

Эдда ПЕЙКРЕ, Отт РООТС, Эвальд ОЯВЕЕР

ОБ АККУМУЛЯЦИИ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОРГАНИЗМЕ ПЕЛАГИЧЕСКИХ РЫБ

В настоящее время моря и океаны сильно загрязнены хлорорганическими соединениями — такими, как ДДТ с его метаболитами, и полихлорированные бифенилы (ПХБ). О распространении указанных соединений в Балтийском море свидетельствуют данные исследования их содержания в рыбах и других морских организмах в пределах всей его акватории (Jensen и др., 1969, 1972; Otterlind и др., 1971; Dybern, Jensen, 1978). Пелагиал представляет собой наиболее продуктивный участок Балтийского моря, в связи с этим понимание закономерностей накопления и разложения хлорорганических соединений в пелагических организмах и сообществах является исключительно важным. Результаты таких исследований могут в дальнейшем служить основой для прогнозирования воздействия вредных веществ на всю экосистему моря, а также на организм человека.

Нами была исследована весеннерестующая салака, являющаяся самым распространенным видом рыб пелагиала Балтийского моря и образующая в разных районах моря отдельные локальные популяции.

Салака отбиралась из уловов пелагическим тралом во время преднерестового и нерестового периодов в Финском заливе и открытой части Балтийского моря. Для анализа брались кусочки ткани из латеральных мышц рыб над боковой линией и кусочки гонад весом 2—3 г. Определение п,п'ДДТ (1,1-ди(4-хлорфенил)-2,2,2-трихлорэтан), п,п'ДДЕ (1,1-ди(4-хлорфенил)-2,2-дихлорэтилен), п,п'ДДД (1,1-ди(4-хлорфенил)-2,2-дихлорэтан), ПХБ и линдана (гексахлорциклогексана) проводилось газохроматографическим методом (Jensen и др., 1972) на хроматографе фирмы «Перкин-Эльмер» модель 3920. В качестве стандартного раствора при определении ПХБ использовался хлорен А-50.

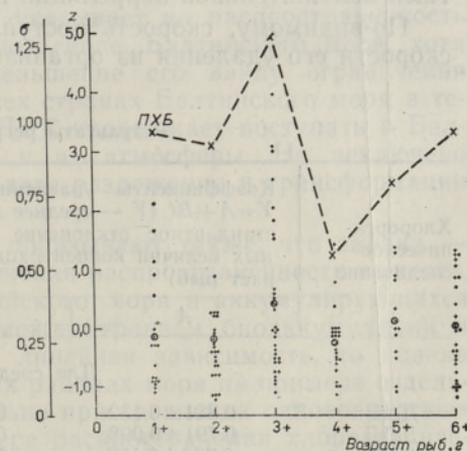
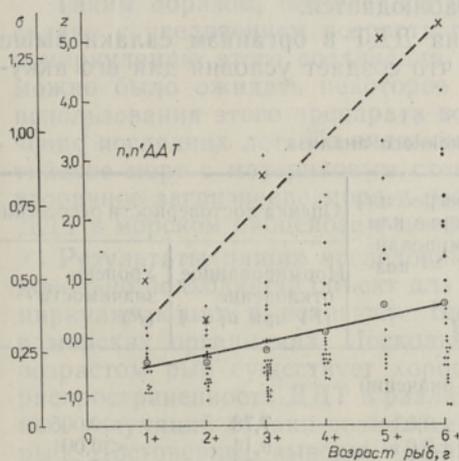
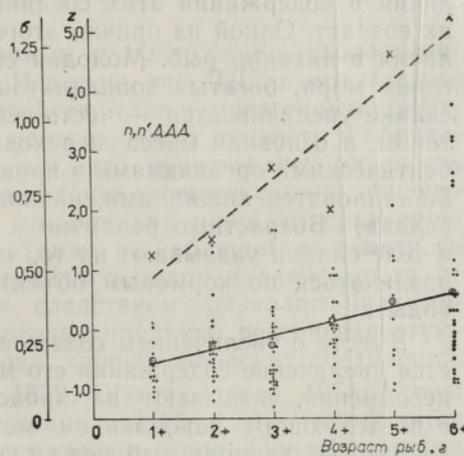
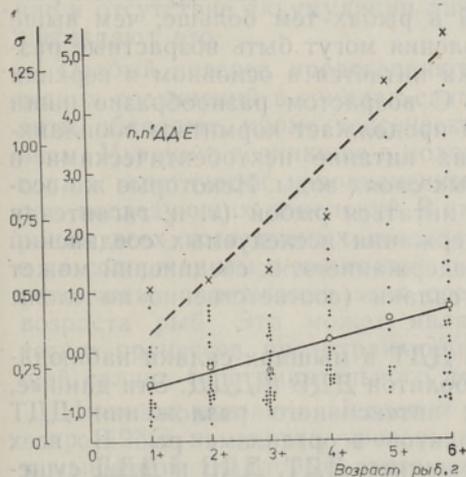
Для выяснения зависимости уровня содержания хлорорганических соединений в организме рыб от длительности периода их накопления исследование проводилось по возрастным группам. Мы предположили, что изменения в содержании хлорорганических соединений в теле рыб с увеличением их возраста должны отражать процесс аккумуляции этих соединений. С этой целью была исследована весеннерестующая салака в возрасте от одного года до шести лет (143 особи).

В связи с тем, что исследованные особи салаки отбирались из трех разных популяций, для характеристики закономерностей аккумуляции ДДТ и его метаболитов, ПХБ и линдана в теле рыб использовались нормированные значения содержания хлорорганических соединений (z_i). Для каждой популяции они вычислялись следующим образом:

$$z_i = y_i - \bar{y} / \sigma_y,$$

где y_i — установленная концентрация хлорорганических соединений в рыбах каждой популяции;
 \bar{y} — среднее содержание хлорорганических соединений в рыбах соответствующей популяции;
 σ_{ij} — стандартное отклонение концентрации хлорорганических соединений в рыбах каждой популяции;
 i — 1, 2, ..., N;
 N — количество рыб.

Данное нормирование позволяет исключить возможное влияние местообитания популяции на изучаемый процесс. Из нормированных величин были составлены совокупности по отдельным возрастным группам рыб. Для этих совокупностей определялись средние значения и стандартные



Содержание хлорорганических соединений в мышечной ткани салаки в зависимости от возраста рыб. На оси σ : X — стандартное отклонение средних значений нормированных величин концентраций; пунктир — линия регрессии стандартного отклонения. На оси z : • — нормированные величины концентраций хлорорганических соединений; ○ — их средние значения; сплошная линия — линия регрессии средних значений.

отклонения (рисунок), которые характеризуют наличие хлорорганических соединений в теле рыб вне зависимости от популяции.

Для установления связи между содержаниями хлорорганических соединений в теле рыб и их возрастом мы пользовались методом регрессионного анализа. Были вычислены коэффициенты прямолинейной регрессии и оценена достоверность самого наличия регрессии (таблица) — как для средних значений, так и для стандартных отклонений нормированных величин концентраций соответствующих хлорорганических соединений.

По зависимости среднего содержания ДДТ и его метаболитов от возраста салаки можно сделать вывод, что уровень аккумуляции ДДТ, ДДЕ и ДДД в мышцах салаки прямо пропорционален возрасту рыб (рисунок). Изменения стандартного отклонения ДДТ и его метаболитов в зависимости от возраста салаки показывают, что индивидуальные различия в содержании этих соединений в рыбах тем больше, чем выше их возраст. Одной из причин этого явления могут быть возрастные различия в питании рыб. Молодая салака питается в основном в верхних слоях моря, богатых зоопланктоном. С возрастом разнообразие пищи салаки увеличивается — часть особей продолжает кормиться зоопланктоном, а основная масса переходит на питание нектобентическими и бентическими организмами в придонных слоях воды. Некоторые же особи становятся хищниками, начинают питаться рыбой (т. н. гигантская салака). Возрастные различия в содержании исследуемых соединений в теле салаки указывают на то, что содержание этих соединений может различаться по кормовым объектам салаки (соответственно по слоям воды).

Вместе с увеличением содержания ДДТ в мышцах салаки наблюдается увеличение содержания его метаболитов ДДЕ и ДДД. Эти данные, несомненно, указывают на процессы интенсивного разложения ДДТ с последующим накоплением метаболитов в организме рыб. Во всех возрастных группах рыб между содержанием ДДТ, ДДЕ и ДДД существует исключительно высокая положительная корреляция ($r=0,5-0,9$). В то же время между содержаниями ПХБ и ДДТ с его метаболитами положительной корреляции не наблюдается.

По-видимому, скорость поступления ДДТ в организм салаки выше скорости его удаления из организма, что создает условия для его аккумуляции.

Результаты регрессионного анализа

Хлорорганическое соединение	Коэффициенты уравнения регрессии $Y = A + Bt$ (Y — среднее значение или стандартное отклонение нормированных величин концентраций, t — возраст рыб)		Оценка достоверности регрессии	
	A	B	Нормированное отклонение (T) при $df=4$	Уровень значимости (P)

Для средних значений

ДДЕ	$-0,881 \pm 0,132$	$0,264 \pm 0,03$	7,78	$< 0,005$
ДДД	$-0,791 \pm 0,098$	$0,230 \pm 0,03$	9,14	$< 0,001$
ДДТ	$-0,766 \pm 0,130$	$0,226 \pm 0,03$	6,74	$< 0,01$

Для стандартных отклонений

ДДЕ	$0,177 \pm 0,140$	$0,185 \pm 0,03$	5,14	$< 0,01$
ДДД	$0,308 \pm 0,137$	$0,163 \pm 0,03$	4,63	$< 0,01$
ДДТ	$0,154 \pm 0,162$	$0,202 \pm 0,04$	4,86	$< 0,05$

муляции, а способность салаки к аккумуляции ДДТ, в свою очередь, связана с его метаболизмом в организме рыб.

Накопление полихлорированных бифенилов и линдана в организме рыб не подчиняется названным закономерностям. При увеличении возраста рыб тенденции концентрирования ПХБ и линдана в мышечной ткани салаки не наблюдается. Это может быть связано с тем, что ПХБ — менее устойчивые соединения в организме салаки, подчиняющиеся интенсивности метаболизации с последующим выведением из организма. Также не исключена более локальная распространенность ПХБ в морской среде, в результате чего рыба не имеет постоянного контакта с указанными соединениями в течение продолжительного времени своей жизни. Как известно, линдан обладает меньшими кумулятивными свойствами и менее персистентен по сравнению с ДДТ и практически не накапливается в окружающей среде. Относительно низкое содержание и отсутствие аккумуляции линдана в салаке Балтийского моря подтверждают это.

Особый интерес представляют данные о содержании хлороорганических соединений в гонадах салаки. Известно, что ДДТ и его метаболиты обладают, кроме токсических свойств, также мутагенным действием. Мутации, возникшие в половых клетках, могут привести к образованию генетически неполноценных гамет, что представляет опасность для последующих поколений. В икре и молоках весенней салаки концентрация всех исследуемых соединений значительно ниже по сравнению с их содержанием в мышечной ткани. Также не наблюдается заметного увеличения содержания этих соединений в гонадах в зависимости от возраста рыб. Это может являться следствием физиолого-биохимических процессов, предохраняющих половые продукты весеннерестующей салаки от отрицательного действия хлороорганических соединений.

Имеются указания (Jensen и др., 1972; Olsson, Jensen, 1975; Ernest и др., 1976) на то, что уровень содержания ДДТ и его метаболитов в мышечной ткани рыб связан с содержанием жира. Однако нашими исследованиями такой зависимости у весенней салаки в преднерестовый и в нерестовый периоды не выявлено.

Таким образом, постепенное накопление ДДТ в мышечной ткани салаки с увеличением возраста рыб указывает на распространенность и циркуляцию этого соединения в пелагиале Балтийского моря, хотя можно было ожидать некоторое уменьшение его ввиду ограничения использования этого препарата во всех странах Балтийского моря в течение последних лет. По-видимому, ДДТ продолжает поступать в Балтийское море с материковым стоком и из атмосферы. Не исключено вторичное загрязнение моря в результате разложения и трансформации ДДТ в морском биоценозе в целом.

Результаты наших исследований показывают также, что салака — довольно подходящий объект для изучения распространенности веществ, циркулирующих в пелагиале Балтийского моря и аккумулирующихся в морских организмах. Поскольку между уровнем биоаккумуляции и возрастом рыб существует хорошая линейная зависимость, то оценка распространенности ДДТ в различных районах моря на примере отдельных популяций салаки возможна только при сравнении одновозрастных рыб. Достоверные выводы о характере распространения хлороорганических соединений в пелагиале моря можно сделать только при учете закономерностей аккумуляции хлороорганических соединений в теле салаки в зависимости от ее возраста. Это обстоятельство необходимо учитывать тем более, что возрастной состав отдельных популяций весенней салаки различается по районам моря.

ЛИТЕРАТУРА

- Dybern, B. I., Jensen, S. DDT and PCB in fish and mussels in the Kattegat—Skagerrak area. — Meddelande fran Havskfisk. labor., Lysekil, 1978, 232, 1—17.
- Ernest, W., Goerke, H., Eder, G., Schaefer, R. G. Residues of chlorinated hydrocarbons in marine organisms in relation to size and ecological parameters. — Bull. Environ. Contam. and Toxicol., 1976, 15, 55—65.
- Jensen, S., Johnels, A. G., Olsson, M., Otterlind, G. DDT and PCB in marine animals from Swedish waters. — Nature, 1969, 224, 247—250.
- Jensen, S., Johnels, A. G., Olsson, M., Otterlind, G. DDT and PCB in herring and cod from Baltic, the Kattegat and Skagerrak. — Ambio Special Report, 1972, 1, 71—85.
- Olsson, M., Jensen, S. Pike as the test organism from mercury, DDT and PCB pollution. A study of the contamination in the Stockholm Archipelago. — Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm, 1975, 54, 83—106.
- Otterlind, G., Jensen, S., Olsson, M. DDT and PCB in Baltic fish. — Fisheries Impr. Comm. C.M./E: 31, 1971, 1—9.

Институт термofизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
10/VIII 1978

Таллинское отделение Балтийского
научно-исследовательского института
рыбного хозяйства

Окончательный вариант
13/IV 1979

Edda PEIKRE, Ott ROOTS, Evald OJAVEER

KLOORORGAANILISTE ÜHENDITE AKUMULATSIOONIST AVAMEREKALADE ORGANISMIS

Gaasikromatograafia andmeil on DDT, DDE ja DDD sisaldus Läänemere ja Soome lahe kevadkoeräime lihaskoes lineaarses sõltuvuses kala vanusest. Kõigi nimetatud ühendite sisalduste vahel esineb erakordselt hea korrelatsioon, mis viitab ainete omastamise, akumulatsiooni ja ainevahetuse aktiivsusele. Seevastu PCB ja lindaani sisaldus ei sõltu kala vanusest, ka ei korreleeru omavahel PCB ja DDT sisaldus kevadkoeräime lihastes. DDT ja tema metaboliitide akumulatsioon räime organismis iseloomustab nende ainete levikut ja ringlust Läänemere avaosas.

Edda PEIKRE, Ott ROOTS, Evald OJAVEER

ON THE ACCUMULATION OF CHLORORGANIC COMPOUNDS IN THE ORGANISMS OF PELAGIC FISH

The amount of chlororganic compounds (DDT, DDE, DDD, lindane and PCB) contained in the muscle tissue and gonads of the spring spawn of dwarf herring of the Baltic Sea and the Gulf of Finland was studied by using the gas chromatographic method. The statistical analysis of the obtained data showed that the accumulation of DDT, DDE and DDD in the muscle tissue of fish is in a linear dependence upon the age of the fish. Between the amounts of above-mentioned compounds contained (in the organisms of fish) there is a perfect correlation which indicates the activity of assimilation, accumulation and metabolizing processes. The amounts of PCB and lindane contained in dwarf herring do not depend on their age. At the same time, there is no correlation between the amounts of PCB and DDT contained in the muscles of the spring spawn of dwarf herring. The accumulation of DDT and its metabolites in the organism of dwarf herring characterizes the profuse spread and circulation of these substances in the pelagic area of the Baltic Sea.