

© О.Н. ЛУКЬЯНОВА, Е.С. БРОДСКИЙ, Г.М. ЧУЙКО

olgaluk@gmail.com, eco-analit@mail.ru, gchuiko@mail.ru

УДК 556.535.6 + 504.453.054

**СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА  
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЭСТУАРНЫХ ЗОН ТРЕХ РЕК  
ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)\***

*АННОТАЦИЯ. Методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения исследовано содержание стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в донных отложениях эстуарных зон трех рек бассейна залива Петра Великого (Японское море): Раздольная, Суходол и Гладкая. Показано, что по мере снижения содержания СОЗ располагаются в ряду ДДТ ≥ ПХБ > ГХЦГ > ГХБ. Наибольшие их уровни обнаружены в донных отложениях реки Раздольная, где они в 1.5-27.7 раза выше экологически безопасных норм Канады (в России нормативы отсутствуют), составляя соответственно 44.7, 32.6, 2.2 и 0.75 мкг/кг сухой массы. В остальных исследованных реках содержание СОЗ было близко к фоновому уровню, отмеченному для центрально-европейской части России. Этот результат и данные о качественном составе каждой группы СОЗ свидетельствуют, что основной источник поступления полихлорированных бифенилов (ПХБ) в экосистему рек — глобальный трансграничный перенос, а для хлорорганических пестицидов (ХОП) возможно локальное поступление.*

*SUMMARY. Persistent organic pollutant (POP) contents in the bottom sediments of estuaries of three rivers (Razdol'naya, Sukhodol and Gladkaya) in the basin of Peter the Great Bay (Sea of Japan, Primorsky Territory, Russia) were studied using high resolution chromato-massspectrometry method. It is shown that POPs are ranged in accordance with decrease of their contents as follows DDT ≥ PCBs > HCH > HCB. Their highest levels are revealed in the bottom sediments of Razdol'naya River where they are 44.7, 32.6, 2.2 and 0.75 µg/kg dry weight. That is 1.5-27.7 times above Canadian ecologically safety sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. In Russian such guidelines are absent. In the bottom sediments of other rivers POP content was as low as a basic level for Central European part of Russia. These results and data on quality profile of POPs suggest that input of polychlorinated biphenyls (PCBs) to the rivers is global transboundary transfer while organochlorine pesticides (OCP) could enter from the local sources.*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 08-05-00805 и 12-05-00572) и гранта Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (договор № 11.G34.31.0010).

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.* СОЗ, донные отложения, эстуарии, залив Петра Великого, Японское море.

*KEY WORDS.* POPs, bottom sediments, estuaries, Peter the Great Bay, Sea of Japan.

Прибрежные и эстуарные экосистемы являются зонами высокой продуктивности и биоразнообразия, что объясняет их исключительное экологическое и экономическое значение [1]. Одновременно эти районы испытывают антропогенный пресс от большого количества загрязняющих веществ (ЗВ) различного происхождения. Как правило, прибрежные и эстуарные зоны относятся к наиболее освоенным в хозяйственном отношении акваториям, на берегах которых отмечается высокая плотность населения, промышленная и сельскохозяйственная активность.

Все эти признаки характерны и для залива Петра Великого, расположенного в северо-западной части Японского моря. Залив является наиболее богатым по биоразнообразию в дальневосточных морях, здесь размножаются и развиваются многие ценные промысловые объекты. На его берегах расположены крупные города-порты Владивосток и Находка, плотность населения в прибрежной зоне максимальна для Дальневосточного федерального округа. Промышленность, сельское хозяйство, морской и автомобильный транспорт вызывают значительное загрязнение прибрежной зоны залива, влияют на его биологические, технические и рекреационные ресурсы. Сточные воды, сбрасываемые в залив, приносят большие объемы ЗВ [2]. Значительное их количество поступает и с водами впадающих в залив рек, накапливаясь в эстуарных зонах [3], [4].

В залив впадает несколько больших и малых рек, бассейны которых отличаются по степени антропогенного загрязнения. Крупнейшая на территории Приморского края река Раздольная берет начало в Китае и протекает на равнине по основным сельскохозяйственным районам края, впадая в залив в его северной части. Она является одним из основных поставщиков ЗВ в прибрежную зону. Река Суходол впадает в залив в западной части, характеризуется быстрым течением, относится к водотокам горного типа и ее бассейн менее освоен в хозяйственном отношении. Река Гладкая протекает по южным районам Приморья. Эта река равнинного типа, с медленным течением, в настоящее время ее бассейн в основном представляет собой зону летнего отдыха жителей Дальнего Востока. На водосборных территориях всех рек весьма активен автотранспорт.

Как правило, выносимые реками ЗВ в значительной степени оседают и накапливаются в донных отложениях (ДО) эстуарий, в зоне биогеохимического барьера, где смешиваются морские и пресные воды [5]. Здесь может задерживаться до 90-95% взвешенных и 30-40% растворенных веществ речного стока [6]. В связи с этим загрязнение ДО в эстуариях может быть максимальным по сравнению с соседними речными и морскими экосистемами. Особую опасность в этом плане представляют группы ЗВ, устойчивые в окружающей среде.

К одной из таких групп относятся стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) — хлорорганические соединения, отличающиеся высокой токсичностью, чрезвычайной биологической активностью, необычайной устойчивостью к действию природных факторов и способностью накапливаться в различных звеньях пищевой цепи. Они воздействуют на все компоненты природных экосистем, в том числе и на человека. Среди СОЗ наиболее часто встречаются

полихлорированные бифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП) — гексахлорбензол (ГХБ), смесь изомеров гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) с его метаболитами. Несмотря на постепенное сокращение применения СОЗ в хозяйственной деятельности, они продолжают загрязнять окружающую среду и в настоящее время присутствуют практически по всему миру во всех объектах окружающей среды, включая живые организмы. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), основными источниками загрязнения окружающей среды СОЗ являются: применение ДДТ, ГХЦГ и ГХБ в качестве пестицидов для борьбы с вредителями сельского и коммунального хозяйства; производства, использующие СОЗ в технологических процессах, а также получающие их в качестве побочных продуктов; испарение из пластификаторов; сжигание бытовых и промышленных отходов; промышленное оборудование (трансформаторы, конденсаторы и др.), содержащее ПХБ; выброс в атмосферу и в водные объекты с другими промышленными отходами; другие неконтролируемые пути [7], [8]. Данные о содержании СОЗ в ДО южной части тихоокеанского побережья России носят ограниченный характер и касаются в основном ДДТ и ГХЦГ в открытой зоне внутренних заливов [9], [10].

**Цель работы** — установить уровни содержания СОЗ в ДО эстуарных зон залива Петра Великого, как областей с максимально возможным загрязнением.

**Материалы и методы исследования.** Пробы ДО были отобраны в сентябре-октябре 2008 г. в эстуариях трех рек, впадающих в залив Петра Великого (рис.): по одной пробе в эстуариях р. Гладкая и р. Суходол и две пробы в эстуарии р. Раздольная. Отбор проб проводили водолазным способом согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 [11]. Учитывая различную способность разных типов ДО аккумулировать СОЗ [12], для анализа отбирали только илистые грунты, обладающие наибольшей возможностью к их аккумуляции. После перемешивания взятого на каждой станции грунта отбирали интегральную пробу.

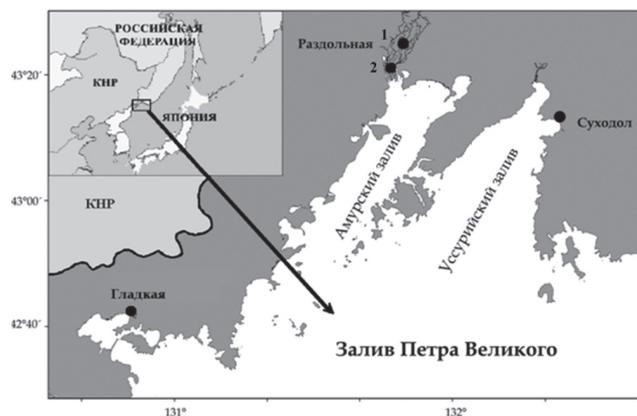


Рис. Места отбора проб донных отложений в эстуарных зонах залива Петра Великого

Для последующего анализа грунты высушивали до воздушно-сухого состояния. Высушенные образцы анализировали на содержание СОЗ в лаборатории аналитической экотоксикологии Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН в соответствии с «Методикой выполнения измерений

массовой концентрации полихлорированных бифенилов и хлорсодержащих пестицидов в почвах, шламах, твердых отходах, биологических и растительных материалах, природных и сточных водах методом «хромато-масс-спектрометрии» (МВИ ЛАЭ-04/05), разработанной в ИПЭЭ РАН, как описано ранее [13].

Для анализа использовали хромато-масс-спектрометр высокого разрешения (около 10000), газовый хроматограф HP 6890 Plus, масс-спектрометр Finnigan MAT 95XP, колонку SGE HT-8 диаметром 0,25 мм, толщиной фазы 0,25 мкм и длина 30 м. Измерения проводили при постоянной скорости газа-носителя (гелий) — 0,75 мл/мин. Масс-спектры получали при ионизации электронным ударом пучком электронов с энергией 51 эВ при токе эмиссии 0,9 мА. Индивидуальные вещества идентифицировали по времени удерживания и соответствию изотопных отношений регистрируемых пиков теоретическим значениям, количественные показатели вычисляли по соотношениям площадей пиков определяемого конгенера и соответствующего пика меченого изотопами стандарта. Содержание СОЗ рассчитывали в мкг на 1 кг сухой массы грунта. Всего было определено 27 конгенов ПХБ с различной степенью хлорирования, ГХБ, изомеры ГХЦГ и ДДТ с его метаболитами.

**Результаты и их обсуждение.** Представители различных групп СОЗ были выявлены во всех исследованных образцах ДО (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание разных групп СОЗ в грунтах эстуарных зон рек бассейна залива Петра Великого (мкг/кг сухой массы)**

| СОЗ        | Эстуарные зоны рек |         |              |              |
|------------|--------------------|---------|--------------|--------------|
|            | Гладкая            | Суходол | Раздольная 1 | Раздольная 2 |
| ГХБ        | 0.063              | 0.026   | 0.434        | 0.753        |
| Сумма ГХЦГ | 0.508              | 0.485   | 2.185        | 2.006        |
| Сумма ПХБ  | 6.900              | 11.500  | 17.311       | 32.633       |
| Сумма ДДТ  | 6.300              | 12.900  | 40.450       | 44.700       |

Во всех исследованных пробах по мере увеличения содержания исследованные СОЗ располагались в ряду ГХБ < ГХЦГ < ПХБ < ДДТ. Наибольшие уровни всех ЗВ обнаружены в эстуарии р. Раздольная. Максимальные различия для разных групп СОЗ составили от 4.7 (ПХБ) до 7.1 раза (ДДТ). В целом это соответствует полученным ранее данным о разной интенсивности антропогенного загрязнения и степени токсичности грунтов в этих зонах [14]. Диапазон концентраций ДДТ в ДО отдельных внутренних заливах и бухтах в заливе Петра Великого в 2004-2008 гг. составлял от 2 до 10 мкг/кг в Амурском и Уссурийском заливах и от 27 до 130 мкг/кг в бухте Золотой Рог, испытывающей наибольшее антропогенное воздействие [10]. Сумма ГХЦГ в Амурском заливе варьировала от 0.1 до 7.4 мкг/г на разных станциях в 2002-2004 гг. [9]. Согласно нашим данным, в эстуарии р. Раздольная концентрация ДДТ значительно выше, чем в Амурском заливе, а ГХЦГ лежит в том же диапазоне. В реках Гладкая и Суходол суммы ГХЦГ и ДДТ соответствуют средним значениям для Амурского и Уссурийского залива. Для сравнения отметим, что в Азовском море [15] сумма ХОП в ДО менялась в пределах 0.1 до 43.3 мкг/кг, в среднем составляя в летний период 2.37 мкг/кг. Средняя концентрация ПХБ в этом регионе варьировала от 1.2 до 14.5 мкг/кг.

Сопоставление уровней содержания СОЗ в эстуарных ДО в дальневосточном регионе и в пресноводных объектах Европейской части России выявило существенные различия. Так, в северной части Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища в зоне влияния коммунально-промышленного комплекса г. Череповец содержание в ДО ПХБ, ГХБ и ДДТ с метаболитами в 2006 г. составило 425.6, 0.83 и 27.1 мкг/кг сухой массы. Для ПХБ это в десятки раз выше того, что выявлено в эстуариях рек Гладкая, Суходол и Раздольная. В остальной части водохранилища, где содержание СОЗ находится на фоновом уровне, эти величины были соответственно 24.3, 0.34 и 2.3 мкг/кг сухой массы [16]. Выявленные различия указывают на то, что содержание ГХБ и ДДТ в эстуарных зонах рек залива Петра Великого в несколько раз превышало, а ПХБ было на уровне или ниже фоновых уровней соответствующих СОЗ, зарегистрированных в Европейской части России. Это позволяет предположить, что источник поступления ПХБ в экосистему рек — глобальный трансграничный перенос, а для ХОП он является локальным.

Качественный анализ ГХЦГ в ДО рр. Гладкая, Суходол и Раздольная показывает, что в его составе доминирует наиболее токсичный  $\gamma$ -изомер (табл. 2). В водной среде  $\gamma$ -ГХЦГ разлагается микроорганизмами и подвергается фотохимической изомеризации, переходя в более стабильный изомер  $\alpha$ -ГХЦГ. Поэтому чем дальше ГХЦГ находится в окружающей среде, тем больше доля в его составе  $\alpha$ -изомера. В случае повышенного содержания последнего относительно других изомеров можно говорить о продолжительном времени нахождения ГХЦГ в окружающей среде. Это может быть связано либо с пространственной удаленностью локального источника поступления этого ХОП в реку от места его обнаружения, либо с давностью его попадания в водный объект. Во всех исследованных нами пробах отношение концентраций  $\alpha$ -ГХЦГ/ $\gamma$ -ГХЦГ было  $<1$ , что указывает на относительно недавнее поступление пестицида в эстуарные зоны.

Таблица 2

**Соотношение различных изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ в донных отложениях эстуарных зон рек бассейна залива Петра Великого (мкг/кг)**

| ХОП            | Гладкая | Суходол | Раздольная 1 | Раздольная 2 |
|----------------|---------|---------|--------------|--------------|
| $\alpha$ -ГХЦГ | 0,03    | 0,06    | 0,183        | 0,154        |
| $\gamma$ -ГХЦГ | 0,38    | 0,307   | 1,570        | 1,374        |
| $\beta$ -ГХЦГ  | 0,067   | 0,050   | 0,334        | 0,350        |
| $d$ -ГХЦГ      | 0,031   | 0,023   | 0,098        | 0,128        |
| Сумма ДДЕ      | 0,477   | 0,489   | 1,620        | 1,769        |
| Сумма ДДД      | 2,258   | 3,696   | 7,684        | 9,973        |
| Сумма ДДТ      | 3,561   | 8,723   | 31,143       | 32,990       |

В коммерческих препаратах ДДТ преобладающим компонентом является изомер  $p'$ -ДДТ (77%). В результате происходящих в море физико-химических и биологических процессов ДДТ, попавший в окружающую среду и циркулирующий в ней продолжительное время, трансформируется в более стойкие ДДД и ДДЕ, которые начинают преобладать среди смеси метаболитов. При этом соотношение сумм ДДТ/ДДЕ становится  $< 1$  [17]. В эстуарных зонах всех исследованных нами рек это отношение было  $\gg 1$ : р. Гладкая- 7.5, р. Суходол — 18.6, р. Раздольная 1 и 2 — 19.2 и 18.7 (табл. 2). Такой качественный состав

указывает на продолжающееся и в настоящее время поступление ДДТ на водосборную территорию исследованных рек. Наиболее интенсивно эти соединения, видимо, применяются в бассейне р. Раздольная. Следует отметить, что большая часть ее водосбора находится на территории Китая. Поэтому источник загрязнения реки может быть локализован и вне российских границ. Чтобы выяснить этот вопрос, требуются дополнительные детальные исследования.

Качественный анализ ПХБ показал, что в целом их конгенерный профиль в пробах ДО из трех исследованных реках ближе всего соответствует составу коммерческой смеси Арохлор-1254: везде доминируют пентахлорбифенилы, занимая в пробах 43-59% (табл. 3), тогда как в смеси эта величина составляет 53% от общего содержания [8]. Вместе с тем, в отличие от Арохлора 1254, в ДО р. Суходол и Раздольная высока доля тетрахлорбифенилов — 27 и 36% (в Арохлор 1254 — 15%) соответственно, и во всех пробах присутствуют более низкохлорированные конгенеры (моно-, ди- и трихлорбифенилы). Их суммарная доля в пробе из р. Гладкая наибольшая и составляет 15%, р. Суходол — 1.8%, р. Раздольная — 6.9-7.5% (в Арохлор 1254 — <1%). Это указывает на возможность присутствия в пробах ДО определенного количества другой коммерческой смеси ПХБ — Арохлор 1248. Среди исследованных рек наиболее соответствуют составу Арохлор 1254 пробы из р. Суходол. Поскольку в России используются в основном Совол П-53, сходный по составу с Арохлор 1254, это может свидетельствовать о достаточно свежем, хотя и незначительном, поступлении ПХБ в данную реку из близко расположенного локального источника. Пробы из двух других рек в большей степени отличаются по конгенерному профилю от Арохлор 1254, что указывает на длительное нахождение ПХБ в окружающей среде, в процессе которого произошла их трансформация, направленная на редуцирование высокохлорированных конгенеров (как результат, низкохлорированные конгенеры начинают преобладать). Обычно этот процесс в водных экосистемах проходит в ДО в результате деятельности анаэробных микроорганизмов и протекает сравнительно медленно, поэтому требует длительного времени [18].

Таблица 3

**Суммарное содержание гомологичных групп ПХБ с разной степенью хлорирования в донных отложениях эстуариев зал. Петра Великого (нг/кг сухой массы)**

| Группа ПХБ         | Эстуарные зоны рек |         |              |              |
|--------------------|--------------------|---------|--------------|--------------|
|                    | Гладкая            | Суходол | Раздольная 1 | Раздольная 2 |
| Монохлорированные  | 33                 | < 5     | 32           | 83           |
| Дихлорированные    | 189                | < 5     | 916          | 1559         |
| Трихлорированные   | 839                | 201     | 240          | 800          |
| Тетрахлорированные | 2191               | 3066    | 6276         | 11658        |
| Пентахлорированные | 3002               | 6762    | 7762         | 15425        |
| Гексахлорированные | 604                | 1400    | 2046         | 3043         |
| Гептахлорированные | 26.9               | 70.7    | 34.4         | 55.9         |
| Октахлорированные  | 1.0                | 6.8     | 4.6          | 9.1          |
| Нонахлорированные  | < 0.1              | < 0.7   | < 0.3        | < 0.3        |
| Сумма ПХБ          | 6886               | 11505   | 17311        | 32633        |

В случае с пробами из рр. Гладкая и Раздольная такая деградация ПХБ может быть обусловлена либо давним их поступлением из локального источника, либо длительной циркуляцией в атмосфере и попаданием в реку в результате постоянного глобального атмосферного переноса.

В нашей стране нормативы для содержания СОЗ в ДО не разработаны. Поэтому с целью нормирования приходится использовать международные нормативы содержания СОЗ в ДО, применяющиеся в настоящее время в странах Евросоюза и Северной Америки. Например, в Канаде экологические нормативы содержания ДДТ, ДДД, ДДЕ, суммы ПХБ и  $\gamma$ -ГХЦГ в ДО пресноводных объектов составляют 1.19, 3.54, 1.42, 34.1 и 0.94, а для морских — 1.19, 1.22, 2.07, 21.5 и 0.32 мкг/кг сухой массы, соответственно. Содержание ГХБ не нормируется [19].

Сравнение полученных уровней содержания СОЗ в ДО с нормативными показывает, что только в р. Раздольная они превышены по большинству веществ (ДДТ и его метаболиты,  $\gamma$ -ГХЦГ и ПХБ). При этом только содержание ДДТ превышало норматив для ДО во всех трех реках, как для пресных, так и для морских вод в 1.8-27.7 раз, достигая максимальных величин в р. Раздольная.

Полученные данные свидетельствуют, что, несмотря на прекращение производства и применения ХОП в большинстве стран Северного полушария, они продолжают использоваться в странах Юго-Восточной Азии. Большие количества ежегодно применяются в Индии [20]. Перенос этих соединений ветрами на большие расстояния создает глобальный фон, в результате чего пестициды присутствуют в компонентах экосистем различных климатических зон. Не является исключением и территория Приморского края, где отсутствуют локальные источники поступления ХОП и наличие последних в ДО можно рассматривать как проявление их глобального распространения. Невысокий уровень ПХБ в эстуарных зонах в целом говорит об отсутствии в бассейнах рек высокотехнологичных производств, где применяются подобные вещества. Однако продолжающееся поступление ДДТ и ГХЦГ и их аккумуляция в ДО выше нормативного уровня указывает на существующий экологический риск загрязнения реки этими веществами и диктует необходимость организации мониторинга за содержанием СОЗ на Тихоокеанском побережье России.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в ДО эстуарных зон трех исследованных рек на территории Приморского края присутствуют СОЗ. При этом везде в наибольших количествах обнаруживаются ДДТ и его метаболиты и ПХБ, меньше всего выявляется ГХБ. Самые высокие уровни всех СОЗ зарегистрированы в р. Раздольная, где их содержание выше международных экологически безопасных норм. Качественный состав СОЗ указывает на возможное продолжающееся до настоящего времени их поступление на территорию Приморского края.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Costanza, R., d'Agre, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387. P. 253-260.
2. Нигматулина Л.В. Оценка антропогенной нагрузки береговых источников на Амурский залив (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2007. № 1. С. 73-76.

3. Важова А.С., Нигматулина Л.В., Лукьянова О.Н. Поступление загрязняющих веществ со сточными водами через эстуарии в залив Петра Великого // Известия ТИНРО. 2011. Т. 167. С. 128-134.
4. Лукьянова О.Н., Боярова М.Д., Черняев А.П., Барабанщиков Е.И., Алешко С.А. Хлорорганические пестициды в водных экосистемах Дальнего Востока России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2007. № 2. С. 31-35.
5. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 15-48.
6. Немировская И.А. Нефтяные углеводороды в океане // Природа. 2008. № 3. С. 17-27.
7. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Протокол №2. Полихлорированные бифенилы и трифенилы. Совместное издание Программы ООН по окружающей среде и ВОЗ, Женева, 1980.
8. Клюев Н.А., Бродский Е.С. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Инф. вып. № 5. М.: ВИНТИ, 2000. С. 31-63.
9. Ващенко М.В., Жадан П.М., Альмяшова Т.Н., Слинько Е.Н. Многолетняя и сезонная динамика репродуктивной функции морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и уровень загрязнения донных осадков в амурском заливе (залив Петра Великого Японского моря) // Реакция морской биоты на изменение природной среды и климата. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 297-328.
10. Чернова А.С., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Концентрации загрязняющих веществ в заливе Петра Великого (Японское море) в 2004-2008 г.г. // Известия ТИНРО. 2011. Т. 164. С. 330-339.
11. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1980. 5 с.
12. Герман А.В., Законнов В.В. Аккумуляция полихлорированных бифенилов в Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 5. С. 571-575.
13. Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Жильников В.Г. Определение полихлорированных бифенилов и пестицидов в объектах окружающей среды и биоматериалах методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения // Массспектрометрия. 2008. Т. 5. № 4. С. 245-258.
14. Лукьянова О.Н., Ирейкина С.А., Черняев А.П., Важова А.С., Боярова М.Д. Экоотоксикологическая оценка некоторых эстуарных зон Южного Приморья // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 162. С. 214-224.
15. Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Темердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: АзНИИРХ, 2007. 324 с.
16. Чуйко Г.М., Законнов В.В., Морозов А.А., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б. Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и лебде (*Abramis brama* L.) из Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. 2010. № 2. С. 98-108.
17. Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface water and the role of ocean on their global transport and fate // Environ. Sci. Technol. 1997. V. 27. P. 1080-1098.
18. Borlakoglu, J.T., Heegele, K. D. Comparative aspects on the bioaccumulation, metabolism and toxicity with PCBs // Comp. Biochem. Physiol. 1991. V. 100C. № 3. P. 327-338.
19. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polychlorinated biphenyls (PCBs). Updated. Winnipeg: Can. Council of Ministers of the Environment, 2002. 7 p.
20. Monirith, I., Ueno, D., Takahashi, S., Nakata, H., Sudaryanto, A., Subramanian, A., Karuppiah, S., Ismail, A., Muchtar, M., Zheng, J., Richardson, B., Prudente, M., NguenDuc Hue, Touch SeangTana, Tkalin, A., Tanabe, S. Asia-Pacific mussel watch monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries // Mar. Pollut. Bull. 2003. № 46. P. 281-300.