

## Углеводороды и полихлорированные бифенилы в донных осадках зал. Находка (зал. Петра Великого, Японское море): оценка уровня загрязнения и потенциальной токсичности

Е. В. ЖУРАВЕЛЬ<sup>1,3</sup>, А. П. ЧЕРНЯЕВ<sup>1,2</sup>, Л. И. СОКОЛОВА<sup>1</sup>, Е. М. ЧУДОВСКАЯ<sup>1</sup>, М. А. ПРОШИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет  
690600, Владивосток, ул. Суханова, 8  
E-mail: zhrvl@rambler.ru

<sup>2</sup> Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии (ТИНРО-Центр)  
690091, Владивосток, тупик Шевченко, 4

<sup>3</sup> Институт биологии моря им. А. В. Жирмунского ДВО РАН  
690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Статья поступила 16.10.2014

Принята к печати 19.06.2015

### АННОТАЦИЯ

Исследовано содержание углеводородов, в том числе фракции полиароматических углеводородов, и полихлорированных бифенилов в донных осадках зал. Находка. Показано, что их содержание находится на уровне малозагрязненных районов Мирового океана. Выявленные концентрации ПАУ и ПХБ не превышают пороговых значений и не представляют риска для существования гидробионтов.

**Ключевые слова:** загрязнение, донные осадки, полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, залив Находка.

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме загрязнения окружающей среды стойкими органическими соединениями, в том числе полиароматическими углеводородами (ПАУ) и полихлорированными бифенилами (ПХБ).

Известно, что ПАУ образуются преимущественно в результате неполного сгорания топлива и других органических материалов и попадают в морскую среду с промышленными и городскими стоками, при атмосфер-

ном переносе промышленных и транспортных аэрозолей, при разливах и утечках нефти [Annicchiarico et al., 2011; Немировская, 2013]. ПХБ включают 209 конгенеров, широко применяющихся в хозяйственной деятельности. Основные пути поступления ПХБ в окружающую среду – испарения пластификаторов, сжигание бытовых и промышленных отходов, возгорание трансформаторов, конденсаторов и т. д. [Клюев, Бродский, 2000]. Эти соединения высокотоксичны, устойчивы к действию

природных факторов, из-за высокой гидрофобности они способны депонироваться в жировых тканях организмов, оказывая негативное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды, причем не только вблизи источников загрязнения, но и на значительном расстоянии от них (вследствие трансграничного атмосферного переноса) [Лукьянова и др., 2012].

Благодаря высокой устойчивости, гидрофобным свойствам и малой растворимости в воде ПАУ и ПХБ сорбируются на взвеси и накапливаются в донных осадках. Таким образом, осадки являются конечным этапом миграции многих загрязняющих веществ, а также источником вторичного загрязнения водной среды и токсического воздействия на гидробионтов. Осадки менее чувствительно реагируют на кратковременные изменения гидролого-гидрохимических условий, следовательно, более полно отражают истинное экологическое состояние морской среды. В Российской Федерации содержание загрязняющих веществ в донных осадках не нормируется, поэтому обычно сравнивается с нормативами, принятыми в Нидерландах [Ежегодник..., 2010].

Залив Находка относится к заливам второго порядка, входящим в залив Петра Великого Японского моря. На его берегах расположены четыре незамерзающих порта: торговый, рыбный, нефтеналивной и порт “Восточный”, объединяющий угольный, контейнерный и лесной терминалы. Ежегодно в залив сбрасывается 15,61 млн м<sup>3</sup> сточных вод в год, из них 22,8 % неочищенные [Ежегодник..., 2010]. В зал. Находка впадает крупная р. Партизанская (вторая в Приморском крае по величине после р. Раздольной), которая несет сельскохозяйственные стоки и сточные воды г. Партизанска. Кроме того, в декабре 2009 г. введен в эксплуатацию специализированный морской нефтеналивной порт Козьмино, являющийся конечной точкой трубопроводной системы “Восточная Сибирь – Тихий океан” (ТС ВСТО). Он предназначен для перевалки нефти на современные морские суда. Продолжается строительство контейнерных терминалов и угольных причалов в бухте Врангеля, что наносит ощутимый ущерб биоресурсам залива Находка [Огородникова, 2012]. В отдельных частях залива с

интенсивной антропогенной нагрузкой выявлено повышенное (по сравнению с фоновыми районами) содержание нефтяных углеводородов в воде и тяжелых металлов в органах мидии тихоокеанской и мидии Грея [Нигматулина и др., 2011]. По результатам многолетних наблюдений воды зал. Находка на протяжении нескольких лет оцениваются как умеренно загрязненные. Уровень загрязнения зал. Находка значительно ниже, чем Амурского залива и бухты Золотой Рог, также входящих в состав зал. Петра Великого [Ежегодник..., 2010]. Однако в стандартный протокол исследований состояния морской среды не входит контроль содержания ПАУ и ПХБ, контролируется суммарное содержание нефтяных углеводородов, но не их отдельных компонентов.

Для целей экологического мониторинга недостаточно количественно оценить содержание токсичных загрязняющих веществ в донных отложениях. Необходимой его частью является прогнозирование последствий загрязнения для обитателей водоемов и оценка экологического риска. Благодаря многолетним исследованиям разработаны критерии качества морских осадков [MacDonald et al., 1996; Long, MacDonald, 1998], использование которых показало высокую потенциальную токсичность донных осадков Амурского залива (залив Петра Великого Японского моря) за счет загрязнения ДДТ и тяжелыми металлами [Ващенко и др., 2010].

Цель работы – оценка источников поступления, уровня загрязнения углеводородами и ПХБ донных осадков зал. Находка, а также потенциального токсического воздействия на гидробионтов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений отбирали с шести станций в зал. Находка (рис. 1) в августе 2013 г. Отбор производили легководолазным методом с глубины 4–5 м с помощью тefлонового пробоотборника, захватывая верхний слой (2–5 см) грунта. Далее пробы замораживались и хранились при температуре –28 °С.

Все станции отличались по степени антропогенной нагрузки. Станция 1 (мыс Шефнера) расположена в районе городского пля-

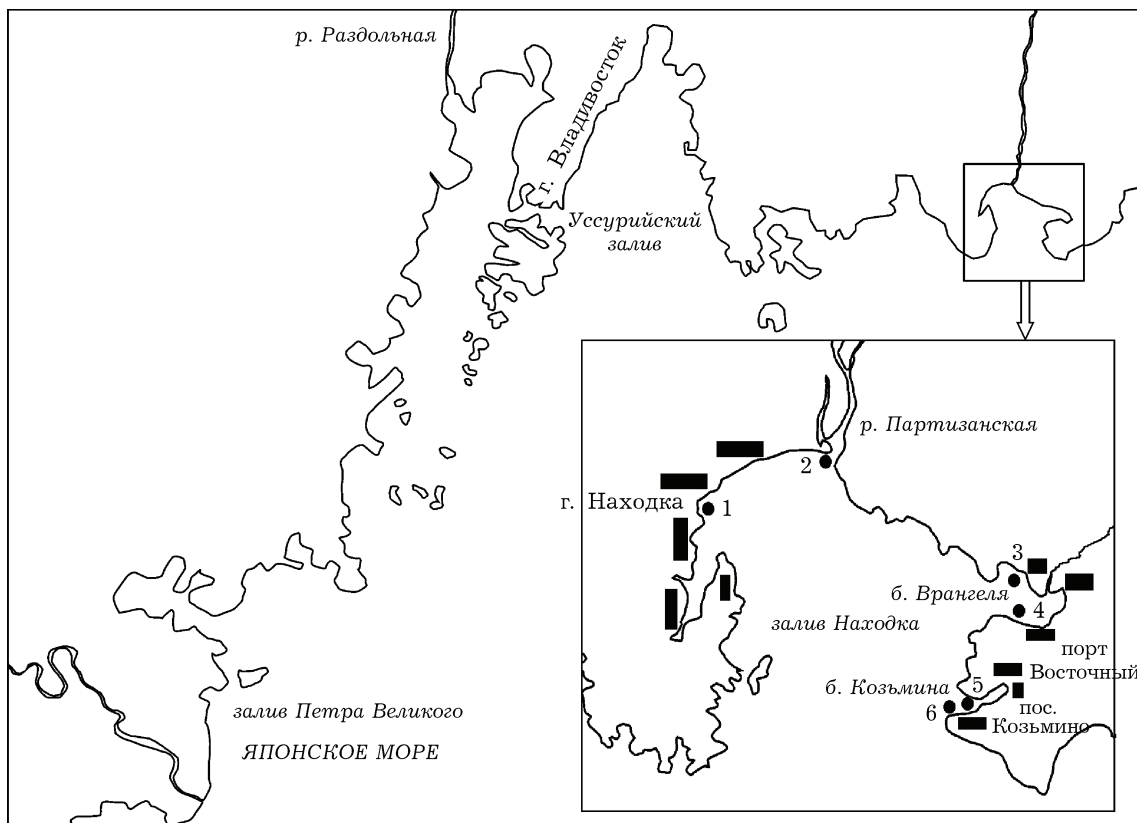


Рис. 1. Станции отбора проб

жа вблизи железной дороги, автовокзала и крупных торговых центров (рядом выпуск коллектора городской канализации, стоянка частных катеров и причал береговой охраны), ст. 2 – вблизи устья р. Партизанская, ст. 3 – пляж пос. Береговое (бухта Врангеля, вблизи территории строительства причала порта “Восточный”), ст. 4 – южнее территории порта “Восточный”, у старого угольного пирса (бух. Врангеля), ст. 5 расположена в судоходной зоне вблизи рыбокомбината (пос. Козьмино), ст. 6 – в окрестностях нового Спецнефтепорта Козьмино, открытого в конце 2009 г.

Образцы донных осадков, высушенных до воздушно-сухого состояния, растирали в фарфоровой ступке. Гранулометрический состав донных осадков определяли ситовым анализом, просеивая взвешенную пробу осадков через набор сит с поддоном [Петелин, 1967]; устанавливали содержание илистой и глинистой (<0,1 мм), песчаной (0,1–2 мм) и гравийной (>2 мм) фракций. Концентрацию органического углерода ( $C_{орг}$ ) и содержание загрязняющих веществ определяли во фракции осадков с размером частиц менее 0,5 мм.

$C_{орг}$  находили методом мокрого сжигания по Тюрину, основанным на окислении органических веществ раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте [Потапова и др., 1980; Теория..., 2006].

Для экстракции суммарной фракции углеводородов ( $\Sigma УВ$ ) применяли метод жидкость-жидкостной экстракции с использованием дихлорметана. Определение  $\Sigma УВ$  проводили методом ИК-спектрометрии [РД, 1997а] на ИК-анализаторе фирмы “Shimadzu” IRAffinity-1 (Япония) по интенсивности поглощения в области 2800 – 3000  $см^{-1}$ .

ПАУ определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) на хроматографе “Shimadzu” LC-10 ADvp (Япония), с флуоресцентным детектором RF – 10Ax1. Хроматографическая колонка фирмы “Waters” PAH C<sub>18</sub> (25 × 0,46 см, 5 мкм). В качестве элюента использовали смесь ацетонитрила и воды в режиме градиентного элюирования [Черкашин и др., 2008]. Стандартные растворы ПАУ были приготовлены из ГСО (ГСО 8652-2005, ГСО 8654-2005, ГСО 8649-2005).

Для анализа содержания полихлорированных бифенилов (ПХБ) навеску воздушно-сухого осадка экстрагировали смесью растворителей ацетон : гексан по РД 52.18.578-97 [19976]. Экстракт разделяли и анализировали на газовом хроматографе Agilent 6890 с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором 5975В. Колонка HP-5 (30 м × 0,25 мм), программирование температуры от 50 до 250 °С, без делителя потока газа-носителя. Идентификацию разделенных пиков проводили, сравнивая времена удерживания с временами удерживания стандартных ПХБ и по масс-спектрам разделенных пиков, используя библиотеку NIST. Расчет содержания ПХБ в пробах производили, используя в качестве стандарта образец совола в гексане ГСО7821-2000.

Полученные результаты сравнивали как с допустимыми концентрациями (ДК) загрязняющих веществ в донных осадках [Ежегодник..., 2010], так и с критериями токсичности, приведенными в зарубежных публикациях [MacDonald et al., 1996; Long, MacDonald, 1998]:

TEL – Threshold Effect Level – пороговый уровень воздействия;

PEL – Probable Effect Level – уровень вероятного воздействия;

ER-L – Effect Range Low – концентрация токсичного вещества в осадках, при которой негативный биологический эффект маловероятен (5–30 % вероятности);

ER-M – Effect Range Median – концентрация токсичного вещества в осадках, при которой негативный биологический эффект наблюдается достаточно часто (50 % вероятности и выше).

Для оценки потенциальной токсичности донных осадков и экологического риска для гидробионтов рассчитывали коэффициент SQG-Q (mean sediment quality guideline quotient) по формуле  $SQG-Q = \Sigma PEL - Q/n$ , где  $\Sigma PEL - Q$  – отношение средней концентрации токсичного вещества в пробе к величине PEL,  $n$  – количество токсичных компонентов [Long, MacDonald, 1998]. Расчет проводили, используя данные о суммарном содержании ПХБ и концентрациях 12 индивидуальных ПАУ. Осадки оценивали согласно следующим критериям:  $SQG-Q \leq 0,1$  – осадки нетоксичны, небольшая вероятность

проявления отрицательных биологических эффектов;  $0,1 < SQG-Q < 1$  – осадки умеренно токсичны, средняя вероятность проявления отрицательных биологических эффектов;  $SQG-Q > 1$  – осадки очень токсичны, высокая вероятность наблюдения отрицательных биологических эффектов [MacDonald et al., 2004].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В донных осадках зал. Находка СУВ различалась незначительно и на большинстве станций превышала фоновую концентрацию для грубодисперсных осадков 10 мкг/л [Ежегодник..., 2010] (табл. 1).

Более высокое содержание СУВ установлено на ст. 4, что обусловлено как активным судоходством в бух. Врангеля и длительным использованием пирса, так и значительной долей илистой фракции с высоким содержанием  $C_{орг}$ . Наибольшее суммарное содержание ПАУ выявлено у границы порта “Восточный” (ст. 3), где доля илистой фракции в осадках максимальна (табл. 2). В целом содержание СУВ в донных осадках обследованных станций оказалось в пределах концентраций, выявленных в зал. Находка ранее [Ежегодник..., 2010].

Согласно классификации уровней загрязнения донных отложений ПАУ [Baumard et al., 1998], их содержание в пределах 0–100 нг/г свидетельствует о низком уровне загрязнения, 100–1000 – об умеренном, 1000–5000 – о высоком и более 5000 нг/г – об очень высоком. На всех станциях зал. Находка выявлен низкий уровень загрязнения ПАУ, ни на одной из станций не превышена допустимая концентрация ПАУ в донных осадках (1000 нг/г) (табл. 3). Содержание одного из наиболее токсичных компонентов – бенз(а)пирена – значительно ниже допустимой концентрации (20 нг/г). Ранее отмечалось повышенное содержание ПАУ во взвеси в р. Партизанская; их суммарное содержание в донных осадках достигало 47,4 нг/г [Чижова и др., 2013]. В донных осадках бухты Козьмина и оз. Второе концентрации ПАУ варьировали от 0,3 до 168,3 нг/г, при этом максимальное значение выявлено в глубоководной части бухты [Григорьева, Питрук, 2010].

## Концентрации УВ и ПАУ (нг/г)

Показатель	Станция						Критерии токсичности и экологического риска				
	1	2	3	4	5	6	TEL	PEL	ER-L	ER-M	
СУВ	28210	15780	29054	67766	26604	19729	-	-	-	-	
Нафталин	Н.о.	1,49	4,63	Н.о.	Н.о.	Н.о.	34,6	391	160	2100	
2-метилнафталин	Н.о.	1,92	13,64	0,11	0,57	0,36	20,2	201	70	670	
Аценафтен	Н.о.	0,08	0,45	0,15	Н.о.	Н.о.	6,71	88,9	16	500	
Флуорен	0,12	0,67	4,05	0,24	0,43	0,40	21,2	144	19	540	
Фенантрен	0,46	4,24	21,37	0,99	0,42	0,25	86,7	544	240	1500	
Антрацен	0,06	0,20	1,36	0,18	0,28	0,07	46,9	245	85,3	1100	
Флуорантен	0,88	Н.о.	5,12	Н.о.	Н.о.	Н.о.	113	1494	600	5100	
Пирен	Н.о.	0,60	3,78	Н.о.	Н.о.	Н.о.	153	1398	665	2600	
Бенз(а)антрацен	0,01	0,19	2,44	Н.о.	0,13	0,05	74,8	693	261	1600	
Хризен	Н.о.	0,29	5,15	0,16	0,10	0,04	108	846	384	2800	
Бенз(б)флуорантен	0,26	0,15	3,57	0,05	1,63	0,40	-	-	-	-	
Бенз(к)флуорантен	0,06	Н.о.	0,68	0,01	0,46	0,10	-	-	-	-	
Бенз(а)пирен	0,02	0,34	0,35	0,09	0,08	0,02	88,8	763	430	1600	
Дибенз(а,в)антрацен	0,04	0,03	0,56	0,26	0,33	0,07	6,22	135	63,4	260	
Бенз(ghi)перилен	0,06	0,04	0,99	0,11	0,22	Н.о.	-	-	-	-	
ΣLMW (низкомолекулярные ПАУ)	0,64	8,59	45,49	1,67	1,71	1,08	312	1442	-	-	
ΣHMMW (высокомолекулярные ПАУ)	1,33	1,63	22,63	0,69	2,96	0,68	655	6676	-	-	
ΣLMW/ΣHMMW	0,48	5,27	2,01	2,40	0,58	1,59	-	-	-	-	

Т а б л и ц а 2

## Гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных осадках зал. Находка

Станция	Гранулометрический состав осадков на станции, %			Характеристика осадков на станции	Состав фракций, в которых определялись загрязняющие вещества и $C_{орг}$ , %		$C_{орг}$ , %
	гравий	песок	ил		песок	ил	
1	0	95,72	4,28	Мелкозернистый песок	95,72	4,28	$0,07 \pm 0,03$
2	0,82	99,10	0,08	Крупнозернистый песок	99,90	0,10	$0,38 \pm 0,04$
3	0,07	93,39	6,54	Мелкозернистый заиленный песок	93,42	6,58	$0,11 \pm 0,05$
4	61,00	36,65	2,35	Валуны, крупный гравий с заиленным песком	90,84	9,16	$0,92 \pm 0,10$
5	61,36	38,60	0,04	Крупный гравий с песком	98,59	1,41	$0,46 \pm 0,06$
6	55,66	42,76	1,58	То же	95,28	4,72	$0,50 \pm 0,12$

Из 17 стандартно контролируемых соединений в донных осадках зал. Находка не обнаружены аценафтилен и индено(1,2,3cd)пирен. Среди всех идентифицированных ПАУ наибольшее содержание фенантрена (маркера присутствия УВ природного происхождения) наблюдалось в донных осадках ст. 2, 3, 4, а на ст. 2 и 3 – нафталина и метилнафталина (см. табл. 1), что свидетельствует о нефтяном антропогенном воздействии на прибрежную зону [Немировская, 2013]. Высокое содержание соединений пирогенного происхождения (например, флуорантена) на ст. 3, по-видимому, связано с работой котельной и угольного терминала, а также с активным

судоходством в этом районе. Вблизи ст. 3 находится угольный пирс, с которого ведется перегрузка угля открытым способом. Кроме того, в 2013 г. рядом со ст. 3 велись дноуглубительные работы для строительства нового пирса, а перемещение грунта, в течение многих лет депонировавшего ПАУ, несомненно, стало источником вторичного загрязнения ПАУ.

На ст. 2–4 и 6 в донных осадках преобладали низкомолекулярные ПАУ, так как отношение  $\Sigma LMW / \Sigma HMW > 1$  (см. табл. 1), в осадках ст. 1 и 5 – высокомолекулярные ПАУ, что может указывать на загрязнение продуктами сгорания топлива. Согласно ин-

Т а б л и ц а 3

## Содержание ПАУ, ПХБ в донных осадках зал. Находка и значения индекса экологического риска

Станция	Показатель		
	$\Sigma$ ПАУ (нг/г)	$\Sigma$ ПХБ (нг/г)	SQG-Q
1	1,96	1,53	0,0008
2	10,22	1,70	0,0029
3	68,12	0,71	0,0140
4	2,36	0,85	0,0010
5	4,66	0,66	0,0011
6	1,76	1,13	0,0009
Критерии токсичности и экологического риска			
TEL	1684	21,6	–
PEL	16770	189	–
ER-L	4022	22,7	–
ER-M	44792	180	–



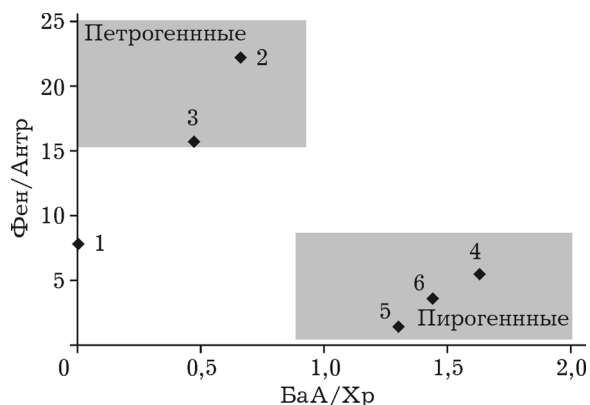


Рис. 2. Соотношение индексов фенантрен/антрацен (Фен/Антр) и бенз(а)антрацен/хризен (БаА/Хр) в донных осадках исследованных станций

дексам, вычисленным по соотношению индивидуальных полиаренов (рис. 2), на ст. 2 и 3 преобладают петрогенные ПАУ, на остальных – пирогенные.

Соотношение содержания фенантрена и антрацена на ст. 2 и 3 превышало 10, что связано с присутствием в донных осадках угольной пыли. В устьевой области р. Партизанская угольная взвесь имеет частично природное происхождение, так как река протекает через угленосные районы юга Приморского края. В качестве еще одного источника загрязнения в акватории зал. Находка можно рассматривать перегрузку угля на водный транспорт открытым способом. В результате угольная пыль попадает в атмосферу и в воду [Чижова и др., 2013].

Содержание ПХБ в донных осадках не превышало условно-допустимого 20 нг/г и пороговых уровней для гидробионтов (см. табл. 3). На всех станциях преобладали пентахлорбифенилы, их концентрация варьировала от 40 до 58 %.

По конгенерному профилю отличались только осадки ст. 3, где преобладали тетрахлорбифенилы (табл. 4). Соотношение конгенеров сравнимо с составом коммерческих смесей Арохлор-1254 и Совол П-53. Судя по малому содержанию низкохлорированных конгенеров, в этом районе осуществляется постоянный приток ПХБ, что, вероятно, связано с интенсивной эксплуатацией морского и автомобильного транспорта.

Максимальное суммарное содержание ПХБ выявлено в приустьевой зоне р. Партизанская (ст. 2). Вероятно, выносимые рекой загрязняющие вещества оседают и накапливаются в донных отложениях эстуарной зоны, где смешиваются пресные и морские воды. Однако даже эта величина оказалась значительно ниже содержания ПХБ в осадках эстуарных зон крупнейших рек юга Приморского края – Гладкой, Раздольной и Суходола [Лукьянова и др., 2012]. В донных осадках акваторий, находящихся под интенсивным техногенным воздействием, содержание ПХБ может быть на несколько порядков выше (табл. 5).

Такие различия, по-видимому, вызваны рядом причин. Во-первых, это физико-химические свойства донных осадков. Известно, что наилучшей способностью к сорбции органических загрязняющих веществ обладают илистые отложения [Немировская, 2013], тогда как в зал. Находка на небольших глубинах преобладают пески и гравий с низким содержанием  $C_{орг}$  (см. табл. 2). Положительная корреляция между содержанием  $C_{орг}$  и органических загрязняющих веществ, в том

Т а б л и ц а 4

Суммарное содержание гомологичных групп ПХБ с разной степенью хлорирования в донных осадках зал. Находка

Группа ПХБ	Станция											
	нг/кг						массовая доля, %					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
ТрихлорПХБ	142	247	20	Н.о.	135	135	9	14	3	0	21	12
ТетрахлорПХБ	589	707	400	310	224	424	38	41	56	37	34	37
ПентахлорПХБ	680	685	266	490	298	515	44	40	37	58	45	46
ГексахлорПХБ	120	65	28	48	Н.о.	57	8	4	4	6	0	5

Содержание органических загрязняющих веществ (нг/г) в донных осадках из разных районов Мирового океана

Район	ΣУВ, мкг/г	ΣПАУ, нг/г	ΣПХБ, нг/г	Авторы
Берингово и Чукотское моря, зал. Аляска	–	–	0,13–2,0	[Ivata et al., 1994]
Белое море	–	13–208	–	[Savinov et al., 2000]
Северное и Балтийское моря	–	62–7600	1,87–104,7	[Biselli et al., 2005]
Черноморское побережье России	7,6–170	61,2–367,9	0,3–4,7	[Fillmann et al., 2002; Readman et al., 2002]
Черное море, Одесса (Украина)	110–310	66,9–635	5,7–6,8	Те же
Черное море, у устья р. Дунай	49–220	30,5–638,3	1,4–2,7	»
Черное море, прол. Босфор (Турция)	12–76	13,8–531	0,4–4,4	»
Эгейское море, б. Алиага (Турция)	–	70–20940	–	[Neser et al., 2012]
Ионическое море, зал. Таранто (Италия)	–	0–262446	0–1780	[Annicchiarico et al., 2011]
Побережье Атлантического океана (Испания)	–	171–16226	21–4751	[Montero et al., 2013]
Японское море, зал. Находка	15,8–67,8	1,76–68,12	0,65–1,70	Собственные данные

числе ПАУ и ПХБ, выявлена в многочисленных исследованиях, например, в работе С. Бизелли с соавт. [Biselli et al., 2005].

Во-вторых, уровень загрязнения зависит от вида и интенсивности хозяйственной деятельности. Например, в зал. Таранто (Ионическое море) повышенный уровень загрязнения донных осадков определяют наличие металлургического и нефтеперерабатывающего заводов на его побережье, а в бух. Алиага (Эгейское море), помимо деятельности крупных перерабатывающих предприятий, вклад в загрязнение вносит и судоремонтный завод, осуществляющий утилизацию кораблей [Annicchiarico et al., 2011; Neser et al., 2012].

Уровень загрязнения донных осадков зал. Находка УВ и стойкими органическими веществами невысок и сравним с таковым для малозагрязненных северных морей, небольших портов (Ялта, Керчь, Адлер) и таких судоходных акваторий, как пролив Босфор. В донных осадках крупных портов (например, Киль, Сочи, Одесса) содержание ПАУ и ПХБ превышает выявленное нами в зал. Находка на несколько порядков [Fillmann et al., 2002; Readman et al., 2002; Biselli et al., 2005].

Оценка потенциальной токсичности донных осадков на основе расчета индекса экологического риска SQG-Q показала, что осадки на всех станциях можно отнести к нетоксичным, так как значения SQG-Q не превышали 0,1 (см. табл. 3), при этом наибольшей

потенциальной токсичностью обладали осадки на ст. 3. Полученные результаты свидетельствуют о низкой расчетной степени токсичности донных осадков зал. Находка для гидробионтов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание ΣУВ на всех исследованных станциях находилось в пределах от 15,8 до 67,8 мкг/г, ПАУ – от 1,76 до 68,12 нг/г, ПХБ – от 0,66 до 1,70 нг/г. Столь низкие концентрации обусловлены преобладанием вдоль восточного побережья зал. Находка грубодисперсных осадков, слабо аккумулирующих и удерживающих загрязняющие вещества.

Максимальное содержание ПХБ установлено вблизи устья р. Партизанская, ПАУ – в окрестностях порта “Восточный”. В наибольшей степени петрогенными ПАУ загрязнены осадки станций 2 и 3, а пирогенными – станций 4–6.

Содержание ПАУ и ПХБ не превышает уровней ER-L/ER-M и TEL/PEL, что свидетельствует о низкой токсичности этих осадков для гидробионтов. Однако существующие планы по развитию хозяйственной деятельности (строительство нефтеперерабатывающего завода, предприятия по производству сжиженного природного газа, расширение и развитие инфраструктуры порта “Восточ-



ный”) в регионе обуславливают необходимость продолжения экологического мониторинга.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ващенко М. А., Жадан П. М., Альмяшова Т. Н., Ковалева А. Л., Слинко Е. Н. Оценка уровня загрязнения донных осадков Амурского залива (Японское море) и их потенциальной токсичности // Биол. моря. 2010. Т. 36, № 5. С. 354–361.
- Григорьева Н. И., Питрук Д. Л. Комплексная химико-экологическая оценка состояния бухт Козьмина – озеро Второе (залив Находка, залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 162. С. 225–241.
- Ежегодник 2009. Качество морских вод по гидрохимическим показателям / сост. А. Н. Коршенко, И. Г. Матвейчук, Т. И. Плотнокова и др. Обнинск: Артифлекс, 2010. 207 с.
- Клюев Н. А., Бродский Е. С. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Инф. вып. № 5 ВИНТИ. М., 2000. С. 31–63.
- Лукьянова О. Н., Бродский Е. С., Чуйко Г. М. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. Тюм. гос. ун-та. 2012. № 12. С. 119–126.
- Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
- Нигматулина Л. В., Кику Д. П., Черняев А. А. Оценка воздействия антропогенной деятельности на залив Находка (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 219–230.
- Огородникова А. А. Интегральные индикаторы воздействия гидротехнического строительства на биоресурсы залива Находка (залив Петра Великого, Японское море) // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 71–78.
- Петелин В. П. Гранулометрический анализ донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
- Потапова Л. И., Куприн П. Н., Фролова Л. В. Определение углерода органического вещества в донных осадках // Методы исследования органического вещества в океане. М.: Наука, 1980. С. 50–56.
- РД 52.10.556-95. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1997а. 50 с.
- РД 52.18.578-97. Методические указания. Массовая доля суммы изомеров полихлорбифенилов в пробах почвы. Методика выполнения измерений методом газожидкостной хроматографии. М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1997б. 35 с.
- Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Черкашин С. А., Пряжевская Т. С., Черняев А. П., Лукьянова О. Н. Влияние бенз(а)пирена на выживаемость предличинки японского анчоуса *Engraulis japonicus* // Изв. ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 270–275.
- Чижова Т. Л., Кудряшова Ю. В., Прокуда Н. А., Тищенко П. Я. Распределение полициклических ароматических углеводородов в воде, взвеси и донных отложениях эстуариев залива Петра Великого // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 6. С. 149–155.
- Annicchiarico C., Buonocore M., Cardellicchio N., Di Leo A., Giandomenico S., Spada L. PCBs, PAHs and metal contamination and quality index in marine sediments of the Taranto Gulf // Chem. and Ecol. 2011. Vol. 27:S1. P. 21–32. DOI: 10.1080/02757540.2010.536156
- Baumard P., Budzinski H., Garrigues P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea // Environ. Toxicol. Chem. 1998. Vol. 17. P. 765–776.
- Biselli S., Reineke N., Heinzl N., Kammann U., Franke S., Hühnerfuss H., Theobald N. Bioassay-directed Fractionation of Organic Extracts of Marine Surface Sediments from the North and Baltic Sea. Part I: Determination and identification of organic pollutants // J. Soils Sediments. 2005. Vol. 5, N 1. P. 171–181.
- Fillmann G., Readman J. W., Tolosa I., Bartocci J., Vileneuve J.-P., Cattini C., Mee L. D. Persistent organochlorine residues in sediments from the Black Sea // Mar. Pollut. Bull. 2002. Vol. 44. P. 122–133.
- Ivata H., Tanabe S., Aramoto M., Sakai N., Tatsukawa R. Persistent Organochlorine Residues in Sediments from the Chukchi Sea, Bering Sea and Gulf of Alaska // Ibid. 1994. Vol. 28, N 12. P. 746–753.
- Long E. R., MacDonald D. D. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems // Hum. Ecol. Risk Assess. 1998. Vol. 4. P. 1019–1039.
- MacDonald D. D., Carr R. S., Calder F. D., Long E. R., Ingersoll C. G. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters // Ecotoxicology. 1996. Vol. 5. P. 253–278.
- MacDonald D. D., Carr R. S., Eckenrodt D., Greening H., Grabe S., Ingersoll C. G., Janicki S., Janicki T., Lindsakoog R. A., Long E. R., Pribble R., Sloane G., Smorong D. E. Development, Evaluation, and Application of Sediment Quality Targets for Assessing and Managing Contaminated Sediments in Tampa Bay, Florida // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2004. Vol. 46. P. 147–161.
- Montero N., Belzunce-Segarra M. J., Menchaca I., Garmendia J. M., Franco J. Nieto O., Etxebarria N. Integrative sediment assessment at Atlantic Spanish harbours by means of chemical and ecotoxicological tools // Environ. Monit. Assess. 2013. Vol. 185. P. 1305–1318. DOI 10.1007/s10661-012-2633-xnco &
- Neser G., Kontas A., Unsalan D., Altay O., Darilmaz E., Uluturhan E., Kucuksezgin F., Tekogul F., Yercan F. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons pollution at the coast of Aliaga (Turkey) ship recycling zone // Mar. Pollut. Bull. 2012. Vol. 64. P. 1055–1059.

Readman J. W., Fillmann G., Tolosa I., Bartocci J., Villeneuve J.-P., Catinni C., Mee L. D. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea // *Ibid.* 2002. Vol. 44. P. 48–62.

Savinov V. M., Savinova T. N., Carroll J., Mathisov G. G., Dahle S., Naes K. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the White Sea, Russia // *Ibid.* 2000. Vol. 40. P. 807–818.

## **Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls in the Bottom Sediments from the Nakhodka Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea): Assessment of Pollution Level and Potential Toxicity**

E. V. ZHURAVEL<sup>1,3</sup>, A. P. CHERNYAEV<sup>1,2</sup>, L. I. SOKOLOVA<sup>1</sup>,  
E. M. CHUDOVSKAYA<sup>1</sup>, M. A. PROSHINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Far Eastern Federal University  
690600, Vladivostok, Sukhanova str., 8*

<sup>2</sup> *Pacific Research Institute of Fishery and Oceanography (TINRO)  
690091, Vladivostok, Shevtchenko str., 4*

<sup>3</sup> *A. V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, FEB RAS  
690041, Vladivostok, Palchevskogo str., 17  
E-mail: zhurul@rambler.ru*

The content of hydrocarbons, including polyaromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in the bottom sediments of the Nakhodka Bay was studied. It was shown that the content of the pollutants was similar to that of low polluted areas of the World Ocean. PAH and PCB concentration in the Nakhodka Bay did not exceed the toxic thresholds and did not pose any threat to the existence of aquatic organisms.

**Key words:** pollution, bottom sediments, polyaromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, the Nakhodka Bay.