ГЛАВА 4

УРОВНИ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ (ХОП) В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ (2000–2016): ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В.Ю. Цыганков¹

Показано распределение ХОП в компонентах экосистем дальневосточных морей России – Японском, Охотском и Беринговом – в период 2000–2016 гг. В Охотском и Беринговом морях содержание ХОП в морских организмах ниже, чем в других регионах мирового океана, и в частности, в Японском море. Концентрации ХОП в Охотском и Беринговом морях можно считать фоновыми, в то время как Японское море испытывает воздействие стран, использующих эти вещества в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, ГХЦГ, ДДТ, морские экосистемы, Охотское море, Берингово море, Японское море

¹ Школа биомедицины и Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: tsig_90@mail.ru.

¹ School of Biomedicine and School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island Vladivostok, Russia, 690922. E-mail: tsig_90@mail.ru.

Для цитирования: Цыганков В. Ю. Уровни хлорорганических пестицидов (ХОП) в морских экосистемах дальневосточных морей России (2000–2016): обзор литературы // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном регионе: моря, организмы, человек : монография / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.] ; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 83–100. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/83-100>.

For citing: Tsygankov V. Yu. Levels of organochlorine pesticides (OCPs) in the marine ecosystems of the Russian Far Eastern Seas (2000–2016): a review // Persistent organic pollutants (POPs) in the Far Eastern Region: Seas, Organisms, Human : monograph / V.Yu. Tsygankov, M.M. Donets, N.K. Khristoforova [et al.] ; ed. by V.Yu. Tsygankov. – Vladivostok : Publishing House of the Far Eastern Federal University, 2020. – P. 83–100. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/83-100>.

CHAPTER 4. LEVELS OF ORGANOCHLORINE PESTICIDES (OCPS) IN THE MARINE ECOSYSTEMS OF THE RUSSIAN FAR EASTERN SEAS (2000–2016): A REVIEW

V.Yu. Tsygankov

The distribution of OCPs in the ecosystem components of the Russian Far Eastern seas – the Sea of Japan/East Sea, the Sea of Okhotsk and Bering Sea – in the period 2000–2016 are presented. In the Sea of Okhotsk and Bering Sea, the content of OCPs in marine organisms is lower than in other regions of the oceans, and in particular, in the Sea of Japan. The concentrations of OCPs in the Okhotsk and Bering Seas can be considered background, while the Sea of Japan is affected by countries using these substances in agriculture.

Keywords: organochlorine pesticides, HCH, DDT, marine ecosystems, Sea of Okhotsk, Bering Sea, Sea of Japan

В дальневосточных морях России исследования хлорорганических соединений в морских экосистемах проводились фрагментарно. Некоторые данные об уровнях ХОП в компонентах экосистем Японского моря приведены в работах А.В. Ткалина с соавторами [21, 22]. Более подробный мониторинг ХОП в Японском море приведен в работах М.Д. Бояровой и О.Н. Лукьяновой с соавторами [1–4, 8, 10, 19]. Современные данные о содержании ХОП в экосистемах Берингова и Охотского морей представлены в наших работах [7, 9, 12–14, 18, 23–28].

В Беринговом море за последние годы исследовалась аккумуляция, биотрансформация и транспорт ХОП в тихоокеанских лососях и морских млекопитающих; в Охотском море – в морских птицах и тихоокеанских лососях (табл. 4.1), в Японском море – в моллюсках и рыбах (табл. 4.2) (рис. 4.1–4.3).

Рис. 4.1. Карта сбора образцов морских организмов в дальневосточных морях

Таблица 4.1

**Хлорорганические пестициды (Σ ГХЦГ и Σ ДДТ) (нг/г липидов) в липидной фракции
органов морских организмов Охотского и Берингова морей**

Вид	Район	Пери- од сбора проб	Σ ГХЦГ	Σ ДДТ	Источник
Горбуша (<i>O. gorbuscha</i>)	Северо-западная часть Тихого океана (открытые воды Курильских о-вов); юго-западная часть Берингова моря (вблизи Командорских о-вов и Восточной Камчатки)	2013	9.2	132.3	[7, 9, 18, 27, 28]
Кета (<i>O. keta</i>)			14.1	111.4	
Нерка (<i>Oncorhynchus nerka</i>)		2010-	465	833	
Чавыча (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)		2011	193.6	2984.3	
Глупыш (<i>Fulmarus glacialis</i>)	Юго-восточная часть Охотского моря (западное побережье п-ова Камчатка и Курильские о-ва)	2012	3335.3	1630.5	[23, 25, 26]
Большая конюга (<i>Aethia cristatella</i>)			7575.4	884.8	
Тихоокеанская чайка (<i>Larus schistisagus</i>)			3576.5	674.7	
Серая качурка (<i>Oceanodroma furcata</i>)			2017.1	377.1	
Конюга-крошка (<i>Aethia pusilla</i>)			1583.5	1221	
Тихоокеанский морж (<i>Odobenus rosmarus divergens</i>)	Мечигменский залив Берингова моря (п. Лорино)	2011 г.	4220	2070	[12, 13, 24]
Серый кит (<i>Eschrichtius robustus</i>)		2010 г.	14140	12160	[12, 14, 24, 26]

Таблица 4.2

**Хлорорганические пестициды (ΣГХЦГ и ΣДДТ) (нг/г сырой массы)
в органах гидробионтов Японского моря (2001–2005 гг.)**

Вид	Органы	Район	ΣГХЦГ	ΣДДТ	Источник
Сельдь тихоокеанская (<i>Clupea pallasii</i>)	Мышцы	Юго-западная часть	1.4	1,1	[2, 4]
	Печень	зал. Петра Великого	4.6	6	
Керчак снежный (<i>Myoxocephalus brandti</i>)	Мышцы		0.6	1.5	
Камбала темная (<i>P. obscurus</i>)	Мышцы		0	6.1	
	Печень		148	12	
Приморский гребешок (<i>M. yessoensis</i>)	Гепатопанкреас		785.6	5.2	[1, 2]
	Гонады		265.9	15.6	
Камбала звездчатая (<i>P. stellatus</i>)	Печень	Бухта Сивучья,	118.1	17.1	
Камбала темная (<i>P. obscurus</i>)	Печень	зал. Петра Великого	45.7	11.9	
Бычок (<i>M. branti</i>)	Мышцы		0.6	1.5	
Сельдь (<i>C. pallasii</i>)	Печень		4.6	6	[3]
Красноперка крупночешуйная (<i>Tribolodon hakonensis</i>)	Печень		10	42.8	
Лобан (<i>Mugil cephalus</i>)	Печень		96.4	38.8	
Приморский гребешок (<i>Mizuhopecten yessoensis</i>)	Мягкие ткани	Залив Посьета	395	–	
Мидия Грея (<i>Crenomytilus grayanus</i>)	Мягкие ткани		170	446	
Дальневосточная навага (<i>Eleginus gracilis</i>)	Мышцы		8	630	[2]
Золотистый бычок (<i>Acanthogobius flavimanus</i>)	Мышцы		12	252	
Камбала звездчатая (<i>P. stellatus</i>)	Мышцы	Амурский залив	–	0.2	
	Печень		49.0	6	
Камбала темная (<i>P. obscurus</i>)	Печень		62.3	351.8	
Камбала полосатая (<i>P. pinnifasciatus</i>)	Печень		41.0	30.9	[6]
Мидия Грея (<i>C. grayanus</i>)	Мягкие ткани		30.3	16.2	
Камбала полосатая (<i>L. pinnifasciatus</i>)	Печень		17.4	122.5	
Камбала полосатая (<i>Pleuronectes pinnifasciatus</i>)	Печень	Уссурийский залив	136	1242	
Камбала полосатая (<i>P. pinnifasciatus</i>)	Мышцы		9,5	20	
Мидия Грея (<i>C. grayanus</i>)	Мягкие ткани		14.6	7.8	[1, 2]

Рис. 4.2. Хлорорганические пестициды (ΣГХЦГ и ΣДДТ) (нг/г липидов)
 в липидной фракции органов морских организмов
 Охотского и Берингова морей

Рис. 4.3. Хлорорганические пестициды ($\Sigma\text{ГХЦГ}$ и $\Sigma\text{ДДТ}$) (нг/г липидов) в липидной фракции органов морских организмов Японского моря:

- 1 – Сельдь тихоокеанская (*Clupea pallasii*); 2 – Керчак снежный (*Myoxocephalus brandti*); 3 – Камбала темная (*Pseudopleuronectes obscurus*); 4 – Гребешок приморский (*Micropecten yessoensis*); 5 – Камбала звездчатая (*Platichthys stellatus*); 6 – Красноперка крупночешуйная (*Tribolodon hakonensis*); 7 – Лобан (*Mugil cephalus*); 8 – Мидия Грея (*Crenomytilus grayanus*); 9 – Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis*); 10 – Золотистый бычок (*Acanthogobius flavimanus*); 11 – Камбала полосатая (*Liopsetta pinnifasciata*)

В Японском море моллюски и рыбы были собраны в отдельных районах залива Петра Великого – в заливах Посыета, Амурском и Уссурийском заливах. Образцы млекопитающих (серый кит и тихоокеанский морж) были собраны в Беринговом море в Мечигменском заливе, вблизи пос. Лорино, тихоокеанские лососи (нерка *Oncorhynchus nerka* и чавыча *O. tshawytscha*) – в юго-западной части моря вблизи Командорских о-вов и Восточной Камчатки. Также, тихоокеанские лососи (горбуша *O. gorbuscha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka* и чавыча *O. tshawytscha*) и морские птицы (глупыш *Fulmarus glacialis*, большая конюга *Aethia cristatella*, конюга-крошка *Aethia pusilla*, тихоокеанская чайка *Larus schistisagus*, серая качурка *Oceanodroma furcata*) были собраны в Охотском море, близ западного побережья полуострова Камчатка, вдоль западной части Курильских островов в прибрежных районах и около о. Хоккайдо, в экспедициях ТИНРО-Центра.

4.1. Моллюски и рыбы Японского моря

Суммарное содержание ХОП у мидий из разных районов зал. Петра Великого, особенно вблизи г. Владивосток, за последние десятилетия увеличилось почти в 10 раз. По данным А.В. Ткалина с соавторами [22], в 1996 г. общее содержание ХОП в мягких тканях мидии Грея из Амурского и Уссурийского заливов составляло около 4,5 нг/г. По нашим данным, в 2004 г. суммарное содержание ХОП у мидий из Амурского залива было около 50,0 нг/г, из Уссурийского залива – около 20,0 нг/г.

В 1998 г. в мягких тканях мидий, собранных в прибрежных водах о. Рейнеке, концентрация ХОП не превышала 0,8 нг/г [21], в 2004 г. содержание достигло 25,8 нг/г [1]. Повышение суммарного содержания ХОП в мидиях как из внутренних районов Амурского и Уссурийского заливов, так и в условно-фоновом районе о. Рейнеке можно считать отражением продолжающейся хозяйственной деятельности на юге Приморского края, атмосферный перенос и морские течения из районов, где продолжается использование ХОП (Индия и Китай). Не стоит забывать и о длительности распада соединений в окружающей среде, который составляет несколько десятков лет. Разная концентрация также может быть связана с разными методическими подходами и инструментальным определением.

Высокое суммарное содержание ХОП (616 нг/г) с абсолютным преобладанием ДДТ и его метаболитов (450 нг/г) обнаружено в мидиях из зал. Посьета, что может быть связано с влиянием реки Туманной, выносящей в море большое количество различных загрязняющих веществ. Концентрации ХОП у мидий из зал. Посьета были значительно выше, чем у мидий из Амурского и Уссурийского заливов. Таким образом, трансграничный перенос загрязняющих веществ имеет большое значение в прибрежных водах Приморья [3].

Анализ соотношений количества ДДТ и его метаболитов и изомеров ГХЦГ в органах моллюсков показывает, что в мидиях из зал. Посьета, находящихся под влиянием трансграничного переноса загрязнения, преобладает группа ДДТ, как и у животных из других прибрежных зон азиатских стран. При этом сумма изомеров ГХЦГ в мидиях из зал. Петра Великого была значительно выше, чем у моллюсков из районов других стран. Данное обстоятельство, возможно, отражает меньшее использование линдана в сельском хозяйстве азиатских стран.

Полученные значения максимальных концентраций ХОП у мидий из зал. Петра Великого относительно малы по отношению к величинам токсичности и LD₅₀ для человека, которые по ДДТ и его метаболитам составляют 250–400 мг/кг, по ГХЦГ – 300–500 мг/кг [11]. Таким образом, уровень загрязнения моллюсков пестицидами в настоящее время не представляет опасности для здоровья человека.

При изучении ХОП в мышцах рыб прибрежных морских вод Приморья максимальные суммарные концентрации (638 нг/г) были определены в дальневосточной наваге, выловленной в зал. Посьета. В мышцах золотистого бычка из того же залива количество ХОП также было высоким и составляло 264 нг/г. В мышцах лобана из бухты Сивучьей концентрация пестицидов была 88 нг/г. Во всех трех видах рыб, выловленных в прибрежных водах юго-западного Приморья, в сумме ХОП преобладали ДДТ и его метаболиты, как и у мидий из зал. Посьета.

В большинстве исследованных районов (б. Сивучья, заливы Посьета, Амурский и Уссурийский) были собраны несколько видов камбал. Максимальные концентрации ХОП (150 нг/г) были определены в мышцах камбал, выловленных в Амурском заливе. В отличие от рыб южного Приморья, в камбалах Амурского залива преобладала сумма изомеров ГХЦГ – 106,9 нг/г, причем на долю основного γ -изомера приходилось 74 %.

Во всех образцах печени рыб из зал Петра Великого были определены практически все изомеры ГХЦГ и ДДТ и метаболиты. Максимальные концентрации ХОП обнаружены в печени камбалы полосатой из Амурского залива (379–736 нг/г).

Тихоокеанская сельдь является важным промысловым объектом. Определение токсикантов в этом виде представляет интерес с точки зрения безопасности для здоровья человека. Суммарное содержание ХОП в мышцах тихоокеанской сельди, выловленной в зал. Петра Великого, составляло 2,5 нг/г сырой массы, что на два порядка ниже, чем в сельди Балтийского моря [20].

В 2008 году исследовано содержание ХОП в органах мелкочешуйной красноперки (*Tribolodon brandtii*) из эстуариев рек Раздольная и Артемовка. Суммарные максимальные концентрации ХОП были обнаружены в печени красноперок из эстуария р. Раздольная, в среднем 1700 нг/г сырого веса, у рыб из эстуария р. Артемовка сумма ХОП составляла в среднем около 1000 нг/г. В мышцах рыб сумма ХОП значительно ниже, чем в печени, и не превышает норматива СанПиН – 200 мг/кг сырой массы. В мышцах рыб из Раздольной она составляет в среднем 70 нг/г, из Артемовки – 57 нг/г. Основными загрязняющими веществами являются ДДТ и ДДЕ.

При сравнении содержания ХОП в органах эстуарных видов рыб — красноперок — с морскими рыбами — полосатой камбалой из Уссурийского и Амурского заливов, можно отметить, что эстуарные виды рыб накапливают ХОП в значительно большей степени, чем морские рыбы, что соответствует известной закономерности аккумуляции и седиментации ХОП на границе смешения морских и пресных вод.

Результаты исследований содержания ХОП в биоте зал. Петра Великого свидетельствуют, что в моллюсках уровень поллютантов меньше по сравнению с прибрежной зоной стран АТР, а в рыбах соответствует интервалу содержания этих веществ, определяемых в других районах Мирового океана в настоящее время.

4.2. Тихоокеанские лососи Охотского и Берингова морей

Среднее содержание пестицидов (табл. 4.1, рис. 4.2), суммарные значения Σ ГХЦГ и Σ ДДТ) в горбуше *O. gorbusha*, кете *O. keta*, нерке *O. nerka* и чавыче *O. tshawytscha* составило 141.5, 125.5, 1298, 3177.9 нг/г липидов, соответственно. Сопоставление общего количества ХОП в мышцах и печени всех четырех видов рыб из Охотского и Берингова морей показало, что у горбуши и кеты средние значения значительно не различаются, но они достоверно меньше ($p \leq 0,05$), чем у чавычи, а у последней – меньше, чем у нерки. Возрастание концентрации происходит в следующей последовательности: кета $\leq$ горбуша < чавыча < нерка, при этом диапазон суммарной концентрации ХОП, например, в мышцах составлял 78.8–174.1; 89.3–222.8; 265.0–2435.4; 165.7–3020.1 нг /г липидов соответственно [9, 18, 25, 28].

При сравнении мягких тканей кеты и горбуши достоверно ($p \leq 0,05$) большее количество пестицидов обнаружено у кеты, что может быть связано как с большей массой и жирностью кеты, так и длительностью нахождения особей данного вида в море. Горбуша имеет однолетний годовой цикл и возвращается на нерест на следующий год после ската молоди в море, кета же может нагуливаться от двух до пяти лет. Средняя масса кеты составляла 1863 г., горбуши – 1130 г. По мере роста, с увеличением веса, наряду с аккумуляцией липидов, в органах происходит и накопление различных поллютантов. Горбуша и кета были собраны в начале лета в районе Южных Курил, во время завершения нерестовых миграций, когда органы уже начинают расходовать липиды. Перед нерестом лососи расходуют до 80% своих резервных липидов, при этом удельная концентрация токсиканта на 1 г липидов увеличивается и может достигать значений, опасных для здоровья рыб [16].

Образцы нерки и чавычи были собраны в западной части Берингова моря и в Охотском море осенью, в октябре-ноябре, когда рыбы нагуливаются в море, где могут провести несколько лет. За это время концентрация токсикантов в органах последовательно возрастает, не только в метаболически активной печени, но и в резервных мышцах. Чавыча, например, 99% всех токсикантов накапливает за время обитания в море [17].

Количество лососей, мигрирующих к российскому побережью, варьирует год от года, но структура подхода сохраняется – 60–65% составляет

горбуша, 20-25% - кета, 10-12% нерка, и небольшая доля приходится на кижуча и чавычу. Кета и горбуша составляют основу подхода на восточной Камчатке, восточном Сахалине, материковом побережье Охотского моря, в бассейне Амура [15]. В четном 2008 году общий вылов составил 258 тыс. т, в рекордном нечетном 2009 году – 542 тыс. т, в 2010 – 324 тыс. т. Количество рыбы, пропущенной на нерест в отдельных районах Дальнего Востока в 2008–2010 годах, приводится в ежегодниках Северо-тихоокеанской комиссии по анадромным рыбам NPAFC. Именно эта рыба останется после нереста на нерестилищах и послужит пищей для многих организмов, связывая таким образом морские и наземные пищевые цепи, или иначе говоря, перенося органическое вещество из океана на сушу.

Концентрация ХОП как средняя сумма ГХЦГ +ДДЕ для самцов и самок в целой горбуше составляла 68,85 нг/г, кеты – 182,5 нг/г сырой массы. Средняя масса одного экземпляра горбуши равна 1,3 кг, нерестовой кеты – 3,5 кг. Расчеты показывают, что одна горбуша содержит до 90 мкг пестицидов, а одна кета – до 640 мкг [7]. Тогда общее количество ХОП, переносимое, например, в 2009 г., только этими двумя видами лососей на восточную Камчатку составляет 10,4 кг, в бассейн Амура – более 13 кг, на материковое побережье Охотского моря – 8,1 кг [9].

В 2008 г. поступление пестицидов за счет лососей в различные районы тихоокеанского побережья России варьировало от 520 г до 4 кг, а в 2009 – от 470 г до 13 кг, в 2010 – от 350 г до 7,75 кг. За три года наибольшее количество пестицидов пришло в бассейн Амура, около 23 кг. Высокие подходы лососей в последние годы определяют ежегодный перенос пестицидов на сушу от 13 до 30 кг.

Таким образом, в лососях северо-западной части Тихого океана обнаружены хлорорганические соединения, что является отражением глобального фона пестицидов, сформировавшегося как на планете в целом, так и в Мировом океане. Аккумуляция подобных стойких высокотоксичных соединений может оказывать влияние на здоровье взрослых особей, успешность их размножения, выживание потомства. Перенос токсикантов из моря на сушу лососями в ходе биотранспорта создает угрозу загрязнения нерестилищ. Продолжение мониторинга биоаккумуляции пестицидов у лососевых непосредственно на нерестилищах в наших дальнейших исследованиях даст новые сведения об этом малоизученном факторе, способном оказать влияние на общий запас и вылов ценной группы промысловых рыб.

4.3. Морские птицы Охотского моря

Среднее содержание пестицидов в глупыше *Fulmarus glacialis*, большой конюге *Aethia cristatella*, тихоокеанской чайке *Larus schistisagus*, серой качурке *Oceanodroma furcata* и конюге-крошке *Aethia pusilla* составило 5206, 8460, 4542, 2417, 2804 нг/г липидов, соответственно [23, 25].

Исследованные виды птиц из Охотского моря имеют разные размеры, следовательно содержание подкожного жира у них различно. Известно, что ХОП концентрируются, преимущественно, в подкожном жире. Поэтому у более крупных птиц содержание ХОП выше (табл. 4.1, рис. 4.2). Тихоокеанская чайка (средняя длина тела – 64 см) и глупыш (47 см) в пере с кожей имеют сходные концентрации ХОП (5962 и 5949 нг/г липидов, соответственно). В качурке (22 см), которая значительно меньше этих видов птиц, содержание пестицидов составило 3128 нг/г липидов. Различные уровни трофических связей у этих видов, также являются причиной разной степени аккумуляции. Среднее содержание пестицидов во внутренних органах птиц отражает разный спектр питания. К кормовым объектам глупыша относятся организмы, имеющие высокий коэффициент накопления ХОП (рыбы, икра рыб, моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные, падаль, внутренности китов, различные жирные отбросы и т.д.), следствием чего является высокое содержание пестицидов во внутренних органах (5874 нг/г). Большая конюга, конюга-крошка и качурка питаются мелкими ракообразными, морскими беспозвоночными, амфиподами и др., которые аккумулируют пестициды в меньшей степени, чем кормовые объекты глупыша. Следовательно, и содержание ХОП во внутренних органах этих видов птиц меньше: 1730, 2804 и 1705 нг/г липидов, соответственно. Накопление и распределение пестицидов в органах птиц может регулироваться и другими дополнительными факторами. Так, например, у большой конюги, размером 26 см, содержание ХОП в пере с кожей составило 15604 нг/г. Установление причин высоких концентраций ХОП у данного вида требует дальнейших исследований [23].

Аккумуляция пестицидов у птиц влияет на различные стороны их физиологии, например, вызывает серьезное ухудшение репродуктивной функции и истончение скорлупы яиц, что приводит к нарушению эмбрионального развития и потере потомства. Обнаружение заметных концентраций ХОП в морских птицах из Охотского моря, удаленного от активной сельскохозяйственной деятельности, служит проявлением общего глобального фона СОЗ, сформировавшегося на планете в настоящее время.

4.4. Морские млекопитающие Берингова моря

В органах серого кита содержание липидов составило от 1 до 4% в мышцах, и до 8% в печени. В органах тихоокеанского моржа содержание липидов составило от 1 до 6% в мышцах, и до 10% в печени. Расчеты показали (табл. 4.1), что в среднем, общая сумма ХОП в жире серого кита составляла 6290 нг/г, тихоокеанского моржа – 26300 нг/г [12, 13, 24, 25].

Разный уровень аккумуляции пестицидов у серого кита и тихоокеанского моржа из Берингова моря в первую очередь отражает различную степень загрязнения районов обитания особей этими поллютантами. Видовые особенности в аккумуляции липофильных ксенобиотиков в немалой степени обусловлены также общим содержанием жира в подкожной клетчатке и в отдельных органах. Большое значение имеет и степень половой зрелости особей. Исследованные нами виды имеют сходный ареал, содержание жира в их органах отличается незначительно и составляет 8–10 %, и существенные различия в содержании пестицидов могут быть связаны со стадией репродуктивного цикла и характером питания. Пищей серых китов служат в основном донные ракообразные и другие мелкие бентосные организмы, обитающие как на поверхности, так и в толще мягких грунтов (инфауна). Основу рациона моржа составляют донные беспозвоночные: двустворчатые моллюски, некоторые виды креветок, лангустов, многощетинковых червей и приапулид, осьминоги и голотурии, а также некоторые виды рыб. Кроме того, иногда моржи поедают других тюленей: известны случаи нападения на кольчатую нерпу и детеныша гренландского тюленя [5]. Кормовые объекты моржа аккумулируют больше пестицидов в теле, чем компоненты рациона серого кита, т.к. коэффициенты накопления поллютантов у моллюсков и рыб выше, чем у ракообразных. На основании этого можно заключить, что пищевой фактор является определяющим в различиях биоаккумуляции пестицидов у китов и моржей [24, 25].

При сравнении полученных результатов с результатами для других морских млекопитающих видно, что у морских млекопитающих Берингова моря концентрации ХОП меньше, чем таковые у млекопитающих из других районов Мирового океана. Это подтверждает, что уровень загрязнения ХОП Берингова моря можно рассматривать как фоновый.

4.5. Заключение

Аккумуляция ХОП происходит наиболее активно у морских млекопитающих и птиц, находящихся на вершине пищевой пирамиды. Органические поллютанты оказываются прочно встроенными в направленный транспорт биогенов, осуществляемый лососями и связывающий океанические и наземные экосистемы. Ежегодное попадание пестицидов в районы нерестилищ и постоянное увеличение их концентрации в локальных зонах определяет возможность экологического риска для определенных популяций, успех нереста которых может быть снижен вследствие токсичности среды. Морские моллюски, рыбы, млекопитающие и птицы являются биоиндикаторами ХОП в глобальном и долгосрочном масштабе. Именно эти организмы позволяют изучать интегрированные временные тенденции распространения пестицидов в морской среде, особенно в океанах. В настоящее время уровни содержания СОЗ в организмах дальневосточных морей ниже регламентируемых значений технического регламента Таможенного союза для морепродуктов.

Концентрации ХОП в Охотском и Беринговом морях можно считать «фоновыми», в то время как Японское море испытывает воздействие стран, использующих эти вещества в сельском хозяйстве.

4.6. Список литературы

1. Боярова, М.Д. Современные уровни содержания хлорорганических пестицидов в водных организмах залива Петра Великого (Японское море) и озера Ханка: автореф. дис. ... канд. биол. наук / М.Д. Боярова. – Владивосток, 2008. – 25 с.

2. Боярова, М.Д. Хлорированные углеводороды в гидробионтах залива Петра Великого Японского моря / М.Д. Боярова, И.Г. Сяпина, Ю.В. Приходько, О.Н. Лукьянова // Экологическая химия. – 2004. – Т. 13. – № 2. – С.117–124.

3. Боярова, М.Д. Хлорированные углеводороды в гидробионтах залива Посьета Японского моря / М.Д. Боярова, О.Н. Лукьянова // Известия ТИНРО. – 2006. – Т. 145. – С. 271–278.
4. Боярова, М.Д. Хлорорганические пестициды в двустворчатых моллюсках и рыбах залива Петра Великого / М.Д. Боярова, О.Н. Лукьянова // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря / под ред. Н.К. Христофоровой. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2012. – С. 334–345.
5. Бурдин, А.М. Морские млекопитающие России: справочник-определитель / А.М. Бурдин, О.А. Филатова. – Киров: Кировская областная типография, 2009. – 206 с.
6. Ващенко, М.А. ДДТ и гексахлорциклогексан в донных осадках и печени камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива (залив Петра Великого, Японское море) / М.А. Ващенко, И.Г. Сяпина, П.М. Жадан // Экология. – 2005. – Т. 36. – № 1. – С. 64–68
7. Лукьянова, О.Н. Биотранспорт пестицидов тихоокеанскими лососями в северо-западной Пацифике / О.Н. Лукьянова, В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, Н.К. Христофорова // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 456. – № 3. – С. 363–365.
8. Лукьянова, О.Н. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) / О.Н. Лукьянова, Е.С. Бродский, Г.М. Чуйко // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 12. – С. 119–126.
9. Лукьянова, О.Н. Тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* как вектор переноса стойких загрязняющих веществ в океане / О.Н. Лукьянова, В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, Н.К. Христофорова // Вопросы ихтиологии. – 2015. – Т. 55. – № 3. – С. 351–355.
10. Лукьянова, О.Н. Хлорорганические пестициды в водных экосистемах Дальнего Востока России / О.Н. Лукьянова, М.Д. Боярова, А.П. Черняев, Е.И. Барабанщиков, С.А. Алешко // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2007. – № 2. – С. 31–35.
11. Справочник химика. Том 6. Сырье и продукты промышленности органических веществ / под ред. Б.П. Никольского, В.А. Рабиновича. – 2-е изд. – Ленинград: Химия, 1967. – 1009 с.
12. Цыганков, В.Ю. Гексахлорциклогексан и ДДТ в морских организмах Охотского и Берингова морей / В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова,

О.Н. Лукьянова, Н.К. Христофорова. // Известия ТИНРО. – 2014. – Т. 176. – Р. 225–232.

13. Цыганков, В.Ю. Стойкие токсические вещества в мышцах и печени тихоокеанского моржа *Odobenus rosmarus divergens* Illiger, 1815 из Берингова моря / В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, О.Н. Лукьянова // Биология моря. – 2014. – Т. 40. – № 2. – С. 158–161.

14. Цыганков, В.Ю. Хлорорганические пестициды и тяжелые металлы в органах серого кита из Берингова моря / В.Ю. Цыганков. // Известия ТИНРО. – Т. 170. – 2012. – С. 202–209.

15. Шунтов, В.П. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах / В.П. Шунтов, О.С. Темных. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – Т. 1. – 481 с.

16. Brett J.R. Energetics / In: Groot C., Margolis L., Clarke W.C. eds. Physiological ecology of Pacific salmon. – University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 1995. – P. 3–68.

17. Cullon, D.L. Persistent organic pollutants in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): implications for resident killer whales of British Columbia and Adjacent waters / D.L. Cullon, M.B. Yunker, C. Alleyne [et al.] // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2009. – V. 28. – No. 1. – P. 148–161.

18. Lukyanova, O.N. Bioaccumulation of HCHs and DDTs in organs of Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea / O.N. Lukyanova, V.Y. Tsygankov, M.D. Boyarova, N.K. Khristoforova // Chemosphere. – 2016. – V. 157. – P. 174–180.

19. Lukyanova, O.N. Persistent organic pollutants in marine ecosystems in Russian Far East: Sources, transport, biological effects / O.N. Lukyanova. – LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 108 p.

20. Roots, O. Persistent organic pollutants in the Baltic Sea (1969–2002) / O. Roots // Environmental Chemistry (Ekologicheskaya khimiya). – 2004. – V. 13. – No. 1. – P. 54–66.

21. Tkalin, A.V. New data on organochlorine distributions in the marine environment near Vladivostok / A.V. Tkalin, D.P. Samsonov, T.S. Lishavskaya, G.V. Ghenrik // Marine Pollution Bulletin. – 2000. – V. 40. – P. 879–881.

22. Tkalin, A.V. Organochlorine pesticides in mussels and bottom sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok / A.V. Tkalin, T.S. Lishavskaya, J.W. Hills // Ocean Research. – 1997. – V. 19. – No. 2. – P. 115–119.

23. Tsygankov, V.Yu. Bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) in the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) from the Sea of Okhotsk / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova // Marine Pollution Bulletin. – 2016. – V. 110. – P. 82–85.

24. Tsygankov, V.Yu. Bioaccumulation of Persistent Organochlorine Pesticides (OCPs) by Gray Whale and Pacific Walrus from the Western Part of the Bering Sea / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova // Marine Pollution Bulletin. – 2015. – V. 99. – P. 235–239.

25. Tsygankov, V.Yu. Bioindicators of organochlorine pesticides (OCPs) in the Sea of Okhotsk and the western Bering Sea / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova, N.K. Khristoforova // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2017. – V. 73. – P. 176–184

26. Tsygankov, V.Yu. Organochlorine Pesticide Accumulation in Seabirds and Marine Mammals from the Northwest Pacific / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova // Marine Pollution Bulletin. – 2018. – V. 128. – P. 208–213.

27. Tsygankov, V.Yu. The Kuril Islands as a Potential Region for Aquaculture: Organochlorine Pesticides in Pink and Chum Salmon / V.Yu. Tsygankov. // Journal of Aquaculture Research & Development. – 2016. – V. 7. – N 8. – P. 442.

28. Tsygankov, V.Yu. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the region of natural aquaculture: Organochlorine pesticides in Pacific salmon / V.Yu. Tsygankov, O.N. Lukyanova, N.K. Khristoforova // Marine Pollution Bulletin. – 2016. – V. 113. – P. 69–74.