

УДК 574.64:639.127.3(265.53)

В.Ю. Цыганков¹, О.Н. Лукьянова^{2,3}, М.Д. Боярова^{1*}¹ Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8;² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;³ Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В МОРСКИХ ПТИЦАХ ОХОТСКОГО МОРЯ

Стойкие органические загрязняющие вещества, в частности хлорорганические пестициды, являются липофильными веществами антропогенного происхождения. Изомеры ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты были обнаружены в органах морских птиц (*Larus schistisagus*, *Aethia cristatella*, *Aethia pusilla*, *Fulmarus glacialis*, *Oceanodroma furcata*), собранных в Охотском море. Общее содержание пестицидов в различных органах варьировало от 28,0 до 16095,0 нг/г липидов: в перьях диапазон значений составил от 28,0 до 8289,0 нг/г, в перьях с кожей — от 1567,0 до 16095,0, в печени — от 1679,0 до 2478,0, в мышцах — от 2230,0 до 3000,0 нг/г. В тушке целиком оно было от 12,5 до 15112,0 нг/г. Видовые особенности в аккумуляции липофильных ксенобиотиков обусловлены особенностями питания и общим содержанием жира в отдельных органах.

Ключевые слова: стойкие органические загрязняющие вещества, хлорорганические пестициды, морские птицы, Охотское море, липофильное вещество.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-136-144.

Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D. Persistent organic pollutants in seabirds from the Okhotsk Sea // Izv. TINRO. — 2018. — Vol. 192. — P. 136–144.

Persistent organic pollutants as organochlorine pesticides are lipophilic anthropogenic substances. Isomers of HCH and DDT and their metabolites are detected in organs of the seabirds *Larus schistisagus*, *Aethia cristatella*, *Aethia pusilla*, *Fulmarus glacialis*, and *Oceanodroma furcata* collected in the Okhotsk Sea. Total content of the pesticides in the certain examined organs varies from 28 ng to 16095 ng per 1 g of lipids: 28–8289 ng/g in feathers, 1567–16095 ng/g in feathers with skin, 1679–2478 ng/g in liver, 2230–3000 ng/g in muscles. Their average content in the whole body changes in the range from 12.5 to 15112.0 ng/g. Species specific features of the lipophilic xenobiotics accumulation are conditioned mainly by feeding habits and lipid content in the organs.

Key words: persistent organic pollutant, organochlorine pesticide, seabird, Okhotsk Sea, lipophilic substance.

* Цыганков Василий Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: tsig_90@mail.ru; Лукьянова Ольга Николаевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: olga.lukyanova@tinro-center.ru; Боярова Маргарита Дмитриевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: boyarova.m@mail.ru.

Tsygankov Vasily Yu., Ph.D., associate professor, e-mail: tsig_90@mail.ru; Lukyanova Olga N., D.Sc., leading researcher, e-mail: olga.lukyanova@tinro-center.ru; Boyarova Margarita D., Ph.D., associate professor, e-mail: boyarova.m@mail.ru.

Введение

На рубеже 60–70-х гг. XX в. в разных регионах мира была отмечена массовая гибель популяций диких птиц. Одной из причин этого оказалось использование стойких органических загрязняющих веществ, в частности хлорорганических пестицидов (ХОП). Их широко использовали в качестве инсектицидов для борьбы с переносчиками малярии, в сельском и коммунальном хозяйстве. Эти вещества, являясь липофильными соединениями антропогенного происхождения, способны накапливаться в объектах окружающей среды и оказывать негативное влияние на живые организмы. В результате отравления эндрином погибли куропатки и фазаны; дильдрином — белоголовые орланы и гуси; ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) — бакланы, пеликаны и чайки; линданом (ГХЦГ — гексахлорциклогексан) — скворцы (Ровинский и др., 1990; Jörundsdóttir et al., 2010).

После запрета использования и производства ряда пестицидов гибель птиц значительно снизилась, но случаи отравления продолжались. Важно отметить, что на территориях, загрязненных ХОП, вуалируется воздействие на птиц других групп химических и биологических повреждающих агентов. Так, присутствие ДДЕ (дихлордифенилдихлорэтилен) маскирует эффект отрицательного воздействия ртути на размножение птиц (Ровинский и др., 1990; Buckman et al., 2004).

Летальные дозы пестицидов являются видоспецифичными и находятся в диапазоне от 4 (для желтушника и японского перепела) до 65 мг/кг (для воробьев). В ряде экспериментов были выявлены критические концентрации ХОП в мозге птиц (Tanabe, 2007).

В Великобритании впервые была отмечена корреляция между истончением яичной скорлупы и ухудшением размножения популяций сокола-сапсана и ястреба-перепелятника в местах использования стойких хлорорганических инсектицидов. Толщина скорлупы уменьшилась к концу 1960-х гг. по сравнению с 1940 г. у 9 из 17 исследованных особей на 5–19 % (Kunisue et al., 2003). Исследования в США и Канаде также выявили некоторую степень истончения скорлупы, толщина и масса скорлупы уменьшились на 20 % у многих видов птиц (Tanabe, Subramanian, 2006; Tanabe, 2007).

Птицы широко используются как биоиндикаторы для мониторинга загрязнения хлорорганическими поллютантами окружающей среды. Птицы могут быть как промежуточным, так и завершающим звеном трофической цепи. Питаясь живыми организмами, в процессе биомагнификации они накапливают в своих органах токсичные вещества. В зависимости от типа питания (фитофаги, планктонофаги, рыбоядные и другие) и характера миграций (перелетные и локальные) меняется и содержание ХОП в органах и тканях. Если же локальных источников загрязнения нет, то они отражают глобальное загрязнение в результате трансграничного атмосферного переноса поллютантов и транспорта морскими течениями (Kunisue et al., 2003; Knudsen et al., 2007).

Хлорорганические соединения в птицах Охотского моря изучены фрагментарно (Tsygankov et al., 2016).

Целью данной работы явилось изучение аккумуляции хлорорганических пестицидов (изомеров ГХЦГ (α -, β -, γ -ГХЦГ), ДДТ и его метаболитов (ДДД (дихлордифенилдихлорэтан), ДДЕ)) в пяти видах морских птиц из Охотского моря и оценка загрязненности данного региона этими поллютантами.

Материалы и методы

Исследовано 34 образца органов пяти видов морских птиц — тихоокеанская чайка *Larus schistisagus*, большая конюга *Aethia cristatella*, конюга-крошка *Aethia pusilla*, глупыш *Fulmarus glacialis* (белая и темная морфы), серая качурка *Oceanodroma furcata*, — собранных в июне и октябре 2012 г. в Охотском море с побережья западной Камчатки и Курильских островов (рис. 1, табл. 1). Исследованы разные органы, в зависимости от размера птиц: перо, перо с кожей, тушки целиком.

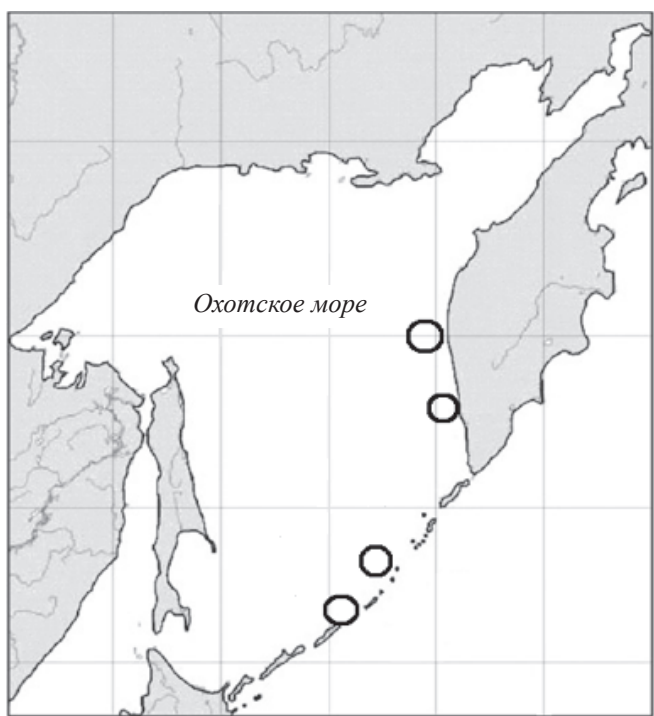


Рис. 1. Карта сбора образцов морских птиц
Fig. 1. Scheme of sampling

Таблица 1

Описание исследованных образцов морских птиц

Table 1

Description of collected samples of seabirds

Вид	Орган	Количество образцов	Доля липидов, диапазон, %
Глупыш <i>Fulmarus glacialis</i> (белая и темная морфы)	Перья	5	1,1–3,2
	Перья с кожей	5	1,1–21,0
	Тушка целиком*	5	0,2–12,2
Большая конюга <i>Aethia cristatella</i>	Перья	2	1,5–2,9
	Перья с кожей	2	8,6–19,0
	Тушка целиком	2	7,5–11,5
Конюга-крошка <i>Aethia pusilla</i>	Тушка целиком	3	6,5–12,7
Тихоокеанская чайка <i>Larus schistisagus</i>	Перья	2	1,6–3,3
	Перья с кожей	2	9,9–17,2
	Мышцы	2	7,3–8,5
	Печень	2	10,1–13,6
Серая качурка <i>Oceanodroma furcata</i>	Перья с кожей	1	14,4
	Тушка целиком	1	11,9

* Тушка целиком — гомогенизированные вместе все органы, ткани, перьевой покров.

Образцы замораживали (–20 °С) и доставляли в лабораторию. Перед химическим анализом проводили гомогенизацию органов и тканей. Липиды извлекали из гомогенатов экстракцией гексаном с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой (Tsygankov, Boyarova, 2015).

Для приготовления стандартных растворов ХОП использовали государственные стандартные образцы α-ГХЦГ (ГСО 8024), β-ГХЦГ (ОСО 113-04), γ-ГХЦГ (ГСО 1855П), ДДТ (ГСО 7379), ДДД (ГСО 7386), ДДЕ (ГСО 7387) с установленными метрологическими характеристиками — содержание основного вещества 99,4–99,6 %.

Для хроматографии использовали рабочие стандартные растворы ХОП в диапазоне концентрации 1–100 нг/мл, приготовленные путем разбавления растворов ГСО

соответствующим объемом очищенного *n*-гексана. Определение массового содержания хлорорганических пестицидов в биоматериале выполняли на газовом хроматографе Shimadzu GC-2010 Plus с детектором электронного захвата ECD. Капиллярная колонка Shimadzu HiCap CBP5. Температура колонки 210 °C, инжектора 250 °C, детектора — 280 °C. Газ-носитель — аргон, давление на входе — 2 кг/см², делитель потока 1 : 60, скорость потока газа-носителя через колонку — 0,5 мл/мин.

Статистическую обработку результатов проводили в программе IBM SPSS Statistics software package для Mac OS X. Достоверность данных подтверждали критерием Манна-Уитни (при $p \leq 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Пестициды были обнаружены во всех исследованных образцах птиц. Общее содержание пестицидов в различных органах варьировало от 28 до 16095 нг/г липидов. В перьях диапазон значений составил от 28,0 до 8289,0 нг/г, в перьях с кожей — от 1567,0 до 16095,0, в печени — от 1679,0 до 2478,0, в мышцах — от 2230,0 до 3000,0. В тушке целиком (гомогенате органов) — от 12,5 до 15112,0 нг/г. Средние суммарные концентрации пестицидов в морских птицах приведены на рис. 2.

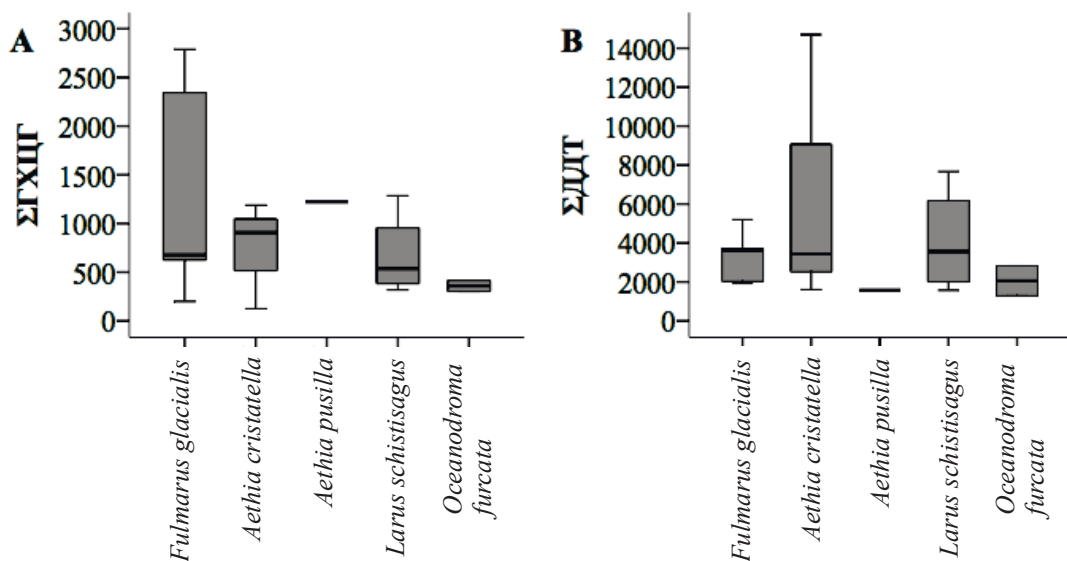


Рис. 2. Диапазон и средняя концентрация (медиана) хлорорганических пестицидов в морских птицах, нг/г липидов: **А** — сумма изомеров ГХЦГ; **В** — сумма ДДТ и его метаболитов. Различия достоверны при $p \leq 0,05$

Fig. 2. Range and average (median) content of organochlorine pesticides in seabirds, ng/g lipid: **А** — S HCHs; **В** — S DDTs. Significance level of $p \leq 0.05$ is shown

ДДТ обнаружен только в перьях глупышей, пойманных в июне, в пределах 975–1978 нг/г. ДДЕ присутствовал во всех образцах от 27 до 15276 нг/г. ДДД в пробах не был обнаружен вовсе.

γ-ГХЦГ обнаружен только в некоторых пробах: в перьях и перьях с кожей июньских глупышей — 177–467 нг/г; в печени тихоокеанской чайки — 160 нг/г. β-ГХЦГ — в единичных образцах: в июне в перьях большой конюги, тушке крошечной конюги; в октябре в печени глупыша. Концентрация β-ГХЦГ составляла 555–1151 нг/г. α-ГХЦГ найден практически во всех образцах в диапазоне от 160 до 3024 нг/г, за исключением глупыша, пойманного в октябре (отсутствует у одной особи в перьях, у другой присутствует только в мышцах) и тихоокеанской чайки (ниже пределов обнаружения в перьях одной особи).

Среднее значение суммарной концентрации ХОП в июне (6580 нг/г) почти в 2 раза выше, чем в октябре (3442 нг/г).

Тихоокеанская чайка *Larus schistisagus*. Суммарное содержание ХОП во всех исследуемых органах тихоокеанской чайки находилось в пределах 1567–10357 нг/г липидов.

Концентрации α -ГХЦГ варьировали от 200 до 2017 нг/г, β -ГХЦГ был ниже пределов обнаружения, γ -ГХЦГ найден в печени у одной из двух исследованных особей, концентрация составила 160 нг/г, коэффициент α/γ -ГХЦГ — 2,7, что свидетельствует о длительной циркуляции изомеров ГХЦГ в морской среде.

Концентрации ДДТ и ДДД были ниже пределов обнаружения, ДДЕ — находились в пределах от 1016 до 8339 нг/г.

Глупыш *Fulmarus glacialis*. Диапазон суммарных концентраций ХОП составил от 28 до 8135 нг/г липидов. Сумма изомеров ГХЦГ — от 200 до 3040 нг/г: α -ГХЦГ — от 200 до 3024 нг/г; β -ГХЦГ обнаружен в одной из пяти исследуемых птиц в печени, концентрация составила 555 нг/г; γ -ГХЦГ обнаружен в трех из пяти особей в перьях и перьях с кожей в пределах от 177 до 467 нг/г. Во всех пробах, где был обнаружен γ -ГХЦГ, коэффициент α/γ -ГХЦГ был выше 1.

Диапазон значений суммы ДДТ и его метаболитов варьировал от 28 до 5625 нг/г липидов: ДДТ найден в трех особях в перьях, диапазон составил 1440–1978 нг/г; ДДД ниже пределов обнаружения; ДДЕ находился в пределах от 28 до 5608. Отношение средних концентраций ДДТ и ДДЕ меньше 1, что означает недавнее, «свежее» поступление ДДТ в морскую среду и организм птиц.

Большая конюга *Aethia cristatella*. Минимальная суммарная концентрация ХОП составила 1842, максимальная — 16095 нг/г липидов. Диапазон суммарных значений ГХЦГ лежал в пределах 160–2214 нг/г, α -изомера — от 160 до 1062 нг/г, β -ГХЦГ обнаружен в одной из двух особей в перьях, концентрация составила 115 нг/г, γ -ГХЦГ ниже предела обнаружения. ДДТ и ДДД ниже пределов обнаружения, диапазон ДДЕ от 1604 до 15276 нг/г.

Конюга-крошка *Aethia pusilla*. Сумма ХОП находилась в пределах от 2247 до 3499 нг/г липидов. Суммарная концентрация изомеров ГХЦГ варьировала от 626 до 1819 нг/г, α -ГХЦГ — от 406 до 1033 нг/г, β -ГХЦГ — от 786 до 810 нг/г, γ -ГХЦГ не был обнаружен. ДДТ и ДДД ниже пределов обнаружения, ДДЕ варьировал от 1450 до 1679 нг/г.

Серая качурка *Oceanodroma furcata*. Была исследована одна особь. Диапазон концентраций суммы ХОП лежал в пределах от 1705 до 3128 нг/г. Из изомеров ГХЦГ был обнаружен только α -изомер, от 303 до 415 нг/г. ДДТ и ДДД ниже пределов обнаружения, ДДЕ варьировал от 1290 до 2825 нг/г.

Общее содержание пестицидов в тушке птиц. Максимальное значение ХОП отмечено у глупышей (5816 нг/г), минимальное — у серой качурки (1705 нг/г). Для ДДТ и его метаболитов выявлена схожая закономерность: максимальные уровни у глупышей (5608 нг/г), минимальные — у серой качурки (1209 нг/г). Максимальное содержание изомеров ГХЦГ обнаружено у крошечной конюги (1819 нг/г), минимальное — у глупыша (208 нг/г).

Средние концентрации ГХЦГ и ДДТ в отдельных органах представлены на рис. 3.

Содержание пестицидов в перьях. Максимальная суммарная концентрация ХОП выявлена в перьях у тихоокеанской чайки (8289 нг/г). У трех глупышей, добытых в июне, концентрации имели близкие значения (7119, 7916 и 8135 нг/г), но в октябре у них наблюдалась минимальная концентрация ХОП (всего 28 нг/г). Максимальная суммарная концентрация ДДЕ (единственного выявленного метаболита ДДТ) обнаружена также у тихоокеанской чайки (766 нг/г), минимальная — у глупыша, добытого в октябре (28 нг/г). Сумма изомеров ГХЦГ достигала максимального значения у глупышей, добытых в июне (3040 нг/г), минимального — у большой конюги (160 нг/г).

Содержание пестицидов в перьях с кожей. Максимальная концентрация суммы ХОП и суммы метаболитов ДДТ обнаружена у большой конюги (соответственно 16095 и 15276 нг/г), минимальная — у тихоокеанской чайки (соответственно 1567

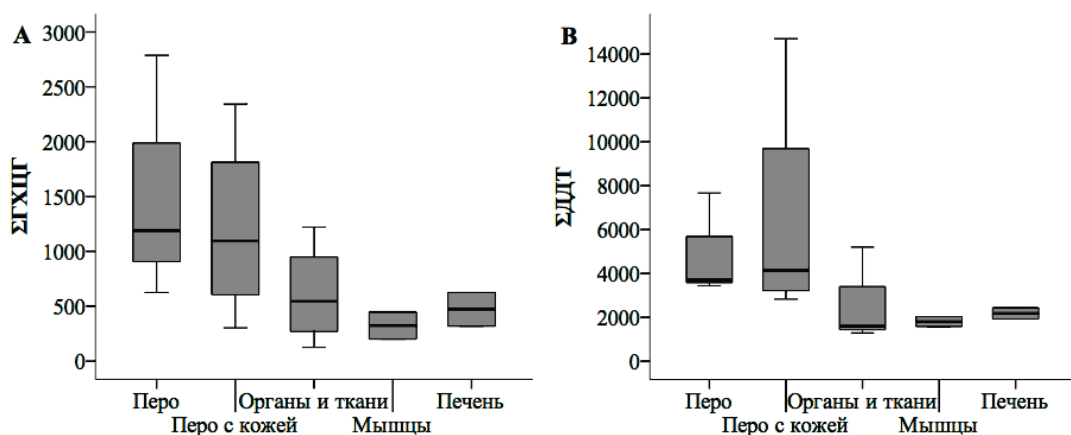


Рис. 3. Среднее распределение (диапазон и медиана) изомеров ГХЦГ (А), ДДТ и его метаболитов (В) по органам морских птиц. Различия достоверны при $p \leq 0,05$

Fig. 3. Mean minimal, median, and maximum values of HCHs (A) and DDTs (B) content in organs of seabirds. Significance level of $p \leq 0.05$ is shown

и 1016 нг/г). Максимальная суммарная концентрация изомеров ГХЦГ выявлена у глупыша (3047 нг/г), минимальная — у серой качурки (303 нг/г).

ХОП в печени и мышцах определяли у двух видов птиц (глупыш и тихоокеанская чайка), собранных в октябре.

Содержание пестицидов в печени. В печени глупыша суммарные концентрации ХОП (2478 нг/г) и метаболитов ДДТ (1923 нг/г) превышали таковые у чайки (соответственно 1679 и 1376 нг/г). Максимальное содержание изомеров ГХЦГ обнаружено в печени тихоокеанской чайки (590 нг/г).

Содержание пестицидов в мышцах. У тихоокеанской чайки концентрации суммы ХОП (3000 нг/г) и суммы метаболитов ДДТ (2775 нг/г) выше, чем у глупыша (соответственно 2230 и 2030 нг/г). Сумма изомеров ГХЦГ выше (410 нг/г), чем у глупыша (200 нг/г).

Исследованные виды птиц имеют разные размеры и образ жизни. Это определяет различия в их физиологии, в том числе разное количество подкожного жира. Известно, что ХОП концентрируются преимущественно в подкожном жире, поэтому у более крупных птиц содержание ХОП выше. Тихоокеанская чайка (средний размер тела 64 см) и глупыш (47 см) в перьях с кожей имеют сходные концентрации ХОП (соответственно 5962 и 5949 нг/г). В качурке (22 см), которая значительно меньше этих видов птиц, содержание пестицидов составило 3128 нг/г. Однако накопление и распределение пестицидов в органах птиц может регулироваться и другими дополнительными факторами. Так, например, у большой конюги размером 26 см содержание ХОП в перьях с кожей составило 15604 нг/г. Установление причин высоких концентраций ХОП у данного вида требует дальнейших исследований.

Среднее содержание пестицидов во внутренних органах птиц отражает и 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 в тушке птиц (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. Отражением этого является и меньшее содержание ХОП во внутренних органах этих видов — соответственно 1730, 2804 и 1705 нг/г.

Данные об уровне содержания изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов в птицах из Охотского моря и различных районов Мирового океана представлены в табл. 2.

Таблица 2

Суммарное содержание хлорорганических пестицидов (ДДТ и ГХЦГ) в морских птицах из различных районов Мирового океана, нг/г липидов

Table 2

Mean total content of organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in seabirds, by regions of the World Ocean, ng/g lipid

Вид	Район	Σ ДДТ	Σ ГХЦГ	Источник данных
Люрик <i>Alle alle</i>	Северный Ледовитый океан, море Баффина	571,4	233,9	Buckman et al., 2004
Толстоклювая кайра <i>Uria lomvia</i>		1096,7	84,3	
Обыкновенный чистик <i>Cephus grylle</i>		1003,3	268,3	
Обыкновенная моевка <i>Rissa tridactyla</i>		1277,1	45,3	
Белая чайка <i>Pagophila eburnea</i>		7049,3	138,1	
Бургомистр <i>Larus hyperboreus</i>		5956,1	449,2	
Глупыш <i>Fulmarus glacialis</i>		4870,7	62,9	
Морская чайка <i>Larus marinus</i>	Исландия	3420	0	Jörundsdóttir et al., 2010
Клуша <i>Larus fuscus</i>		3370	36,7	
Большой поморник <i>Stercorarius skua</i>		54200	1400,0	
Бургомистр <i>Larus hyperboreus</i>	Баренцево море	215109	1038	Knudsen et al., 2007
Глупыш <i>Fulmarus glacialis</i>	Охотское море	3335,30	1630,47	Собственные данные
Большая конюга <i>Aethia cristatella</i>		7575,36	884,78	
Тихоокеанская чайка <i>Larus schistisagus</i>		3576,41	674,66	
Серая качурка <i>Oceanodroma furcata</i>		2017,05	377,10	
Конюга-крошка <i>Aethia pusilla</i>		1583,50	1220,97	

Общее содержание ХОП у тихоокеанской чайки, серой качурки, крошечной конюги из Охотского моря выше, чем у люрика *Alle alle*, толстоклювой кайры *Uria lomvia*, обыкновенной моевки *Rissa tridactyla* и обыкновенного чистика *Cephus grylle* из моря Баффина, и ниже, чем у глупыша *Fulmarus glacialis* из моря Баффина, клуши *Larus fuscus* и морской чайки *Larus marinus* из Исландии, бургомистра *Larus hyperboreus* из моря Баффина, белой чайки *Pagophila eburnea* и большого поморника *Stercorarius skua* из Исландии и бургомистра *Larus hyperboreus* из Баренцева моря.

В органах и тканях большой конюги общий уровень ХОП ниже, чем у большого поморника из Исландии и бургомистра из Баренцева моря. У глупыша из Охотского моря сумма ХОП выше, чем у глупыша из моря Баффина, но ниже, чем у других птиц из моря Баффина.

Суммарное содержание метаболитов ДДТ у глупыша, тихоокеанской чайки, серой качурки, крошечной конюги из Охотского моря выше, чем у люрика, толстоклювой кайры, обыкновенной моевки, обыкновенного чистика из моря Баффина, и ниже, чем у глупыша из моря Баффина, клуши из Исландии, морской чайки из Исландии, бургомистра из моря Баффина, белой чайки из Исландии, большого поморника из Исландии, бургомистра из Баренцева моря. У всех исследованных птиц сумма метаболитов ДДТ ниже, чем у большого поморника из Исландии и бургомистра из Баренцева моря.

Концентрация сумм изомеров ГХЦГ у серой качурки выше, чем у обыкновенной моевки, глупыша, клуши, толстоклювой кайры, белой чайки, люрика, обыкновенного чистика, и ниже, чем у остальных видов. У тихоокеанской чайки и большой конюги из Охотского моря сумма изомеров ГХЦГ выше, чем у обыкновенной моевки, глупыша, клуши, толстоклювой кайры, люрика, белой чайки, обыкновенного чистика, бургомистра из моря Баффина, и ниже, чем у остальных видов. У крошечной конюги из Охотского моря сумма изомеров ГХЦГ выше, чем у поморника из Исландии, и ниже, чем у остальных видов. У глупыша из Охотского моря сумма изомеров ГХЦГ самая высокая.

Во всех исследованных образцах и в данных, приведенных различными авторами (табл. 2), прослеживается общая закономерность: сумма изомеров ГХЦГ ниже сумм метаболитов ДДТ.

Приведенные в табл. 2 виды собраны в сходных широтах Северного полушария. Диапазон концентраций у всех птиц практически сходен, что указывает на близкую загрязненность морской среды в этих широтах. Уровень биоаккумуляции хлороргани-

ческих соединений морскими птицами Охотского моря отражает уровень загрязнения в данном регионе.

Видовые особенности в аккумуляции ХОП в первую очередь могут быть связаны с типом питания. Например, бургомистр из Баренцева моря, питающийся рыбой, падалью, мелкими млекопитающими и яйцами других птиц, содержит в своем теле 216157 нг ХОП/г липидов (Knudsen et al., 2007). Яйца птиц богаты жиром, необходимым для развития эмбриона, соответственно, содержат высокие концентрации ХОП, так как в процессе оогенеза все токсичные вещества вместе с жиром из самки попадают в яйцо, которое может стать пищей других птиц (Leat et al., 2011; Morales et al., 2012). Яйца и отдельно скорлупа часто используются как индикаторы загрязнения ХОП вследствие максимальной аккумуляции пестицидов по сравнению с другими морскими организмами (Tanabe, 2007).

Большой поморник, пища которого состоит главным образом из рыбы, которую он отнимает у других птиц, накапливает поллютантов до 55600 нг/г (Jörundsdóttir et al., 2010). Рыбы, как правило, содержат в своем теле меньше пестицидов, в отличие от птиц и млекопитающих, так как являются невысоким звеном пищевой цепи, соответственно, содержание ХОП в поморнике значительно меньше, чем у бургомистра (Цыганков и др., 2014).

Обитатели моря Баффина (Северный Ледовитый океан) накапливают меньшее количество ХОП за счет своей удаленности от потенциальных источников загрязнения. Например, глупыш, который питается ракообразными, рыбой, кальмарами, планктоном, при случае падалью, содержит токсикантов 4933,5 нг/г (Buckman et al., 2004).

Заключение

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. Разный уровень аккумуляции ХОП у отдельных видов отражает различную степень загрязнения районов обитания особей этими поллютантами. Видовые особенности в аккумуляции липофильных ксенобиотиков в немалой степени обусловлены спектром питания и общим содержанием жира в отдельных органах. Обнаружение заметных концентраций ХОП в морских птицах из Охотского моря, удаленного от активной сельскохозяйственной деятельности, служит проявлением общего глобального фона стойких органических загрязняющих веществ, сформировавшегося на планете в настоящее время.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ТИНРО-центра, участвовавшим в сборе проб в ходе морских экспедиций, а также д-ру биол. наук профессору В.П. Шунтову за помощь в организации сбора биологического материала и определение видов птиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-50-00034).

Список литературы

Ровинский Ф.Я., Воронова Л.Д., Афанасьев М.И. и др. Фоновый мониторинг загрязнения экосистем суши хлорорганическими соединениями : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1990. — 270 с.

Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н., Христофорова Н.К. Гексахлорциклогексан и ДДТ в морских организмах Охотского и Берингова морей // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — Р. 225–232.

Buckman A.H., Norstrom R.J., Hobson K.A. et al. Organochlorine contaminants in seven species of Arctic seabirds from northern Baffin Bay // Environ. Pollut. — 2004. — Vol. 128, № 3. — P. 327–338. DOI: 10.1016/j.envpol.2003.09.017

Jörundsdóttir H., Löfstrand K., Svavarsson J. et al. Organochlorine compounds and their metabolites in seven icelandic seabird species — a comparative study // Environ. Sci. Technol. — 2010. — Vol. 44, № 9. — P. 3252–3259. DOI: 10.1021/es902812x.

Knudsen L.B., Sagerup K., Polder A. et al. Halogenated organic contaminants and mercury in dead or dying seabirds on Bjørnøya (Svalbard). — Oslo : Norwegian polar institute, 2007. — 45 p.

Kunisue T., Watanabe M., Subramanian A. et al. Accumulation features of persistent organochlorines in resident and migratory birds from Asia // Environ. Pollut. — 2003. — Vol. 125, № 2. — P. 157–172. DOI: 10.1016/S0269-7491(03)00074-5.

Leat E.H.K., Bourgeon S., Borgå K. et al. Effects of environmental exposure and diet on levels of persistent organic pollutants (POPs) in eggs of a top predator in the North Atlantic in 1980 and 2008 // Environ. Pollut. — 2011. — Vol. 159, № 5. — P. 1222–1228. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.01.036.

Morales L., Martrat M.G., Olmos J. et al. Persistent Organic Pollutants in gull eggs of two species (*Larus michahellis* and *Larus audouinii*) from the Ebro delta Natural Park // Chemosphere. — 2012. — Vol. 88, № 11. — P. 1306–1316. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.106.

Tanabe S. Contamination by persistent toxic substances in the Asia-Pacific Region // Persistent Organic Pollutants in Asia. Sources, Distributions, Transport and Fate. Developments in Environmental Science. — 2007. — Vol. 7. — P. 773–817. DOI: 10.1016/S1474-8177(07)07018-0.

Tanabe S., Subramanian A. Bioindicators of POPs: Monitoring in Developing Countries. — Kyoto, Japan : Kyoto University Press ; Melbourne : Trans Pacific Press, 2006. — 190 p.

Tsygankov V.Y., Boyarova M.D., Lukyanova O.N. Bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) in the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) from the Sea of Okhotsk // Mar. Pollut. Bull. — 2016. — Vol. 110, № 1. — P. 82–85. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.084.

Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography // Achievem. Life Sci. — 2015. — Vol. 9, № 1. — P. 65–68. DOI: 10.1016/j.als.2015.05.010.

Поступила в редакцию 30.01.18 г.

Принята в печать 26.02.18 г.