. Этот факт связан, очевидно, с тем, что механизм поступления ГХЦГ в воды озера в, основном, атмосферный перенос и не привязан к локальным источникам. Даже в устье р. Селенга, протекающей через сельскохозяйственные районы не было обнаружено высоких уровней содержания ГХЦГ. В ходе экспедиционной работы локальный источник поступления ГХЦГ был зафиксирован только в сточных водах г. Северобайкальск (свыше 4000 пг/л).

Содержание ПХБ и ГХЦГ в воде озера, по горизонтам 2-100 м



Содержание ДДТ и ДДЕ в воде озера, по горизонтам 2-100 м

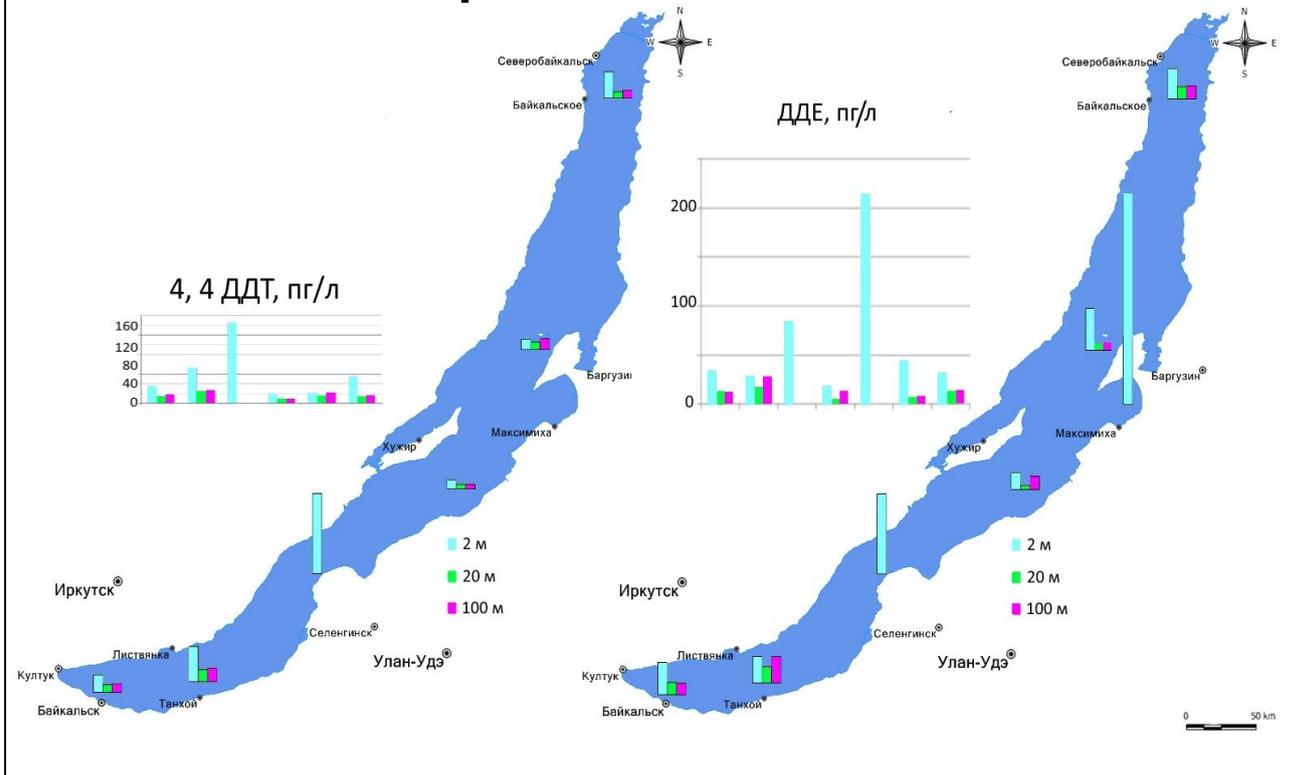


Рис. 3.3. Результаты определения ПХБ и некоторых ХОП в поверхностных водах.

Вторым по значимости загрязнителем вод оз. Байкал из числа СОЗ является ДДТ и его метаболиты. Суммарная концентрация этих соединений колеблется от 45 до 500 пг/л и мало изменяется с глубинами на горизонтах 2-100 м для каждой конкретной точки. В отличие от изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты показывают выраженные максимумы содержания в водах вблизи заселенных береговых районов (п. Листвянка, Максимиха, Б. Коты, Малое море). В то же время в центральной и северной части Байкала содержание пестицидов этой группы существенно ниже. Возможно, это связано с тем, что основной механизм поступления метаболитов ДДТ в воду озера – почвенные смывы из районов применения этого пестицида.

Из прочих видов СОЗ в воде различных районов озера фиксируются специфические пестициды, мало используемые или практически неиспользовавшиеся в СССР или РФ. Это пестициды группы **Хлордана и Нонахлора**. Максимальные концентрации указанных соединений наблюдаются в южной котловине (до 50 пг/л), минимальные – в северной части оз. Байкал – менее 1 пг/л.

Распространенный и часто используемый пестицид **Гексахлорбензол (ГХБ)** наблюдается во всех точках озера при уровне содержания 1,5-19 пг/л. При этом отмечено определенное снижение концентраций на глубинах 100м в 1,5-2 раза для конкретных точек отбора.

Пробы воды, отобранные из лунок **в зоне заплеска**, показывают наличие всех видов пестицидов, наблюдаемых в оз. Байкал. Однако если уровни содержания изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ в зоне заплеска сопоставимы с величинами из основной части озера, то содержание ГХБ в этой зоне для всех точек существенно выше – 50-430 пг/л. Причина такого накопления ГХБ в заплесковой зоне не ясна.

3.3. Токсафены

Токсафен – класс хлорорганических пестицидов, выделенных отдельно в Стокгольмском списке. Токсафен, как возможная дешевая замена ДДТ активно производился и применялся повсеместно в 60-80 годы прошлого века. Получаемый прямым хлорированием пинена (камфена) препарат содержит более 30 тысяч различных соединений, среди которых только биологически высокоактивных гепта- и окта-хлорированных соединений более 6500. В виду того, что идентификация и количественное определение столь сложного смесового препарата затруднено, данных по его содержанию в окружающей среде на три порядка меньше, чем для его конкурента ДДТ. После 1995 г, когда был налажен синтез и выделение порядка 30 наиболее биологически активных конгенов токсафена в виде стандартных веществ, стал возможен его осмысленный качественный и количественный анализ с использованием современных методов хромато-масс-спектрометрии в режиме химической ионизации отрицательных ионов.

Официальных источников, свидетельствующих о применении препарата **Токсафен** (синонимы - **Полихорпинен, Полихлоркамфен**) на байкальской природной территории не обнаружено, хотя известно, что в центральной России примерно несколько десятков тысяч тонн.

Наиболее биологически активные конгены токсафена (Тох26, Тох50, Тох62) идентифицируются во всех пробах воды по обследованным горизонтам до 100 м и пробах воды из заплесковой зоны в диапазоне концентраций 2-20 пг/л. Несмотря на

невысокие концентрации, этот канцерогенный препарат представляет значительную опасность в виду накопления в жировой ткани различных водных организмов.

3.4. Полибромированные дифениловые эфиры

Бромированные антипирены, представленные, в основном, полибромированными дифениловыми эфирами (ПБДЭ) и гексабромциклододеканом, - относительно новый класс СОЗ, внесенных в Стокгольмский список. Интенсивное производство и применение этих соединений в производстве ряда пластмасс началось в конце прошлого века.

Незначительные количества этих соединений попадают в РФ в виде импорта и с готовыми изделиями из пластмасс. Попадание и накопление ПБДЭ на Байкальскую природную территорию возможно за счет глобального атмосферного переноса.

По полученным данным, соединения этого класс СОЗ фиксируются в верхнем горизонте воды на уровне 2-4 пг/л, однако, на глубинах более 100м содержание ПБДЭ ниже предела обнаружения (0,08пг/л). Следует отметить, в виду небольшой длительности применения ПБДЭ, исследования динамики его накопления может служить показателем антропогенной нагрузки на окружающую среду.

3.5. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны (ПХДД/ПХДФ)

Для анализа ПХДД/ПХДФ пробы воды объемом 150-200л отбирались в разных районах озера с помощью установки Infiltrax-300 с концентрированием аналитов на колонку с сорбентом Амберлит XAD-2. Отбор проводился с борта судна на глубине 5м.

По результатам анализов ни в одной пробе не было зафиксировано наличия конгенов ПХДД/ПХДФ на уровне предела обнаружения метода - 0,01 пг/л

Данные анализа СОЗ в пробах воды детально представлены в *Приложении*.

4. Стойкие органические соединения в почве и донных отложениях



В виду отсутствия в прибрежной зоне озера Байкал развитого сельского хозяйства и промышленности, накопление значительного количества СОЗ возможно только вблизи населенных пунктов. В тоже время, за счет выпадения СОЗ с осадками в результате глобального переноса, возможно попадание определенного количества СОЗ в почвы фоновых районов.

В ходе выполнения экспедиционных работ проводился отбор проб поверхностного слоя почвы (0-10см) в различных точках прибрежной зоны. Отдельное внимание уделялось также определению содержания СОЗ на береговых склонах, с которых возможен смыв и попадание этих веществ в воду.



4.1. Почва

4.1.1. Хлорорганические пестициды

Следовые уровни хлорорганических пестицидов зафиксированы в пробах почвы практически повсеместно. Как и ожидалось, максимальные уровни **гексахлорбензола**, изомеров ГХЦГ, **4,4'-ДДТ** и его метаболитов найдены в почвах населенных пунктов. Так, содержание **4,4'-ДДТ** в одной из проб почвы в п. Б. Коты составило 58 мкг/кг, что в **двести** раз превышает средний уровень содержания этого пестицида в почвах прибрежной зоны. В то же время, заметные уровни содержания ряда ХОП зафиксированы в фоновых точках, не имеющих антропогенного влияния, например, мыс Ижимей, Святой Нос, Ушканьи острова, на территории которых ХОП могут быть занесены в результате глобального воздушного переноса. В таблице 4.1.1 приведены средние величины и диапазоны содержания ХОП в пробах почвы прибрежной зоны озера Байкал. Точки с аномально высоким содержанием ХОП из населенных пунктов и пестициды, которые не были зафиксированы хотя бы в одной пробе, не учитывались.

Таблица 4.1.1. Содержание хлорорганических пестицидов в пробах почвы.

Аналит:	Поверхностный слой почвы, мкг/кг, n=29		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	0.17	<0.02	0.73
α-ГХЦГ	0.18	<0.05	2.93
β-ГХЦГ	0.05	<0.05	1.32
γ-ГХЦГ	<0.05	<0.05	0.71
2,4'-ДДЕ	<0.05	<0.05	<0.05
4,4'-ДДЕ	0.18	<0.05	1.37
2,4'-ДДД	<0.05	<0.05	0.27
4,4'-ДДД	<0.05	<0.05	0.22
2,4'-ДДТ	<0.08	<0.08	0.44
4,4'-ДДТ	0.26	<0.08	1.84
Тох 26	0.0069	0.0001	0.033
Тох 50	0.0185	0.0002	0.075
Тох 62	0.0142	0.002	0.066
Сумма Тох	0.025	0.002	0.174

При анализе почвенных проб отдельное внимание уделялось препарату **Токсафен**. Этот инсектицид широко использовался в 70 годы прошлого века, однако данных по его содержанию в окружающей среде практически нет. Несмотря на то, что официальных сведений по применению **Токсафена** на Байкальской территории не найдено, этот токсикант обнаружен во многих пробах. В ряде проб суммарное содержание конгенов **Токсафена** составляет 5-10 % от количества **4,4'-ДДТ** и его метаболитов.

В районах, где зафиксированы повышенные уровни ХОП можно наблюдать характерное высотное распределение концентраций пестицидов в почве прибрежных склонов возникающее в результате многолетнего смыва. (рис 4.1)

4.1.2. Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы встречаются практически во всех пробах почвы, отобранных в ходе настоящей работы. Средний уровень суммарного содержания конгенов ПХБ в почвах районов, не затронутых промышленной или сельскохозяйственной деятельностью не превышает 1,8, а максимальный – 15 мкг/кг. В то же время, в районе БЦБК, населенных пунктах Б. Коты, Максимиха уровень содержания ПХБ в верхнем слое почвы может достигать 200 мкг/кг. Точки с аномально высоким содержанием ПХБ исключались при обработке данных.

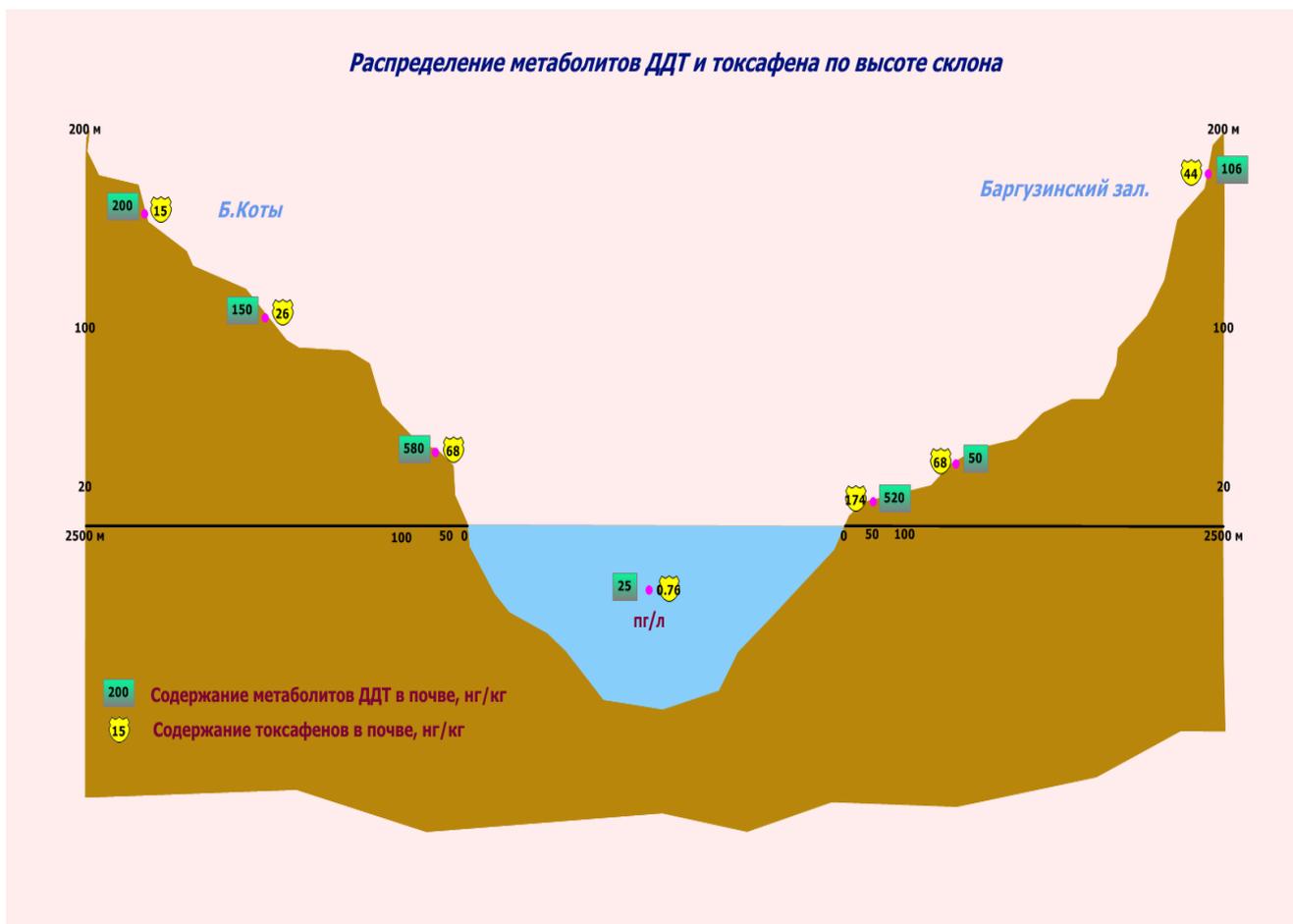


Рис.4.1.1. Высотное распределение пестицидов в некоторых точках побережья озера Байкал.

Таблица 4.1.2. Содержание полихлорированных бифенилов в пробах почвы

Конгенер ПХБ	Содержание ПХБ в пробах почвы, мкг/кг возд. сух.веса, n=27		
	Среднее	Минимум	Максимум
#17/#18 [CL3]	<0.03	<0.03	0.04
#28/#31 [CL3]	0.08	<0.03	1.30
#33 [CL3]	<0.03	<0.03	0.70
#52 [CL4]	0.06	<0.03	0.40
#49 [CL4]	<0.03	<0.03	0.11
#44 [CL4]	<0.03	<0.03	0.10
#74 [CL4]	0.03	<0.03	0.15
#70 [CL4]	0.08	<0.03	0.30
#95 [CL5]	0.05	<0.03	0.50

Конгенер ПХБ	Содержание ПХБ в пробах почвы, мкг/кг возд. сух.веса, n=27		
	Среднее	Минимум	Максимум
#101 [CL5]	0.10	<0.03	1.10
#99 [CL5]	0.11	<0.03	0.90
#87 [CL5]	0.04	<0.03	0.40
#110 [CL5]	0.17	<0.03	1.60
#118 [CL5]	0.17	<0.03	1.50
#105 [CL5]	0.10	<0.03	0.90
#149 [CL6]	0.08	<0.03	0.70
#153 [CL6] + #168	0.19	<0.03	1.60
#138 [CL6] + #158	0.39	<0.03	4.40
#128 [CL6]	0.02	<0.03	0.50
Сумма ПХБ	1.71	0.10	15.40

4.1.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры - относительно новый класс СОЗ, поступление которых в почвы байкальского региона возможно за счет глобального воздушного переноса.

По результатам анализов 30 проб отобранных в различных точках побережья озера Байкал ПБДЭ в поверхностном слое почвы не обнаружено на пределе чувствительности анализа (0,001 мкг/кг).

4.2. Донные отложения

4.2.1. Хлорорганические пестициды

Уровень содержания хлорорганических пестицидов в донных отложениях находится на следовом уровне ниже предела обнаружения анализа (< 0,05 мкг/кг). Почти во всех пробах, отобранных как в фоновых районах, так и на участках дна вблизи населенных пунктов идентифицируется только **гексахлорбензол**. Среднее содержание этого пестицида составляет 0,07, максимальное – 0.62 мкг/кг сухого веса. Заметные уровни содержания изомеров **ГХЦГ** (до 1,5 мкг/кг) и **4,4'-ДДТ** и его метаболитов (до 16 мкг/кг) были обнаружены в донных отложениях только в одной точке, вблизи п. Б. Коты, что, очевидно, связано со стоками с сельхозучастков поселка.

Токсафенов, полибромированных дифениловых эфиров в отобранных пробах донных отложений не обнаружено.

4.2.2. Полихлорированные бифенилы.

Заметное количество полихлорированных бифенилов обнаруживается в донных отложениях, отобранных в Южной котловине озера Байкал, в районе БЦБК и точках вблизи населенных пунктов на побережье. В основном, ПХБ представлены пента и гексахлорированными конгенерами. Пробы, отобранные в центральной части Байкала, в фоновых районах (Ушканьи острова, и т.п.) практически не содержат ПХБ (уровень содержания ниже 0,1 мкг/кг). Данные по среднему содержанию идентифицированных конгенов приведены в таблице 4.1.3.

Таблица 4.1.3. Содержание полихлорированных бифенилов в пробах донных отложений.

Конгенер ПХБ	Содержание ПХБ в пробах донных отложений, нг/г, сухой вес, n=11		
	Среднее	Минимум	Максимум
#28/#31 [CL3]	0.13	<0.03	1.4
#33 [CL3]	0.01	<0.03	0.07
#22 [CL3]	<0.03	<0.03	0.4
#52 [CL4]	0.08	<0.03	0.9
#44 [CL4]	0.07	<0.03	0.8
#70 [CL4]	0.09	<0.03	0.8
#95 [CL5]	0.12	<0.03	1
#101 [CL5]	0.14	<0.03	1.2
#99 [CL5]	0.1	<0.03	0.8
#87 [CL5]	0.02	<0.03	0.1
#110 [CL5]	0.18	<0.03	1.3
#118 [CL5]	0.19	<0.03	1.4
#105 [CL5]	0.05	<0.03	0.1
#149 [CL6]	<0.03	<0.03	0.09
#153 [CL6] + #168	0.12	<0.03	0.85
#138 [CL6] + #158	0.32	<0.03	1.7
#128 [CL6]	<0.03	<0.03	0.04
#180 [CL7]	0.02	<0.03	0.27
Сумма ПХБ	1.73	0.1	12.7

Данные анализа СОЗ в пробах почвы и донных отложений приведены в *Приложении*.

5. Стойкие органические соединения в объектах флоры и фауны оз. Байкал

Образцы различных объектов флоры и фауны оз. Байкал отбирались и



идентифицировались специалистами ЛИН СО РАН в ходе совместных кругобайкальских экспедиций НПО «Тайфун» и ЛИН в 2013-2014 году. После отбора и видовой идентификации образцы консервировались методом глубокой заморозки и поступали на анализ в лабораторию НПО «Тайфун». Для отобранных образцов рыбы фиксировались место отбора, пол, возраст, вес и размер каждой особи.

Пробы зоопланктона (эпишура, макрогектопус) отбирались сетью Джеди с глубин 2-500м. Разделение проб по видам организмов проводилось непосредственно после отбора на судне специалистами ЛИН.

Пробы водорослей, губки, моллюски, амфимподы отбирались в прибрежной зоне на глубинах 1,5-10м с помощью группы водолазов ЛИН, принимавших участие в совместной экспедиции. Пробы гаммаруса отбирались с помощью рыболовных сетей.



Доставленные в НПО «Тайфун» пробы анализировались методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения (приборы DFS и Agilent 7200Q-TOF). Для точных количественных измерений в гомогенизированные образцы на стадии пробоподготовки вносилась смесь изотопно-меченых по углероду C^{13} аналогов определяемых веществ.

Для анализа проб рыбы из каждой особи удалялись внутренности, средняя часть тушки гомогенизировалась (мышцы, кожа, чешуя). Из проб зоопланктона отделялась эпишура и макрогектопус, которые гомогенизировались непосредственно.

В виду того, что все анализируемые виды СОЗ липофильны, для образцов фауны проводилось определение содержания липидов. С целью получения характеристик для сравнительного анализа, полученные данные для образцов рыбы и зоопланктона нормировались на содержание липидов. Образцы флоры (водоросли, губки) высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и анализировались в таком виде.

5.1. Рыба

5.1.1. Черный байкальский хариус (*Thymallus baicalensis*, Dybowski, 1874.)

5.1.1.1. Пестициды

Образцы хариуса отбирались в различных частях озера, причем возраст особей колебался от 2+ до 10+ лет.

В результате различных коэффициентов бионакопления и разной скорости трансформации отдельных видов СОЗ в биоте, состав и соотношение пестицидов в тканях рыб заметно отличается от пестицидного загрязнения проб воды оз. Байкал. В биопробах существенно менее выражено различие между соотношением концентраций изомеров ГХЦГ, вследствие высоких коэффициентов накопления, в тканях фиксируются пестициды, уровни которых в воде находятся ниже пределов обнаружения, в том числе, попадающие в экосистему за счет глобального атмосферного переноса. Содержание различных групп ХОП в тканях имеет существенные отличия для образцов, отобранных в разных районах озера. Так, образцы, отобранные в районе п. Листвянка показывают практически полное отсутствие изомеров ГХЦГ и низкое содержание метаболитов ДДТ. Основными загрязнителями являются **гексахлорбензол, токсафен и хлорданы**. Напротив, все образцы, отобранные вблизи противоположного берега (район Старая Ангасолка), кроме высокого содержания **гексахлорбензола** показывают заметное содержание ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов. Характерно также присутствие в этих пробах специфических пестицидов **Мирекс, Оксихлордан, транс-Нонахлор** не применявшихся в СССР и РФ.

Образцы хариуса, отобранные в центральной части оз. Байкал вдали от промышленных и сельскохозяйственных районов (м. Ухан) имеют характер распределения концентраций пестицидов сходный с образцами, отобранными в районе Старая Ангасолка. Можно отметить, несколько повышенное содержание пестицида **Мирекс** поступающего в регион из стран Юго-восточной Азии за счет атмосферного переноса. Практически во всех пробах зафиксировано наличие **октахлорстирола и пентахлоранизола**. Эти соединения, согласно решению комиссии по Стокгольмской конвенции от 2013 г., должны быть включены в список контролируемых соединений в текущем 2015 г. До настоящего времени определения данных веществ в биоте оз. Байкал не проводилось.

Содержание биологически активных конгенов препарата **Токсафен** в тканях хариуса весьма значительно. Средний уровень содержания **Токсафена** превышает содержание метаболитов ДДТ, за исключением **4,4'-ДДЕ**.

Отличия содержания ХОП в тканях рыб разного возраста имеются, однако, эти отличия неоднозначны и заметно нивелируются колебанием концентраций внутри ряда рыб одного возраста. Так, содержание **гексахлорбензола** у образца с возрастом +2 в 2,5 - 5 раз ниже, чем у рыб +3 - +4, однако, в то же время, у особи +2 содержание **4,4'-ДДД** выше, чем у особи с возрастом +4. Различие уровней содержания **4,4'-ДДЕ** внутри ряда рыб одного возраста и отобранных в одном районе вообще может достигать 15-20 раз.

Таким образом, для получения представительной картины накопления и оценки динамики изменения уровней загрязнения тканей хариуса ХОП, необходимы дополнительные исследования с использованием для анализа усредненных проб образцов рыб из одного района.

В таблице 5.1.1.1. приведены усредненные данные по содержанию ХОП в мышечной ткани хариуса различных районов оз. Байкал нормированные на содержание липидов. В таблицу не включались анализируемые пестициды, которые не были зафиксированы хотя бы в одном образце.

Таблица 5.1.1.1. Содержание хлороорганических пестицидов в тканях хариуса

Аналит:	Черный байкальский Хариус, нг/г липидов, n=18		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	24.43	5.5	44.2
α -ГХЦГ	1.77	<0.05	3.5
β -ГХЦГ	2.59	0.2	6
γ -ГХЦГ	0.55	0.1	2.5
Оксихлордан	3.06	<0.1	7.2
<i>trans</i> -Хлордан	1.98	0.5	5.7
<i>cis</i> -Хлордан	19.89	11.6	33.4
<i>trans</i> -Нонахлор	10.11	0.6	26.3
<i>cis</i> -Нонахлор	4.41	0.5	8.6
2,4`-ДДЕ	0.86	<0.03	3.9
4,4`-ДДЕ	72.07	14.1	390
2,4`-ДДД	2.27	<0.03	8.6
4,4`-ДДД	11.86	1.7	83.1
2,4`-ДДТ	2.8	0.3	7.7
4,4`-ДДТ	15	5.7	31.9
Мирекс	0.57	<0.03	2.1
Октахлорстирол	0.68	<0.03	3.6
Пентахлоранизол	0.08	<0.05	0.5
Тох 26	22.34	12.6	42
Тох 50	25.13	15.7	43.1
Тох 62	12.26	8.1	17.4
Сумма Тох	56.1	28.4	100.6
Содержание липидов, %	1.67	0.61	3.08

5.1.1.2. Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) являются основным загрязнителем вод оз. Байкал из класса СОЗ. В мышечной ткани хариуса идентифицируется порядка 25 индивидуальных конгенов ПХБ. Максимальное зафиксированное суммарное содержание соединений этого класса составляет 860, а среднее 360 нг/г липидов. В конгеновном составе ПХБ отмечается невысокое содержание низкохлорированных (три-, тетра-) и соединений со степенью хлорирования выше семи. Как и для проб воды, максимальное содержание в тканях хариуса зафиксировано для пента- и гексахлорированных соединений. Колебания содержания одних и тех же конгенов ПХБ

для особей одного пола и возраста, выловленных в одном и том же районе может составлять 2-3 раза.

В таблице 5.1.1.2. приведены усредненные данные по содержанию ПХБ в мышечной ткани хариуса различных районов оз. Байкал. В таблицу не включались анализируемые конгенеры ПХБ, которые не были зафиксированы хотя бы в одном образце.

Таблица 5.1.1.2. Содержание полихлорированных бифенилов в тканях хариуса

Конгенер ПХБ	Черный байкальский Хариус, нг/г липидов, n=18		
	Среднее	Минимум	Максимум
#28/#31 [CL3]	8.84	<0.10	37.6
#33 [CL3]	6.31	<0.10	16.4
#22 [CL3]	3.58	<0.10	10.5
#37 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10
#52 [CL4]	12.58	<0.10	21.2
#49 [CL4]	6.69	<0.10	12.8
#44 [CL4]	7.85	<0.10	24.5
#74 [CL4]	4.78	<0.10	10.5
#70 [CL4]	17.87	7.5	28.7
#95 [CL5]	16.98	9.2	60.5
#101 [CL5]	35.47	20.6	100.6
#99 [CL5]	24.3	13.7	57.9
#87 [CL5]	14.31	<0.10	55.3
#110 [CL5]	29.88	18.8	76.7
#123 [CL5]	2.51	<0.10	5.1
#118 [CL5]	39.66	15.4	162.1
#114 [CL5]	0.26	<0.10	3.4
#105 [CL5]	19.32	9.9	73.4
#149 [CL6]	16.6	8.3	26.9
#153 [CL6] + #168	52.95	20	232.5
#138 [CL6] + #158	42.26	10.3	155.4
#128 [CL6]	0.95	<0.10	12.3
#180 [CL7]	0.79	<0.10	10.3
Сумма ПХБ	362.46	203	862.2
Содержание липидов, %	1.67	0.61	3.08

5.1.1.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры - относительно новый класс СОЗ, внесенных в список Стокгольмской конвенции. Соединения этого класса используются как антипирены при производстве ряда пластмасс в последние 15 лет, в основном, в зарубежных странах. ПБДЭ обладают выраженными липофильными свойствами подобно ПХБ и хорошо накапливаются живыми организмами. Попадание ПБДЭ на байкальскую природную территорию возможно за счет глобального атмосферного переноса. Средние уровни содержания ПБДЭ в объектах окружающей среды в настоящее время на два-три

порядка ниже, чем содержание ПХБ. До настоящего времени данных по содержанию ПБДЭ в биообъектах оз. Байкал практически не имеется.

В мышечных тканях хариуса выловленного в разных районах оз. Байкал конгенеры ПБДЭ обнаружены повсеместно, в основном, тетра- и пентабромированные соединения. Максимальное суммарное содержание ПБДЭ в анализированных образцах не превышает 3,0 нг/г липидов. В таблице приведены обобщенные данные по содержанию ПБДЭ в мышцах хариуса. Конгенеры, которые не были зафиксированы хотя бы в одной пробе, не включались в таблицу.

Таблица 5.1.1.3. Содержание полибромированных дифениловых эфиров в тканях хариуса

Конгенер ПБДЭ	Черный байкальский Хариус, нг/г липидов, n=14		
	Среднее	Минимум	Максимум
BDE-47	0.47	<0.001	1.02
BDE-49	0.23	<0.001	0.41
BDE-66	0.11	<0.001	0.21
BDE-99	0.25	<0.001	0.7
BDE-100	0.13	<0.001	0.27
<i>BDE-154</i>	0.15	<0.001	0.26
<i>BDE-153</i>	0.06	<0.001	0.09
<i>BDE-183</i>	0.06	<0.001	0.08
Сумма ПБДЭ	0.96	<0.001	2.66
Содержание липидов, %	1.67	0.61	3.08

Среднее содержание ПБДЭ в тканях хариуса выловленного в южной части озера (район п. Листвянка, Старая Ангасолка) заметно ниже, чем у особей, выловленных в центральной части озера (м. Ухан). Причина этого факта неясна.

5.1.2. Байкальский омуль – *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775)

5.1.2.1. Пестициды

Содержание ХОП в мышцах омуля байкальского, выловленного в различных районах оз. Байкал заметно отличается от показателей загрязнения для хариуса. Так, максимально зафиксированный уровень содержания **гексахлорбензола** в тканях омуля в 5 раз, а средний в два раза выше, чем у хариуса. В то же время в мышцах омуля из всех обследованных районов существенно более низкое содержание изомеров ГХЦГ (средний уровень содержания **β-ГХЦГ на порядок ниже**), в ряде образцов **α-ГХЦГ** и **γ-ГХЦГ** не идентифицируются вообще. Среднее содержание **транс-нонахло**ра, наоборот, превышает таковое для хариуса почти в 4 раза, а **октахлорстирола** более чем в 10 раз. Средний уровень содержания активных конгенов препарата **Токсафен** в мышцах омуля в 2-3 раза выше, чем у хариуса.

Следует отметить, что, как и для тканей хариуса, что содержание ХОП в разных особях омуля одного возраста, отобранных в одном и том же районе, могут отличаться в 2-4 раза имея характер аномальных выбросов.

Таблица 5.1.2.1. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях омуля

Аналит:	Байкальский омуль, нг/г липидов, n=12		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	55.82	14.2	211.2
α -ГХЦГ	0.17	0.5	1.1
β -ГХЦГ	1.44	0.8	3.5
γ -ГХЦГ	<0.05	<0.05	0.07
Оксихлордан	2	3.3	9.8
<i>trans</i> -Хлордан	6.59	3	12
<i>cis</i> -Хлордан	27.76	12.8	58.3
<i>trans</i> -Нонахлор	38.07	20.9	79.7
<i>cis</i> -Нонахлор	9	5.8	14.6
2,4`-ДДЕ	2.43	0.7	5.1
4,4`-ДДЕ	76.58	32.6	239.8
2,4`-ДДД	3.45	1.6	4.7
4,4`-ДДД	10.58	5.9	15.8
2,4`-ДДТ	12.86	6.3	26.6
4,4`-ДДТ	41.42	19	56.2
Мирекс	1.34	0.3	2.4
Октахлорстирол	8.67	2.3	29.5
Пентахлоранизол	0.62	0.2	2.7
Тох 26	49.14	22.1	83.2
Тох 50	55.04	22.6	87.5
Тох 62	54.63	11.2	342
Сумма Тох	144	55.9	512.7
Содержание липидов, %	2.35	1.34	3.79

5.1.2.2. Полихлорированные бифенилы

Уровни содержания ПХБ, нормированные на содержание липидов, а так же характер распределения концентраций конгенов в тканях омуля близки к данным, полученным для хариуса. Средний уровень содержания суммы конгенов ПХБ для особей, выловленных в разных районах, составляет 460 нг/г липидов. Как и для тканей хариуса, различие содержания основных конгенов ПХБ у особей одного возраста, выловленных в одном районе, может составлять 2-5 раза.

Таблица 5.1.2.2. Содержание полихлорированных бифенилов в тканях омуля

Конгенер ПХБ	Байкальский омуль, нг/г липидов, n=12		
	Среднее	Минимум	Максимум
#19 [CL3]	1.46	<0.10	7.8
#17/#18 [CL3]	0.98	<0.10	11.7
#28/#31 [CL3]	9.96	4.6	17.1
#33 [CL3]	4.42	<0.10	15.9
#22 [CL3]	5.11	<0.10	22.5
#37 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10

Конгенер ПХБ	Байкальский омуль, нг/г липидов, n=12		
	Среднее	Минимум	Максимум
#52 [CL4]	18.53	12.1	31.5
#49 [CL4]	9.14	<0.10	22.7
#44 [CL4]	5.2	<0.10	12.2
#74 [CL4]	9.56	4.8	17.3
#70 [CL4]	25.47	13	45.2
#95 [CL5]	21.71	11.1	43.3
#101 [CL5]	42.32	21	71.4
#99 [CL5]	30.09	16.3	48.8
#119 [CL5]	0.29	<0.10	3.5
#87 [CL5]	15.2	6.9	23.8
#110 [CL5]	34.33	14.4	54
#123 [CL5]	4.42	<0.10	15
#118 [CL5]	36.62	17.5	52.5
#114 [CL5]	0.08	<0.10	0.9
#105 [CL5]	18.41	5.7	34.4
#151 [CL6]	1.89	<0.10	7.1
#149 [CL6]	20.53	11.7	41.7
#153 [CL6] + #168	77.43	24.6	187.5
#138 [CL6] + #158	60.01	4	184.4
#128 [CL6]	3.68	<0.10	18
#156 [CL6]	1.75	<0.10	7.5
#187 [CL7]	0.91	<0.10	7.6
#180 [CL7]	1.55	<0.10	10.8
#194 [CL8]	5.36	<0.10	64.4
Сумма ПХБ	462.9	276.6	687.1
Содержание липидов, %	2.35	1.34	3.79

5.1.2.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры в мышечных тканях омуля обнаруживаются повсеместно. Число конгенов ПБДЭ, идентифицируемых в тканях омуля и средний уровень суммарного содержания этих веществ почти вдвое выше, чем в тканях хариуса. Характерно наличие достаточно высоких уровней содержания декабромированного конгенера **BDE-209**, который в последнее время является основным компонентом антипиренов.

Таблица 5.1.2.3. Содержание полибромированных дифениловых эфиров в тканях омуля.

Аналит	Байкальский омуль, нг/г липидов, n=12		
	Среднее	Минимум	Максимум
BDE-28	0.06	<0.001	0.5
BDE-47	0.77	<0.001	2.27
BDE-49	0.05	<0.001	0.6
BDE-66	0.05	<0.001	0.3

Аналит	Байкальский омуль, нг/г липидов, n=12		
	Среднее	Минимум	Максимум
BDE-71	<0.001	<0.001	0.2
BDE-99	0.04	<0.001	0.2
BDE-100	0.12	<0.001	0.7
BDE-119	<0.001	<0.001	0.2
BDE-154	0.11	<0.001	0.53
BDE-153	0.1	<0.001	0.8
BDE-183	<0.001	<0.001	0.04
BDE-206	0.02	<0.001	0.1
BDE-207	<0.001	<0.001	0.1
BDE-208	0.29	<0.001	1.55
BDE-209	0.85	<0.001	2.35
Сумма ПБДЭ	2.41	0.1	4.8
Содержание липидов, %	2.35	1.34	3.79

5.1.3. Елец (*Leuciscusleuciscus baicalensis*, Dybowski, 1874)

5.1.3.1. Пестициды

Образцы ельца были выловлены в центральной и северной части озера Байкал.

Уровень содержания хлорорганических пестицидов, в том числе и токсафенов, в тканях ельца заметно выше, чем у хариуса и сравним с величинами загрязнения тканей омуля. Следует отметить сравнительно высокие уровни содержания нетипичных для РФ пестицидов – **оксихлордана, мирекса, цис- и транс-хлорданов.**

Усредненные данные по содержанию пестицидов приведены в таблице 5.1.3.1

Таблица 5.1.3.1. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях ельца

Аналит:	Елец, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	26.04	12.3	37.8
α -ГХЦГ	1.17	<0.05	2.9
β -ГХЦГ	1.02	<0.05	3
γ -ГХЦГ	0.33	<0.05	1
Оксихлордан	1.73	<0.08	3.9
<i>trans</i> -Хлордан	2.36	1.1	3.2
<i>cis</i> -Хлордан	14.2	5.9	20.9
<i>trans</i> -Нонахлор	10.72	1.5	21.5
<i>cis</i> -Нонахлор	1.39	<0.01	4.7
2,4`-ДДЕ	9.85	<0.03	38.5
4,4`-ДДЕ	70.16	29	113.4
2,4`-ДДД	26.08	2.3	106.4
4,4`-ДДД	29.74	2.7	115.8
2,4`-ДДТ	10.37	<0.05	28
4,4`-ДДТ	1.4	<0.08	6.7

Аналит:	Елец, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
Мирекс	1.46	0.8	3
Октахлорстирол	2.78	1.3	4
Пентахлоранизол	0.39	<0.05	0.8
Тох 26	18.6	5.9	40.1
Тох 50	17.8	5.8	36.6
Тох 62	4.5	0.2	10.5
Сумма Тох	40	13.2	87.2
Содержание липидов, %	1.31	0.76	2.37

5.1.3.2. Полихлорированные бифенилы

Несмотря на то, что образцы ельца были выловлены в зоне озера далекой от прямого антропогенного воздействия, средний уровень содержания ПХБ в тканях ельца весьма значителен - почти вдвое выше, чем у наблюдается у омуля (свыше 1000 нг/г липидов). Характерным отличием является также существенно большее количество конгенов ПХБ, которые идентифицируются в тканях. Существенный вклад в суммарное содержание ПХБ вносят как ди- и трихлорированные конгенеры, так и высохлорированные - нона и октахлорированные, которые практически не обнаруживаются в тканях омуля и хариуса.

Таблица 5.1.3.2. Содержание полихлорированных бифенилов в тканях ельца.

Конгенер ПХБ	Елец, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
#4/#10 [CL2]	1.34	<0.10	4.4
#8 [CL2]	17.54	<0.10	61
#15 [CL2]	4.94	<0.10	19.4
#19 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10
#17/#18[CL3]	16.5	<0.10	45.6
#28/#31 [CL3]	53.56	<0.10	123.5
#33 [CL3]	14.54	<0.10	40.7
#22 [CL3]	9.78	<0.10	26.9
#37 [CL3]	7.04	<0.10	19.6
#52 [CL4]	18.24	<0.10	36.7
#49 [CL4]	11.08	<0.10	24.5
#44 [CL4]	14.16	<0.10	32.6
#74 [CL4]	16.34	7.3	27.4
#70 [CL4]	31.2	13.1	62.8
#81 [CL4]	<0.10	<0.10	<0.10
#77 [CL4]	2.56	<0.10	7.9
#95 [CL5]	20.16	8.5	50
#101 [CL5]	56.7	17.4	168.6
#99 [CL5]	58.28	14.3	204.8
#119 [CL5]	0.78	0.1	1.6
#87 [CL5]	31.48	6.6	113.2

#110 [CL5]	68.16	16.4	243.7
#123 [CL5]	9.18	0.1	35.1
#118 [CL5]	80.34	18.9	277.4
#114 [CL5]	0.94	<0.10	2
#105 [CL5]	60.06	6.8	255.6
#126 [CL5]	<0.10	<0.10	<0.10
#151 [CL6]	3.26	<0.10	6.6
#149 [CL6]	42.12	10.4	126.6
#153 [CL6] + #168	160.46	39.2	467.1
#138 [CL6] + #158	195.32	40.6	648.7
#128 [CL6]	31.08	2.4	87.2
#167 [CL6]	7.08	<0.10	27.4
#156 [CL6]	13.7	<0.10	57.7
#157 [CL6]	0.83	<0.10	1.6
#169 [CL5]	<0.10	<0.10	<0.10
#178 [CL7]	0.61	<0.10	1.3
#187 [CL7]	1.27	<0.10	2.8
#183 [CL7]	0.69	<0.10	1.4
#177 [CL7]	0.88	<0.10	1.7
#171 [CL7]	0.36	<0.10	1
#180 [CL7]	2.45	<0.10	5.8
#191 [CL7]	<0.15	<0.10	<0.15
#170 [CL7]	5.28	<0.10	21
#189 [CL7]	0.15	<0.10	0.2
#202 [CL8]	0.2	<0.10	0.4
#201 [CL8]	0.15	<0.10	0.2
#199 [CL8]	0.64	<0.10	1.2
#194 [CL8]	1.14	<0.10	2.8
#205 [CL9]	<0.15	<0.10	<0.20
#208 [CL9]	0.46	<0.10	1.2
#206 [CL9]	0.25	<0.10	0.5
#209 [CL10]	0.28	<0.10	0.6
Сумма ПХБ	1077.6	436.9	2901.5
Содержание липидов. %	1.31	0.76	2.37

5.1.3.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры обнаружены в мышечной ткани ельца. Суммарное содержание конгенов ПБДЭ не превышало 1,6 нг/г липидов.

5.1.4. Бычок

В данной работе определялось содержание СОЗ в тканях нескольких видов бычка, обитающего в озере Байкал - бычок желтокрылка (*Cottocomephorus grewinkii* (Dybowski,

1874), бычок-длиннокрылка (*Cottocomephoru sinermis*) и бычок - песчанка. Средние уровни содержания СОЗ рассчитывались из данных, полученных для всех видов бычка.

5.1.4.1. Пестициды

По результатам анализов, у отдельных особей бычка зафиксированы экстремально высокие уровни содержания **гексахлорбензола** - свыше 300 нг/г липидов, **β-ГХЦГ** и **4,4'-ДДЕ** – 55 и 1140 нг/г липидов, соответственно.

Таблица 5.1.4.1. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях бычка

Аналит:	Бычок, n=7		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	26.04	12.3	37.8
α-ГХЦГ	1.17	<0.05	2.9
β-ГХЦГ	1.02	<0.05	3
γ-ГХЦГ	0.33	<0.05	1
Оксихлордан	1.73	<0.08	3.9
<i>trans</i> -Хлордан	2.36	1.1	3.2
<i>cis</i> -Хлордан	14.2	5.9	20.9
<i>trans</i> -Нонахлор	10.72	1.5	21.5
<i>cis</i> -Нонахлор	1.39	<0.01	4.7
2,4'-ДДЕ	9.85	<0.03	38.5
4,4'-ДДЕ	70.16	29	113.4
2,4'-ДДД	26.08	2.3	106.4
4,4'-ДДД	29.74	2.7	115.8
2,4'-ДДТ	10.37	<0.05	28
4,4'-ДДТ	1.4	<0.08	6.7
Мирекс	1.46	0.8	3
Октахлорстирол	2.78	1.3	4
Пентахлоранизол	0.39	<0.05	0.8
Тох 26	18.6	5.9	40.1
Тох 50	17.8	5.8	36.6
Тох 62	4.5	0.2	10.5
Сумма Тох	40	13.2	87.2
Содержание липидов, %	1.31	0.76	2.37

5.1.4.2 Полихлорированные бифенилы

Данные по уровням содержания и количеству идентифицируемых конгенов ПХБ в тканях бычка значительно выше, чем у хариуса и омуля и сопоставимы с результатами анализа тканей ельца. Максимальный уровень суммарного содержания ПХБ найденных в тканях, превышал 2300 нг/г липидов.

Таблица 5.1.4.2. Содержание полихлорированных бифенилов в тканях бычка.

Конгенер ПХБ	Бычок n=7		
	Среднее	Минимум	Максимум
#4/#10 [CL2]	0,21	<0.10	0,50
#8 [CL2]	<0.10	<0.10	<0.10
#15 [CL2]	0,17	<0.10	0,60
#17/#18 [CL3]	1,51	<0.10	4,20
#28/#31 [CL3]	45,19	<0.10	271,70
#33 [CL3]	3,74	<0.10	24,50
#22 [CL3]	0,21	<0.10	0,70
#37 [CL3]	0,11	<0.10	0,20
#52 [CL4]	22,91	<0.10	51,30
#74 [CL4]	24,59	<0.10	110,60
#70 [CL4]	21,34	<0.10	76,40
#81 [CL4]	<0.10	<0.10	<0.10
#77 [CL4]	1,97	<0.10	7,10
#95 [CL5]	15,13	<0.10	35,60
#101 [CL5]	59,59	<0.10	193,20
#99 [CL5]	63,24	<0.10	172,30
#119 [CL5]	1,40	<0.10	6,10
#87 [CL5]	22,00	<0.10	77,50
#110 [CL5]	56,84	<0.10	147,80
#123 [CL5]	4,10	<0.10	26,00
#118 [CL5]	89,46	<0.10	265,10
#114 [CL5]	3,91	<0.10	16,50
#105 [CL5]	36,73	<0.10	99,60
#126 [CL5]	<0.10	<0.10	<0.10
#151 [CL6]	0,90	<0.10	3,00
#149 [CL6]	19,86	1,70	50,90
#153 [CL6] + #168	134,10	3,60	598,90
#138 [CL6] + #158	141,81	5,40	634,60
#128 [CL6]	7,95	<0.10	28,20
#167 [CL6]	<0.14	<0.10	<0.15
#156 [CL6]	10,28	<0.10	37,50
#157 [CL6]	1,86	<0.10	7,80
#169 [CL5]	<0.10	<0.10	0,15
#178 [CL7]	0,52	<0.10	2,00
#187 [CL7]	4,07	<0.10	20,10
#183 [CL7]	0,81	<0.10	2,80
#177 [CL7]	0,90	<0.10	2,90
#171 [CL7]	1,93	<0.10	8,00
#180 [CL7]	46,25	<0.10	288,50

Конгенер ПХБ	Бычок n=7		
	Среднее	Минимум	Максимум
#191 [CL7]	26,16	<0.10	182,10
#170 [CL7]	15,78	<0.10	100,00
#189 [CL7]	0,20	<0.10	0,40
#202 [CL8]	0,20	<0.10	0,40
#201 [CL8]	0,23	<0.10	0,70
#199 [CL8]	1,10	<0.10	5,60
#194 [CL8]	1,77	<0.10	9,70
#205 [CL9]	0,18	<0.10	0,20
#208 [CL9]	0,20	<0.10	0,40
#206 [CL9]	0,34	<0.10	1,20
#209 [CL10]	0,51	<0.10	1,70
Сумма ПХБ	903,9	123,2	2539,4
Содержание липидов, %	1,88	0,41	6,25

5.1.4.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры обнаруживаются в мышечной ткани у всех видов бычка. Максимальные уровни были зафиксированы у бычка-желтокрылки в прибрежной зоне г. Байкальск – суммарное содержание конгенов ПБДЭ до 13 нг/г липидов.

5.1.5. Окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758)

Содержание ХОП, включая **токсафены**, в мышцах окуней, выловленных в прибрежной зоне г. Северобайкальск в 5-30 раз ниже, чем в мышцах омуля и хариуса из этого же района. Ряд таких характерных загрязнителей, как **хлорданы** не идентифицируются вообще. Связь содержания СОЗ в тканях окуней с возрастом рыбы (6+ и 12+ лет), выловленных в одном районе (Северобайкальск) не достаточно явно выражена. Так, суммарное содержание ПХБ в тканях рыб, отличающихся возрастом в два раза находится на одном уровне (285-320 нг/г липидов). В то же время содержание гексахлорбензола, ДДЕ, токсафенов у особи более старшего возраста в 2-3 раза выше.

Влияние зоны обитания окуня на содержание СОЗ в тканях проявляется для образцов, выловленных в устье р. Селенга. Так, суммарное содержание ПХБ у экземпляра окуня с возрастом 5+, выловленного в устье р. Селенга достигает 1500 нг/г липидов, что в 5 раз выше, чем у окуня возрастом 12+, выловленного в районе г. Северобайкальск. Суммарное количество **токсафенов** в мышцах окуня из устья р. Селенга достигает 58 нг/г липидов, что в 30-50 раз выше показателя для окуней, выловленных в прибрежной зоне г. Северобайкальск.

Содержание полибромированных дифениловых эфиров в тканях окуня из разных районов озера Байкал не превышает 0.7нг/г липидов

Полные данные соответствующих анализов приведены в Приложении 2.

5.1.6. Голомянка (*Comephorus baicalensis*, Pallas, 1776)

Большая *Comephorus baicalensis* (Pallas, 1776) и малая (*Comephorus dybowski* (Korotneff, 1905) голомянка - эндемические виды рыб, играющие весьма существенную роль в биоценозе озера Байкал.

Высокое содержание жира в тканях голомянки приводит к значительному накоплению липофильных СОЗ.

В ходе данной работы для исследований были доставлены несколько особей голомянки, выловленных в южной котловине озера Байкал. У всех взрослых особей отмечено характерное накопление хлорорганических пестицидов, отличающееся от прочих видов рыб. Так, содержание 4,4'-ДДТ, уровень которого в тканях голомянки достигает 3000 нг/г липидов, что превышает содержание метаболита 4,4'-ДДЕ в 2-5 раз. Несмотря на крайне высокое содержание метаболитов ДДТ, содержание остальных видов пестицидов, нормированное на содержание липидов, сопоставимо с данными, полученными для других видов рыб.

Несмотря на то, что в тканях голомянки идентифицируется значительное количество конгенов ПХБ, число которых сравнимо с данными для ельца и бычка, суммарное максимальное содержание ПХБ не достигает уровней, найденных у этих видов рыб. Уровень содержания токсафенов ниже, чем у омуля и сопоставим с данными для, полученными при анализе тканей бычка (до 300 нг/г липидов).

Данные анализа тканей голомянки приведены в Приложении 2.

5.2. Зоопланктон

Зоопланктон отбирался в южной, центральной и северной части озера с глубин от 500 до 2 м. Состав проб был сформирован, в основном, макрогектопусом *Macrohectopus branickii* (Dybowski, 1874) и эпишурой байкальской *Epischura baicalensis* Sars, 1900. Непосредственно после отбора из проб удалялись посторонние включения, личинки голомянки и т.п., эпишура и макрогектопус разделялись, гомогенизировались и анализировались отдельно. Масса образцов для анализа не менее 4г влажного веса.

Обобщенные результаты анализов зоопланктона из разных точек отбора, нормированные на содержание липидов, приведены ниже.

5.2.1. Хлорорганические пестициды

По результатам анализа следует отметить, что распределение концентраций и уровни содержания видов ХОП в зоопланктоне близки таковому для хариуса и омуля. Для определяемых ХОП максимальные уровни содержания отмечаются для **гексахлорбензола** и **4,4'-ДДЕ**. Средние уровни содержания гексахлорбензола в зоопланктоне превышают уровни содержания этого препарата в тканях хариуса. Хорошо идентифицируются в зоопланктоне малоиспользуемые и неиспользовавшиеся в РФ виды ХОП – **оксихлрдан**, **нонахлоры**. **Мирекс** был обнаружен в образцах макрогектопуса из всех районов озера, хотя в эпишуре этот пестицид не был найден. Следует особо отметить, что в образцах зоопланктона зафиксировано высокое содержание биологически активных компонентов препарата **Токсафен**. Несмотря на то, что по официальным данным применения этого препарата на байкальской территории не

проводилось, суммарное содержание конгенов токсафена в зоопланктоне сравнимо с концентрацией метаболитов ДДТ.

Таблица 5.2.1. Содержание хлорорганических пестицидов зоопланктоне.

Аналит:	Эпишура, нг/г липидов, n=4			Макрогектопус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	62.57	17.70	143.70	56.50	13.30	134.50
α -ГХЦГ	0.17	<0.05	0.70	0.66	<0.05	2.40
β -ГХЦГ	0.40	<0.05	1.60	2.42	<0.05	5.10
γ -ГХЦГ	0.05	<0.05	0.20	0.08	<0.05	0.40
Оксихлордан	0.20	<0.08	0.80	1.92	1.70	4.50
<i>trans</i> -Хлордан	2.87	1.70	4.50	3.06	0.50	6.30
<i>cis</i> -Хлордан	16.27	9.10	22.70	14.00	4.50	25.90
<i>trans</i> -Нонахлор	9.67	5.90	15.60	7.92	2.00	17.20
<i>cis</i> -Нонахлор	4.27	2.10	8.00	2.38	0.50	3.70
2,4`-ДДЕ	2.20	2.20	2.20	0.26	1.30	1.30
4,4`-ДДЕ	126.23	53.20	175.00	47.02	12.80	95.90
2,4`-ДДД	7.60	< 0.03	7.60	2.30	1.00	3.10
4,4`-ДДД	5.80	2.90	8.70	3.16	1.90	5.50
2,4`-ДДТ	1.00	<0.08	1.00	2.18	2.50	5.60
4,4`-ДДТ	18,27	2,80	32,30	13,70	6,30	28,70
Мирекс	<0,03	<0,03	<0,03	0,40	0,10	0,70
Октахлорстирол	3,0	< 0.1	9,80	3,14	0,20	10,90
Тох 26	19,67	14,80	23,20	21,04	8,50	32,30
Тох 50	18,00	13,10	23,10	22,92	9,00	40,90
Тох 62	7,60	4,90	10,60	9,64	3,50	17,40
Сумма Тох	53,17	32,80	69,90	65,00	20,90	90,60
Содержание липидов, %	0,95	0,80	1,18	1,47	0,63	2,29

5.2.2. Полихлорированные бифенилы

Все конгены ПХБ, присутствующие в воде оз. Байкал, зафиксированы в образцах зоопланктона. Распределение концентраций конгенов по степени хлорирования и и средний суммарный уровень содержания ПХБ в эпишуре достигает 300 нг/г липидов. Для макрогектопуса это значение вдвое ниже.

Таблица 5.2.2. Содержание полихлорированных бифенилов в зоопланктоне

Конгенер ПХБ	Эпишура, нг/г липидов, n=4			Макрогектопус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#17/#18 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10	1.50	<0.10	7.50
#28/#31 [CL3]	16.97	0.3	30.70	4.78	<0.10	14.30

Конгенер ПХБ	Эпишура, нг/г липидов, n=4			Макрогектопус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#33 [CL3]	2.87	<0.10	8.60	1.00	<0.10	3.80
#22 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10	0.30	<0.10	1.10
#37 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10	0.28	<0.10	0.80
#52 [CL4]	21.50	18.20	27.30	8.46	4.40	10.80
#49 [CL4]	<0.10	<0.10	<0.10	0.66	<0.10	1.80
#44 [CL4]	<0.10	<0.10	<0.10	0.42	<0.10	1.40
#74 [CL4]	2.47	<0.10	7.40	0.96	<0.10	3.00
#70 [CL4]	23.37	15.40	30.20	9.50	4.90	12.50
#77 [CL4]	<0.10	<0.10	<0.10	0.25	<0.10	0.90
#95 [CL5]	12.37	1.2	20.30	8.58	4.40	12.50
#101 [CL5]	26.23	22.70	29.30	15.26	7.80	23.60
#99 [CL5]	21.07	18.30	23.60	11.94	6.40	20.40
#87 [CL5]	13.47	10.70	16.50	5.93	3.20	9.40
#110 [CL5]	30.83	21.30	42.00	14.74	7.40	23.10
#123 [CL5]	0.60	<0.10	2.4	2.40	<0.10	7.40
#118 [CL5]	33.47	25.20	41.50	14.34	8.30	27.80
#114 [CL5]	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
#105 [CL5]	16.17	11.10	24.70	6.88	1.80	10.80
#151 [CL6]	2.33	<0.10	7.00	<0.10	<0.10	<0.10
#149 [CL6]	14.93	9.30	21.80	6.85	3.50	10.70
#153 [CL6] + #168	34.63	17.40	65.70	22.52	7.30	45.00
#138 [CL6] + #158	40.13	10.80	75.00	16.98	<0.10	42.50
#128 [CL6]	4.50	<0.10	18.00	3.86	<0.10	15.80
#156 [CL6]	<0.10	<0.10	<0.10	1.46	<0.10	5.70
#187 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	3.14	<0.10	12.60
#183 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.30	<0.10	1.30
#177 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.12	<0.10	0.60
#171 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.42	<0.10	2.10
#180 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.40	<0.10	1.50
#170 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.24	<0.10	0.90
Сумма ПХБ	318.87	264.20	361.20	159.82	71.30	269.70
Содержание липидов. %	0.95	0.80	1.18	1.47	0.63	2.29

5.2.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры идентифицированы в образцах зоопланктона из всех районов озера Байкал. Следует отметить, что эпишура подобно ПХБ, более активно накапливает ПБДЭ, чем макрогектопус. Средние уровни суммарного содержания ПБДЭ в эпишуре в 4-5 раз выше, чем в макрогектопусе.

Таблица 5.1.1.2. Содержание полибромированных дифениловых эфиров в зоопланктоне

Аналит:	Эпишура, нг/г липидов, n=4			Макрогектопус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
BDE-28	0.17	<0.001	0.50	<0.001	<0.001	<0.001
BDE-47	0.29	<0.001	0.55	0.46	<0.001	1.29
BDE-49	<0.001	<0.001	0.05	0.05	0.08	0.21
BDE-66	<0.001	<0.001	0.06	0.05	<0.001	0.14
BDE-99	0.86	0.15	2.23	0.04	0.38	1.09
BDE-100	<0.001	<0.001	0.05	0.10	<0.001	0.32
BDE-154	0.47	0.07	1.34	0.14	<0.001	0.60
BDE-153	1.00	0.03	2.94	0.07	<0.001	0.24
BDE-183	0.95	0.05	2.76	0.28	<0.001	0.72
BDE-206	1.42	0.02	2.50	<0.001	<0.001	<0.001
BDE-207	1.1	<0.001	2.30	<0.001	<0.001	0.10
BDE-208	0.80	<0.001	2.33	0.23	<0.001	0.60
BDE-209	5.92	1.2	9.08	0.40	<0.001	2.12
Сумма ПБДЭ	12.8	1.9	23.9	2.55	0.9	4.5
Содержание липидов. %	0.95	0.80	1.18	1.47	0.63	2.29

5.3. Фитопланктон

Образцы фитопланктона Синедра отбирались в Южной котловине озера, центральной и северной части озера Байкал. Во всех образцах обнаружено наличие ПХБ (в основном, пента и гексахлорированные конгенеры) на уровне 10-15нг/г сухой массы. У образцов, отобранных в районе мыса Святой Нос, наблюдается повышенное содержание тетрахлорированных конгенеров ПХБ. Превышение составляет 3-7 раз по сравнению с остальными пробами, хотя и не приводит к существенному изменению суммарной концентрации ПХБ.

Их хлорорганических пестицидов во все пробах обнаружены метаболиты ДДТ. Так, среднее содержание **4,4-ДДЕ** составляет 0,4 нг/г, **2,4-ДДД** - 0.3 нг/г сухой массы. Среднее содержание гексахлорбензола составляет 1,2 нг/г. Из остальных СОЗ на следовом уровне обнаруживаются **цис-** и **транс-Хлордан**, **β-ГХЦГ** и **цис-Нонахолр**.

Суммарное содержание конгенеров Токсафена в пробах фитопланктона из южной части озера составляет 0,5нг/г, в центральной части – 0,1нг/г сухого веса.

5.4. Водоросли

В ходе экспедиционных работ в прибрежной зоне различных районов оз. Байкал были отобраны образцы водорослей вида Улетрикс и Спиригира. Для анализа пробы водорослей высушивались при комнатной температуре без доступа солнечного света. В сухом виде пробы гомогенизировались и направлялись на анализ.

5.4.1. Хлорорганические пестициды

По результатам исследований установлено, что в зеленой массе водорослей происходит накопление липофильных ХОП. В водорослях идентифицированы практически все виды ХОП, присутствующие в воде оз. Байкал. При этом уровень содержания ряда ХОП (**ДДЕ, Нонахлоры, Токсафены**) в массе водорослей в пересчете на сухой вес в 1000-5000 раз превышает концентрацию этих соединений в воде.

Таблица 5.4.1. Содержание хлорорганических пестицидов в водорослях

Аналит:	Ulotrix, нг/г сух.вес, n=4			Спирогира, нг/г сух..вес, n=3		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	0.16	<0.03	0.66	0.19	<0.03	0.39
α-ГХЦГ	0.07	<0.05	0.19	0.05	<0.05	0.09
β-ГХЦГ	0.04	<0.05	0.11	0.05	<0.05	0.10
γ-ГХЦГ	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Оксихлордан	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
trans-Хлордан	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03	<0.03
cis-Хлордан	0.05	<0.03	0.13	0.03	<0.03	0.06
trans-Нонахлор	0.01	0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.03
cis-Нонахлор	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2.4`-ДДЕ	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	0.06
4.4`-ДДЕ	0.24	0.04	0.44	0.61	<0.03	1.22
2.4`-ДДД	0.04	<0.03	0.11	1.1	<0.03	2.15
4.4`-ДДД	0.14	<0.03	0.36	3.7	<0.03	7.37
2.4`-ДДТ	0.08	<0.08	0.18	0.07	<0.08	0.14
4.4`-ДДТ	0.30	<0.08	0.65	0.21	<0.08	0.41
Октахлорстирол	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Пентахлоранизол	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Тох 26	0.12	0.03	0.30	0.03	<0.004	0.05
Тох 50	0.09	0.02	0.20	0.02	<0.004	0.04
Тох 62	0.05	0.20	0.20	<0.004	<0.004	<0.004
Сумма Тох	0.28	0.05	0.70	0.05	<0.004	0.10

5.4.2. Полихлорбифенилы

Подобно хлорорганическим пестицидам, водоросли активно накапливают ПХБ. Среднее суммарное содержание конгенов ПХБ в водорослях вида Улетрикс и Спирогира составляет величину порядка 13-16 нг/г сухого веса. Это значение в 2-4 раза превышает суммарное содержание всех анализируемых ХОП, включая **Токсафены**

Таблица 5.4.2. Содержание полихлорированных бифенилов в водорослях

Конгенер ПХБ	Ulotrix, нг/г сух.вес, n=4			Спирогира, нг/г сух..вес, n=3		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#17/#18 [CL3]	<0.10	<0.10	0.1	<0.10	<0.10	<0.10

Конгенер ПХБ	Ulotrix, нг/г сух.вес, n=4			Спирогира, нг/г сух..вес, n=3		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#28/#31 [CL3]	0.15	<0.10	0.2	1.66	<0.10	0.3
#33 [CL3]	0.3	<0.10	0.5	<0.10	<0.10	<0.10
#37 [CL3]	<0.10	<0.10	0.1	<0.10	<0.10	<0.10
#52 [CL4]	0.66	0.1	1.1	0.44	<0.10	1.0
#49 [CL4]	0.3	0.3	0.3	0.17	<0.10	0.4
#44 [CL4]	0.35	0.2	0.5	0.16	<0.10	0.4
#74 [CL4]	0.35	0.3	0.4	< 0.10	<0.10	<0.10
#70 [CL4]	0.6	0.1	0.9	0.4	<0.10	0.9
#95 [CL5]	0.63	0.1	1	0.54	<0.10	1.1
#101 [CL5]	1.13	0.1	1.9	1.21	<0.10	2.3
#99 [CL5]	1.16	0.1	2.1	0.86	<0.10	1.6
#87 [CL5]	0.56	0.1	0.9	0.54	1.2	1.2
#110 [CL5]	1.23	0.2	2.2	1.41	0.1	3.00
#118 [CL5]	1.33	0.2	2.6	2.10	0.2	3.7
#105 [CL5]	0.63	0.1	1.2	0.71	1.8	1.8
#149 [CL6]	0.86	0.2	1.5	0.40	<0.10	1.1
#153 [CL6] + #168	2.2	0.5	3.8	1.0	0.1	2.7
#138 [CL6] + #158	3.03	0.7	5	1.61	0.2	4.1
#128 [CL6]	0.76	0.2	1.5	0.42	0.9	0.9
#156 [CL6]	0.35	0.2	0.5	0.1	<0.10	0.3
Сумма ПХБ	16.46	2.8	23.9	11.95	0.6	27.00

5.4.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Наличие ПБДЭ зафиксировано в образцах водоросли Улетрикс из всех точек отбора. Суммарное содержание ПБДЭ составляет 0.13 - 4,4 нг/г сухого веса. При этом основная доля приходится на нона и декабромированные конгенеры.

В водорослях вида Спирогира обнаружены лишь следовые уровни ПБДЭ – не выше 0,03 нг/г сухого веса.

5.5. ГУБКИ

5.5.1. Хлорорганические пестициды

Два вида губок отбирались в прибрежной зоне различных районов на глубинах 1,5 - 30м. Для проведения анализа образцы губки высушивались и анализировались аналогично пробам водорослей. По результатам исследований, губки накапливают ХОП аналогично водорослям. Средние уровни содержания ХОП в губках обеих видов сравнимы и близки к величинам содержания отдельных видов ХОП в водорослях. Образцы губки каждого вида, отобранные в пределах одного района, показывают различия концентраций ХОП не более чем в 1.5- 2 раза. Для одного образца губки (губка Варначка?), отобранной вблизи берега п. Большие Коты, найдено аномально высокое содержание **гексахлорбензола, ГХЦГ и ДДЕ и хлорданов, токсафенов.** Уровень

содержания этих ХОП **на 1-2 порядка выше**, чем средние величины, определенные в губках на акватории оз. Байкал. Возможно, этот выброс связан с попаданием ХОП с береговыми стоками из поселка.

Таблица 5.5.1. Содержание хлорорганических пестицидов в образцах губки

Аналит:	Губка Любомирская Байкаленсис, нг/г сух.вес, n=4			Губка, нг/г сух.вес, n=6		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	0,23	0.14	0,36	0,60	0.29	1.5
α-ГХЦГ	<0.05	<0.05	0,06	<0.05	<0.05	0,05
β-ГХЦГ	<0.05	<0.05	0,10	<0.05	<0.05	0,13
γ-ГХЦГ	<0.05	<0.05	0,11	<0.05	<0.05	<0.05
Оксихлордан	<0.08	<0.08	< 0.08	<0.08	<0.08	<0.08
<i>trans</i> -Хлордан	0.04	<0.03	0,06	0.05	<0.03	0.07
<i>cis</i> -Хлордан	0,16	0,11	0.25	0,15	0.07	0,24
<i>trans</i> -Нонахлор	0,08	0,07	0,09	0.09	0.04	0,14
<i>cis</i> -Нонахлор	0.02	<0.01	0.03	0.03	0.01	0,05
2,4`-ДДЕ	<0.03	<0.03	<0.05	0.04	<0.03	0,07
4,4`-ДДЕ	0,43	0,29	0,64	0,70	0,35	1.57
2,4`-ДДД	0,03	<0.03	0,05	0,06	0.05	0.07
4,4`-ДДД	0,37	0.03	0,64	0,58	0.04	2,08
2,4`-ДДТ	<0.08	<0.08	0,09	<0.08	<0.08	0,08
4,4`-ДДТ	0,14	0.08	0,24	0,31	0,12	0,81
Октахлорстирол	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	0.11
Пентахлоранизол	<0.05	<0.05	0,05	<0.05	<0.05	< 0.05
Тох 26	0,23	0.2	0.3	0,2	0,1	7,0
Тох 50	0,17	0,1	0,3	0.2	0,2	7,0
Тох 62	0,1	0,1	0,1	0,1	<0.004	0.1
Сумма Тох	0,5	0,4	0,7	0.42	0,2	25.2

5.5.2. Полихлорбифенилы

Если не учитывать отдельные образцы губок с аномально высоким содержанием ХОП И ПХБ, распределение концентраций конгенов ПХБ сравнимо с данными, полученными для водорослей. Среднее суммарное содержание ПХПБ в губках двух видов составляет порядка 9 нг/г сухого веса.

В отдельных образцах губки поступивших на анализ зафиксировано суммарное содержание ПХБ от 250 до 1000 нг/г сухого веса.

Таблица 5.5.2. Содержание полихлорированных бифенилов в образцах губки

Конгенер ПХБ	Губка Любомирская Байкаленсис, нг/г сух.вес, n=4			Губка, нг/г сух.вес, n=6		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#17/#18 [CL3]	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

Конгенер ПХБ	Губка Любомирская Байкаленсис, нг/г сух.вес, n=4			Губка, нг/г сух.вес, n=6		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
#28/#31 [CL3]	0.12	<0.10	0.26	0.16	<0.10	0.21
#52 [CL4]	0.24	0.2	0.52	0.31	<0.10	0.50
#49 [CL4]	0.13	<0.10	0.19	0.10	<0.10	0.2
#44 [CL4]	0.13	<0.10	0.21	<0.10	<0.10	<0.10
#74 [CL4]	0.14	0.1	0.22	0.14	<0.10	0.3
#70 [CL4]	0.37	0.20	0.60	0.32	<0.10	0.60
#95 [CL5]	0.42	0.20	0.87	0.33	<0.10	0.6
#101 [CL5]	0.75	0.20	1.46	0.61	0.13	1.20
#99 [CL5]	0.59	0.20	1.08	0.59	0.11	1.20
#87 [CL5]	0.35	0.20	0.65	0.30	0.13	0.60
#110 [CL5]	0.85	0.10	1.67	0.64	0.31	1.50
#118 [CL5]	1.12	0.20	2.07	0.98	0.41	2.20
#105 [CL5]	0.30	0.20	0.82	0.47	0.16	1.10
#151 [CL6]	<0.10	<0.10	0.16	0.02	<0.10	0.16
#149 [CL6]	0.4	0.20	0.78	0.37	0.17	0.80
#153[CL6]+ #168	1.25	0.50	2.75	1.17	0.62	2.80
#138[CL6]+ #158	1.72	0.40	3.66	1.48	0.65	3.60
#128 [CL6]	0.28	0.10	0.56	0.25	<0.10	0.60
#156 [CL6]	<0.10	<0.10	0.22	<0.10	<0.10	0.20
#187 [CL7]	<0.10	<0.10	<0.10	0.5	<0.10	1.50
#180 [CL7]	<0.10	<0.10	0.19	0.16	<0.10	0.60
Сумма ПХБ						

Примечание- образцы с аномально высоким содержанием ПХБ не включались при расчете максимальных и средних величин.

5.5.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Уровни содержания ПБДЭ в губках из разных районов соответствуют содержанию этого класса веществ в водорослях Спирогира. Если не учитывать образцы с аномально высоким содержанием всех СОЗ, средние уровни суммарного содержания ПБДЭ составляют около 0,05 нг/г сухого веса.

5.6. Ракообразные

Образцы гаммаруса отбирались в разных районах озера на глубинах 2-20м. Для анализа гаммаруса из конкретного района составляли пробу, включающую 3-5 особей. Размер животных в пробе 3-5 см. Пробу гомогенизировали целиком и передавали на анализ.

5.6.1. Хлорорганические пестициды

По результатам исследований видно, что в образцах гаммаруса идентифицированы все виды ХОП, определяемые в данной работе. Следует отметить большой разброс

концентраций отдельных ХОП как для образцов, отобранных в разных районах, так и для проб, отобранных в пределах одного района. Так, минимальные и максимальные уровни содержания ряда ХОП (**4,4'-ДДЕ, Мирекс, гексахлорбензол, цис-нонахлор**) могут отличаться в 10-50 раз. Уровни содержания токсичных конгенов **токсафена** превышают содержание всех метаболитов ДДТ за исключением **4,4'-ДДЕ**. Из всех видов водной фауны анализируемых в ходе данной работы, в отдельных образцах гаммаруса были обнаружены самые высокие уровни содержания пестицидов (более 1200 нг/г липидов метаболитов ДДТ) и полихлорированных бифенилов - свыше 4000 нг/г липидов.

В таблице 5.6.1. приведены усредненные данные для гаммаруса из разных районов озера Байкал и разброс концентраций ХОП В пробах.

Таблица 5.6.1. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях гаммаруса

Аналит:	Гаммарус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
Гексахлорбензол	71.34	15.10	247.60
α-ГХЦГ	0.78	0.05	2.60
β-ГХЦГ	4.70	1.70	6.80
γ-ГХЦГ	1.20	<0.05	5.20
Оксихлордан	0.74	<0.08	3.20
<i>trans</i> -Хлордан	5.88	2.50	8.90
<i>cis</i> -Хлордан	23.42	10.40	33.50
<i>trans</i> -Нонахлор	18.74	1.80	37.60
<i>cis</i> -Нонахлор	8.32	0.50	15.50
2,4`-ДДЕ	3.04	0.60	4.20
4,4`-ДДЕ	306.42	41.00	1184.90
2,4`-ДДД	4.20	1.70	6.00
4,4`-ДДД	9.08	1.10	22.70
2,4`-ДДТ	3.14	0.10	10.20
4,4`-ДДТ	16.94	2.00	34.00
Мирекс	1.12	<0.05	2.50
Октахлорстирол	12.74	1.50	51.50
Пентахлоранизол	0.5	<0.05	1.50
Тох 26	34.72	12.20	68.70
Тох 50	39.18	14.00	68.80
Тох 62	15.6	0.8	28.30
Сумма Тох	89.36	31.40	165.8
Содержание липидов, %	1.81	0.74	3.86

4.6.2. Полихлорированные бифенилы

Характер состава конгенов ПХБ в тканях гаммаруса заметно отличается от данных, полученных для тканей рыб, зоопланктона и водорослей. Количество идентифицируемых конгенов ПХБ более 40, что существенно выше, чем у остальных

представителей флоры и фауны. Как и у образцов биоты прочих видов, максимальные концентрации ПХБ зафиксированы для пента- и гексахлорированных конгенов. В то же время в тканях гаммаруса накапливается заметно больше низко и высокохлорированных конгенов, которые не идентифицируются у прочих объектов. Разброс между максимальным и минимальным содержанием ПХБ для отдельных пулов образцов гаммаруса отобранных в одном районе довольно значителен и может достигать 10 раз.

Таблица 5.6.2. Содержание полихлорированных бифенилов в тканях гаммаруса

Конгенер ПХБ	Гаммарус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
#8 [CL2]	0.30	<0.10	1.50
#15 [CL2]	0.22	<0.10	0.80
#17/#18 [CL3]	0.36	<0.10	1.80
#28/#31 [CL3]	55.50	<0.10	243.50
#33 [CL3]	3.20	<0.10	8.90
#22 [CL3]	0.82	<0.10	3.30
#37 [CL3]	2.96	<0.10	11.00
#52 [CL4]	59.24	3.3	117.70
#49 [CL4]	27.00	3.00	62.60
#44 [CL4]	24.54	3.70	61.20
#74 [CL4]	44.70	5.90	107.00
#70 [CL4]	75.30	13.60	154.10
#77 [CL4]	3.20	<0.10	9.80
#95 [CL5]	57.74	10.20	108.60
#101 [CL5]	117.58	13.60	190.30
#99 [CL5]	98.64	15.60	188.90
#119 [CL5]	5.68	<0.10	13.60
#87 [CL5]	27.64	4.3	80.80
#110 [CL5]	127.56	11.60	249.20
#123 [CL5]	16.04	7.70	26.20
#118 [CL5]	134.38	16.80	228.10
#114 [CL5]	2.76	<0.10	7.20
#105 [CL5]	75.16	1.30	161.10
#151 [CL6]	14.40	<0.10	29.10
#149 [CL6]	97.40	3.60	259.10
#153 [CL6] + #168	381.50	19.40	1121.00
#138 [CL6] + #158	365.52	4.50	1166.50
#128 [CL6]	50.62	<0.10	137.70
#167 [CL6]	1.00	<0.10	<0.10
#156 [CL6]	24.76	4.10	60.30
#157 [CL6]	4.16	<0.10	12.10
#178 [CL7]	0.42	<0.10	2.10
#187 [CL7]	10.32	<0.10	26.10
#183 [CL7]	1.42	<0.10	6.20
#177 [CL7]	1.58	<0.10	7.90

Конгенер ПХБ	Гаммарус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
#171 [CL7]	0.18	<0.10	0.90
#180 [CL7]	14.72	<0.10	40.60
#170 [CL7]	5.66	<0.10	20.50
#189 [CL7]	0.06	<0.10	0.30
#202 [CL8]	0.14	<0.10	0.70
#199 [CL8]	0.68	<0.10	3.40
#194 [CL8]	0.20	<0.10	1.00
#206 [CL9]	<0.10	<0.10	0.10
#209 [CL10]	<0.10	<0.10	0.10
Сумма ПХБ	1931.96	226.50	4477.70
Содержание липидов, %	1.81	0.74	3.86

5.6.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры накапливаются в жировой ткани гаммаруса. Уровни суммарного содержания конгенов ПБДЭ находятся в пределах 1,7-5,8 нг/г липидов, что сравнимо с величинами, полученными при анализе тканей макрогектопуса.

Таблица 5.6.3. Содержание полибромированных дифениловых эфиров в тканях гаммаруса

Аналит:	Гаммарус, нг/г липидов, n=5		
	Среднее	Минимум	Максимум
BDE-28	<0.001	<0.001	0.04
BDE-47	0.62	<0.001	1.35
BDE-49	0.136	<0.001	0.38
BDE-66	0.1	<0.001	0.20
BDE-71	<0.001	<0.001	0.20
BDE-99	0.45	0.07	1.4
BDE-100	0.09	<0.001	0.30
BDE-154	0.21	<0.001	0.40
BDE-153	0.6	0.02	0.08
BDE-183	<0.001	<0.001	0.04
BDE-206	0.04	<0.001	0.20
BDE-207	0.04	<0.001	0.20
BDE-208	0.68	0.2	1.73
BDE-209	1.33	0.26	2.65
Сумма ПБДЭ	2.41	1.66	5.79
Содержание липидов, %	1.81	0.74	3.86

5.7. Моллюски и прочее

5.7.1. Хлорорганические пестициды

Отдельные образцы моллюсков, амфипод, пиявок, червей отобранные в различных районах озера на линии уреза воды анализировались для оценки величин накопления ХОП в этих организмах. Для анализа отбиралось 10-20 особей каждого вида, пробы гомогенизировали и передавали на анализ. Следует отметить, что содержание **гексахлорбензола, хлорданов и токсафенов** в тканях моллюсков и амфипод и пиявок сравнимо с величинами для тканей рыб. В то же время при высоком содержании ХОП у пиявок не отмечено накопления **токсафенов**.

Полученные данные по содержанию ХОП в пробах в пересчете на грамм липидов приведены в Приложении

5.7.2. Полихлорбифенилы

Полихлорбифенилы обнаружены во всех объектах анализа. Однако, суммарное содержание **ПХБ** заметно отличается для каждого вида. Так, для моллюсков вида Маки Гердариано сумма конгенов **ПХБ** достигает 3500 нг/г липидов, в то время как для прочих моллюсков содержание **ПХБ** более чем на порядок ниже. Весьма заметное количество **ПХБ** накапливают пиявки - до 2000 нг/г липидов. Следует отметить, что в жировой ткани моллюсков и пиявок наблюдается повышенное содержание трихлорированных **ПХБ** (в 5-20 раз по сравнению с другими обследованными биообъектами).

5.7.3. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)

Полибромированные дифениловые эфиры обнаружены в тканях моллюсков, амфипод и пиявок, отобранных в разных районах прибрежной зоны озера Байкал. Из исследованных объектов, максимальный уровень содержания **ПБДЭ** зафиксирован у моллюска вида Маки Гердариано - до 2,5 нг/г липидов. Наиболее низкое содержание **ПБДЭ** в этой группе объектов обнаружено у амфипод – 0,4 нг/г липидов.

6. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны

Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны (ПХДД/ПХДФ) выделены в Стокгольмской конвенции как отдельный класс веществ подлежащих контролю. Вопрос о накоплении указанных веществ в экосистеме озера Байкал неоднократно поднимался в связи с выбросами байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Анализы сточных вод и атмосферы, проводимые в 1995-2000 г показывали наличие ПХХД/ПХДФ. В ряде работ этого периода определялось содержание ПХДД/ПХДФ в жировой ткани омуля на уровне 10-50 пг/г липидов в величинах токсических эквивалентов 2,3,7,8-ТХДД.

В ходе выполнения данной работы проводилось определение содержания ПХДД/ПХДФ в мышечной ткани омуля и хариуса, выловленных в районе Южной котловины (район БЦБК) и северной части озера (Северобайкальск). Для анализа образцы рыбы освобождали от внутренностей, использовали среднюю часть тушки, которая гомогенизировалась вместе с кожей и чешуей.

В ходе анализов было установлено, что в образцах тканей омуля с возрастом 4+, выловленных в Южной котловине, содержатся только **полихлорированные дибензофураны** (ПХДФ). Токсичных конгенов полихлорированных дибензо-п-диоксинов на уровне чувствительности анализа (0.1 пг/г липидов) обнаружено не было. Суммарный уровень содержания ПХДФ в тканях омуля в единицах диоксинового эквивалента токсичности (ТЕQ) составляет 1,6 – 12,0 пг/г липидов. Соответственно, в пробах мышечной ткани большой голомянки (3 стадия роста) из этого района фиксируется содержание ПХДД/ПХДФ на уровне 25-35 пг/г липидов, в тканях бычка-желтокрылки содержание ПХДФ до 10 пг/г липидов.

Следует отметить, что в образцах тканей хариуса и окуня, выловленного вблизи г. Байкальск, наличие ПХДД/ПХДФ не обнаружено.

Так же не обнаружено ПХДД/ПХДФ на уровне чувствительности анализа в тканях омуля, хариуса и окуня, выловленных в центральной (мыс Ухан) и северной части озера (Северобайкальск).

7. Заключение

Предыдущие исследования СОЗ в озере Байкал и на прилегающих территориях, к сожалению, выполнялись методами различной степени точности и достоверности, что крайне затрудняло сравнение полученных результатов и выводы можно было рассматривать как предварительные, ориентировочные.

Представленные в настоящем отчете данные получены на основе единообразного и наиболее современного аналитического метода – хромато-масс спектрометрии высокого разрешения с изотопным разбавлением, что позволяет проводить корректные сравнения содержания СОЗ в различных объектах окружающей среды и делать выводы не только об уровнях загрязнения, но и миграции СОЗ между средами.

В ходе настоящей работы впервые было проведено одновременное комплексное обследование элементов экосистемы оз. Байкал на содержание СОЗ (атмосферный воздух, поверхностные воды, почва, донные отложения, объекты водной флоры и фауны). Наряду с традиционными видами СОЗ был выделен и идентифицирован ряд токсикантов, не попадавших ранее в поле внимания исследователей, получены данные по глобальному атмосферному переносу ряда СОЗ, не применявшихся на территории РФ, получены сведения о содержании и распределении СОЗ по глубинам озера. Особое внимание уделено анализу СОЗ в биообъектах, накапливающих токсиканты в ходе жизнедеятельности, при этом впервые максимально полно рассматривались элементы биосистемы – зоо и фитопланктон, губки, водоросли, ракообразные и разные виды рыб, обитающие в озере Байкал.

Однако представленные здесь результаты вследствие объективных причин носят в основном квазистатистический характер, что не позволяет многие из сделанных заключений рассматривать как однозначные. Отсюда вытекает основное направление дальнейших работ по оценке состояния озера Байкал на ближайшие несколько лет - отбор и анализ наиболее представительных проб на содержание СОЗ с целью достижения статистически обоснованных результатов и получения на их основе достоверных выводов.

Изучение динамики накопления и трансформации СОЗ в экосистеме должно обеспечить возможности прогнозирования загрязнения озера Байкал (временных периодов достижения равновесных состояний, уровней загрязнения и т.п.) на основе современных моделей миграции в природных средах (поступления из атмосферы напрямую в водную поверхность, на почву, смыва с поверхностными и внутрипочвенными стоками и т.п.) и пищевых цепочках.