ГЛАВА 3

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА (СОЗ) В ЗВЕНЬЯХ ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА: КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В.Ю. Цыганков¹

Представлены современные исследования стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в различных звеньях трофических цепей Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР).

Ключевые слова: СОЗ; АТР; пищевые цепи; моллюски; рыбы; птицы; млекопитающие.

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. Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в звеньях трофических цепей Азиатско-Тихоокеанского региона: краткий 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. 70–82. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/70-82>.

For citing: Tsygankov V. Yu. Persistent organic pollutants (POPs) in food webs in the Asia-Pacific region: a brief 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. 70–82. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/70-82>.

CHAPTER 3. PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS (POPS) IN FOOD WEBS IN THE ASIA-PACIFIC REGION: A BRIEF REVIEW

V.Yu. Tsygankov

The modern studies of persistent organic pollutants (POPs) in various links of the trophic chains of the Asia-Pacific region (APR) are presented.

Keywords: POPs; APR; food chains; shellfish; fish; birds; mammals.

Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) за счет своей липофильности способны к биомагнификации, т.е. накоплению от низших трофических уровней к высшим с большей концентрацией. Попадая в водную среду, большая часть СОЗ связываются с частицами взвеси и оседают на дно, накапливаясь в донных отложениях. В реках, как правило, содержание СОЗ выше, чем в море. Это связано с тем, что токсиканты смываются с полей в реки, и только потом поступают в море.

Например, Китай имеет долгую историю производства СОЗ, и с 1945 по 1983 гг. он был вторым в мире производителем ГХЦГ и ДДТ [12]. За этот период в Китае было произведено около 490 тыс. тонн ГХЦГ, 40 тыс. тонн ДДТ и 10 тыс. тонн ПХБ [17]. Среди хлорорганических пестицидов производство ГХЦГ и ДДТ составляло 33% и 20% от общего мирового производства, соответственно [7]. Из-за значительных объемов производства и использования этих соединений, остатки СОЗ в высоких концентрациях обнаружены в различных компонентах окружающей среды, таких как почва, вода и даже продукты питания в некоторых местах в Китае [17]. Провинции Китая, окружающие Желтое и Бохайское моря, имеют давнюю историю производства и использования СОЗ, и в некоторых районах отмечается высокая концентрация ХОП и ПХБ.

Так, концентрации ХОП в почвах в 2013 г. составляли до 179,96 нг/г сухой массы, ПХБ – до 385,67 нг/г сухой массы: 16,98 нг/г сухой массы

для α -ГХЦГ; 156,12 нг/г сухой массы для β -ГХЦГ; 16,17 нг/г сухой массы для γ -ГХЦГ; 56,24 нг/г сухой массы для δ -ГХЦГ; 91,23 нг/г сухой массы для p,p' -ДДЕ; 116,2 нг/г сухой массы для p,p' -ДДД; 10,42 нг/г сухой массы для p,p' -ДДТ (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Пространственное распределение (а) ГХЦГ, (б) ДДТ и остатков ПХБ (с) в почвах вокруг Желтого и Бохайского морей (Китай) [17]

Во Вьетнаме СОЗ также широко использовались до их запрета. γ -ГХЦГ и p,p' -ДДТ, как правило, составляли большую часть от общего количества ГХЦГ и ДДТ. Эти инсектициды были запрещены во Вьетнаме в 1995 г., однако продолжали существовать запасы химикатов, включающие линдан и технические смеси ДДТ. Выщелачивание из стоков и мест захоронения твердых бытовых отходов являются возможными путями транспорта этих СОЗ, что приводит к их аккумуляции в эстуарных отложениях.

На побережье Восточно-Китайского моря концентрация ХОП в донных отложениях находилась в пределах 0,1-7,2 мкг/кг сухой массы [18], на севере Южно-Китайского моря – от 0,04 до 3,9 мкг/кг [6], в северо-западной части Желтого моря – от 0,2 до 9,3 мкг/кг сухой массы [12]. В эстуарных зонах рек залива Петра Великого (Японское море) максимальное содержание ХОП отмечено в р. Раздольная (45,4 мкг/кг сухой массы) [2]. В Беринговом море концентрации ДДТ и ПХБ в 2010 г. составляли 89 и 88 пг/г сухой массы, в 2012 г. – 5 и 32 пг/г сухой массы, со-

ответственно. В Беринговом проливе в 2010 г. – 81 и 219 пг/г сухой массы, в 2012 г. – 116 и 708 пг/г сухой массы, соответственно [19].

Хлорорганические соединения способны проникать в любые уголки планеты, в том числе в самые глубокие части Тихого океана. Джемисон с соавторами [13] исследовали концентрации индикаторных ПХБ во множественных образцах амфипод в двух самых глубоких желобах – олиготрофном Марианском желобе (7841 и 10250 м) в северной части Тихого океана и более эвтрофном Кермадеке (7227 и 10000 м) в южной части Тихого океана. ПХБ присутствовали во всех образцах, во всех видах и на всех глубинах в обоих траншеях (рис. 3.2). Концентрации $\Sigma\text{ПХБ}_7$ варьировали от 18,03–42,85 нг/г сухой массы в Кермадеке до 147,3–905 нг/г сухой массы в Мариане, со средними значениями 25,24 и 382,28 нг/г сухой массы, соответственно. Среди отдельных конгенов, ПХБ 153 был обнаружен в самой высокой концентрации. Конгены ПХБ 138 и 153 составляли 65% от общего содержания.

Рис. 3.2. Концентрации ПХБ, обнаруженные в амфиподах из желобов Марианский и Кермадек [13]

3.1. Моллюски

Хлорорганические соединения захватываются организмами различных трофических уровней. По этой причине, двустворчатые моллюски, например, успешно и широко применяются в качестве биоиндикаторов для мониторинга ХОП в природных водах.

По Азиатско-Тихоокеанской программе наблюдения за моллюсками (АРМВ) в течение 1997–2000 гг. осуществлялся мониторинг загрязнения морской среды. Для определения состояния прибрежных морских вод проводился мониторинг с использованием в качестве биоиндикаторов мидий и устриц. Хлорорганические соединения были обнаружены во всех образцах мидий в странах, участвующих в программе (Камбоджа, Китай, Гонконг, Индия, Индонезия, Япония, Корея, Малайзия, Филиппины, Россия (Дальний Восток), Сингапур, Вьетнам) [24].

Во многих образцах обнаружены значительные остаточные концентрации ДДТ, ГХЦГ и ПХБ. Концентрации ΣГХЦГ и ΣДДТ в тканях мидий, отобранных в водах развивающихся стран Азии, были выше, чем в особях из развитых стран. ΣПХБ, напротив, обнаруживалась в максимальных концентрациях в моллюсках из стран с развитой энергосетью и промышленностью, и в минимальных – из стран с развитым сельским хозяйством. Например, максимальное содержание ГХЦГ в мидии *Perna viridis* составило 430 нг/г липидов в Индии и 20 нг/г липидов – в Корее и Японии. ДДТ в максимальных концентрациях обнаружен в Гонконге (61000 нг/г липидов), Китае (34000 нг/г липидов), тогда как в Японии всего 100 нг/г липидов. Наибольшие концентрации ПХБ обнаружены в Японии (12000 нг/г липидов) и России (3700 нг/г липидов), наименьшие – в Индонезии (210 нг/г липидов), Камбодже (220 нг/г липидов) и Малайзии (250 нг/г липидов). В мидиях рода *Mytilus* содержание ДДТ составило в Китае 29000 нг/г липидов, в Гонконге – 8000 нг/г липидов, на тихоокеанском побережье России – 900 нг/г липидов, а в Индии, Японии, Корее, Вьетнаме, Сингапуре, Малайзии, Индонезии, Камбодже – менее 800 нг/г липидов [20]. ГХЦГ в вышеперечисленных странах не превышал 120 нг/г липидов (Индия) [25].

3.2. Рыбы

Рыбы, являясь частью трофической цепи, накапливают в своих органах и тканях стойкие органические загрязняющие вещества в процессе биомагнификации. Рыбы распространены повсеместно и в большинстве случаев отражают уровни содержания СОЗ в среде. Содержание поллютантов в тканях организмов зависит от многих факторов, одним из которых является миграция объектов. Японские ученые провели ряд исследований мигрирующих и оседлых видов, и выявили более низкие концентрации СОЗ в первых (табл. 3.1) [25].

Таблица 3.1

**Сумма СОЗ в мигрирующих и немигрирующих видах,
нг/г липидов [23, 25, 26]**

Вид	ΣДДТ+ΣГХЦГ	ΣПХБ
Мигрирующие		
Анчоус <i>Diaphus theta</i>	180	250
Анчоус <i>Ceratoscopelus warmingi</i>	38	40
Оседлые		
Стенобрахиус <i>Stenobranchius nannochir</i>	300	—
Лампаникт <i>Lampanyctus regalis</i>	310	—

Йено с соавторами [27] использовали полосатого тунца для мониторинга прибрежных районов Японии, о. Тайвань, Филиппин, Индонезии, Сейшельских о-вов, Бразилии и Индии в качестве биоиндикатора. Максимальное содержание ХОП выявлено в китайских рыбах (700 нг/г липидов), ПХБ – у тайваньских рыб (980 нг/г липидов).

Тихоокеанские лососи – одни из самых массовых промысловых рыб. Содержание хлорорганических поллютантов в них распределяется таким образом, что у «жирных» видов (чавыча и нерка) концентрации выше, чем у более «постных» (кета, горбуша). Например, суммарные концентрации ХОП и ПХБ в чавыче из моря Селиш (Вашингтон) составляют 2420 и 1675 нг/г липидов [9], в нерке с американского побережья Берингова моря – 1911 нг/г липидов [4], а в кете и горбуше оттуда же – 243 и 80 нг/г липидов, соответственно [8].

Ли и др. [16] провели исследование накопления СОЗ в 13 видах акул с разным спектром питания. Авторы показали, что хищные виды имеют более высокие концентрации СОЗ. Так, более высокие уровни ΣПХБ и ΣДДТ обнаружены в агрессивных видах акул, такие как черная рифовая акула (*Carcharhinus melanopterus*) и голубая акула (*Prionace glauca*). Скорее всего, это связано с организмами, составляющими рацион питания акул. Основной добычей агрессивных видов являются хищные костистые рыбы, которые содержат более высокие уровни СОЗ [16]. Скорость роста и региональный статус также являются важными факторами в исследовании аккумуляции СОЗ акулами.

3.3. Морские птицы

Птицы могут быть как промежуточным, так и завершающим звеном трофической цепи. Питаясь живыми организмами, они в процессе биомagniфикации накапливают в своих органах токсичные поллютанты.

Тип питания (травоядные, насекомоядные, рыбоядные) и характер миграций (перелетные и локальные) определяют содержание ХОП в органах и тканях. Например, в печени бургомистра из Баренцева моря, питающегося рыбой, падалью и яйцами других птиц, максимальная суммарная концентрация ХОП составила 735674 нг/г липидов, ПХБ – 4273992 нг/г липидов [14]. В работе Ямашита и др. [28] анализировался перьевой жир толстоклювой кайры (*Uria lomvia*), алеутского пыжика (*Ptychoramphus aleuticus*), пестролицего буревестника (*Calonectris leucomelas*), черноногого альбатроса (*Phoebastria nigripes*), черноспинного альбатроса (*Phoebastria immutabilis*), белой крачки (*Gygis alba*), темной крачки (*Onychoprion fuscatus*), клинохвостого буревестника (*Ardenna pacifica*), бурой олуши (*Sula leucogaster*), тупика носорога (*Cerorhinca monocerata*), чернохвостой чайки (*Larus crassirostris*) и японского баклана (*Phalacrocorax capillatus*), пойманных на территории Тихого Океана. Максимальные суммарные концентрации ХОП и ПХБ составили: в толстоклювой кайре – 520 и 171 нг/г липидов; в алеутском пыжике – 581 и 146 нг/г; в пестролицем буревестнике – 1175 и 1556 нг/г; в черноном альбатросе – 11912 и 8476 нг/г; в черно-

спинном альбатросе – 995 и 2864 нг/г; в белой крачке – 396 и 158 нг/г; в темной крачке – 35 и 36 нг/г; в клинохвостом буревестнике – 462 и 195 нг/г; в бурой олуше – 62 и 100 нг/г; в тупике носороге – 10633 и 5633 нг/г; в чернохвостой чайке – 5413 и 3345 нг/г; в японском баклане – 22900 и 3229 нг/г липидов, соответственно. Высокие концентрации пестицидов в перьевом жире исследованных птиц в большей степени связаны с накоплением ксенобиотиков в процессе миграций.

В то же время, тип питания (основа рациона – рыбы и моллюски) также оказывает влияние на накопление токсикантов. Высокие концентрации ПХБ в перьевом жире объясняются поведением исследованных птиц. Так, черноногий альбатрос и японский баклан часто следуют за кораблями, поэтому судовые отбросы и отходы промысла в питании этих видов занимают большую часть. Наименьшие концентрации ХОП и ПХБ обнаружены в темной крачке. Это мигрирующая птица, жизнь и размножение которой проходит в тропиках. При этом на ногах этого вида отсутствуют перепонки, в связи с чем контакт с морской средой минимален. Эти факторы могут объяснять столь незначительные концентрации поллютантов в перьевом жире. Такие насекомоядные птицы, как китайский волчок и длиннохвостый сорокопут из Тайланда, содержат в своем теле гораздо меньше поллютантов – 580,7 и 37,3 нг/г липидов [5], что, безусловно, связано с питанием.

3.4. Морские млекопитающие

Все СОЗ являются высоколипофильными соединениями, а жировые запасы в подкожных слоях морских млекопитающих действуют как их накопители. Млекопитающие по сравнению с большинством других морских организмов живут дольше, следовательно, подвергаются более длительному воздействию ксенобиотиков и аккумулируют их на протяжении всей жизни. Морских млекопитающих можно считать важными видами для мониторинга долгосрочных проявлений ХОП в морской среде и использовать как индикаторы глобального загрязнения [25, 26].

Хотя, в морских млекопитающих с продолжительным жизненным циклом обнаружены высокие концентрации СОЗ, содержание поллютан-

тов в самках и самцах существенно различается. В целом, концентрации СОЗ сравнимы в неполовозрелых самцах и самках и увеличиваются до наступления половой зрелости животных. После этого у самцов продолжается увеличение концентрации, а в самках выходит на плато или незначительно уменьшается (рис. 3.3) [11]. Обнаружены более высокие концентрации СОЗ в самках белокрылой морской свиньи в случае отсутствия овуляции (до 120000 нг/г липидов) по сравнению со здоровым репродуктивным циклом (до 3000 нг/г липидов) [25].

Помимо половых различий, в накоплении ХОП морскими млекопитающими имеет огромное значение характер питания. В целом рыбадные накапливают более высокие концентрации, чем питающиеся ракообразными [3, 25]. Например, в бесперой морской свинье, питающейся преимущественно ракообразными и головоногими организмами, содержание ХОП составило 48000 нг/г липидов [21]. У косатки, хищника с широким спектром питания (рыбы, ластоногие и т.д.), концентрация ХОП достигала 161300 нг/г липидов [15]. У ларги, питающейся преимущественно рыбой, содержание токсикантов было еще выше и составило 382600 нг/г липидов [1].

Рис. 3.3. Зависимость концентрации ПХБ в липидной фракции от возраста самцов(—) и самок(--) косатки (*Orcinus orca*) северо-восточной части Тихого океана [11]

В современных исследованиях СОЗ в млекопитающих Южно-Китайского моря [10] показано высокое содержание поллютантов в бесперой мор-

ской свинье (максимальные концентрации СОЗ достигали 750 000 нг/г липидов). Основную часть метаболитов ДДТ (746 000 нг/г липидов) составили *p,p'*-ДДЕ (416 000 нг/г липидов), *p,p'*-ДДТ (173000 нг/г липидов) и *p,p'*-ДДД (113000 нг/г липидов). Концентрации ПХБ достигали 4300 нг/г липидов. В жировой ткани детенышей кашалота (до 1 года) концентрации СОЗ достигали 3640 нг/г липидов: ПХБ, ДДТ и ГХЦГ составили 646, 2107 и 887 нг/г липидов, соответственно [29]. В жире северного морского котика, пойманного во время охотничьего промысла местного населения Аляски, суммарные концентрации ПХБ, ДДТ и ГХЦГ составили 4410, 156000 и 736 нг/г липидов, соответственно [22].

3.5. Список литературы

1. Боярова, М.Д. Хлорированные углеводороды в тканях и органах ларги (*Phoca largha*) из Японского моря / М.Д. Боярова, А.М. Трухин // Морские млекопитающие Голарктики: сборник научных трудов VI международной конференции. – Калининград, 2010. – С. 87–90.
2. 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.
3. 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.
4. Apeti, D.A. Assessment of contaminant body burdens and histopathology of fish and shellfish species frequently used for subsistence food by Alaskan Native communities / D.A. Apeti, S.I. Hartwell, S.M. Myers [et al.]. – North Pacific Research Board Final Report, 2013. – 63 p.
5. Chaiyarat, R. Bioaccumulation of organochlorine pesticides in the liver of birds from Boraphet wetland, Thailand / R. Chaiyarat, C. Sookjam, K. Eiam-Ampai, P. Damrongphol // ScienceAsia. – 2014. – V. 40. – P. 198–203.
6. Chen, S.J. Distribution and mass inventories of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in sediments of the Pearl River Estuary

and the Northern South China Sea / S.J. Chen, X.J. Luo, B.X. Mai [et al.] // *Environmental Science and Technology*. – 2006. – V. 40. – P. 709–714.

7. Fu, J. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview / J. Fu, B. Mai, G. Sheng [et al.] // *Chemosphere*. – 2003. – V. 52. – P. 1411–1422.

8. Gerlach, B. Fish Monitoring Program / B. Gerlach. – Alaska Department of Environmental Conservation. Fish Tissue Testing Program, 2013.

9. Good, T.P. Persistent organic pollutants in forage fish prey of rhinoceros' auklets breeding in Puget Sound and the northern California Current / T.P. Good, S.F. Pearson, P. Hodum [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2014. – V. 86. – P. 367–378.

10. Gui, D. Potential association between exposure to legacy persistent organic pollutants and parasitic body burdens in Indo-Pacific finless porpoises from the Pearl River Estuary, China / D. Gui, J. He, Q. Tu [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2018. – V. 643. – P. 785–792.

11. Hickie, B.E. Killer Whales (*Orcinus orca*) Face Protracted Health Risks Associated with Lifetime Exposure to PCBs / B.E. Hickie, P.S. Ross, R.W. Macdonald, J.K.B. Ford // *Environmental Science & Technology*. – 2007. – V. 41. – P. 6613–6619.

12. Hu, L.M. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments of the Bohai Sea, China / L.M. Hu, G. Zhang, B.H. Zheng [et al.] // *Chemosphere*. – 2009. – V. 77. – P. 663–672.

13. Jamieson, A.J. Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna / A.J. Jamieson, T. Malkocs, S.B. Pierny, T. Fujii, Z. Zhang // *Nature Ecology & Evolution*. – 2017. – V. 1. – P. 0051.

14. Knudsen, L.B. Halogenated organic contaminants and mercury in dead or dying seabirds on Bjornoya (Svalbard) / L.B. Knudsen, K. Sagerup, A. Polder [et al.] – Norwegian polar institute, 2007. – 45 p.

15. Krahn, M.M. Effects of age, sex and reproductive status on persistent organic pollutant concentrations in “Southern Resident” killer whales / M.M. Krahn, M.B. Hanson, R.W. Baird [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2009. – V. 58. – P. 1522–1529.

16. Lee, H.K. Persistent organochlorines in 13 shark species from offshore and coastal waters of Korea: species-specific accumulation and contributing factors / H.K. Lee, Y. Jeong, S. Lee [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2015. – V. 115. – P. 195–202.

17. Li, Q. Distribution, source, and risk of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban and rural soils around the Yellow and Bohai Seas, China / Q. Li, Y. Lu, P. Wang [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2018. – V. 239. – P. 233–241.
18. Lin, T. Distribution and sources of organochlorine pesticides in sediments of the coastal East China Sea / T. Lin, L. Hu, X. Shi [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2012. – V. 64. – P. 1549–1555.
19. Ma, Y. Persistent organic pollutants in ocean sediments from the North Pacific to the Arctic Ocean / Y. Ma, C.J. Halsall, J.D. Crosse [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. – 2015. – V. 120. – P. 2723–2735.
20. Monirith, I. Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asia countries / I. Monirith, D. Ueno, S. Takahashi [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2003. – V. 46. – P. 281–300.
21. Park, B. Organohalogen contaminants in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from Korean coastal waters: Contamination status, maternal transfer and ecotoxicological implications / B. Park, G. Park, Y. An, H. Choi [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2010. – V. 60. – P. 768–774.
22. Reiner, J.L. Organohalogen Contaminants and Vitamins in Northern Fur Seals (*Callorhinus ursinus*) Collected During Subsistence Hunts in Alaska / J.L. Reiner, P.L. Becker, M.O. Gribble [et al.] // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2016. – V. 70. – P. 96–105.
23. Takahashi, S. Organochlorine and butyltin residues in mesopelagic myctophid fishes from the western North Pacific / S. Takahashi, S. Tanabe, K. Kawaguchi // *Environmental Science & Technology*. – 2000. – V. 34. – P. 5129–5136.
24. Tanabe, S. Asia-Pacific mussel watch progress report / Tanabe S. // *Marine Pollution Bulletin*. – 2000. – V. 40. – P. 651.
25. Tanabe, S. Bioindicators of POPs / S. Tanabe, A. Subramanian. – Japan: Kyoto University Press and Trans Pacific Press, 2006. – 190 p.
26. Tanabe, S. Contamination by Persistent Toxic Substances in the Asia-Pacific Region / S. Tanabe // *Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate*. – A. Li, S. Tanabe, G. Jiang, J.P. Giesy and P.K.S. Lam (Editors). – *Developments in Environmental Science*. – 2007. – V. 7. – P. 773–817.

27. Ueno, D. Global pollution monitoring and organochlorine pesticides using skipjack tuna as a bioindicator / D. Ueno, S. Takahashi, H. Tanaka [et al.] // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2003. – V. 45. – P. 378–389.

28. Yamashita, R. Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) using seabird preen gland oil / R. Yamashita, H. Takada, A. Nakazawa [et al.] // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2018. – V. 75. – P. 545–556.

29. Zhan, F. Tissue distribution of organic contaminants in stranded pregnant sperm whale (*Physeter microcephalus*) from the Houizhou coast of the south China / F. Zhan, X. Yu, X. Zhang [et al.] // Marine Pollution Bulletin. – 2019. – V. 144. – P. 181–188.