

УДК 504.4.054:504.423

И.Д. РОСТОВ, Н.И. РУДЫХ, В.И. РОСТОВ

## Межгодовая динамика уровня загрязненности акваторий залива Петра Великого за последние 40 лет

*Представлены результаты анализа данных ежегодных наблюдений Росгидромета по программе государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морских вод в прибрежных акваториях зал. Петра Великого. Среди многочисленных загрязняющих веществ, поступающих в морскую среду, выбраны приоритетные для этих акваторий ингредиенты, характеризующие состояние морской среды по показателям повторяемости высоких концентраций, превышающих ПДК, и токсичности: хлорорганические пестициды, нефтяные углеводороды, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества и тяжелые металлы. Рассмотрены особенности межгодовой динамики среднегодовых и максимальных за отдельные периоды концентраций загрязняющих веществ, а также основные тенденции изменения состава и качества вод в результате антропогенных воздействий за многолетний период. Проанализированы случаи высокого и экстремально высокого загрязнения морской среды с привлечением имеющихся данных о возможных причинах и источниках загрязнения отдельных акваторий.*

*Ключевые слова:* залив Петра Великого, прибрежные воды, химическое загрязнение, концентрации загрязняющих веществ, межгодовые изменения.

**Interannual dynamics of pollution level of the Peter the Great Bay water areas for the last 40 years.**  
I.D. ROSTOV, N.I. RUDYKH, V.I. ROSTOV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*Results of annual data observation analysis on the Rosgidromet State monitoring program of hydrochemical state and pollution of sea waters in coastal areas of the Peter the Great Bay are presented. Among the numerous polluting substances, coming to the marine environment, priority ingredients for these water areas characterizing conditions of the marine environment on indicators of repeatability of the high concentrations exceeding maximum concentration limit, and toxicity are chosen: organochlorine pesticides, oil hydrocarbons, phenols, synthetic surface-active substances and heavy metals. Characteristics of interannual dynamics of the polluting substances average annual and maximal concentration for the separate periods and also main tendencies of composition and waters quality change as a result of anthropogenous impact for the long-term period are considered. Cases of high and extremely high marine pollution with attraction of the available data on the possible reasons and sources of pollution of certain areas are analyzed.*

*Key words:* Peter the Great Bay, coastal waters, chemical pollution, polluting substances concentration, interannual changes.

### Состояние проблемы

Прибрежные зоны зал. Петра Великого подвержены значительным изменениям естественных факторов среды, которые, к тому же, усугубляются сильнейшим антропогенным воздействием большого числа источников загрязнения. Эти морские районы относят

\*РОСТОВ Игорь Дмитриевич – кандидат географических наук, заведующий лабораторией, РУДЫХ Наталья Ивановна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, РОСТОВ Владимир Игоревич – научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток).

\* E-mail: rostov@poi.dvo.ru

к экологически неблагоприятным. Негативное влияние данных факторов на экологическое состояние морской среды, несмотря на ее высокую устойчивость и способность к восстановлению и самоочищению, особенно заметно в акваториях портов и отдельных муниципальных образований, что подтверждается результатами многочисленных исследований. Длительное химическое загрязнение вод прибрежных акваторий приводит к необратимым изменениям морской среды и биологических систем на разных уровнях, наносит ущерб биоценозам и в конечном счете представляет большую опасность для здоровья людей при использовании морских продуктов и акваторий в рыбохозяйственных и рекреационных целях. Поэтому динамика экологического состояния прибрежных морских акваторий, находящихся под влиянием климатических изменений в условиях активной хозяйственной деятельности, считается актуальной проблемой регионального природопользования.

В настоящее время регулярные наблюдения над уровнем химического загрязнения в зал. Петра Великого и восточной части Татарского пролива входят в программу государственного мониторинга, а нерегулярные и эпизодические проводятся в ходе междисциплинарных научных исследований. Регулярные наблюдения ведутся Росгидрометом в прибрежных акваториях морей России на сети гидрологических станций Общегосударственной службы наблюдений (ОГСН) за загрязнением вод и донных отложений по стандартной методике с конца 1960-х годов, а их результаты обобщаются и публикуются в ежегодниках [4] ограниченным тиражом. Несмотря на погрешности и различия в качестве данных, связанные с непрерывным совершенствованием методов их сбора и анализа и проведением в отдельные годы наблюдений по сокращенной методике, результаты мониторинга дают наиболее полное представление о многолетней динамике в толще вод и донных отложениях таких элементов, как биогенные вещества, тяжелые металлы, органические загрязняющие вещества, а также об общих показателях качества вод по растворенному кислороду, рН, содержанию взвешенных веществ и др.

В зал. Петра Великого регулярные наблюдения за состоянием вод осуществляются совместно Дальневосточным региональным научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом и Приморским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на протяжении последних 40 лет. Наблюдения включают ежегодный отбор проб на двух и более горизонтах с апреля по ноябрь 2–4 раза в месяц в бухтах Золотой Рог (5 ст.) и Диомид (1 ст.), прол. Босфор Восточный (3 ст.), заливах Амурский (9 ст.), Уссурийский (9 ст.) и Находка (12 ст.). Обычно отбирается около 450 проб воды, по которым проводится до 9 тыс. определений на 45 ингредиентов. Химический анализ проб воды и донных отложений выполняется методами, разработанными Государственным океанографическим институтом (ГОИН) Росгидромета [7, 15].

В последние годы Росгидрометом публикуются ежегодные обзоры состояния и загрязнения природной среды в Российской Федерации, включая морские воды, которые содержат общую информацию о воздействии антропогенных факторов на морскую среду с детализацией по отдельным регионам [11]. С 2011 г. на сайтах Администрации Приморского края ([prirodaprk@primorsky.ru](mailto:prirodaprk@primorsky.ru)) и Сахалинской области ежегодно размещаются обзорные доклады по этой проблеме с общими оценками экологической ситуации в регионе. В них отмечается, что наиболее загрязненными в российской части Японского моря являются акватории зал. Петра Великого, а в Татарском проливе – район г. Александровск-Сахалинский.

Основные источники загрязнения морской среды – водосброс предприятий и коммунальных хозяйств, реки и другие водотоки, ливневая канализация, сбросы с судов, неорганизованные или незарегистрированные источники, аварийные ситуации, атмосферные выпадения. Часть сточных вод, вызывающих химическое загрязнение прибрежной зоны, образуется на территории водосбора, а другая – сбрасывается непосредственно в зал. Петра Великого из указанных источников. В целом, по данным официальной статистики, наблюдаются снижение объема сточных вод предприятий, сельскохозяйственных объектов и изменение их состава, но одновременно в ряде работ отмечается возрастание стоков

из неучтенных источников (коммерческие предприятия сервисных услуг, особенно автотранспортные, припортовые территории, перенос из сопредельных территорий, дампинг грунтов). Некоторые авторы [1, 17] отмечают почти двухкратное уменьшение поступления загрязняющих веществ как для всей площади водосбора залива, так и непосредственно для его акватории за 20-летний период с конца 1980-х годов. К сожалению, публикуемые данные о поступлении загрязняющих веществ в воды отдельных заливов и бухт исследуемого района ненадежны и противоречивы, поэтому точно определить динамику их состава, объема и концентраций обычно весьма затруднительно [3]. Согласно экспертным оценкам [12], фактические объемы годовых поступлений отдельных загрязняющих веществ в воды залива многократно превосходят соответствующие оценки государственных статистических отчетов. Поэтому при анализе состояния и причин загрязнения акваторий нужно не только учитывать объем сточных вод или других загрязнителей, но и критически подходить к самой информации [5, 8, 9].

Среди многочисленных загрязняющих веществ, поступающих в морскую среду, значительную угрозу морским организмам представляют тяжелые металлы (ТМ), хлорорганические пестициды (ХОП), нефтяные углеводороды (НУ), синтетические и анионные поверхностно-активные вещества (СПАВ и АПАВ), или детергенты [13, 14], а также фенолы и нетоксичные органические и биогенные элементы [12]. Эти вещества, прежде всего НУ, являются наиболее распространенными в исследуемом районе и входят в перечень приоритетных в системе государственного мониторинга и при проведении научных исследований.

Изучению и оценке как самого загрязнения и состояния окружающей среды в целом, так и последствий антропогенного и техногенного пресса на среду и биоту зал. Петра Великого посвящено немало научных работ, которые позволяют в общих чертах охарактеризовать динамику процессов химического загрязнения за многолетний период [2, 5, 6, 9 и др.]. По данным наблюдений последних лет, наиболее загрязненными акваториями являются западная часть Уссурийского залива, вершина Амурского залива в месте впадения р. Раздольная, его восточная часть и бухта Золотой Рог. Предварительный анализ данных по составу и тенденциям химического загрязнения вод исследуемых акваторий показывает, что в составе поллютантов наблюдается тенденция снижения концентраций растворенного кислорода и фенолов, устойчивое увеличение концентраций НУ и СПАВ, а в отдельных районах – некоторых биогенных элементов, ХОП и ТМ.

На протяжении последних лет значительно обострились проблемы эвтрофикации и дефицита насыщенности кислородом вод прибрежных водоемов. Поступление биогенных элементов, изменение океанологических и гидрометеорологических условий, в частности температурного фона, оказывают влияние на скорость деструкции загрязняющих примесей, содержащих нестойкое органическое вещество [16]. Зафиксированы случаи воздействия органического загрязнения на формирование зон с экстремально низким содержанием кислорода в придонном слое, что приводит к заморным явлениям и массовой гибели гидробионтов. Следствием гиперэвтрофирования прибрежных вод зал. Петра Великого стали также и участвовавшие с начала 1980-х годов «красные приливы», обусловленные интенсивным развитием потенциально токсичных микроводорослей в Амурском заливе и бухте Золотой Рог. Биологические последствия органического загрязнения прибрежных вод российской части Японского моря прослеживаются достаточно четко и являются предметом самостоятельных исследований.

Естественно, что процессы химического загрязнения вод сопровождаются загрязнением донных осадков и влияют на донные морские организмы. Концентрации тяжелых металлов, органических поллютантов и патогенных субстанций в донных осадках прибрежных зон, тканях промысловых рыб и морских гидробионтов остаются неприемлемо высокими [1, 17].

Задача данной работы – оценить межгодовую динамику уровня загрязненности морских вод прибрежных районов зал. Петра Великого за 40 лет – с 1975 по 2014 г. С этой

целью проводится сравнительная оценка тенденций изменения химического состава, концентраций растворенных и взвешенных загрязняющих веществ в толще вод и экологического состояния водоемов с ранжированием по повторяемости случаев превышения значений ПДК основных загрязняющих веществ и последующим вычислением индекса загрязнения вод (ИЗВ), с учетом токсичности и опасности для морской биоты на основе принятых экологических норм.

### **Используемые данные и методические подходы**

В работе использованы данные ежегодных наблюдений в рамках программы государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морских вод, публикуемые ГОИН Росгидромета [4], за период с 1975 г. по настоящее время (в 1993 и 2003 гг. наблюдения на станциях сети не проводились). Основой для ежегодников ГОИН послужили отчеты центров и территориальных управлений Росгидромета: выпуски «Ежегодника качества морских вод по гидрохимическим показателям», содержащие обобщенные данные по отдельным регионам, и «Ежегодные гидрохимические данные о качестве морских вод», включающие постанционные сведения о концентрациях загрязняющих веществ. Эти материалы существуют в единичных экземплярах и хранятся в фондах организаций-владельцев информации. С 1992 г. значительная часть этой информации по прибрежной зоне зал. Петра Великого, кроме данных постанционных наблюдений, стала доступна в электронном виде на сайте ГОИН (<http://oceanography.ru/>).

Для решения задач настоящей работы указанные выше материалы были дополнены данными из ежегодников за предшествующие годы из библиотечных фондов. На основе всех этих источников составлены таблицы ежегодных средних и максимальных (для кислорода – минимальных) концентраций загрязняющих веществ в водах зал. Петра Великого для следующих районов: заливы Амурский, Находка, Уссурийский и бухта Золотой Рог (по данным 1975–2014 гг.), бухта Диомид и прол. Босфор Восточный (2004–2014 гг.).

Достоверность, сопоставимость и репрезентативность среднегодовых значений концентраций ( $C_{cp}$ ) загрязняющих веществ за многолетний период определяется однородностью временных рядов наблюдений (как указывалось выше, пропущены только два года – 1993 и 2003), проводившихся по единой, строго регламентированной методике на постоянной сетке станций. Неизбежные погрешности аналитических определений нивелировались в ходе обязательного контроля первичных данных, предусмотренного рабочими методическими документами Росгидромета, и их последующего осреднения по всем станциям и горизонтам наблюдений для каждой акватории.

На основе использованных данных были определены:

общие показатели уровня загрязнения вод зал. Петра Великого и повторяемость случаев превышения ПДК загрязняющих веществ в морской воде с учетом уровня токсичности и класса опасности для морской биоты на основе принятых экологических норм [10] за период наблюдений;

особенности межгодовой динамики концентраций загрязняющих веществ, а также основные тенденции изменения химического состава вод в заливах и бухтах в результате антропогенных воздействий;

тенденции изменения качества вод на основе расчета ИЗВ [4], позволяющего отнести воды исследуемых акваторий к определенному классу чистоты.

### **Результаты и обсуждение**

*Общие показатели уровня загрязнения вод.* Одним из необходимых этапов при оценке экологической ситуации той или иной акватории является выбор приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в морскую среду, т.е. тех, которые имеют наибольшие

фоновые концентрации и представляют значительную угрозу природным экосистемам. Для контроля показателей состояния водоемов широко используются способы нормирования концентраций загрязняющих веществ, уровень и устойчивость (повторяемость и длительность) превышения ПДК.

Согласно нормативным документам [10], выбранные для исследуемых акваторий приоритетные загрязняющие вещества имеют следующие значения ПДК:

Показатель	НУ, мг/л	Фенолы, мг/л	СПАВ, мкг/л	Cu, мкг/л	Fe, мкг/л	Pb, мкг/л	Zn, мкг/л	Hg, мкг/л	ХОП, нг/л
ПДК / Класс опасности	0,05 / 3	0,001 / 3	100 / 4	5 / 3	50 / 2	10 / 3	50 / 3	0,1 / 1	усл. 10 / 1

Эти значения (кроме ПДК цинка) оставались неизменными на протяжении всего 40-летнего периода наблюдений. Для цинка и кадмия в конце 1980-х годов существовали более жесткие нормы.

Повторяемость случаев превышения ПДК среднегодовых значений концентраций загрязняющих веществ определялась для двух групп акваторий: заливов Амурский, Уссурийский, Находка и бухты Золотой Рог, обеспеченных данными наблюдений за период 1980–2014 гг., прол. Босфор Восточный и бухты Диомид, для которых имеются данные за более короткий период – 2004–2014 гг. (рис. 1). При этом для растворенного кислорода нарушение кислородного режима фиксировалось в случае, когда минимальные за год значения его концентрации в толще вод (обычно на придонных горизонтах) были ниже нормативных значений 6 мг/л [10].

Как следует из рис. 1, воды всех исследуемых акваторий характеризуются высоким уровнем содержания НУ с частотой превышения ПДК в 55–75 % случаев для заливов Находка, Уссурийский и Амурский и в 100 % случаев для бухт Золотой Рог, Диомид и прол. Босфор Восточный. По фенолам повторяемость превышения ПДК изменялась от 80 до 100 %. Наиболее напряженная ситуация по этим загрязняющим веществам 3-го уровня опасности (показатель токсичности) сохранялась в течение всего периода наблюдений в бухтах Золотой Рог, Диомид и прол. Босфор Восточный. По растворенному кислороду наибольшее количество случаев обнаружения критических минимумов (95–100 %) за период наблюдений фиксировалось в Амурском заливе, бухте Золотой Рог и прол. Босфор Восточный. Повышенные концентрации СПАВ, ТМ и ХОП в рассматриваемые годы наблюдались значительно реже. Уровень повторяемости в 20 % был превышен по железу (бухты Золотой Рог и Диомид, прол. Босфор Восточный), цинку (зал. Находка), ртути (бухта Золотой Рог) и СПАВ (бухта Диомид).

*Межгодовая изменчивость концентраций загрязняющих веществ.* Наглядное представление об особенностях и общих тенденциях межгодовой динамики  $C_{cp}$  отдельных загрязняющих веществ в водах зал. Петра Великого дает рис. 2.

Общими особенностями временной динамики  $C_{cp}$  являются наличие однонаправленных трендовых составляющих в пределах всех акваторий зал. Петра Великого, квазисинхронный характер волнообразных изменений максимальных и минимальных значений  $C_{cp}$  во времени и существенное различие акваторий по составу и содержанию поступающих в них загрязняющих веществ. Эти особенности обусловлены относительно высокой интенсивностью процессов переноса и перемешивания поверхностных вод заливов и бухт, что приводит к распространению поступающих загрязняющих веществ от локальных источников, характерных для каждой акватории, в сопредельные районы.

В табл. 1 представлены количественные оценки уровня экстремального загрязнения вод исследуемых акваторий за отдельные периоды наблюдений.

Рассмотрим особенности межгодовой динамики  $C_{cp}$  отдельных загрязняющих веществ в акваториях зал. Петра Великого.

**Нефтяные углеводороды.** Относятся к числу наиболее распространенных в исследуемых районах загрязняющих веществ и представляют собой сложную смесь различных

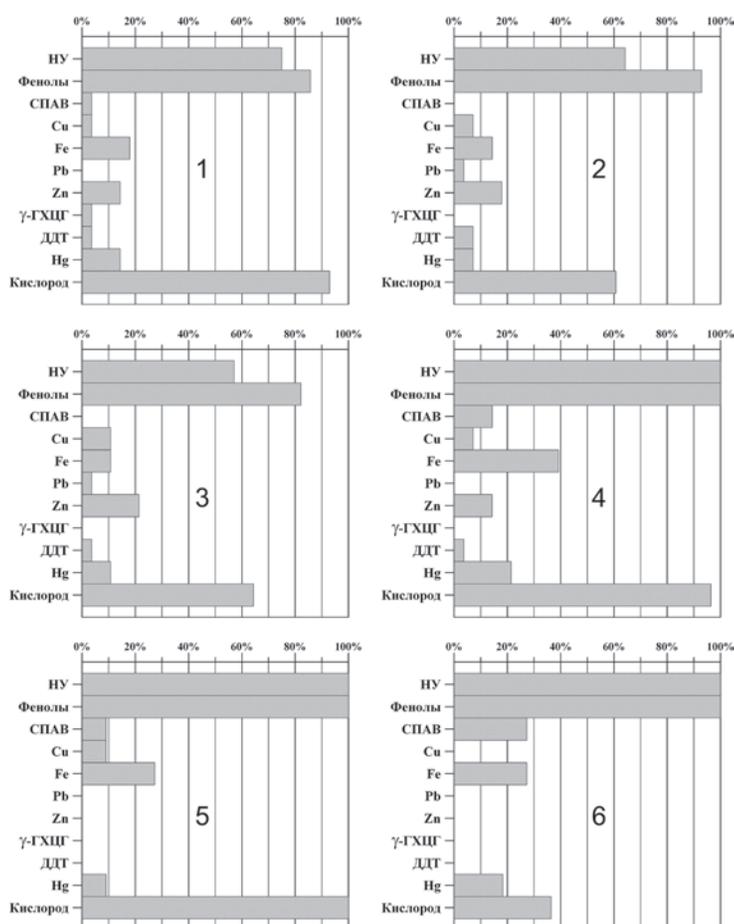


Рис. 1. Повторяемость случаев превышения ПДК загрязняющих веществ в заливах Амурском (1), Уссурийском (2), Находка (3), бухте Золотой Рог (4) за период 1980–2014 гг., в прол. Босфор Восточный (5) и бухте Дидомид (6) за период 2004–2014 гг.

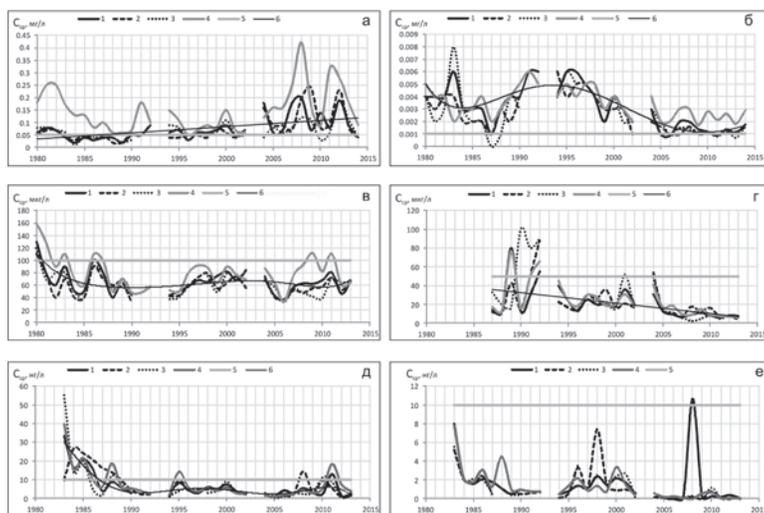


Рис. 2. Межгодовая изменчивость средних концентраций загрязняющих веществ: а – НУ, б – фенолов, в – СПАВ, г – цинка, д – ДДТ<sub>общ.</sub> (ДДТ + ДДЭ + ДДД), е – γ-ГХЦГ. Усл. обозначения: 1 – Амурский залив, 2 – Уссурийский залив, 3 – зал. Находка, 4 – бухта Золотой Рог, 5 – значение ПДК, 6 – линейная или полиномиальная аппроксимация (Амурский залив)

Максимальные концентрации загрязняющих веществ в водах зал. Петра Великого за отдельные периоды

Ингредиент	1980– 1989 гг.	1990– 1999 гг.	2000– 2009 гг.	2010– 2014 гг.	1980– 1989 гг.	1990– 1999 гг.	2000– 2009 гг.	2010– 2014 гг.
Амурский залив				Уссурийский залив				
НУ, мг/л	<u>0,08</u> 4,64	<u>0,09</u> 2,01	<u>0,20</u> 2,39	<u>0,19</u> 0,75	<u>0,07</u> 1,03	<u>0,13</u> 2,19	<u>0,24</u> 1,12	<u>0,23</u> 0,99
Фенолы, мг/л	<u>0,006</u> 0,038	<u>0,006</u> 0,019	<u>0,004</u> 0,010	<u>0,002</u> 0,007	<u>0,004</u> 0,031	<u>0,006</u> 0,018	<u>0,003</u> 0,013	<u>0,002</u> 0,005
СПАВ (АПАВ), мкг/л	<u>130</u> 370	<u>75</u> 188	<u>84</u> 457	<u>81</u> 135	<u>110</u> 440	<u>79</u> 198	<u>74</u> 168	<u>72</u> 156
Cu, мкг/л	<u>2,6</u> 29,0	<u>5,4</u> 36	<u>3,6</u> 47,0	<u>1,0</u> 6,0	<u>3,2</u> 14,5	<u>5,9</u> 27,0	<u>5,3</u> 13,0	<u>1,1</u> 8,0
Fe, мкг/л	<u>65</u> 1920	<u>91</u> 1250	<u>236</u> 719	<u>81</u> 1085	<u>39</u> 73	<u>65</u> 538	<u>492</u> 888	<u>43</u> 569
Zn, мкг/л	<u>80</u> 725	<u>55</u> 550	<u>36</u> 220	<u>8</u> 353	<u>15</u> 64	<u>88</u> 285	<u>54</u> 118	<u>17</u> 378
Hg, мкг/л	-	<u>0,17</u> 0,58	<u>0,10</u> 0,56	<u>0,08</u> 0,49	<u>0,007</u> 0,028	<u>0,10</u> 0,30	<u>0,08</u> 0,33	<u>0,06</u> 0,33
Растворенный кислород, мг/л	<u>8,9</u> 1,5	<u>8,7</u> 1,3	<u>8,1</u> 1,7	<u>8,5</u> 1,9	<u>9,2</u> 2,9	<u>9,1</u> 4,2	<u>8,1</u> 3,8	<u>9,2</u> 5,3
Зал. Находка				Бухта Золотой Рог				
НУ, мг/л	<u>0,08</u> 0,7	<u>0,09</u> 0,60	<u>0,12</u> 0,51	<u>0,19</u> 0,64	<u>0,25</u> 13,76	<u>0,18</u> 2,74	<u>0,42</u> 7,01	<u>0,32</u> 2,49
Фенолы, мг/л	<u>0,008</u> 0,05	<u>0,006</u> 0,022	<u>0,004</u> 0,012	<u>0,002</u> 0,003	<u>0,005</u> 0,058	<u>0,006</u> 0,028	<u>0,004</u> 0,017	<u>0,003</u> 0,014
СПАВ (АПАВ), мкг/л	<u>120</u> 300	<u>75</u> 267	<u>83</u> 183	<u>72</u> 141	<u>160</u> 670	<u>92</u> 322	<u>112</u> 367	<u>111</u> 231
Cu, мкг/л	<u>2,5</u> 20,8	<u>6,5</u> 120,0	<u>4,8</u> 29,0	<u>1,0</u> 10,0	<u>2,4</u> 45,0	<u>5,5</u> 44,0	<u>5,2</u> 133,0	<u>1,5</u> 13,0
Fe, мкг/л	<u>261</u> 817	<u>36</u> 390	<u>362</u> 2463	<u>36</u> 437	<u>80</u> 1520	<u>65</u> 610	<u>185</u> 845	<u>77</u> 624
Zn, мкг/л	<u>33</u> 795	<u>100</u> 1250	<u>52</u> 171	<u>9</u> 78	<u>77</u> 640	<u>66</u> 1722	<u>41</u> 168	<u>9</u> 138
Hg, мкг/л	<u>0,04</u> 0,21	<u>0,12</u> 0,44	<u>0,11</u> 0,29	<u>0,17</u> 1,42	<u>0,02</u> 0,07	<u>0,16</u> 0,57	<u>0,13</u> 0,47	<u>0,11</u> 0,49
Растворенный кислород, мг/л	<u>8,6</u> 4,0	<u>8,1</u> 4,4	<u>8,6</u> 5,0	<u>7,8</u> 4,9	<u>7,9</u> 0,1	<u>8,5</u> 1,3	<u>7,7</u> 1,5	<u>7,9</u> 1,6

Примечание. Над чертой – максимальное среднегодовое, под чертой – абсолютное максимальное (для кислорода – минимальное) значение содержания загрязняющих веществ за период наблюдения. По ТМ наблюдения проводились: для Cu – с 1983 г., Fe, Zn, Hg – с 1987 г. (в Амурском заливе содержание Hg определялось с 1990 г.).

углеводородов ациклического, нафтенового и ароматического гомологических рядов и соединений некоторых других классов. Чувствительность чаще всего применяемого на протяжении последних десятилетий метода инфракрасной спектроскопии (0,05 мг/л) достаточна для анализа общих тенденций изменения  $C_{cp}$  и случаев превышения ПДК [15].

Как видно из рис. 2а, в зал. Петра Великого в целом наблюдалась общая тенденция роста  $C_{cp}$  НУ за весь период наблюдений, оцениваемая следующими величинами достоверности линейной аппроксимации  $R^2$  (MS Excel): заливы Амурский – 0,39, Уссурийский – 0,35, Находка – 0,20, бухта Золотой Рог – 0,07. Более точное описание изменения  $C_{cp}$  во времени дает аппроксимация кривых полиномом 6-й степени. В этом случае значения коэффициента детерминации полинома  $R^2$  выше: 0,51, 0,37, 0,51 и 0,52 соответственно. Пики максимальных значений  $C_{cp}$  в водах этих акваторий, а также прол. Босфор Восточный

и бухте Диомид в последнее десятилетие приходится на 2007–2009 и 2011–2012 гг. После 2012 г. во всех этих районах наблюдается улучшение экологической ситуации по содержанию НУ до значений  $<1$  ПДК в заливах Амурском, Уссурийском, а в 2014 г. – также в зал. Находка.

Статистические данные органов государственного надзора о поступлении нефтепродуктов в воды зал. Петра Великого нельзя использовать для установления прямой зависимости динамики  $C_{cp}$  НУ в морской воде от антропогенных воздействий. В них в полной мере не учитывается ряд важных источников загрязнения, таких как естественные стоки с загрязненных участков территории водосбора, сбросы с судов, аварийные ситуации, неорганизованные источники и др. Так, по данным Амурского бассейнового водного управления Росводресурсов, полученным на основании статистических таблиц «2-ТП (водхоз)» и включаемым в ежегодники [4], в целом отмечается снижение объемов ежегодного поступления НУ в воды зал. Петра Великого с 200–400 т в 1980–1990 гг. до 30–60 т в последующие годы (с двумя максимумами в 2000-е годы). Только одно пиковое значение этого показателя (1050 т в 2007 г.) согласуется с ходом кривых  $C_{cp}$ , приведенных на рис. 2а.

В заливах Амурском, Уссурийском и Находка случаи высокого загрязнения вод НУ и устойчивого превышения ПДК отмечались в начале периода наблюдений и со второй половины 1990-х годов. На протяжении всего периода на некоторых станциях фиксировались отдельные случаи экстремально высокого загрязнения с многократным превышением уровня ПДК (рис. 2а, табл. 1), которые можно отнести к последствиям масштабных аварийных разливов или неучтенных сбросов нефтепродуктов.

Уровень загрязнения вод НУ в Уссурийском заливе несколько выше, чем в заливах Амурском и Находка практически в течение всего периода наблюдений. В бухте Золотой Рог среднегодовые концентрации НУ превышали ПДК в 8 раз, а экстремально высокие на отдельных станциях достигали 140 (2000 г.) – 275 (1988 г.) ПДК (табл. 2). В прол. Босфор Восточный и бухте Диомид в период 2004–2014 гг. величины  $C_{cp}$  НУ также постоянно превышали ПДК (до 8 раз), а разовые экстремумы на отдельных станциях достигали 2,35 мг/л (47 ПДК) в бухте Диомид в 2011 г. и 5,98 мг/л (120 ПДК) в прол. Босфор Восточный в 2008 г.

В результате водообмена НУ, поступившие в воду отдельных заливов и бухт, переносятся в сопредельные акватории, что отражается на общих чертах межгодовых изменений величин  $C_{cp}$  в каждой из них. Так, уровень взаимосвязи этих изменений для пар кривых, приведенных на рис. 2а, оценивается следующими значениями коэффициента корреляции:  $1/2 - 0,69$ ,  $2/3 - 0,67$ ,  $1/4 - 0,60$ ,  $2/4 - 0,55$  (при уровне значимости 90 %).

По оценочным данным [12], в 1990-е годы суммарный экологический ущерб, наносимый биоресурсам в результате химического загрязнения вод нефтепродуктами, для Амурского залива оценивался в 4 %, Уссурийского – в 22 %. В стоимостном выражении ущерб составлял 16,5 и 41,7 млн долл. США в год соответственно.

**Фенолы** – высокотоксичные соединения, оказывающие крайне неблагоприятное воздействие на живые организмы. В приоритетных списках веществ, загрязняющих природные воды, фенолы стоят на одном из первых мест, что объясняется большим объемом их производства и высокой токсичностью. Источниками поступления фенолов в морскую среду могут быть бытовые, промышленные и сельскохозяйственные сточные воды, аварийные разливы отходов производства, утечки при транспортировке, а также перенос по воздуху в результате испарения с поверхности воды и почвы. Кроме того, в объектах морской среды присутствуют фенолы природного происхождения, продуцируемые морскими водорослями [15]. Применяемая в практике химического мониторинга морской среды до середины 1990-х годов фотометрическая методика определения суммы фенолов и фенолоподобных веществ недостаточно чувствительна и может быть использована только для приблизительных оценок превышения ПДК фенолов в морской воде. Современная газохроматографическая методика обеспечивает приемлемую пороговую чувствительность концентраций до 0,0003 мг/л [7].

Таблица 2

## Максимальные концентрации ХОП в водах зал. Петра Великого за отдельные периоды, нг/л

Ингредиент	1983– 1989 гг.	1990– 1999 гг.	2000– 2009 гг.	2010– 2013 гг.	1983– 1989 гг.	1990– 1999 гг.	2000– 2009 гг.	2010– 2013 гг.
Амурский залив				Уссурийский залив				
ДДТ	<u>19,6</u> 6117	<u>5,1</u> 23,1	<u>4,9</u> 31,3	<u>2,0</u> 3,6	<u>20,1</u> 533	<u>5,7</u> 106,5	<u>12,4</u> 497,8	<u>1,4</u> 3,7
ДДЭ	<u>6,8</u> 2992	<u>2,2</u> 11,6	<u>3,1</u> 16,1	<u>8,3</u> 71,1	<u>4,9</u> 363,3	<u>2,0</u> 26,5	<u>1,5</u> 22,7	<u>6,0</u> 42,2
ДДД	<u>6,9</u> 7720	<u>1,7</u> 18,1	<u>1,7</u> 15,4	<u>2,6</u> 17,0	<u>6,5</u> 278,6	<u>2,1</u> 50,5	<u>1,1</u> 19,7	<u>2,5</u> 17,1
α-ГХЦГ	<u>2,7</u> 12,2	<u>0,8</u> 3,1	<u>1,0</u> 4,3	<u>0,3</u> 5,2	<u>3,3</u> 13,2	<u>0,8</u> 5,8	<u>1,6</u> 7,0	<u>0,4</u> 8,9
γ-ГХЦГ	<u>8,0</u> 87	<u>2,4</u> 9,0	<u>10,6</u> 83,4	<u>0,4</u> 5,6	<u>5,2</u> 446,8	<u>7,4</u> 26,5	<u>1,0</u> 4,7	<u>0,8</u> 5,4
Залив Находка				Бухта Золотой Рог				
ДДТ	<u>23,0</u> 565	<u>3,6</u> 14,8	<u>6,4</u> 17,4	<u>4,2</u> 28,5	<u>23,3</u> 13235	<u>8,7</u> 240	<u>4,0</u> 12,0	<u>3,0</u> 25,1
ДДЭ	<u>18,0</u> 243	<u>1,3</u> 6,7	<u>2,0</u> 9,2	<u>6,4</u> 65,4	<u>8,3</u> 6786	<u>2,6</u> 148	<u>2,8</u> 9,3	<u>12,2</u> 51,8
ДДД	<u>14,2</u> 239	<u>1,1</u> 8,8	<u>2,2</u> 13,1	<u>2,5</u> 33,8	<u>8,0</u> 4875	<u>2,9</u> 124	<u>0,9</u> 7,8	<u>4,2</u> 29,1
α-ГХЦГ	<u>2,1</u> 5,7	<u>0,6</u> 3,2	<u>1,3</u> 5,1	<u>0,2</u> 4,7	<u>3,9</u> 27,6	<u>1,1</u> 8,2	<u>5,3</u> 20,2	<u>0,2</u> 1,9
γ-ГХЦГ	<u>5,5</u> 40	<u>3,7</u> 12,7	<u>2,6</u> 11,3	<u>1,2</u> 14,5	<u>7,8</u> 406	<u>2,2</u> 14,3	<u>3,4</u> 14,0	<u>0,7</u> 4,4

Примечание. Над чертой – максимальное среднегодовое, под чертой – абсолютное максимальное значение содержания ХОП за период наблюдения. По α-ГХЦГ ряд наблюдений во всех заливах и бухтах начинается с 1986 г.

Как видно из рис. 1 и 2б, в течение большей части периода наблюдений  $C_{cp}$  фенолов в прибрежных водах зал. Петра Великого превышали ПДК. По своему общему направлению кривые межгодовых изменений  $C_{cp}$  в исследуемых районах согласуются между собой. В период наблюдения выделяются два временных интервала наибольшего фенольного загрязнения вод: первая половина 1980-х и 1990-е годы. В последующие годы одновременно с уменьшением объема сбросов неочищенных сточных вод повсеместно наблюдалось уменьшение  $C_{cp}$  фенолов и улучшение экологической ситуации по этому показателю (табл. 1). По данным официальной статистики [4], если в 1980-е годы годовой объем поступления фенолов в воды залива достигал 20 т и более, то к 2013 г. уменьшился до 2 т.

Относительно точное описание изменения  $C_{cp}$  фенолов во времени дает аппроксимация кривых полиномом 5-й степени (рис. 2б). В этом случае значения коэффициента детерминации полинома  $R^2$  составляют для заливов Амурский 0,64, Уссурийский 0,65, Находка 0,49 и бухты Золотой Рог 0,63.

В Амурском заливе наибольшие величины  $C_{cp}$  фенолов за выделенные периоды уменьшались от 0,006 до 0,002 мг/л, а экстремальные концентрации, наблюдавшиеся вблизи локальных источников загрязнения, составляли 0,038 (1986 г.), 0,019 (1996 г.), 0,01 (2000 г.) и 0,007 (2012 г.) мг/л (табл. 1). В Уссурийском заливе уровень загрязнения фенолами изменялся в том же диапазоне, а экстремальные значения достигали 0,031 (1987 г.), 0,018 (1990 г.), 0,013 (2005 г.) и 0,005 (2013 г.) мг/л. Такие же тенденции наблюдались в зал. Находка и бухте Золотой Рог.

В прол. Босфор Восточный и бухте Диомид в период с 2004 по 2014 г. величины  $C_{cp}$  фенолов в 4 раза превышали ПДК, а разовые экстремальные значения на отдельных станциях были в 6–8 раз выше нормы.

Взаимосвязь межгодовых изменений величин  $C_{cp}$  фенолов в исследуемых районах для пар кривых, приведенных на рис. 2б, характеризуется высокими значениями коэффициентов корреляции:  $1/2 - 0,77$ ,  $2/3 - 0,74$ ,  $1/4 - 0,77$ ,  $2/4 - 0,67$ .

По оценочным данным [12], суммарный экологический ущерб, наносимый в 1990-е годы биоресурсам Амурского и Уссурийского заливов в результате химического загрязнения вод фенолами, составлял 7,3 и 13,6 %, а в стоимостном выражении – 39,4 и 2,5 млн долл. США в год соответственно.

**Синтетическими поверхностно-активными веществами**, или детергентами, называют органические соединения ионного или молекулярного строения, обладающие поверхностно-активными свойствами и моющей способностью. Загрязнение морских вод СПАВ происходит в основном в результате сбросов неочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод. В последние годы резко возросли объемы применения СПАВ в сельском хозяйстве в качестве ядохимикатов и биологически активных соединений. Поэтому пространственно СПАВ, как и фенолы, локализуются в прибрежных водах. Постоянно увеличивающийся уровень производства и потребления СПАВ, а также невозможность полной очистки от них сточных вод делают задачу контроля содержания детергентов в природных, в частности морских, водах весьма актуальной.

Попадая в водоемы, СПАВ нарушает их санитарный режим: истощается запас растворенного кислорода, расходуемого на окисление детергентов, повышается концентрация НУ за счет их эмульгирования в поверхностных пленках детергентов, что, в свою очередь, приводит к накоплению ХОП, которые растворяются в этих пленках [14]. По токсичности воздействия на окружающую среду эти вещества относят к 4-му классу опасности.

Примерно с 1990-х годов малочувствительные химические методы определения детергентов (титриметрические, гравиметрические), а также колориметрические, применяемые Росгидрометом, заменяются физико-химическими инструментальными методами, позволяющими определять концентрации разнополярных групп СПАВ с точностью до 2 мкг/л [7, 15].

Как видно из рис. 1 и 2в, в течение большей части периода наблюдений величины  $C_{cp}$  СПАВ в прибрежных водах зал. Петра Великого не превышали установленных норм. Общий ход кривых межгодовых изменений  $C_{cp}$  СПАВ в исследуемых районах, как и для рассмотренных выше ингредиентов, демонстрирует единую тенденцию. Выделяется несколько временных интервалов наибольшего загрязнения вод, когда концентрация СПАВ превышала установленные значения ПДК: в начале периода наблюдений (все акватории) и в конце периода (бухта Золотой Рог). Отдельные пиковые значения хорошо согласуются с максимумами содержания СПАВ в сточных водах (от 100 до 250 т/год при общем фоне 25–80 т/год). Количественные оценки этих максимумов приведены в табл. 1. За редким исключением, они не превышали ПДК. В 2004–2014 гг. среднегодовое содержание СПАВ в прол. Босфор Восточный превышало ПДК только в 2011 г. (115 мкг/л), а в бухте Диомид – в 2005, 2008 и 2009 гг. (107–130 мкг/л). В эти годы здесь регистрировалось повышенное содержание СПАВ в сточных водах – от 117 до 208 т/год. Взаимосвязь межгодовых изменений величин  $C_{cp}$  СПАВ в исследуемых районах для пар кривых, приведенных на рис. 2в, характеризуется высокими значениями коэффициентов корреляции:  $1/2 - 0,77$ ,  $2/3 - 0,74$ ,  $1/4 - 0,77$ ,  $2/4 - 0,67$ .

Примерную характеристику изменения  $C_{cp}$  СПАВ во времени дает аппроксимация кривых полиномом 6-й степени (рис. 2в). В этом случае значения коэффициента детерминации полинома  $R^2$  составляют: для заливов Амурского – 0,35, Уссурийского – 0,29, Находка – 0,45 и бухты Золотой Рог – 0,53.

В отдельные годы регистрировались концентрации СПАВ, в 2–6 раз превышающие ПДК (табл. 1): в Амурском заливе – в 1980–1987 и 1999–2002 гг.; в Уссурийском заливе – в 1980–1981 и 1985–1986 гг.; в зал. Находка – в 1980, 1986 и 1996 гг.; в бухте Золотой Рог – в 1980–1988, 1992, 1997–1998, 2000, 2004, 2008 и 2012 гг. Одним из возможных неучтенных источников таких «залповых» поступлений СПАВ и других загрязняющих



Рис. 3. Поступление загрязняющих веществ в Амурский залив во время паводка в бассейне р. Раздольная в августе 2015 г. Изображение с ИСЗ Landsat-8 (<http://earthexplorer.usgs.gov>)

веществ в воды зал. Петра Великого являются паводки, характеризующиеся интенсивным увеличением расходов и уровней воды до значений опасного природного явления. Такие явления (их локализация, масштабы, интенсивность) регистрируются в соответствующих базах данных Росгидромета и отслеживаются спутниковыми наблюдениями (рис. 3).

Совместный анализ данных по опасным природным явлениям из информационной базы ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/data>) и данных о временных изменениях  $C_{cp}$  СПАВ указывает на наличие связи экстремально высоких концентраций загрязняющих веществ с паводковыми процессами в бассейнах рек Амурского и Уссурийского заливов.

По данным работы [12], суммарные экологические потери биоресурсов Амурского и Уссурийского заливов в результате загрязнения СПАВами в 1990-е годы оценивались 9,5 и 10 %, а в стоимостном выражении – 39,4 и 1,9 млн долл. США в год соответственно.

**Тяжелые металлы.** Определение ТМ в морской воде является одной из основных задач мониторинга морской среды. Кадмий, свинец, медь, кобальт, никель, хром признаны наиболее токсичными металлами, поступающими в морскую среду как при естественных процессах, так и в результате антропогенного воздействия. Железо и марганец, хотя и менее токсичны, играют важную роль в геохимическом поведении других

токсичных ТМ, что необходимо учитывать при проведении мониторинга загрязнения морской среды [14, 15].

Методы определения концентраций токсичных металлов, используемые Росгидрометом в системе государственного мониторинга в 1980-е годы, имели недостаточную чувствительность для анализа фоновых условий и могли быть использованы только при определении высоких концентраций металлов, например в шельфовых приустьевых водах. В результате совершенствования методики показатели чувствительности и погрешности определения содержания ТМ сегодня существенно улучшены. При соблюдении требований, описанных в методике [7, 15], минимально определяемые концентрации ТМ в морской воде составляют (в мкг/л): для ртути – 0,015, кадмия – 0,0015, хрома – 0,8, марганца – 0,2, железа – 2,0, меди – 0,015, свинца – 0,021, кобальта – 0,006, никеля – 0,018. При использовании современных спектрометров чувствительность анализа морских вод на ТМ может быть на порядок выше.

В табл. 1 приведены сравнительные количественные оценки  $C_{cp}$  и экстремальных концентраций ТМ в зал. Петра Великого в течение исследуемого периода по тем элементам, для которых имеются однородные ряды наблюдений. Как видно из рис. 1, наибольшее количество случаев превышения ПДК в акваториях залива наблюдалось по железу (2-й класс опасности) и цинку (3-й класс опасности). По ртути (1-й класс опасности) этот показатель превышает 10 % в заливах Амурском и Находка и 20 % в бухте Золотой Рог. По другим элементам общая продолжительность негативного воздействия повышенных концентраций ТМ на морскую среду несколько меньше. Однако  $C_{cp}$  и особенно разовые экстремальные значения концентраций на отдельных станциях довольно велики. По меди экстремальные концентрации наблюдались в зал. Находка (24 ПДК) и бухте Золотой Рог (27 ПДК), по железу – в заливах Находка (49 ПДК) и Амурском (38 ПДК), по цинку – в зал. Находка (24 ПДК) и бухте Золотой Рог (34 ПДК), по ртути – в заливах Находка (14 ПДК) и Амурском (6 ПДК).

Кривые межгодовые изменения  $C_{cp}$  ТМ в исследуемых районах, как и для других рассмотренных выше загрязняющих веществ, в общем согласуются между собой. По ним можно выделить несколько временных интервалов наибольшего загрязнения вод: для меди – 1990-е годы и 2004–2006 гг., железа – 2004 г., цинка – 1989, начало 1990-х годов и с конца 1990-х до 2004 г., ртути – 1992–1998, 2000–2002 и 2005–2011 гг., кадмия – 1997–2001 и 2005–2008 гг. В целом для рассматриваемого периода по большинству элементов (Cu, Fe, Zn, Hg, Co, Ni) прослеживаются общая тенденция снижения  $C_{cp}$  во всех заливах и бухтах и улучшение или стабилизация экологической обстановки по этим показателям. По концентрациям кадмия наблюдается противоположная ситуация. К 2014 г. уровень загрязненности прибрежных вод тяжелыми металлами (кроме железа) сократился до минимальных за рассматриваемый период значений и  $C_{cp}$  не превышало ПДК.

Взаимосвязь межгодовых изменений  $C_{cp}$  цинка в исследуемых районах для пар кривых, приведенных на рис. 2г, характеризуется следующими значениями коэффициента корреляции: 1/2 – 0,70, 2/3 – 0,32, 1/4 – 0,97, 2/4 – 0,81. Для меди они выше: 1/2 – 0,86, 2/3 – 0,87, 1/4 – 0,92, 2/4 – 0,90.

По оценочным данным [12], в 1990-е годы суммарный экологический ущерб, наносимый биоресурсам Амурского и Уссурийского заливов в результате загрязнения тяжелыми металлами, составлял 8,0 и 4,1 %, а в стоимостном выражении – 33,2 и 0,8 млн долл. США в год соответственно.

**Хлорорганические пестициды.** ХОП (ДДТ и его метаболиты ДДД и ДДЭ;  $\alpha$ -,  $\gamma$ -изомеры ГХЦГ) являются одними из наиболее опасных для окружающей среды веществ (1-й класс токсичности). В морскую среду они заносятся с промышленными и сельскохозяйственными стоками, в значительном количестве – с атмосферными осадками. Источником их поступления в природную среду могут быть также места хранения, захоронения или прямого сброса в водные объекты. Загрязняющие вещества этой группы обладают высокой токсичностью, устойчивостью к биологическому разложению и способностью

перемещаться на большие расстояния от места первичного поступления в природную среду. Они способны в течение длительного времени сохраняться в почве, грунтах морского дна и накапливаться в тканях гидробионтов, вызывая мутагенные изменения [14]. Для водных беспозвоночных высокотоксичной считается концентрация ДДТ всего 300 нг/л, а при концентрации в окружающей среде 100 мкг/л пестицид способен подавлять фотосинтез и рост зеленых водорослей.

Несмотря на запрет, ДДТ и  $\gamma$ -ГХЦГ (линдан) по сей день используют в сельском хозяйстве, в том числе для опрыскивания фруктовых садов и плантаций, поэтому они продолжают попадать в морскую среду. Для величины ПДК этих пестицидов в природных водах указано «отсутствие», но условно применяется ПДК <10 нг/л. Следовательно, контроль их концентраций в морской воде необходимо осуществлять с пределом обнаружения от десятых долей нг/л [7].

Как видно из рис. 1, количество случаев превышения ПДК хлорорганических пестицидов в исследуемых районах в течение всего периода наблюдений в целом невелико. Информация о межгодовой динамике  $C_{cp}$  хлорорганических пестицидов (ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЭ,  $\alpha$ -,  $\gamma$ -изомеров ГХЦГ) в акваториях зал. Петра Великого представлена в табл. 2. По ДДТ наблюдается двукратное превышение ПДК на всех акваториях, включая открытую часть залива, в середине 1980-х годов и дополнительный максимум в 2008 г. в Уссурийском заливе. Содержание ДДЭ и ДДД выше нормы в середине 1980-х годов зафиксировано в зал. Находка, прол. Босфор Восточный и бухте Диомид. Максимумы по изомеру  $\gamma$ -ГХЦГ зарегистрированы в Амурском и Уссурийском заливах в середине 1980-х годов, а также в 1998 и 2008 гг. соответственно. При этом экстремально высокие концентрации ХОП на отдельных станциях вблизи локальных источников загрязнения превосходили установленные ПДК в сотни раз (абсолютный максимум по ДДТ был отмечен в бухте Золотой Рог в 1988 г.).

Изменение во времени суммарного содержания ХОП группы ДДТ устанавливалось путем аппроксимации кривых полиномом 6-й степени (рис. 2д). Значения коэффициента детерминации полинома  $R^2$  составляют: для заливов Амурского – 0,83, Уссурийского – 0,84, Находка – 0,81, бухты Золотой Рог – 0,74. На рис. 2д можно выделить участки общего снижения  $C_{cp}$  ХОП с 1983 до 1992 г. и некоторый их рост на интервалах с 1995 до 2000 и с 2008 до 2012 г. Примерно в эти же годы наблюдались повышенные и экстремально высокие концентрации высокотоксичного изомера  $\gamma$ -ГХЦГ (линдана) в прибрежных водах зал. Петра Великого (рис. 2е).

Как известно, в природных условиях ДДТ постепенно переходит в более устойчивые и менее токсичные формы – ДДЭ и ДДД, и его концентрация со временем, при отсутствии «свежих» поступлений ХОП, снижается. Таким образом, соотношения ДДТ/ДДЭ и ДДТ/ДДД косвенным образом свидетельствуют о времени нахождения загрязняющих веществ в природной среде: если величина соотношений больше единицы, то загрязнение произошло относительно недавно, если меньше – можно считать, что мы имеем дело со следами более давних загрязнений [6, 14]. Массовые загрязнения ДДТ морских акваторий, наблюдаемые в 1980-е годы, прекратились к началу 1990-х годов (в бухте Золотой Рог – к 2004 г.), но вновь обнаружались в заливах Амурском, Уссурийском и Находка в 1995–2002 гг., а также во всех районах в отдельные периоды после 2008 г.

Взаимосвязь межгодовых изменений  $C_{cp}$  ДДТ<sub>общ.</sub> в исследуемых районах для пар кривых, приведенных на рис. 2д, характеризуется следующими значениями коэффициента корреляции: 1/2 – 0,61, 2/3 – 0,35, 1/4 – 0,93, 2/4 – 0,52.

Среднегодовое содержание ХОП группы  $\alpha$ -ГХЦГ и  $\gamma$ -ГХЦГ за период наблюдений во всех районах было ниже ПДК, кроме одного случая, когда в 2008 г. в Амурском заливе наблюдался пик содержания  $\gamma$ -ГХЦГ (рис. 2е), формально совпавший с началом подготовки к строительным работам на объектах саммита АТЭС-2012 на о-ве Русский (зачистка территории).

Известно, что если отношение более стабильного изомера  $\alpha$ -ГХЦГ к  $\gamma$ -ГХЦГ составляет менее единицы, то это свидетельствует о недавнем поступлении гексахлорциклогексана в окружающую среду [6]. В заливах Амурском, Уссурийском, Находка и бухте Золотой Рог такие «свежие» поступления устойчиво отмечались в период с 1994 по 2002–2004 гг., эпизодические всплески наблюдались и в другие периоды.

Оценить суммарный экологический ущерб, наносимый биоресурсам зал. Петра Великого в результате загрязнения хлорорганическими пестицидами, довольно трудно. Результатом воздействия экстремально высоких концентраций ХОП на морские гидробионты, к тому же сопровождавшегося нарушением кислородного режима [16], мог быть случай массовой гибели рыбы в Амурском заливе и прол. Босфор Восточный в сентябре 2008 г., по которому проводилась проверка Приморским УГМС, ТИНРО и надзорными органами.

*Тенденции изменения качества вод.* Одним из критериев качества морских вод является ИЗВ, рассчитываемый путем суммирования нормированных на соответствующую величину ПДК усредненных значений концентраций трех наиболее значительных для рассматриваемой акватории загрязнителей и растворенного в воде кислорода, нормированное значение которого определяется делением установленного норматива на реальное его содержание [4]. Использование этого индекса позволяет отнести воды того или иного района к определенному классу чистоты (табл. 3).

Кривые на рис. 4 характеризуют основные тенденции межгодовых изменений качества вод исследуемых районов за период наблюдений, оцениваемого по показателю ИЗВ с учетом ранее опубликованных данных [11]. Как видим, показатель качества вод этих акваторий изменялся в широком диапазоне: от минимальных значений, соответствующих классу

II («чистые»), в зал. Находка в 1987–1988 гг., до максимальных, отвечающих классу VI («очень грязные»), в бухтах Золотой Рог (2008 г.) и Диомид (2011 г.). Изменения ИЗВ во времени в разных районах характеризуются большим разбросом, но в отдельные годы они носят синхронный характер, отражая общие тенденции ухудшения состояния среды в

Таблица 3

Классы качества вод и значения ИЗВ [4]

Класс качества вод		Диапазон значений ИЗВ
Очень чистые	I	<0,25
Чистые	II	0,25–0,75
Умеренно загрязненные	III	0,75–1,25
Загрязненные	IV	1,25–1,75
Грязные	V	1,75–3,00
Очень грязные	VI	3,00–5,00
Чрезвычайно грязные	VII	>5,00

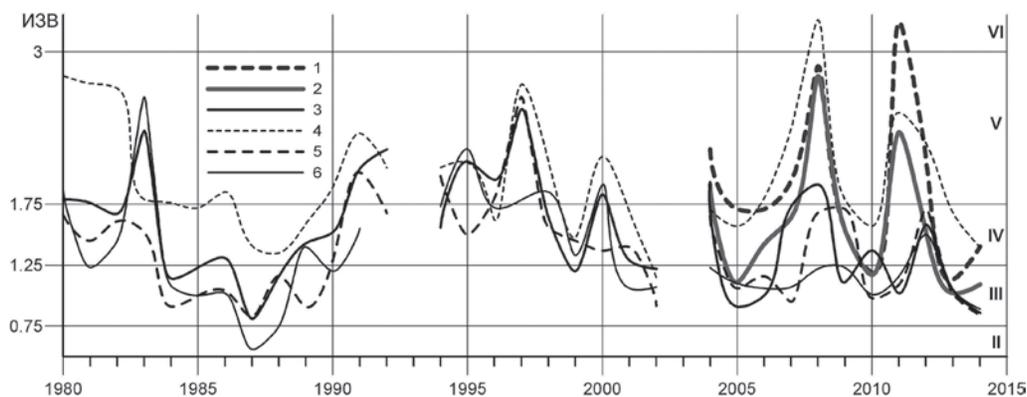


Рис. 4. Динамика индекса загрязненности вод акваторий зал. Петра Великого в 1980–2014 гг. Усл. обозначения: 1 – бухта Диомид, 2 – прол. Босфор Восточный, 3 – Амурский залив, 4 – бухта Золотой Рог, 5 – Уссурийский залив, 6 – зал. Находка

периоды мощных антропогенных воздействий и улучшения ее качества при ослаблении таких воздействий в процессе самоочищения.

Во все годы наблюдений воды бухты Золотой Рог оставались наиболее загрязненными. В наблюдениях последних лет негативная тенденция отмечалась для бухты Диомид и прол. Босфор Восточный. Однако в результате принятых природоохранных мер качество вод всех акваторий после 2012 г. улучшилось до класса «загрязненные» в бухтах Золотой Рог и Диомид и «умеренно загрязненные» в других районах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белан Т.А., Мощенко А.В., Лишавская Т.С. Долговременные изменения уровня загрязнения морской воды и состава бентоса в заливе Петра Великого // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 50–74.
2. Ващенко М.А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биология моря. 2000. Т. 26, № 3. С. 149–159.
3. Гаврилевский А.В., Гаврилова Т.А., Кочергин И.Е. Комплексная количественная оценка параметров источников загрязнения морской акватории, прилегающей к Владивостоку // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка на морскую среду. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 102–113. (Тр. ДВНИГМИ; темат. вып.).
4. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: ежегодник-2009 / ред. А.Н. Коршенко; ГОИН. Обнинск: Артифлекс, 2010. – <http://oceanography.ru/index.php/ru/2010-03-15-15-57-22>.
5. Лишавская Т.С., Севастьянов А.В., Чернова А.С., Чаткина Т.В. Мониторинг прибрежных районов залива Петра Великого // ДВНИГМИ – 60 лет. Юбилейный вып. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 97–112.
6. Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоков М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 55–63.
7. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в морских донных отложениях и взвеси. РД 52.10.556-95. М.: ГОИН, 1996. 47 с.
8. Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотников В.В., Войццкий А.В. Влияние дампинга загрязняющих грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивосток // Изв. ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 243–256.
9. Наумов Ю.А. Антропогенез и экологическое состояние геосистем прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2006. 300 с.
10. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 // Рос. газета. 2010. № 5125, 5 марта. – <http://www.rg.ru/2010/03/05/voda-dok.html>.
11. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 г. М.: Росгидромет, 2013. 178 с.
12. Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2001. 193 с.
13. Патин С.А. Особенности распределения и биологического действия загрязняющих веществ в Мировом океане. Эколого-токсикологическая характеристика крупномасштабного загрязнения морской среды // Человек и биосфера. 1982. Вып. 7. С. 62–71.
14. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана: в 8 т. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. Т. 1. Динамика и прогноз загрязнения океанических вод / под ред. А.И. Симонова. 145 с.
15. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243-92. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 262 с.
16. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И., Сергеев А.Ф., Волкова Т.И., Колтунов А.М., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 165. С. 136–157.
17. Шулькин В.М., Семькина Г.И. Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого и оценка их вклада в создание экологических проблем // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 252–287.