



УДК 628.19:551.464:574.5(262.5)

Л. В. Малахова, канд. биол. наук, с.н.с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОРГАНАМИ ЧЕРНОМОРСКОЙ КАМБАЛЫ КАЛКАНА *PSETTA (SCOPHTHALMUS) MAXIMA MAEOTICA*

В 2008 – 2009 гг. было изучено содержание хлорорганических соединений (ХОС) в тканях самцов и самок черноморской камбалы калкана в нерестовый период. В печени, гонадах, красных и белых мышцах определяли содержание общих липидов, семь конгенов полихлорбифенилов (ПХБ) и дихлордифенилтрихлорэтан (п,п'-ДДТ) и его метаболиты п,п'-ДДД и п,п'-ДДЭ. ХОС измеряли на газовом хроматографе с детектором электронного захвата. Концентрации ΣПХБ₇ и ΣДДТ в камбале были сравнимы с загрязнённостью ХОС рыб – объектов её питания. Отмечено увеличение концентрации ХОС в тканях с повышенной жирностью. Концентрация ΣДДТ изменялась в среднем от 2.5 до 223.9, ΣПХБ₇ – от 2.0 до 139.3 нг·г⁻¹ сырой массы и была максимальной в тканях печени, где в сумме конгенов ПХБ доминировали гексахлорбифенилы 138 и 153. Преобладающим компонентом соединений группы ДДТ был его метаболит п,п'-ДДЭ, который вместе с метаболитом п,п'-ДДД составлял 83 %, что свидетельствовало об отсутствии поступления в рыбу в последние годы исходного препарата ДДТ. Концентрация ХОС в печени, отнесённая к сырой массе образцов, у самцов была выше, чем у самок, в среднем в два раза. Уровни концентрации ХОС в органах камбалы в 2009 г. не изменились по сравнению с 2008 г.

Ключевые слова: черноморская камбала калкан, аккумуляция, полихлорированные бифенилы, ДДТ, ДДЭ, ДДД

Несмотря на запрет производства и сокращение использования в промышленности и сельском хозяйстве таких хлорорганических соединений (ХОС), как полихлорбифенилы (ПХБ) и стойкие хлорорганические пестициды (ХОП), они по-прежнему загрязняют акваторию Чёрного моря. Одним из механизмов очищения водной среды от ХОС является извлечение их морскими организмами [7]. Аккумуляции ХОС гидробионтами способствуют их гидрофобные и липофильные свойства, а также высокая устойчивость ПХБ и ХОП к разложению в условиях окружающей среды. По нашим данным, коэффициенты накопления ХОС в рыбах различных видов достигают $10^3 - 10^4$ [5], поэтому даже при низком содержании ХОС в воде, в рыбах обнаруживаются их значительные концентрации. ХОС вызывают патологические изменения в организме рыб и других гидробионтов: нарушается их воспроизводительная функция, увеличивается частота злокачественных образований и ряд других патологий [10, 13].

Оценке уровня загрязнённости ХОС экосистемы Чёрного моря посвящены сообщения известных специалистов в конце 20-го – начале 21-го веков [8]. ХОС были обнаружены во всех компонентах экосистемы этого водоёма: воде, донных отложениях, гидробионтах. Уровни концентраций ХОС в компонентах биотопа и биоценоза Чёрного моря авторы расположили в восходящий ряд: планктон < донные осадки < моллюски < водоросли-макрофиты < рыбы, при этом в рыбах пелагиали отмечены более высокие концентрации ПХБ, достигающие, к примеру, в ставриде и кефали соответственно 454 и 240 нг·г⁻¹ сырой массы, чем у донных рыб.

Одной из причин сокращения запасов такого ценного объекта черноморского промысла, как камбала калкан *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*, явилось загрязнение Чёрного моря [3]. Однако известны лишь единичные данные по содержанию ХОС в камбале, полученные в конце 1980-х годов, составляющие для ПХБ (Ароклор 1254) в 1986 г. 105 нг·г⁻¹, в 1989 г. – 76 нг·г⁻¹ [8], что явно не

отражает современного состояния. В связи с этим актуально было провести современную оценку уровням загрязнённости калкана ХОС и определить особенности их накопления в органах рыб.

Материал и методы. Исследовано 110 проб тканей белых и красных мышц, гонад и печени от 29 экз. черноморской камбалы калкана, выловленных в прибрежном районе Севастополя в нерестовый период с апреля по июнь 2008 и 2009 гг. В 2008 г. отобрано 8 самцов и 9 самок, в 2009-м – по 6 особей обоих полов. Исследованные рыбы были половозрелыми и находились в состоянии готовности к нересту (стадия IV в апреле) или в его активной фазе (стадии IV-V, V, VI-V, апрель – июнь) [6]. Поскольку имеются данные о значительной гистологической неоднородности тканей спинных и брюшных мышц у рыб [15], то пробы мышц калкана отбирали из спинной части.

Пробы проанализированы на содержание п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД (далее ДДТ, ДДЭ и ДДД), а также наиболее распространённых в окружающей среде семи конгенов ПХБ: трихлорбифенила (ХБ) 28; тетраХБ 52; пентаХБ 101, гексаХБ 138, 153, гептаХБ 180 и декаХБ 209. Следуя известным методикам [1, 11], ХОС выделяли из гомогенизированных тканей смесью гексана и ацетона (3:1) и анализировали на газовом хроматографе Varian 3800 с детектором электронного захвата и капиллярной колонкой длиной 25 м, внутренним диаметром 25 мкм, с нанесённым слоем 0.45 мкм стационарной фазы CP Sil-8CB. Для количественных расчётов использовали метод абсолютной градуировки, при этом применяли стандартные растворы 7 конгенов ПХБ фирмы Supelco и стандартные растворы хлорпестицидов ХОП-5, которые включают ДДТ и его метаболиты. Полученные результаты представлены в виде концентрации суммы семи конгенов $\Sigma\text{ПХБ}_7$ и суммы ДДТ и его метаболитов ($\Sigma\text{ДДТ}$) в $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, выраженные как на сырую, так и липидную массы. Ошибка определения ХОС не превышала 15%.

Поскольку полнота выделения ХОС из тканей прямо связана с полнотой выделения из них жира, извлечение липидов проведено с использованием в качестве экстрагентов смеси полярного (ацетона) и неполярного (гексана) растворителей, как рекомендовано в [1]. Концентрацию экстрагируемых липидов определяли гравиметрическим методом после упаривания растворителей и доведения их до постоянной массы в вакуумном эксикаторе

над оксидом кальция, применяемом в качестве осушителя. Далее сумма экстрагируемых гексаном и ацетоном общих липидов будет обозначена как ГЭЛ (гексанэкстрагируемые липиды) и выражена в % на сырую массу.

Оценка экологического состояния окружающей среды предполагает сравнение уровней загрязнённости её компонентов с определёнными нормами – ПДК. В настоящее время ПДК в рыбах и морепродуктах для $\Sigma\text{ДДТ}$ составляет 200, для $\Sigma\text{ПХБ}$ – 2000, в печени и жире – $5000 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой массы [2]. Для защиты водных организмов рекомендована экологическая норма содержания $\Sigma\text{ДДТ}$ – $14 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой массы [14].

Результаты и обсуждение. Во всех пробах выявлены высокохлорированные конгенеры ПХБ 101, 138, 153 и 180 и метаболиты ДДТ: ДДЭ и ДДД. В 85 % образцов печени определён также исходный пестицид ДДТ, в 67 % – конгенеры ПХБ 28 и 52. Уровень загрязнения ХОС тканей калкана был неоднороден (рис. 1). Концентрация ХОС изменялась в широком диапазоне, и для $\Sigma\text{ДДТ}$ составил $0.6 - 564$, для $\Sigma\text{ПХБ}_7$ – $1.2 - 324 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой массы (табл. 1). Сравнение этих значений с ПДК показало, что ПДК по сумме ПХБ не была достигнута, а по $\Sigma\text{ДДТ}$ превышена в печени пяти самцов и одной самки. Очевидно, что для человека риск употребления в пищу калкана (за исключением печени) будет минимальным. Однако экологическая норма по $\Sigma\text{ДДТ}$ в калкане превышена в 100 % проб печени и красных мышц, в 42 % – гонад и в 4 % – белых мышц (табл. 1).

Известно, что ХОС попадают в организм рыб с пищей и из воды [16]. Есть данные, что у камбаловых рыб основным путем поступления ХОС является пищевая [20]. По характеру питания камбала калкан – хищник, питающийся в основном массовой пелагической рыбой Чёрного моря – хамсой и донными – пикшей, барабулей, а также крупными ракообразными [9]. У юго-западного побережья Крыма калкан обитает на фазеолиновых грунтах и питается во время нагула (осень – зима) мерлангом, шпротом, хамсой и бычками [9], которые в Чёрном море довольно сильно загрязнены ХОС (табл. 2).

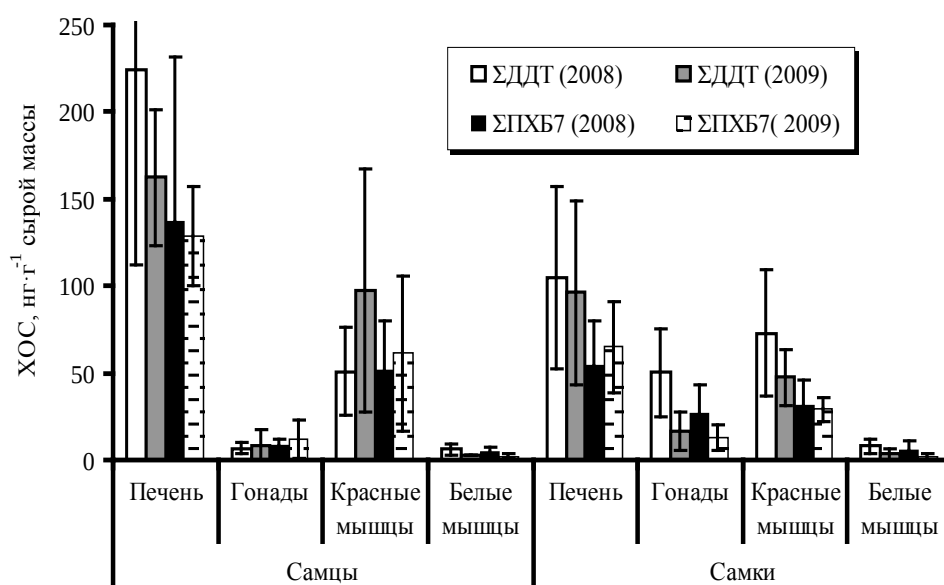


Рис. 1 Средняя концентрация ХОС в органах самок и самцов черноморской камбалы калкана из Севастопольского прибрежного региона в 2008 – 2009 гг. Вертикальными отрезками указаны величины средне-квадратических отклонений.

Fig. 1 Average of organochlorine compounds in organs of the Black Sea turbot males and females in the Sevastopol coastal area in 2008 – 2009. Vertical bars are standard deviations.

Табл. 1 Средние концентрации и диапазоны значений гексанэкстрагируемых липидов (ГЭЛ, % сырой массы), ΣDDT и ΣPCB₇ (нг·г⁻¹, сырой и липидной массы) в органах самцов и самок черноморской камбалы калкана из Севастопольского прибрежного региона в апреле – июне 2008 – 2009 гг.

Table 1 Variation range and average of concentration of hexane extractable lipids (% w.w.), ΣDDT and ΣPCB₇ (ng·g⁻¹ wet and lipid weight) in organs of males and females of the Black Sea turbot from the Sevastopol coastal area in April – June, 2008 – 2009

Пол	Орган	ГЭЛ, %	ΣДДТ, нг·г ⁻¹	ΣДДТ, нг·г ⁻¹	ΣПХБ ₇ , нг·г ⁻¹	ΣПХБ ₇ , нг·г ⁻¹
		сырой массы	сырой массы	липидной массы	сырой массы	липидной массы
		среднее (диапазон)	среднее (диапазон)	среднее (диапазон)	среднее (диапазон)	среднее (диапазон)
2008						
Самцы	Печень	14.5 (8 - 25)	224 (105 – 564)	1622 (856 – 3565)	137 (69 – 324)	976 (481 – 2048)
	Гонады	1.1 (0.7 - 1.8)	6.7 (1.1 - 12.4)	617 (90 – 817)	8.1 (2.2 -13.4)	813 (257-2005)
	Кр. м. ^a	4.0 (2.5 - 6.3)	50.8 (8.8 - 82.7)	1310 (244 – 2684)	51.9 (28 - 95)	1371 (817– 633)
	Б.м. ^b	0.6 (0.3 - 1.3)	6.2 (1.4 - 11.9)	1217 (468 – 2702)	4.3 (1.7 - 10.3)	1007 (305–2450)
Самки	Печень	5.5 (2.2 - 10.3)	104 (15 – 252)	1851 (363 – 3581)	54 (14 – 97)	1138 (341-2047)
	Гонады	2.5 (1.2 - 4.2)	50 (13 - 134)	1609 (565 – 3731)	27.0 (6.2-54.5)	1162 (353–3048)
	Кр. м.	3.9 (2.1 - 6.7)	72 (24 - 178)	2298 (523 – 2646)	31.1 (9.6-50.6)	878 (415 – 1650)
	Б.м.	0.5 (0.2 - 1.4)	8.1 (1.6 - 15.3)	1828 (298 – 5106)	5.9 (1.2 - 17.5)	1432 (595– 3494)
2009						
Самцы	Печень	13.1 (11 - 15)	162 (131 – 201)	1266 (823-1685)	128 (94 – 159)	1006 (619 – 1279)
	Гонады	1.5 (0.7 - 2.9)	7.8 (2.2 - 18.3)	418 (300 - 621)	11.9 (3.7 - 24)	726 (544 – 819)
	Кр. м.	4.8 (3.8 - 5.9)	91 (45 – 172)	1765 (1183-2919)	61 (22 – 109)	1244 (459 – 1850)
	Б.м.	0.4 (0.3 - 0.7)	2.5 (0.6 - 6.3)	477 (195 – 975)	2.1 (1.2 - 3.6)	455 (195 – 975)
Самки	Печень	7.6 (5.3 - 11.2)	96 (29 – 175)	1226 (496-1689)	65 (25 – 100)	872 (436 – 1536)
	Гонады	1.4 (0.7 - 2.4)	16.4 (6.5 - 33.2)	922 (515 – 1510)	12.8 (4.9-25.3)	1068 (654 – 2746)
	Кр. м.	4.1 (2.8 - 7.1)	48 (32 – 65)	1306 (814-2069)	29 (27 – 54)	971 (566 - 1038)
	Б.м.	0.3 (0.1 - 0.4)	3.5 (1.0 - 9.4)	492 (334 - 736)	2.0 (1.3 - 6.2)	655 (451 – 1181)

Примечания: ^a – красные мышцы; ^b – белые мышцы

Уровни ΣDDT, обнаруженные у калкана, оказались близкими значениям, зарегистрированным в 2003 – 2006 гг. у шпрота, сельди,

луфаря из болгарских прибрежных районов Чёрного моря (табл. 2).

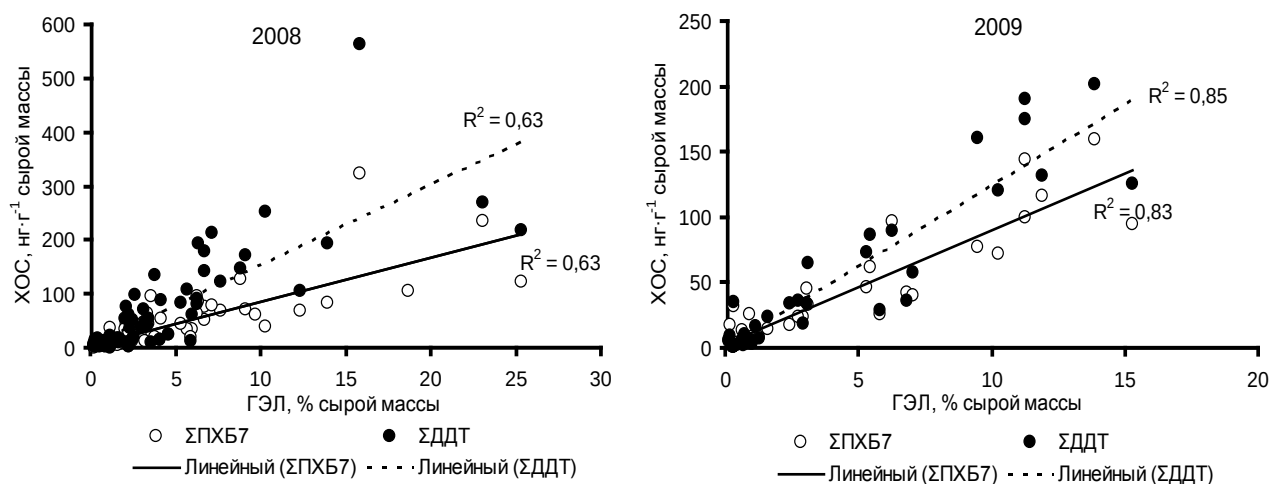
Табл. 2 Средние значения и диапазоны концентрации Σ ДДТ и Σ ПХБ ($\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой и липидной массы) в черноморских рыбахTable 2 Variation range, average of concentration of Σ DDT and Σ PCB ($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh and lipid weight) in Black Sea fish

Район, год	Вид, орган	Σ ДДТ $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сы- рой массы	Σ ДДТ $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ ли- пид. мас- сы	Σ ПХБ* $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой массы	Σ ПХБ* $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ липид. массы	Ис- точ- ник
Прибрежные районы Тур- ции, 1993	<i>Engraulis encrasicolus</i> , целиком	170	2700	50	920	[19]
	<i>Merlangius merlangus euxinus</i> , то же	280	7000	140	3500	-«-
	<i>Mullus surmuletus</i> , -«-	250	1700	20	130	-«-
	<i>Alosa pontica</i> , -«-	370	12000	95	3200	-«-
	<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> , -«-	490	3800	210	2000	-«-
Болгарские прибрежные районы Чёр- ного моря, 2003-2004	<i>Sprattus sprattus</i> , целиком	58.0-75.2	337-3345	-**	-	[18]
	<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> , то же	3.7-158.4	91-1509	-	-	-«-
	<i>Pomatomus saltatrix</i> , -«-	38.7-122.4	345-752	-	-	-«-
	<i>Alosa pontica</i> , -«-	93.4-464.5	477-1682	-	-	-«-
	<i>Sarda sarda</i> , -«-	16.6-50.8	224-332	-	-	-«-
Район Варны, 2003-2006	<i>Pomatomus saltatrix</i> , мышцы	-	367.1- 879.5	-	1.2 – 384.9	[17]

* - концентрация ПХБ представлена в эквиваленте технической смеси Aroclor 1254; ** - нет данных

По сравнению с загрязнённостью хамсы, мерланга, султанки, сельди и ставриды из турецкого черноморского побережья в 1993 г., концентрация Σ ДДТ и Σ ПХБ в пробах калкана была более низкой. По-видимому, такая разница в концентрациях ХОС определялась как различными районами и сезонами отбора проб, так и экологической принадлежностью рыб.

Известно, что в тканях, обогащённых липидами, ХОС разлагаются медленнее, и скорость их выведения обратно пропорционально зависит от содержания жиров [15]. Наши результаты показали, что концентрация ХОС зависела от содержания ГЭЛ в органах камбалы, как в 2008-м ($R^2_{\Sigma\text{ДДТ}}=0.63$; $R^2_{\Sigma\text{ПХБ}_7}=0.63$), так и в 2009 г. ($R^2_{\Sigma\text{ДДТ}}=0.85$; $R^2_{\Sigma\text{ПХБ}_7}=0.83$) (рис. 2).

Рис. 2 Соотношение между Σ ПХБ₇ (○), Σ ДДТ (●) и ГЭЛ в органах камбалы калкана в 2008 – 2009 гг.Fig. 2 Correlation between Σ PCB₇ (○), Σ DDT (●) and hexane extractable lipids in the organs of Black Sea turbot in 2008 – 2009

Выявленную неравномерность распределения ХОС мы в первую очередь связываем с различием в показателях жирности (ГЭЛ) органов, которые уменьшались в ряду: печень (среднее 12.1 %), красные мышцы (5.2 %), гонады (2.0 %), белые мышцы (0.5 %).

Концентрации ХОС, выраженные на сырую массу образцов, показали существенную неоднородность выборки (табл. 1), которая характеризовалась значительными коэффициентами вариации (C_v): у самок – 86, у самцов – 122 %. При нормализации содержания ХОС на липидную массу органов оказалось, что уровень загрязнителей в мышцах и гонадах соизмерим с таковым в печени. При этом C_v снизились в среднем в несколько раз и составили у самцов 48, у самок – 21 %, что свидетельствовало о более равномерном распределении ХОС по жировой составляющей тканей, чем в целом по сырой массе образцов. При этом концентрации Σ ПХБ₇ и Σ ДДТ в белых и красных мышцах самок, отловленных в 2008 г., были выше, чем в более жирной печени (табл. 1). Видимо, распределение ХОС в тканях рыб определялось не только содержанием в них липидов, но зависело и от других факторов, регулирующих накопление загрязняющих веществ, которые ещё предстоит изучить.

Распределение ХОС в органах отличалось крайней неравномерностью. Наиболее загрязнённой как у самок, так и у самцов оказалась печень (рис. 1). Высокие концентрации

ХОС в печени в первую очередь связаны, видимо, с пищевым путём поступления ХОС в организм рыб, при котором они попадают именно в печень, где и накапливаются вследствие высокого содержания в ней липидов. У самок содержание Σ ДДТ и Σ ПХБ₇ в печени было в два раза ниже, чем у самцов, и в среднем составляло 59.5 и 100, 133 и 193 нг·г⁻¹ сырой массы соответственно. Такую разницу можно связать с более активным перераспределением липидов, содержащих ХОС, во время гаметогенеза из печени в гонады у самок, чем у самцов. В гонадах калкана, напротив, концентрация ХОС выше у самок, как в 2008-м, так и в 2009 гг. (табл. 1). Содержание ХОС в красных мышцах у особей в среднем на порядок превышало их уровень в белых мышцах. Кроме того, у самцов концентрация Σ ПХБ₇ в красных мышцах была повышенной в 1.5 – 2 раза по сравнению с самками (табл. 1). Содержание ХОС в белых мышцах у самок и самцов примерно одинаковое (рис. 1).

Несмотря на почти тридцатилетний запрет применения ДДТ, доминирующими хлорорганическими загрязнителями в большинстве проб были соединения этой группы (табл. 1). Особенно большая разница в уровне содержания ДДТ и ПХБ определена для печени, в которой загрязнённость пестицидами в 1.5 раза выше, чем ПХБ. В целом концентрации ДДТ и метаболитов в органах камбалы в 2009 г. не изменились по сравнению с 2008-м (рис. 3).

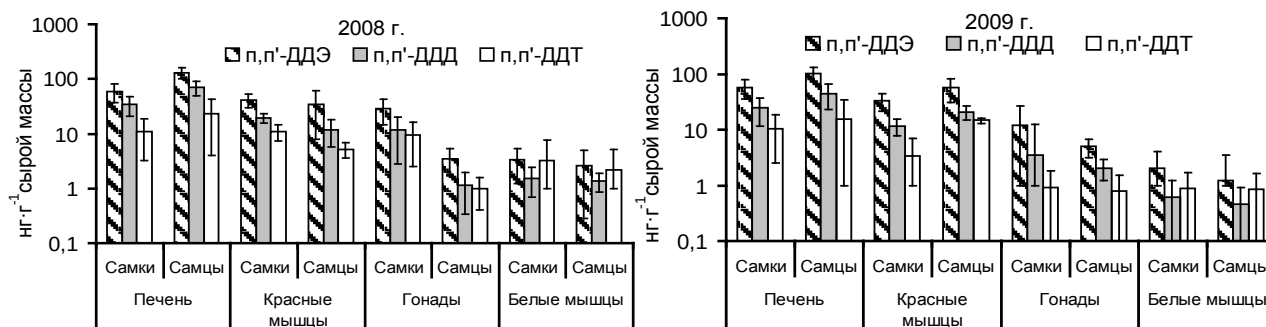


Рис. 3 Средняя концентрация ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД в органах самок и самцов черноморского калкана в апреле – июне 2008 – 2009 гг.

Fig. 3 Mean concentrations of DDT and its metabolites DDE and DDD in organs of males and females of the Black Sea turbot in April – June 2008 – 2009

Во всех образцах содержание соединений группы ДДТ увеличивалось в ряду ДДЭ > ДДД > ДДТ. В печени концентрация ДДЭ превысила содержание исходного пестицида в среднем в 8 раз. Преобладание метаболита ДДЭ свидетельствовало о том, что ДДТ в последнее время не поступал в организм калкана. Однако в пробах наблюдалось некоторое остаточное количество ДДТ, т.к. метаболизм ранее накопившегося пестицида не успел пройти полностью, поскольку время полного исчезно-

вения ДДТ для различных климатических зон, а также в зависимости от природы матрицы, где он был аккумулирован, составляет от 240 до 3850 сут. [4]. В органах калкана доминирующими конгенерами в сумме ПХБ были гексахлорбифенилы 138 и 153, содержание которых изменялось в интервалах 28 – 41 и 21 – 41 % соответственно, причём их максимальный процент обнаружен в печени, как у самок, так и у самцов (рис. 4).

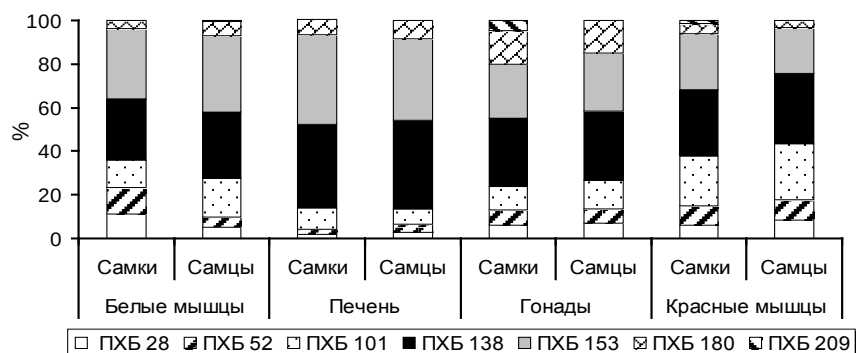


Рис. 4 Содержание конгенов ПХБ (% от $\Sigma\text{ПХБ}_7$) в черноморском калкане в 2008 - 2009 гг.

Fig. 4 Contents of PCB congeners (% from ΣPCB_7) in organs of males and females of the Black Sea turbot in 2008 - 2009

Такое относительное содержание конгенов ПХБ отвечает их соотношению в прибрежной воде Крыма и в рыбах – пищевых объектах калкана, где, по нашим и другим данным [12], преобладающими компонентами в сумме ПХБ также были конгенеры 138 и 153. Сходство в соотношении конгенов ПХБ связано с тем, что высокохлорированные ПХБ, попадая в воду, находятся в неизменном виде длительное время, в течение которого попадают в организм рыб. Относительное обогащение печени рыб высокохлорированными бифенилами 138 и 153, видимо, определяется тем, что низкохлорированные трихлорбифенил(ХБ)-28 и тетра-ХБ-52, а также пента-ХБ 101 постепенно подвергаются ферментативному метаболизму в печени до гидрофильных соединений и с продуктами жизнедеятельности выводятся из организмов, тогда как гекса-ХБ 138 и 153 под действием ферментов практически не разлагаются [4].

Заключение. При изучении особенностей аккумуляции ХОС различными органами самок и самцов черноморской камбалы калкана

в нерестовый период 2008 – 2009 гг. выявлена неравномерность распределения ХОС в органах рыб. В тканях с повышенной жирностью наблюдалось увеличение концентрации ХОС. Содержание липидов увеличивалось в ряду: белые мышцы, гонады, красные мышцы, печень. Самцы камбалы по сравнению с самками накапливали более высокие уровни ХОС в печени, самки – в гонадах. В белых мышцах выявлены минимальные концентрации ПХБ и ДДТ, которые были равными у самок и самцов. В сумме конгенов ПХБ доминировали гексахлорбифенилы 138 и 153. Преобладающим компонентом соединений группы ДДТ был его метаболит ДДЭ, который вместе с метаболитом ДДД составлял 83 %, что свидетельствовало об отсутствии поступления в рыбу исходного препарата ДДТ в последние годы. Содержание суммы ПХБ₇ не превышало ПДК. У пяти самцов и одной самки (21 % всей выборки) концентрации $\Sigma\text{ДДТ}$ в печени были выше ПДК для морепродуктов, и почти во всех пробах внутренних органов (печени и гонадах) и в красных мышцах калкана накоплены такие

концентрации ΣДДТ, которые превысили экологические нормы для водных организмов. Уровни концентрации ХОС в органах камбалы в 2009-м не изменились по сравнению с 2008 г.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность к.б.н. В. Е. Гирагосову, к.б.н. А. Н. Ханайченко за проявленный интерес к проблеме,

консультативную помощь и предоставленный материал для анализа и м.н.с. Т. В. Малаховой за помощь в предварительной обработке проб, рецензентам за труд по рецензированию работы и за ценные замечания и предложения, которые были учтены при доработке статьи.

1. Бабкина Э. И., Бобовникова Ц. И. О количественном извлечении хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов из органов и тканей рыб // Гидробиол. журн. – 1978. – **14**, 3. – С. 103 – 105.
2. Беляев М. П., Гнеушев М. И., Глотов Я. К., Шамов О. И. Справочник предельно допустимых концентраций вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания. – М.: Наука, 1993. – С. 12.
3. Битюкова Ю. Е., Зуев Г. В., Данилюк О. Н., Болтачев А. Р., Ткаченко Н. К., Белоиваненко Т. Г., Владимирцев В. Б. Современное состояние нерестовой популяции камбалы калкан (*Psetta maxima*) на юго-западном шельфе Крыма // Проблемы и решения в современном рыбном хозяйстве на Азовском бассейне: Мат. научно-практ. конф. (Бердянск, 9 – 11 ноября 2005 г.). – Мариуполь, 2005. – С. 14 – 17.
4. Исидоров В. А. Введение в химическую экотоксикологию. – СПб.: Химиздат, 1999. – С. 90 – 97.
5. Малахова Л. В. Содержание и распределение хлорорганических ксенобиотиков в компонентах экосистем Чёрного моря: автореф. дис... канд. биол. наук. – Севастополь, 2006. – 24 с.
6. Малахова Л. В., Малахова Т. В., Гирагосов В. Е., Ельников Д. В. Хлорорганические ксенобиотики в тканях органов черноморской камбалы калкан *Psetta maxima* // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Мат. III Всерос. конф. по водной токсикологии, посв. памяти Б. А. Флёрова: Борок, 11 – 16 ноября 2008 г. – Борок, 2008. – **1**. – С. 60 – 62.
7. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохемозология. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 150 – 151.
8. Поликарпов Г. Г., Жерко Н. В. Экологические аспекты изучения загрязнения Чёрного моря хлорорганическими ксенобиотиками // Экология моря. – 1996. – Вып. 45. – С. 92 – 100.
9. Попова В. П. Некоторые особенности динамики жирности камбалы-калкан Чёрного и Азовского морей // Тр. АзЧерНИРО. – 1969. – Вып. 26. – С. 69 – 79.
10. Попова Г. В., Шамрова Л. Д. Накопление пестицидов в воспроизводительной системе рыб и их гонадотоксические воздействия // Эксперимент. водная токсикол. – 1987. – № 12. – С. 191 – 201.
11. Унифицированные методы мониторинга фонового загрязнения природной среды. – М.: Гидрометеоиздат, 1986. – С. 82 – 95.
12. Çakıroğulları G. Ç., Yunus U., Oymael B., Bozkurt E. N., Kılıç D. PCDD/F, dl-PCB and indicator PCBs in whiting, horse mackerel and anchovy in Black Sea in Turkey// Turk. J. Fish. Aquat. Sci. – 2010. – **10**. – P. 357-362.
13. Cogliano J. V. Assessing cancer risk from environmental PCBs // Environmental Health Perspectives. – 1998. – **106**. – № 6. – P. 317 – 323.
14. Protocol for derivation Canadian tissue residue guideline for the protection of wildlife consumers of aquatic biota. – Quebec: Hull, 1997. – 19 p.
15. Persson M. E., Larsson P., Holmqvist N., Stenroth P. Large variation in lipid content, ΣPCB and d¹³C within individual Atlantic salmon (*Salmo salar*) // Environmental Pollution. – 2007. – **145**. – P. 131 – 137.
16. Rhead M. M., Perkins J.M. An evaluation of the relative importance of food and water as sources of p,p'-DDT to the goldfish *Carassius auratus* (L.) // Water Research. – 1984. – N 6. – P. 719 – 725.
17. Stancheva M., Rizov T., Makedonski L., Georgieva S. Organochlorine pollutants in bluefish (*Pomatomus saltatrix*) from Bulgarian Black sea coast // Plovdiv university "Paisii Hilendarski". Scientific papers. Chemistry. – 2010. – **37**, 5. – P. 125 - 130.
18. Stoichev T., Makedonski L., Trifonova T., Stancheva M., Ribarova F. DDT in fish from the Bulgarian region of the Black Sea // Chemistry and Ecology. – 2007. – **23**, 3. – P. 191 – 200.
19. Tanabe S., Madhusree B., Oeztuerk A., Oatsukawa R., Miyazaki N., Oezdamar E., Aral O., Samsun O., Oeztuerk B. Persistent organochlorine residues in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the Black Sea // Marine Pollution Bulletin. – 1997. – **34**, 5. – P. 338 – 347.
20. Zeng E. Y., Kim T. Distribution of chlorinated hydrocarbons in overlying water, sediment, polychaete, and hornyhead turbot (*Pleuronichthys verticalis*) in the coastal ocean, Southern California, USA // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2002. – **21**, 8. – P. 1600 – 1608.

Поступила 01 июля 2013 г.
После доработки 13 января 2014 г.

Особливості накопичення хлорорганічних забруднювачів органами чорноморської камбали калкана *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*. Л. В. Малахова. У 2008 – 2009 рр. було вивчено вміст хлорорганічних сполук (ХОС) в тканинах самців і самок камбали калкана в нерестовий період. У печінці, м'язах, червоних і білих м'язах визначали вміст загальних ліпідів, сім конгенерів поліхлорбіфенілів (ПХБ) і пестициди діхлордіфенілтрихлоретан (п,п'-ДДТ) і його метаболіти п,п'-ДДД і п, п'-ДДЕ. Дослідження ХОС проводили методом газової хроматографії з детектором електронного захоплення. Концентрації Σ ПХБ₇ і Σ ДДТ в чорноморській камбалі були порівнянні із забрудненістю ХОС риб – об'єктів її харчування. Відзначено збільшення концентрації ХОС в тканинах з підвищеною жирністю. Концентрація Σ ДДТ змінювалася в середньому від 2.5 до 223.9, а Σ ПХБ₇ – від 2.0 до 139.3 нг·г⁻¹ сирої маси і була максимальною в тканинах печінки, де в сумі конгенерів ПХБ домінували гексахлорбіфеніли 138 і 153. Переважним компонентом сполук групи ДДТ був його метаболіт п,п'-ДДЕ, який разом з метаболітом п,п'-ДДД склав 83%, що свідчило про відсутність надходження препарату ДДТ в рибу в останні роки. Концентрація ХОС в печінці самців, віднесена до сирої маси зразків, була вище в середньому в два рази, ніж у самок. Рівні концентрації ХОС в органах камбали в 2009 р. не змінилися порівняно з 2008 р.

Ключові слова: чорноморська камбала калкан, акумуляція, поліхлоровані біфеніли, ДДТ, ДДЕ, ДДД

Peculiarities of organochlorine compounds accumulation in the organs of the Black Sea turbot *Psetta (Scophthalmus) maxima maeotica*. L. V. Malakhova. The organochlorine compounds (OCs) content in the tissues of males and females of the Black Sea turbot have been investigated during the spawning season 2008-2009. The level of total lipids, seven congeners of polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide dichlorodiphenyl-trichloroethane (p,p'- DDT) including its metabolites (p,p'-DDE and p,p'- DDD) were measured in liver, red and white muscles and gonads tissues samples. OC was measured by employing the methods GC-ECD (Gas Chromatography with Electron Capture Detector). Σ PCB₇ and Σ DDT concentration in the Black Sea turbot were comparable with the OCs concentration found in fish – of source their food. It is observed that with increasing fat content of the tissues most of OC' concentrations increased. In the tissue samples, Σ DDT ranged from 2.5 to 223.9 ng·g⁻¹ w.w. and Σ PCB₇ had an overall range 2.0 – 139.3 ng·g⁻¹ w.w and was highest in the liver, where hexa-PCB 138 and 153 were the dominant components. In fish the main DDT compound detected was the metabolite p,p'-DDE (the sum of p,p'-DDE and p,p'-DDD was 83% of DDT) indicative of old DDT residues. On average, OC concentration in a wet weight basis in male livers was twice higher than females. OC concentrations did not show any significant changes over the 2-yr sampling period 2008 – 2009.

Key words: Black Sea turbot, accumulation, polychlorinated biphenyls, DDT, DDE, DDD