

УДК 504.4.054+504.054

Загрязнение хлорорганическими пестицидами и полихлорированными бифенилами бассейна озера Байкал: озеро Гусиное

Г. С. ШИРАПОВА¹, Н. С. УТЮЖНИКОВА¹, О. А. РАБИНА², А. И. ВЯЛКОВ², С. В. МОРОЗОВ², В. Б. БАТОВЕВ¹

¹Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ 670047 (Россия)

E-mail: gshira@yandex.ru

²Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения РАН, проспект Академика Лаврентьева, 9, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: moroz@nioch.nsc.ru

(Поступила 19.11.12; после доработки 07.02.13)

Аннотация

В донных отложениях и поверхностной воде оз. Гусиное (бассейн оз. Байкал) определены содержание и профили хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов. Проведена оценка путей их поступления в оз. Гусиное. Установлено, что источники поступления этих экотоксикантов преимущественно локальные.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, бассейн оз. Байкал

ВВЕДЕНИЕ

Хлорорганические пестициды (ХОП) и полихлорированные бифенилы (ПХБ) относятся к особо опасным экотоксикантам, обладают выраженной мутагенной и канцерогенной активностью, высокой степенью биоаккумуляции в организмах, токсичностью и устойчивостью в окружающей среде.

Хлорорганические пестициды дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и гексахлорциклогексан (ГХЦГ), благодаря выраженным инсектицидным свойствам, с 1940 по 1970 гг. широко использовались в России. Они также активно применялись как теплоотводящие жидкости в электрооборудовании, смазочно-охлаждающие жидкости, а также при производстве пластификаторов, пестицидов, красок, лаков [1].

Озеро Гусиное – самое крупное после оз. Байкал на территории Западного Забай-

калья. Водосборная площадь бассейна озера составляет 924 км², максимальная глубина 25 м. Длина озера около 25 км, максимальная ширина 8.5 км. Река Баин-Гол, вытекающая из юго-восточной части озера, впадает в р. Селенгу – основной приток Байкала [2].

Антропогенная нагрузка на оз. Гусиное значительна: расположенная на берегу озера Гусиноозерская ГРЭС потребляет 90 % от суммарного водоотбора поверхностных вод Республики Бурятия. Помимо тепловых сбросов ГРЭС, в озеро сбрасываются очищенные сточные воды с промплощадки Гусиноозерской ГРЭС, а также сточные воды МУП “Водоканал” г. Гусиноозерска и ООО “ЖЭУ Гусиное озеро”. На берегах озера расположены другие источники антропогенного загрязнения: г. Гусиноозерск с населением около 25 тыс. человек, железнодорожная станция и поселок Гусиное озеро, склады ГСМ, а также закрытые в настоящее время угольная

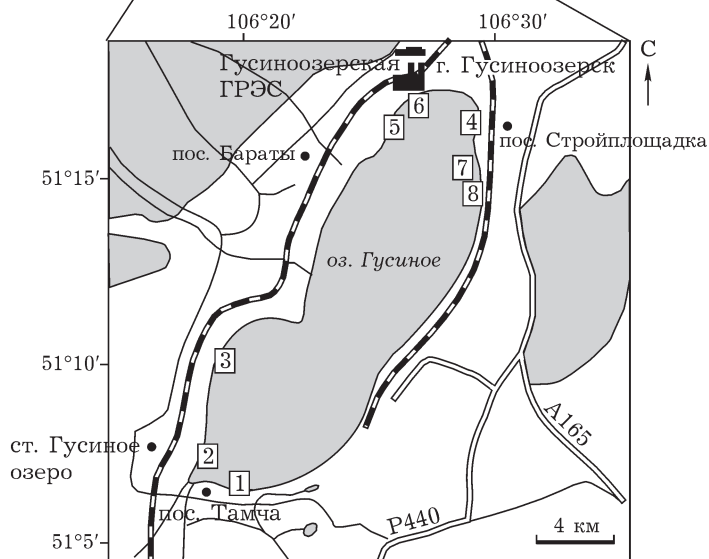
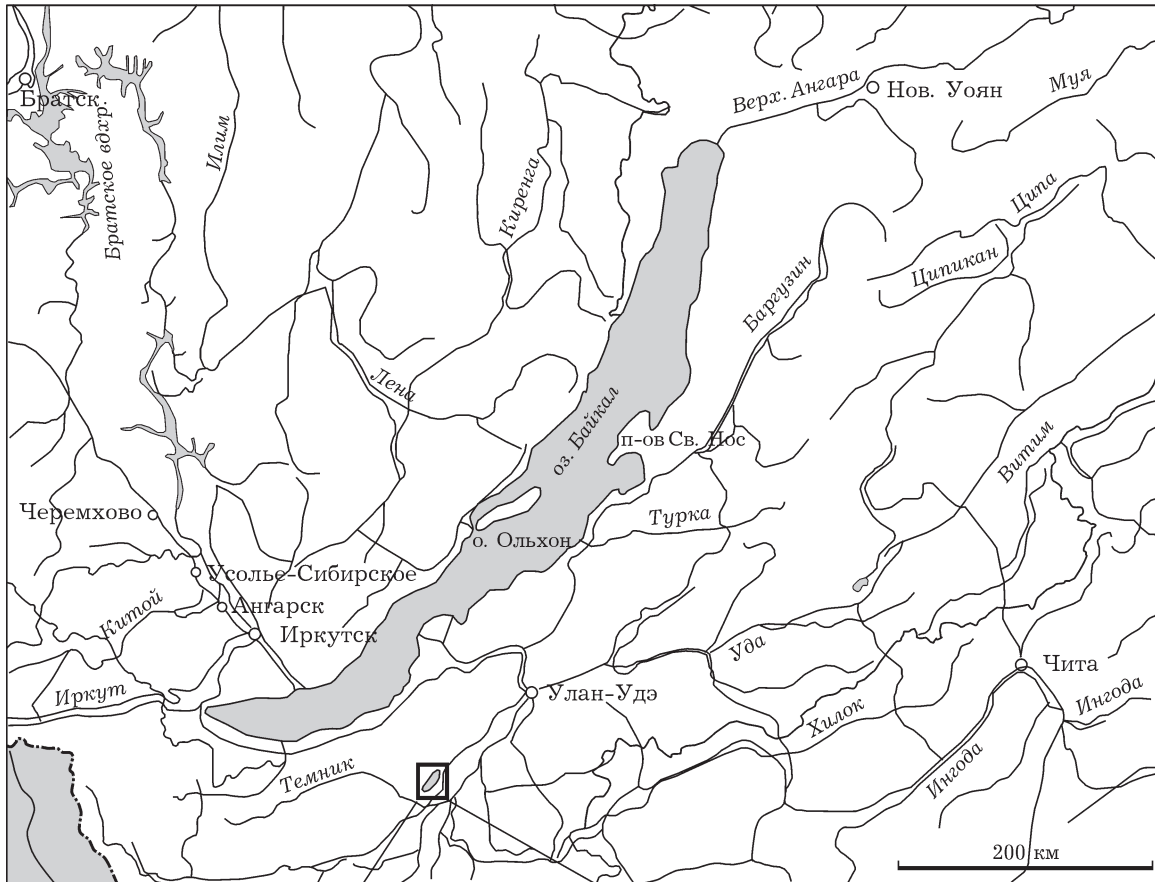


Рис. 1. Схема станций отбора экспериментального материала (1-8).

шахта и разрез с наработанными горными выработками и отвалами горных пород.

Исследования загрязненности ХОП и ПХБ оз. Гусиное и источников их поступления в бассейн оз. Гусиное ранее не проводились.

Цель данной работы – определение современных уровней содержания ХОП и ПХБ в поверхностной воде, донных отложениях и источниках их поступления в экосистему оз. Гусиное, входящего в буферную экологическую зону Байкальской природной территории.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Отбор проб поверхностной воды и донных отложений производился осенью 2009 г. Карта расположения станций отбора проб донных отложений и поверхностной воды представлена на рис. 1.

Образцы проб поверхностной воды консервировали добавлением концентрированной HCl классификации “ос. ч.” из расчета 1 мл кислоты на 1 л раствора. Образцы донных отложений отбирали с приповерхностного слоя до 10 см с помощью дночерпателя (Wildlife Supply Company, USA). Образцы просушивались при комнатной температуре, просеивались через сито с размером ячейки 0.4 мм.

Пробоподготовка донных отложений (5 г) и поверхностной воды (2 л) состояла в экстракции ХОП и ПХБ хлористым метиленом и очистке полученных экстрактов пропусканием через колонку с активированным оксидом алюминия. Для анализа полученных экстрактов использован метод хромато-масс-спектрометрии (газовый хроматограф Agilent Technologies (AT) 6890N с масс-селективным детектором AT 5975N и автосамплером AT 7683B) в режиме детектирования по индивидуальным характеристическим ионам определяемых соединений. Анализируемые компоненты разделяли на капиллярной кварцевой колонке HP-5MS длиной 30 м, диаметром 0.25 мм и толщиной покрытия 0.25 мкм. Условия газохроматографического определения: температура детектора 280 °С, температура источника ионов 230 °С, температура квадруполя 150 °С, газ-носитель – гелий. Температура термостата колонки возрастала от 50 (время выдержки 2 мин) до 280 °С (время выдерж-

ки 20 мин) со скоростью 10 °С/мин. Задержка включения катода источника ионов для прохождения пика растворителя составляла 5 мин.

Для количественного определения использовали стандартные образцы смесей пестицидов и ПХБ: (НР № 8500-6011, ГСО 7821–2000) и суррогатный стандарт (свидетель) – 4,4'-дибромбифенил, погрешность определения не превышала 20 %; предел обнаружения 0.02 нг/г при анализе 5 г донного осадка и 0.05 нг/л при анализе 2 л воды соответственно.

В полученных экстрактах определяли следующие соединения: *n,n'*-ДДТ и его метаболиты: *n,n'*-дихлордифенилдихлорэтан (*n,n'*-ДДД), *n,n'*-дихлордифенилэтилен (*n,n'*-ДДЭ); изомеры ГХЦГ (α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, δ -ГХЦГ), гексахлорбензол (ГХБ), дильдрин, альдрин, эндрин, а также сумму ПХБ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований определены современные уровни загрязнения ХОП и ПХБ экосистемы оз. Гусиное. В табл. 1, 2 приведены данные по содержанию этих экотоксикантов в донных осадках и поверхностной воде оз. Гусиное.

Выполнен сравнительный анализ полученных результатов и литературных данных для других водных экосистем планеты (табл. 3, 4).

Гексахлорциклогексан

Гексахлорциклогексан – один из распространенных инсектицидов, который применялся в России для борьбы с различными вредными насекомыми, в том числе в качестве инсектицидной добавки к протравителям семян для предохранения всходов от повреждения почвообитающими вредителями.

Общая концентрация ГХЦГ (α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ) в донных отложениях (см. табл. 1) составила 0.2–8.9 нг/г сухой массы (среднее значение 3.1 нг/г). Полученные значения соответствуют уровню концентраций в слабозагрязненных арктических районах (см. табл. 3).

Общая концентрация ГХЦГ в поверхностной воде составила 1.1–5.1 нг/л (среднее значение 2.2 нг/л). В исследуемых образцах донных отложений и поверхностной воды

ТАБЛИЦА 1

Содержание ХОП и ПХБ в образцах донных отложений, нг/г сухой массы

Соединения	Станции отбора проб							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
α -ГХЦГ	н. о.	1.2	н. о.	0.5	0.6	0.2	0.1	н. о.
β -ГХЦГ	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
γ -ГХЦГ	2.3	5.2	1.5	1.5	8.3	1.2	2.0	0.2
δ -ГХЦГ	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Σ ГХЦГ	2.3	6.4	1.5	2.0	8.9	1.4	2.1	0.2
<i>n,n'</i> -ДДТ	0.3	0.8	н. о.	н. о.	1.3	1.0	0.5	н. о.
<i>n,n'</i> -ДДЭ	0.4	0.8	0.2	0.7	2.3	0.5	2.3	0.4
<i>n,n'</i> -ДДД	0.2	0.4	н. о.	0.8	0.6	0.6	1.5	0.1
Σ ДДТ	0.9	2.0	0.2	1.5	4.2	2.1	4.3	0.5
ГХБ	2.5	4.1	3.0	4.0	8.1	3.4	4.5	2.7
Дильдрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Альдрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Эндрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Σ ХОП	5.8	12.4	4.7	7.4	28.6	8.7	10.9	3.3
Σ ПХБ	5.2	6.6	2.5	4.7	21.6	17.9	16.6	2.0

Примечание. н. о. – не обнаружено, ниже предела обнаружения (0.02 нг/г).

изомеры β -ГХЦГ и γ -ГХЦГ не обнаружены (см. табл. 1, 2).

Как следует из данных табл. 4, концентрации Σ ГХЦГ в поверхностной воде превышают аналогичные данные для арктических районов и сопоставимы с данными для оз. Басумтви, Гана (0.8–1.6 нг/л). Полученные значения не превышают ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (20 мкг/л) и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (0.01 мкг/л) [10, 11].

Наличие ГХЦГ в исследуемых образцах донных отложений и поверхностной воды обусловлено, на наш взгляд, интенсивным использованием ГХЦГ в сельском хозяйстве в бассейне Байкала в прошлом.

Дихлордифенилтрихлорэтан

Дихлордифенилтрихлорэтан в России начали производить и использовать с 1946 г. Его применяли для борьбы с различными насекомыми – переносчиками инфекционных заболеваний. В 1970 г. ДДТ был исключен из списка

ТАБЛИЦА 2

Содержание ХОП и ПХБ в образцах поверхностной воды, нг/л

Соединения	Станции отбора проб							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
α -ГХЦГ	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
β -ГХЦГ	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
γ -ГХЦГ	2.0	3.7	0.9	0.6	0.7	1.0	0.6	1.0
δ -ГХЦГ	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Σ ГХЦГ	2.0	3.7	0.9	0.6	0.7	1.0	0.6	1.0
<i>n,n'</i> -ДДТ	0.4	1.1	0.3	0.2	0.3	0.4	н. о.	0.6
<i>n,n'</i> -ДДЭ	1.1	1.9	0.4	0.3	0.4	0.5	н. о.	1.4
<i>n,n'</i> -ДДД	0.3	1.4	0.5	0.1	0.4	0.3	н. о.	0.7
Σ ДДТ	1.8	4.4	1.2	0.6	1.1	1.2	н. о.	2.7
ГХБ	1.8	2.3	0.5	0.6	0.5	0.6	0.3	0.6
Дильдрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Альдрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Эндрин	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Σ ХОП	5.6	10.4	2.6	1.8	2.3	2.8	0.9	4.3
Σ ПХБ	14.2	4.7	2.2	4.6	1.1	1.9	1.2	3.6

Примечание. н. о. – не обнаружено, ниже предела обнаружения (0.005 нг/л).

пестицидов, разрешенных к применению на территории России. До конца 1980-х годов его все еще применяли во многих областях России для предотвращения распространения малярии и клещевого энцефалита.

В состав технического препарата ДДТ входили: *n,n'*-ДДТ (65–80 %), *o,n'*-ДДТ (15–21 %), *n,n'*-ДДД (4.0 %), 1-(*n*-хлорофенил)-2,2,2-трихлорэтанол (1.5 %) [17].

Суммарная концентрация соединений группы ДДТ в донных отложениях оз. Гусиное незначительна и изменялась от 0.2 до 4.2 нг/г (см. табл. 1) (среднее значение 2.2 нг/г). Эти результаты сопоставимы с полученными ранее данными для донных отложений оз. Байкал (0.01–2.7 нг/г) [18] и побережья Норвегии (0.2–5.4 нг/г), но значительно ниже максимальных значений, установленных для Саронического залива, Греция (9100–75 600 нг/г) (см. табл. 3).

Общая концентрация ДДТ в поверхностной воде составила 0.6–4.4 нг/л (среднее значение 1.6 нг/л) и сопоставима с концентрациями, полученными для озер Вьетнама (0.2–15.3 нг/л) (см. табл. 4). Полученные значения не превышают ПДК для воды водных объектов

ТАБЛИЦА 3

Сравнение содержания ХОП и ПХБ в донных отложениях оз. Гусиное с загрязнением донных отложений водных экосистем

Место отбора пробы	Год отбора проб	Содержание (среднее значение), нг/г сухой массы				Ссылка
		ΣГХЦГ	ΣДДТ	ГХБ	ΣПХБ	
Оз. Гусиное	2009	0.2–8.9 (3.1)	0.2–4.2 (2.2)	0.2–8.1 (4.0)	2.0–21.6 (9.6)	
Оз. Нью-Олесунн, Норвегия	2005	0.8–6.5 (3.6)	0.2–5.4 (2.2)	н. д.	0.2–13.0 (3.1)	[3]
Новая Земля, оз. Синее, оз. Лебединое	2006	н. о.	0.1–0.1	н. д.	2.1–3.4	[4]
Озера Кольского п-ва	2006	н. о.	0.5–27.7	0.4–0.9	11.2–37.7	[4]
Гренландское море, залив Гренфьорд	2006	0.3–0.4	0.6–6.1	0.3–0.4	5.1–5.6	[4]
Белое море	2006	0.02–0.9	0.1–5.2 (1.8)	н. д.	2.3–7.2 (4.1)	[5]
Балтийское море, Швеция	2007	0.1–6.4 (0.8)	0.04–52.4 (3.8)	н. д.	0.01–15.4 (1.5)	[5]
Оз. Тайху, Восточный Китай	2000	н. д.	н. д.	0.06–9.69	н. д.	[6]
Саронический залив, Греция	1998	100–300 (200)	9100–75 600 (47 090)	300–2800 (1810)	47.8–351.8 (168.7)	[7]
Баренцево море	1997	0.1–0.7 (0.3)	0.3–36.7 (10.5)	0.3–1.8 (1.1)	1.1–37.9 (12.8)	[8]
Оз. Солтон-Си, Калифорния	2000–2001	0.13–8.3 (2.3)	6.8–40.2 (22.4)	0.02–1.8 (0.5)	116–304 (217.2)	[9]

Примечание. н. о. – не обнаружено; н. д. – нет данных.

хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (100 мкг/л) и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (0.01 мкг/л) [10, 11]. Общая концентрация соединений группы ДДТ в поверхностной воде не превышает концентрации суммы изомеров и метаболитов ДДТ в поверхностных водах большинства фоновых территорий России (≤ 30 нг/л) (см. табл. 4).

Период полураспада ДДТ в окружающей среде составляет 18–20 лет. В наши дни большая часть ДДТ должна была перейти в метаболиты (ДДД и ДДЭ), преимущественно в основной метаболит ДДЭ. Для оценки характера деструкции и времени поступления ДДТ в оз. Гусиное использовали соотношения ДДД/ДДЭ, (ДДД + ДДЭ)/ΣДДТ [19, 20]. Соотношение (ДДД + ДДЭ)/ΣДДТ > 0.5 указывает на поступление ДДТ главным образом в результате вымывания и выветривания ранее внесенного ДДТ из сельскохозяйственных почв. Соотношение ДДД/ДДЭ < 1.0 характерно для биодеструкции ДДТ преимущественно при аэробных условиях [19, 20]. Значения соотношений ДДД/ДДЭ и (ДДД + ДДЭ)/ΣДДТ изменялись в интервалах 0.3–1.2 и 0.6–0.9 соответственно (рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в результате биодеструкции при аэробных условиях ДДТ большей частью перешел в свои метаболиты ДДД и ДДЭ [19]. Косвенно это также свидетельствует об относительно высокой температуре воды озера, используемой для охлаждения агрегатов Гусиноозерской ГРЭС и способствующей интенсивной деструкции ДДТ.

Гексахлорбензол

Гексахлорбензол применяли в России до 1991 г. в качестве протравителя семян зерновых культур в смеси с другими фунгицидами для предохранения их от головни. Для нужд сельского хозяйства в нашей стране ежегодно производили 120–150 т гексахлорбензола, который входил в состав таких препаратов, как гаммагексан (30 % ГХБ), гексатиурам (30 % ГХБ), меркурбензол, фагус и др. В настоящее время его используют в оборонной промышленности для производства пиротехнических средств, в черной и цветной металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности, а также в качестве полуфабриката при получении химических веществ. Гек-

ТАБЛИЦА 4

Сравнение содержания ХОП и ПХБ поверхностной воды оз. Гусиное с фоновым загрязнением поверхностных вод водных экосистем

Место отбора пробы	Год отбора проб	Содержание (среднее значение), нг/л				Лит. ссылка
		ΣГХЦГ	ΣДДТ	ГХБ	ΣПХБ	
Оз. Гусиное	2009	1.1–5.1 (2.2)	0.6–4.4 (1.6)	0.3–2.3 (0.9)	1.1–14.2 (4.2)	
Фоновые территории России	2006	н. д.	30	н. д.	н. д.	[4]
Балтийское море, Финский залив	2006	н. о.–0.4 (0.3)	н. о.–0.7 (0.3)	н. д.	н. о.–0.7 (0.3)	[4]
р. Селенга	2007	1.0–27.7 (9.1)	3.3–163.3 (44.6)	н. д.	н. д.	[5]
Оз. Басумтви, Гана	2004–2006	0.8–1.6	0.2–1.8	н. д.	н. д.	[12]
Озера Юньнаня, Южный Китай	2003	240–21 950 (7390)	90–1860 (270)	10–720 (110)	н. д.	[13]
Озера Вьетнама	1998–1999	0.3–122.	0.2–15.3	н. д.	н. д.	[14]
Озеро Гаобэйдянь, Северный Китай	2005	13.2–26.7	0.2–14.4	1.7–4.5	4.8–43.8	[15]
Средиземное море, Франция	2001–2002	н. д.	н. д.	н. д.	0.5–11.3	[16]

Примечания. н. о. – не обнаружено; н. д. – нет данных.

сахлорбензол термически и химически устойчив, поэтому может длительное время сохраняться в почве и попадать в пищевые цепи человека и животных и даже содержаться в молоке кормящих женщин [1]. Мировое потребление этого вещества оценивают в 1–2 млн т [21].

Концентрации гексахлорбензола в донных отложениях оз. Гусиное (см. табл. 1) достаточно высоки и сопоставимы с данными для оз. Тайху, Восточный Китай (0.1–9.7 нг/г)

(см. табл. 3), в то время как в донных отложениях Байкала содержание ГХБ незначительно и составляет 0.01–0.2 нг/г [18]. Необходимо отметить, что полученные данные значительно ниже уровня ГХБ в донных отложениях Саронического залива, Греция (300–2800 нг/г) (см. табл. 3).

Содержание ГХБ в поверхностной воде изменялось от 0.3 до 2.3 нг/л (см. табл. 2). Средняя концентрация ГХБ составила 0.9 нг/л. Полученные значения сопоставимы с данными для оз. Гаобэйдянь в Северном Китае (1.7–4.5 нг/л) (см. табл. 4) и не превышают ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (0.001 мг/л) [10].

Присутствие ГХБ в исследуемых образцах донных отложений и поверхностной воды может быть обусловлено, на наш взгляд, поступлением ГХБ в результате взрывов на военных складах боеприпасов вблизи железнодорожной станции Гусиное озеро в июле 2001 г., которые привели к сильному загрязнению экосистемы озера.

Дильдрин, альдрин, эндрин

В поверхностной воде и донных отложениях оз. Гусиное эти пестициды не обнару-

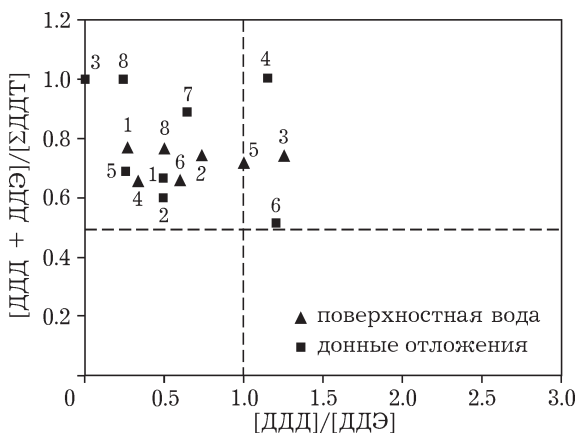


Рис. 2. Соотношения концентраций $(\text{ДДД} + \text{ДДЭ})/\Sigma\text{ДДТ}$ и $\text{ДДД}/\text{ДДЭ}$ в донных осадках и поверхностной воде оз. Гусиное.

жены. Дильдрин использовался в очень малых количествах (активного применялся в 1966–1967 гг.), а эндрин не использовался в России. Альдрин запрещен к применению на территории РФ с 1972 г. В Байкальском регионе дильдрин и эндрин не использовались. Для сравнения, в Южном Китае в донных отложениях морских заливов содержание дильдрина и эндрина высокое и составляет 0.1–214.7 и 0.1–39.5 нг/г соответственно [23].

Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) представляют собой тяжелые высококипящие маслообразные жидкости с высокими диэлектрическими свойствами. Соединения ПХБ чрезвычайно инертны и плохо растворяются в воде. Растворимость ПХБ в воде уменьшается с увеличением числа атомов хлора в молекуле [22].

В СССР ПХБ и содержащие их препараты в массовом количестве производились в 1934–1995 гг. Их использовали преимущественно в производстве диэлектрических жидкостей, которые выпускались под марками “Совол” и “Совтол”, а также в качестве пластификаторов при производстве лаков и полимерных материалов, смазок и фунгицидов для защиты древесины. Смесь совола и 1,2,4-трихлорбензола под названием “Совол” производилась в различных вариантах: совтол-1 (содержащий 75 % совола и 25 % 1,2,4-трихлорбензола); совтол-2 (64 % совола и 36 % 1,2,4-трихлорбензола); совтол-10 (90 % совола и 10 % 1,2,4-трихлорбензола). Кроме того, выпускали препараты “Трихлордифенил” (ТХД) (85 % совола), “Гексол” (25 % совола и 75 % гексахлорбутадиена) [1].

Суммарная концентрация ПХБ в донных отложениях оз. Гусиное изменялась от 2.0 до 21.6 нг/г (см. табл. 1) (среднее – 9.6 нг/г). Полученные значения сопоставимы с данными для донных отложений Баренцева моря (1.1–37.9 нг/г), но значительно ниже максимальных концентраций ПХБ в донных отложениях Саронического залива, Греция (47.8–351.8 нг/г) (см. табл. 3).

Общая концентрация ПХБ в поверхностной воде изменяется от 1.1 до 14.2 нг/л (среднее – 4.2 нг/л) (см. табл. 2) и сопоставима со

значениями, полученными для северо-западного Средиземного моря, Франция (0.5–11.3 нг/л) (см. табл. 4).

Во всех пробах концентрации ПХБ не превышали ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (0.001 мг/л) [10]. Однако в пробе А1, отобранной вблизи пос. Тамча, обнаружены максимальные концентрации ПХБ, которые превышают ПДК для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (0.01 мкг/л) [11].

На рис. 3 приведены данные по содержанию ди-, три-, тетра-, гекса-, гептахлорбифенилов в составе ΣПХБ в донных отложениях оз. Гусиное и технических смесях “Совол” и ТХД. Сравнение спектра соединений с разным числом атомов хлора показало, что в донных отложениях оз. Гусиное преобладают высокохлорированные ПХБ – тетра-, пента- и гексахлорбифенилы, содержание которых больше соответствует составу технической смеси “Совол”, нежели технического продукта ТХД, который преимущественно представлен ди-, три- и тетрахлорированными ПХБ [24]. Подобное соотношение полихлорированных бифенилов обнаружено ранее в донных отложениях южной части оз. Байкал [18].

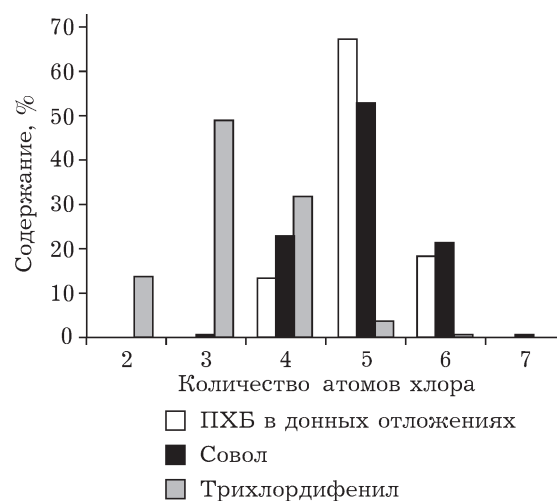


Рис. 3. Содержание соединений с разным числом атомов хлора в составе ПХБ в донных отложениях оз. Гусиное и в технических продуктах “Совол” и “Трихлордифенил”.

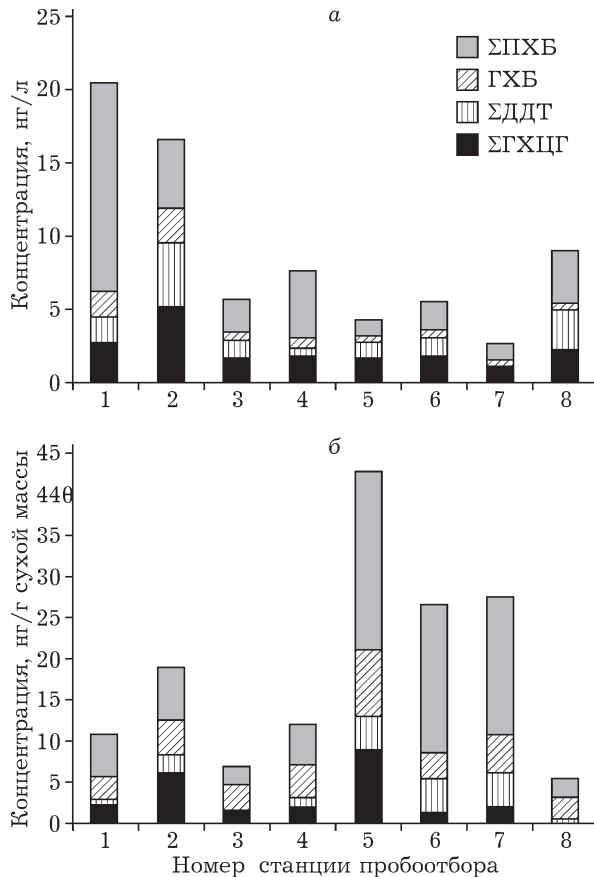


Рис. 4. Содержание ХОП и ПХБ в поверхностной воде (а) и в донных отложениях оз. Гусиное (б).

Таким образом, обнаруженные в донных отложениях оз. Гусиное ПХБ имеют локальное происхождение, поскольку в спектре соединений присутствуют ПХБ с большим числом атомов хлора, а для глобального переноса характерны более летучие ПХБ, с малым числом атомов хлора [25]. Предполагаемым источником поступления ПХБ в экосистему оз. Гусиное служит широкое использование электротехнического оборудования, содержащего ПХБ (Гусиноозерская ГРЭС, котельные, электросети).

В донных отложениях оз. Гусиное установлено следующее содержание ХОП и ПХБ, %: ΣПХБ 50.9, ΣГХЦГ 16.4, ГХБ 21.9, ΣДДТ 11.5.

В поверхностной воде оно составило, %: ΣПХБ 46.9, ΣГХЦГ 24.9, ΣДДТ 18.2, ГХБ 10.1.

Данные по общей концентрации ХОП и ПХБ в донных отложениях и поверхностной воде оз. Гусиное представлены на рис. 4.

ВЫВОДЫ

В результате исследования загрязненности ХОП и ПХБ оз. Гусиное сделаны следующие выводы.

1. Загрязнение соединениями ДДТ и ГХБ донных отложений и поверхностной воды оз. Гусиное можно квалифицировать как относительно слабое, оно сравнимо с загрязнением арктических районов; загрязнение ГХЦГ для поверхностной воды превышает загрязнение арктических районов.

2. В поверхностной воде оз. Гусиное содержание ДДТ, ГХЦГ и ГХБ и ПХБ не превышает ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Средние концентрации ХОП и ПХБ не превышают ПДК для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

3. Установлено, что суммарная концентрация соединений группы ДДТ в поверхностной воде оз. Гусиное не превышает таковую для поверхностных вод фоновых территорий России.

4. Соотношения концентраций ДДД/ДДЭ, (ДДД + ДДЭ)/ΣДДТ позволяют оценить характер деструкции и время поступления ДДТ в экосистему оз. Гусиное. Установлено, что ДДТ в основном перешел в метаболиты ДДД и ДДЭ.

5. Загрязнение соединениями ПХБ донных отложений и поверхностной воды превышает загрязнение ПХБ арктических районов.

6. Выявлено, что содержание тетра-, пента- и гексахлорбифенилов в исследованных образцах донных отложений практически соответствует техническому продукту "Совол".

7. Установлено, что поступление ХОП и ПХБ в экосистему оз. Гусиное обусловлено преимущественно локальными антропогенными источниками.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 09-05-90739-моб_ст, № 10-05-90769-моб_ст, № 12-05-90825-мол_рф_нр, № 12-05-31365).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Майстренко В.Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
- 2 Борисенко И. М., Пронин Н. М., Шайбонов Б. Б. Экология озера Гусиное. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1994. 199 с.
- 3 Jiao L., Zheng G. J., Minh T. B., Richardson B., Chen L., Zhang Y., Yeung L. W., Lam J. C. W., Yang X.,

- Lam P. K. S., Wong M. H. // *Environ. Pollution*. 2009. Vol. 157. P. 1342–1351.
- 4 Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 год. М.: Росгидромет, 2007.
- 5 Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2007 год. М.: Росгидромет, 2008.
- 6 Yuan X. Y., Wang Y., Chen J., Sun C., Xu N. Z. // *Environ. Sci.* 2003. Vol. 24. P. 121–125.
- 7 Galanopoulou S., Vgenopoulos A., Conispoliatis N. // *Marine Pollution Bull.* 2005. Vol. 50. P. 520–525.
- 8 Sapozhnikova Y., Bawardi O., Schlenk D. // *Chemosphere*. 2004. Vol. 55. P. 797–809.
- 9 Savinov V. M., Savinova T. N., Matishov G. G., Dahle S., Naes K. // *Sci. Total Environ.* 2003. Vol. 306. P. 39–56.
- 10 Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М., 2003. 94 с.
- 11 Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Изд-во ВНИРО, Москва, 1999. 304 с.
- 12 Darko G., Akoto O., Oppong C. // *Chemosphere*. 2008. Vol. 72. P. 21–24.
- 13 Yang J., Zhang W., Shen Y., Feng W., Wang X. // *Chemosphere*. 2007. Vol. 66. P. 219–225.
- 14 Hung D. Q., Thiemann W. // *Chemosphere*, 2002. Vol. 47. P. 357–367.
- 15 Li X., Zhang Q., Dai J., Gan Y., Zhou J., Yang X., Cao H., Jiang G., Xu M. // *Chemosphere*. 2008. Vol. 72. P. 1145–1151.
- 16 Garcia-Flor N., Dachs J., Bayona J. M., Albaiges J. // *Chemosphere*. 2009. Vol. 75. P. 1144–1152.
- 17 ATSDR. Toxicological profile for DDT, DDE, DDD // Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2002.
- 18 Iwata H., Tanabe S., Ueda K., Tatsukawa R. // *Environ. Sci. Technol.* 1995. Vol. 29. P. 792–801.
- 19 Tan L., He M., Men B., Lin C. // *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* 2009. Vol. 84. P. 119–127.
- 20 Doong R. A., Sun Y. C., Liao P. L., Peng C. K., Wu S. C. // *Chemosphere*, 2002. Vol. 48. P. 237–246.
- 21 СОЗ: в опасности наше будущее / Под ред. О. Сперанской, А. Киселева, С. Юфита. М.: Эко-Согласие, 2003. 144 с.
- 22 Fung C. N., Zheng G. J., Connell D. W., Zhang X., Wong H. L., Giesy J. P., Lam P. K. S. // *Marine Pollution Bull.* 2005. Vol. 50. P. 1036–1049.
- 23 ATSDR. Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs) // Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2000.
- 24 Ivanov V., Sandell E. // *Environ. Sci. Technol.* 1992. Vol. 26. P. 2012–2017.
- 25 Wania F., Mackay D. // *Environ. Sci. Technol.* 1996. Vol. 30. P. 390–396.