

УДК (551.46.09:504.42.054)(265.54)

И.Д. Ростов¹, Н.И. Рудых¹, В.И. Ростов¹, А.А. Воронцов^{2*}

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;

² Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, 249035, г. Обнинск Калужской обл., ул. Королева, 6

ТЕНДЕНЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Представлены результаты анализа межгодовых изменений гидрологических характеристик — температуры воды, солености и уровня моря — по данным срочных гидрометеорологических наблюдений на прибрежных станциях и постах Росгидромета в Японском море за период 1980–2015 гг. Показано, что эффекты современных глобальных климатических изменений по-разному проявляются в пределах рассматриваемого региона и усиливаются в последние десятилетия. По данным ежегодных наблюдений по программе государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морских вод в прибрежных акваториях рассмотрены особенности межгодовой динамики концентраций загрязняющих веществ и тенденции изменения состава и качества вод в результате антропогенных воздействий. Определены приоритетные ингредиенты, характеризующие состояние морской среды по показателям повторяемости высоких концентраций и токсичности: хлорорганические пестициды, нефтяные углеводороды, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества и тяжелые металлы.

Ключевые слова: Японское море, залив Петра Великого, Татарский пролив, прибрежные воды, климатические изменения, химическое загрязнение.

Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. Tendencies of climatic and anthropogenic changes of the marine environments in the coastal areas of Russia in the Japan Sea for the last decades // *Izv. TINRO.* — 2016. — Vol. 186. — P. 163–181.

Complex assessment of the marine environments changes in the coastal zone of the Japan Sea at Primorye and Sakhalin coasts is presented for the last 4 decades. Both natural and anthropogenic aspects of these changes are considered with the tasks: 1) to compare interannual variability of oceanographic parameters, as water temperature, salinity, and sea level, and reveal distinctions and common tendencies; 2) to define indicators of chemical pollution and find general features of interannual dynamics for polluting substances and water quality. The data of regular oceanographic observations at 11 coastal stations and the data of pollution

* *Ростов Игорь Дмитриевич, кандидат географических наук, заведующий лабораторией, e-mail: rostov@poi.dvo.ru; Рудых Наталья Ивановна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: rudykh@poi.dvo.ru; Ростов Владимир Игоревич, научный сотрудник, e-mail: vladimir@poi.dvo.ru; Воронцов Александр Анатольевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, e-mail: vorv@meteo.ru.*

Rostov Igor D., Ph.D., head of laboratory, e-mail: rostov@poi.dvo.ru; Rudykh Natalia I., Ph.D., senior researcher, e-mail: rudykh@poi.dvo.ru; Rostov Vladimir I., researcher, e-mail: vladimir@poi.dvo.ru; Vorontsov Alexander A. Ph.D., head of laboratory, e-mail: vorv@meteo.ru.

monitoring in certain areas conducted by hydrometeorological service of Russia (Roshydromet) in 1980–2015 are analyzed. Cyclic fluctuations with the period of 2–5 years prevail in year-to-year variability of oceanographic parameters being observed on the background of long-term trends, more significant in the 21st century. The sea surface temperature has a strong positive trend (up to 1.4° per 35 years) at many stations, with exclusion of 5 ones located in northwestern Sakhalin and central Primorye; the average trend for the whole area is 0.7° per 35 years. Majority of the stations have the significant positive trend in summer and fall, but Sovetskaya Gavan – in all seasons. For all stations, the lowest mean annual temperature was observed in 1980 and 1987, the highest one – in 1990. Salinity has a significant negative trend at all stations (up to –2.66 ‰ per 35 years), except Alexandrovsk-Sakhalinsky, with average value –1.3 ‰ per 35 years. The negative trend of salinity is more significant in spring and summer, though other tendencies could be seen locally in certain seasons. The sea level has a positive trend, significant at all stations in any season, with the maximal value in spring (on average 7 cm per 35 years that is 35–50 % of the range of seasonal fluctuations). Dynamics of pollution is described by frequency of high concentration (over the maximum permissible level) of organochlorine pesticides (HOPs), petroleum hydrocarbons (TPHs), phenols, detergents, and heavy metals. The high concentrations of TPHs and phenols are observed rather frequently, usually in the Tartar Strait and Peter the Great Bay (Golden Horn Bay, Diomid Bight, and Bosfor Vostochny Strait). In the latter area, the dangerous levels of dissolved oxygen content are observed, as well. Other pollutants don't exceed frequently the maximum permissible level.

Key words: Japan Sea, Peter the Great Bay, Tartar Strait, coastal waters, climatic change, chemical pollution.

Введение

Изучение процессов динамики экологического состояния прибрежных морских акваторий, находящихся под влиянием климатических изменений в условиях активной хозяйственной деятельности, составляет актуальную проблему регионального природопользования. Результаты подобных исследований важны для обеспечения экологической безопасности, рационального использования биоресурсов и устойчивого развития приморских территорий. Последствия этих изменений разнообразны, часто они различны для отдельных морей, могут быть и положительными, и отрицательными*. К ним относятся изменение атмосферной циркуляции и синоптических процессов, ледовых условий, температуры и солености на морской поверхности и их вертикального распределения, повышение уровня моря, гиперэвтрофирование и цветение вод, увеличение числа экстремальных и опасных природных явлений и др. (IPCC, 2007, 2013; Второй оценочный доклад..., 2014; Доклад..., 2015**; Плотников и др., 2015). Так, в Японском море при ослаблении муссонной циркуляции в последние десятилетия наблюдается выраженный положительный тренд средних интегральных значений температуры воды и уровня, а также разнонаправленные тенденции понижения или повышения солености вод поверхностного слоя различных участков акватории (Гидрохимия..., 2001***; Luchin et al., 2009; Дьяков, 2011; Гайко, 2013; Второй оценочный доклад..., 2014***).

* Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. 512 с.

** IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.; IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.; Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / науч. рук. В.М. Катцов, С.М. Семенов. М.: Росгидромет, 2014. 1005 с.; Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2014 г. М.: Росгидромет, 2015. 107 с.

*** Гидрохимия и гидрология морей. Т. 8: Японское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 399 с.; Второй оценочный доклад... (2014).

На возможные причины и неоднозначность проявления происходящих изменений за последние десятилетия в Дальневосточном регионе, их цикличность и многофакторность воздействия на биоту указывают результаты продолжающихся исследований и обобщающих работ (Шунтов и др., 2007, 2010; Глебова и др., 2009; Зуенко, 2009; Шатилина и др., 2016). Одним из источников сведений о важнейших естественных абиотических и антропогенных факторах, определяющих состояние и функционирование прибрежных экосистем, являются регулярные наблюдения на сети гидрометеорологических станций и постов (ГМС), а также данные государственного мониторинга химического загрязнения морской среды Росгидромета и результаты междисциплинарных научных исследований.

Обобщению и анализу данных гидрологических наблюдений на прибрежных ГМС в Японском море за различные годы посвящено множество работ. Большинство из них ограничивалось рассмотрением только данных по температуре воды (в отдельных работах — солености и уровня моря) и метеопараметрам на отдельных станциях сети (Гидрометеорологические условия..., 1976*; Oh et al., 1993; Карпова, Шатилина, 2000; Гайко, 2005, 2013; Дьяков, 2011; Василевская и др., 2013; и др.). Были определены основные черты и тенденции изменений этих характеристик за период наблюдений с 1930-х гг. и в вековом ходе. Однако межгодовые и сезонные особенности изменений этих и других гидрологических характеристик в прибрежных водах всей акватории как региональный отклик на глобальные процессы, происходящие в последние годы, оценены и изучены недостаточно.

Публикации по оценке химического загрязнения вод (ХЗВ) прибрежных акваторий посвящены анализу и обобщению данных отдельных съемок и временных серий в их связи с объемами поступающих в воду загрязняющих веществ (ЗВ) за отдельные годы или ряд лет и позволяют только в общих чертах и фрагментарно охарактеризовать многолетнюю динамику процессов ХЗВ, главным образом в зал. Петра Великого, его бухтах и эстуариях (Ващенко, 2000; Наумов, 2006; Белан и др., 2007; Лишавская и др., 2010; Симоконь, 2010; Лукьянова и др., 2012; и др.). В целом по данным официальной статистики наблюдается 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). В последнее десятилетие отмечается тенденция уменьшения в составе поллютантов концентрации фенолов, устойчивое увеличение концентраций нефтяных углеводородов (НУ), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), а в отдельных районах — хлорорганических пестицидов (ХОП), тяжелых металлов (ТМ) и нетоксичных ЗВ — органических и биогенных элементов, а также негативные изменения кислородного режима. Опубликованы многочисленные работы, посвященные изучению влияния естественных абиотических и антропогенных факторов, в том числе загрязнения, на биоту, включая воздействие на пелагические организмы, макрофиты, ареалы обитания и численность видов, воспроизводство донных гидробионтов и др. Так, учет и прогноз изменений факторов среды уже позволяет контролировать и прогнозировать процессы воспроизводства и выживания молоди донных гидробионтов, оказывающих значительное влияние на урожайность объектов марикультуры, выращиваемых экстенсивным методом в естественной среде, и оценивать допустимые экологические нагрузки (Симоконь, 2010; Гаврилова, Кучерявенко, 2011).

Цель настоящей работы — комплексная оценка изменений состояния морской среды прибрежной зоны исследуемого района за последние четыре десятилетия на фоне общего «потепления» климатических условий в морях дальневосточного бассейна и в результате антропогенных воздействий.

* Гидрометеорологические условия шельфовой зоны Японского моря : Тр. ДВНИГМИ. 1976. Вып. 27. 794 с.

Материалы и методы

Для анализа межгодовых изменений гидрологических характеристик использовались данные срочных наблюдений на прибрежных станциях и постах Росгидромета (рис. 1) за период 1980–2015 гг.

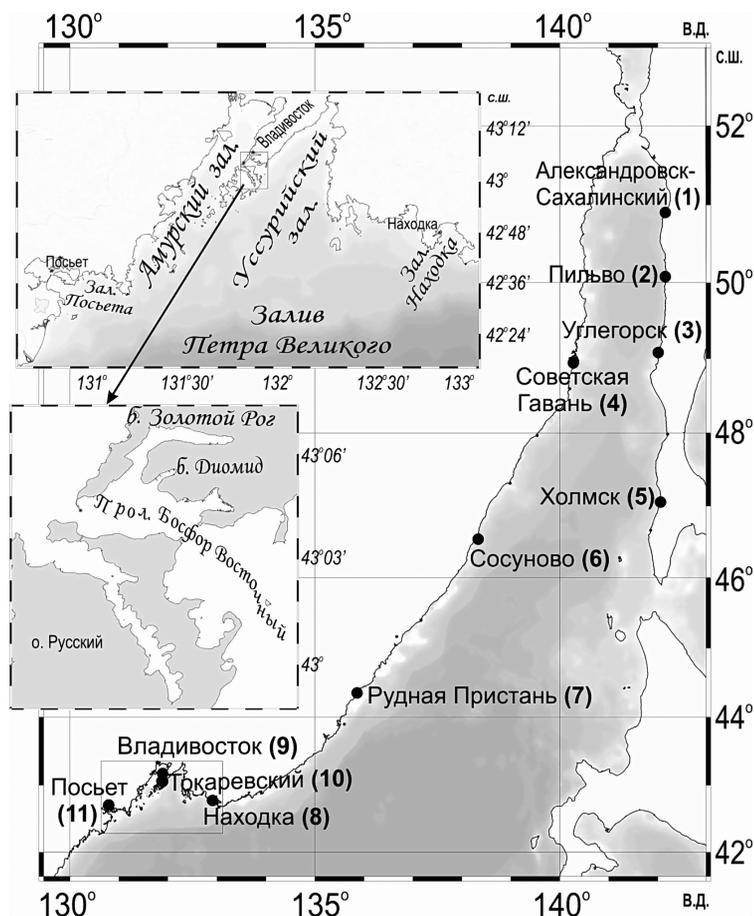


Рис. 1. Схема расположения районов исследований и станций наблюдений (1–11)

Fig. 1. Scheme of surveyed areas and stations of observation (1–11)

Источники данных — электронные базы данных ЕСИМО (<http://portal.esimo.ru/portal/>), ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/>), прошедшие первичный контроль по стандартной методике. По ним рассчитывались и корректировались ряды средних месячных и средних годовых значений. В зависимости от категории станции (поста) количество сроков наблюдений за исследуемый период составляло: по температуре воды — 12–50 тыс., по солености — 11–12 тыс. и по уровню моря —

около 300 тыс. Тренды оценивались для временных рядов, включающих среднегодовые значения наблюдаемых параметров и их аномалий, определяемых как отклонение от средней величины за все годы 30-летнего периода 1984–2013 гг. Статистические оценки и графические построения проводились с использованием средств ПО MS Excel и Grapher. В качестве критического значения коэффициента корреляции на 5 %-ном уровне значимости линейного тренда была принята величина 0,34 (коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,116$).

Для анализа динамики показателей химического загрязнения использованы данные ежегодных наблюдений Сахалинского и Приморского УГМС (совместно с ДВНИГМИ) в рамках программы государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морских вод за период 1980–2014 гг., публикуемые ГОИН Росгидромета*. Несмотря на имеющиеся погрешности и различия в качестве данных, связанные с непрерывным совершенствованием методов их сбора, анализа и проведением в отдельные годы наблюдений по сокращенной методике, они дают наиболее полное общее представление о многолетней динамике в толще вод и донных отложениях таких элементов, как биогенные вещества, тяжелые металлы, органические загрязняющие вещества, общие показатели качества вод по растворенному кислороду, рН, содержанию взвешенных веществ и др. Наблюдения включают ежегодный отбор проб

* Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодники / ред. А.Н. Коршенко (ГОИН). Обнинск: «Артифлекс» — <http://oceanography.ru/>.

на двух и более горизонтах с апреля по ноябрь до 2–4 раз в месяц: в бухте Золотой Рог (на 5 станциях), в бухте Диомид (1 ст.), в прол. Босфор Восточный (3 ст.), в Амурском заливе (9 ст.), в Уссурийском заливе (9 ст.), в зал. Находка (12 ст.), на акватории порта Александровск-Сахалинский и прилегающих районах — с мая по октябрь (5 ст.). Обычно отбирается около 500 проб воды, по которым проводится до 9 тыс. определений на 45 ингредиентов. На основе этих источников составлены таблицы ежегодных средних (C_{cp}) и максимальных (для кислорода — минимальных) концентраций ЗВ для зал. Петра Великого: заливы Амурский, Находка, Уссурийский и бухта Золотой Рог (по данным 1980–2014 гг.); бухта Диомид и прол. Босфор Восточный (2004–2014 гг.) и для Татарского пролива по акватории, прилегающей к г. Александровск-Сахалинский, за 1980–2014 гг. (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Климатические изменения

Выбранные для анализа ГМС располагались на севере на побережье Татарского пролива, а на юго-западе — Приморского края, включая зал. Петра Великого, в полосе $50^{\circ}54' - 42^{\circ}39'$ с.ш. Учитывая различия гидрометеорологических условий этих прибрежных акваторий шельфовой зоны, определяемых физико-географическим положением, влиянием региональных климатических и океанологических факторов, здесь можно выделить ряд обособленных районов. Они расположены у восточного и западного берегов Татарского пролива (район ТП), в северном Приморье от мыса Золотого до мыса Поворотного (район СП) и в прибрежной полосе зал. Петра Великого (район ЗПВ) (Гидрометеорологические условия..., 1976*; Дьяков, 2011). Основные климатические особенности региона складываются под влиянием муссонной циркуляции.

Общее представление о характере и тенденциях межгодовых изменений аномалий гидрометеорологических характеристик на выбранных ГМС дает рис. 2, на котором представлены кривые, осредненные по всем имеющимся данным наблюдений, общие тенденции и диапазон колебаний исследуемых параметров. Рассмотрим основные черты и особенности этих изменений на отдельных станциях, в выделенных подрайонах и районе в целом.

Температура воды. Температурный режим формируется при действии ряда факторов, основными из которых являются: муссонная циркуляция, компоненты теплового баланса, характер циркуляции Приморского и Цусимского течений, гео-

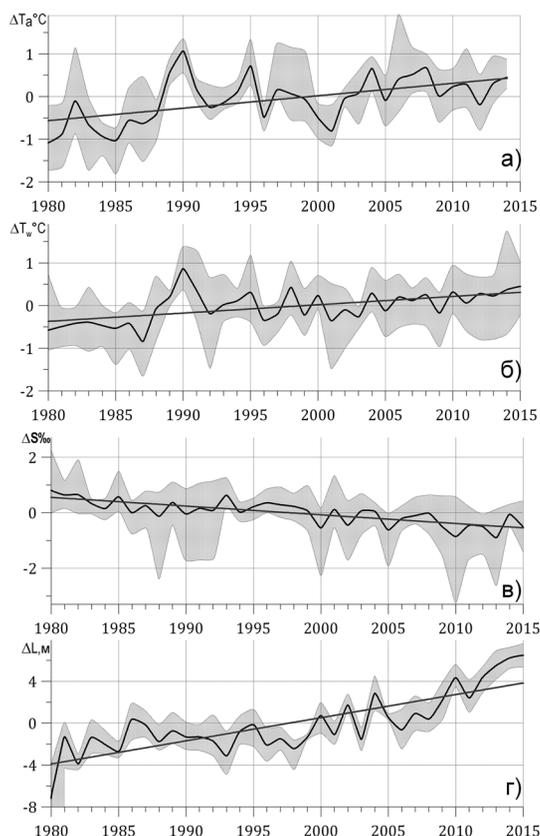


Рис. 2. Межгодовая изменчивость средних аномалий, тенденции и диапазон колебаний температуры воздуха (а), температуры воды (б), солености (в) и уровня моря (г) на прибрежных станциях и постах

Fig. 2. Year-to-year variability of average anomalies of air temperature (а), sea surface temperature (б), sea surface salinity (в), and sea level (г) on coastal stations and posts. Long-term trends and ranges of seasonal fluctuations are shown

* Гидрометеорологические условия... (1976).

морфологические особенности берегов и рельефа дна, воздействие местных условий*. Климат северной части Татарского пролива характеризуется наибольшей суровостью, что определяет соответственные особенности температурного режима вод и довольно сложные ледовые условия (Плотников и др., 2015). Размах сезонных колебаний температуры воды не превышает здесь 16 °С. Район СП находится под влиянием холодного Приморского и сильно трансформированных вод Цусимского течений. Особенности ветрового режима и морфологии берегов благоприятствуют возникновению апвеллинга и появлению у побережья обширных аномалий холодных вод на фоне естественных сезонных изменений 16–18 °С. Район ЗПВ отличается сравнительно мягким и теплым климатом. Размах сезонных колебаний температуры воды здесь возрастает в среднем до 18–20 °С.

На фоне нерегулярных колебаний величины температурных аномалий на 1–2 °С на каждой станции в исследуемый период, различающихся по амплитуде, но сходных по фазе, в целом прослеживается положительная трендовая составляющая межгодовых изменений температуры величиной около 0,7 °С (рис. 2, б). Подобные значимые тренды в ходе аномалий температуры воды наблюдались не только на большинстве прибрежных ГМС, но и на поверхности и в толще вод приповерхностного слоя прилегающих районов открытой части моря (Luchin et al., 2009; Лучин, Тихомирова, 2010; Дьяков, 2011).

Пространственные неоднородности и тенденции межгодовых изменений температуры воды в исследуемом районе характеризовались следующими особенностями (табл. 1). Средние за весь период наблюдений значения температуры воды в прибрежной зоне закономерно возрастали с севера на юг примерно на 4 °С. При этом размах межгодовых изменений среднегодовых значений в пунктах наблюдений изменялся в диапазоне от 1,8 °С (Посъет) до 2,7 °С (Холмск), а стандартные отклонения аномалий ($\sigma\Delta T_w$) на ГМС Холмск, Рудная Пристань и Находка были примерно в 1,5 раза выше, чем на других станциях.

Характер и тенденции межгодовых изменений температуры воды на ГМС за период наблюдений (названия станций см. на рис. 1)

Таблица 1

Table 1
Year-to-year changes and long-term trends of the sea surface temperature at coastal stations (see the stations at Fig. 1)

Показатель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Все ГМС
\bar{T}_w	5,17	5,65	5,69	5,46	7,01	5,37	6,46	7,51	9,00	8,25	9,37	6,81
$\Delta\bar{T}_w$	<u>6,26</u> 4,22	<u>6,75</u> 4,66	<u>7,07</u> 4,73	<u>6,48</u> 4,57	<u>8,29</u> 5,55	<u>6,64</u> 4,46	<u>7,80</u> 5,08	<u>8,64</u> 5,94	<u>9,90</u> 7,75	<u>10,00</u> 7,44	<u>10,17</u> 8,36	<u>10,17</u> 4,22
$T_w \pm$	+0,5	+0,3	+0,1	+1,1	+0,8	+0,2	+0,2	+1,4	+0,8	+0,7	+0,6	+0,7
$\sigma\Delta T_w$	0,43	0,45	0,45	0,51	0,69	0,57	0,61	0,64	0,48	0,39	0,47	0,37
R^2	0,11	0,04	<0,01	0,41	0,13	0,01	0,01	0,47	0,21	0,16	0,17	0,31
a	0,01	0,01	0,003	0,03	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02

Примечания. \bar{T}_w — среднее значение температуры воды, °С; $\Delta\bar{T}_w$ — экстремальные величины межгодовых изменений (над чертой — максимальное значение, под чертой — минимальное); $T_w \pm$ — тренд; $\sigma\Delta T_w$ — стандартное отклонение аномалий температуры; R^2 — коэффициент детерминации (жирным шрифтом выделены величины значимого тренда); a — коэффициент уравнения линейной регрессии тренда.

Тенденции увеличения температуры воды наблюдаются на всех станциях. При этом значимый положительный линейный тренд величиной от 0,6 до 1,4 °С в межгодовом ходе выявлен на всех станциях зал. Петра Великого на юге района, а на севере — только в Советской Гавани и Холмске. На других станциях, расположенных в районе СП, он не выражен, и здесь преобладают циклические колебания на фоне не-

* Гидрометеорологические условия... (1976); Гидрохимия и гидрология морей (2001).

значительного роста среднегодовых температур. Структура этих колебаний различна, но они согласованы для групп станций каждого из этих районов ($r = 0,6-0,9$), а между отдельными группами корреляционная связь этих изменений более слабая ($r = 0,4-0,5$). На ГМС Советская Гавань и Находка величина коэффициента, характеризующего угол наклона линии регрессии, в 1,5–2,0 раза превышала соответствующие значения для других станций.

Предварительный анализ данных об особенностях тенденций многолетних сезонных изменений $\Delta\bar{T}_w$ показал, что только на ст. 4 (рис. 1) положительный линейный тренд значим во все сезоны года, а на большинстве других — только летом (ст. 5, 7–11) и осенью (ст. 1–3, 10, 11). Именно только в летний и осенний сезоны здесь отмечены и значимые тренды температуры воздуха ($R^2 = 0,2-0,5$). Исключением является станция Холмск, где они значимы во все сезоны года.

На фоне общих тенденций в многолетнем ходе температуры воды наблюдается чередование «холодных» и «теплых» периодов с интервалом 2–5 лет. Исходя из величины соотношения аномалий $\Delta\bar{T}_w$ и стандартных отклонений $\sigma\Delta T_w$ (табл. 1), согласно ранее использовавшимся критериям (Терещенко, 1997; Карпова, Шатилина, 2000), были выделены годы, соответствующие пяти режимам теплового состояния вод: холодные, средние (нормальные), теплые, а также аномально холодные и аномально теплые (табл. 2). Обобщенно по данным всех ГМС наиболее холодными были 1980 и 1987 гг., а 1990 г. — наиболее теплым (см. рис. 2, б), который до сих пор остается абсолютным максимумом в вековом ходе (Карпова, Шатилина, 2000). В последнее десятилетие по мере постепенного увеличения средних значений температуры воды амплитуда колебаний $\Delta\bar{T}_w$ затухала, а величины $\sigma\Delta T_w$ в целом уменьшались.

Таблица 2
Аномально теплые (Т) и аномально холодные (Х) годы за период наблюдений над температурой воды (названия станций см. на рис. 1)

Table 2
Anomalously warm (T) and cold (X) years by the sea surface temperature at coastal stations (see the stations at Fig. 1)

Станция	1980-е гг.								1990-е гг.								2000-е гг.					
	1980	1	2	3	5	6	7	8	1990	1	2	5	6	8	2001	2	8	9	2010	2	2014	
1	X								T							X					T	
2					X				T	X												
3				X					T	X					X							
4	X	X	X				X				T									T		
5				X					T	X					X							
6	X		X				X		T	T		T										
7	X						X		T	T								X				
8	X		X		X	X								T								
9		X			X	X								T							T	
10			X		X	X							X				T				T	
11	T	X	X		X	X	X															

В основном ход этих изменений согласуется с колебаниями среднегодовых значений температуры воздуха (см. рис. 2, а) в результате совокупного воздействия адвективных и климатических факторов (особенностей муссонной циркуляции и теплообмена между морем и атмосферой). Однако если в многолетнем ходе температуры воды и воздуха всей совокупности станций (рис. 2, а, б) в целом наблюдается сильная корреляционная связь между изменениями этих характеристик ($r = 0,8$), то в пределах выделенных районов величины коэффициентов корреляции различны. Так, если на всех станциях, расположенных севернее ГМС Сосуново, эти величины составляют 0,7–0,8, то южнее Рудной Пристаней корреляционная связь ослабевает ($r = 0,4-0,5$), что объясняется особенностями и сменой гидрологических режимов акваторий — характером циркуляции вод, усилением апвеллинга и др. (Гайко, 2013), а в порту Владивосток ($r = 0,3$) — влиянием антропогенного фактора (Лучин и др., 2007). Ранее выполненные

исследования температурного режима прибрежных вод у юго-западного побережья Сахалина и результаты отдельных съемок северо-западной части моря (Гидрометеорологические условия..., 1976*; Карпова, Шатилина, 2000; Ванин, 2004; и др.) также указывают на преобладание адвективных факторов над климатическими в межгодовых изменениях температуры воды в этом районе в результате существенного влияния теплого Цусимского течения. Анализ межгодовых изменений расхода воды через Корейский (Цусимский) пролив (Андреев, 2014) показал возрастание этой величины за период 1979–2011 гг., сопровождающееся увеличением объема поступления более теплых и менее соленых вод в Японское море.

Характер изменения тенденций межгодового хода аномалий температуры воды и воздуха внутри исследуемого периода отражают величины «накопленных аномалий» (Василевская и др., 2013). В среднем на фоне общего положительного тренда увеличения температуры воды наблюдались периоды похолодания (1980–1987, 2000–2003 гг.), выраженные в преобладании отрицательных аномалий; относительной стабилизации изменений (1991–2000 гг.) и потепления (1988–1991 гг. и после 2003 г.). В целом по всему району характер изменений величин накопленных аномалий температуры воды и воздуха согласуется между собой ($r = 0,9$). Однако хорошо заметны индивидуальные различия в интенсивности и характере протекания этого процесса в выделенных районах (рис. 3, а). Так, в районе СП период устойчивого потепления наблюдался в 1987–1995 гг., после него отмечалась тенденция увеличения суммы отрицательных аномалий температуры и выхолаживания вод, несмотря на отсутствие таких тенденций в атмосфере, вновь сменившаяся потеплением вод с 2013 г. Эти тенденции являются следствием неоднозначности происходящих изменений климатических условий и циркуляционных факторов и требуют дальнейшего изучения.

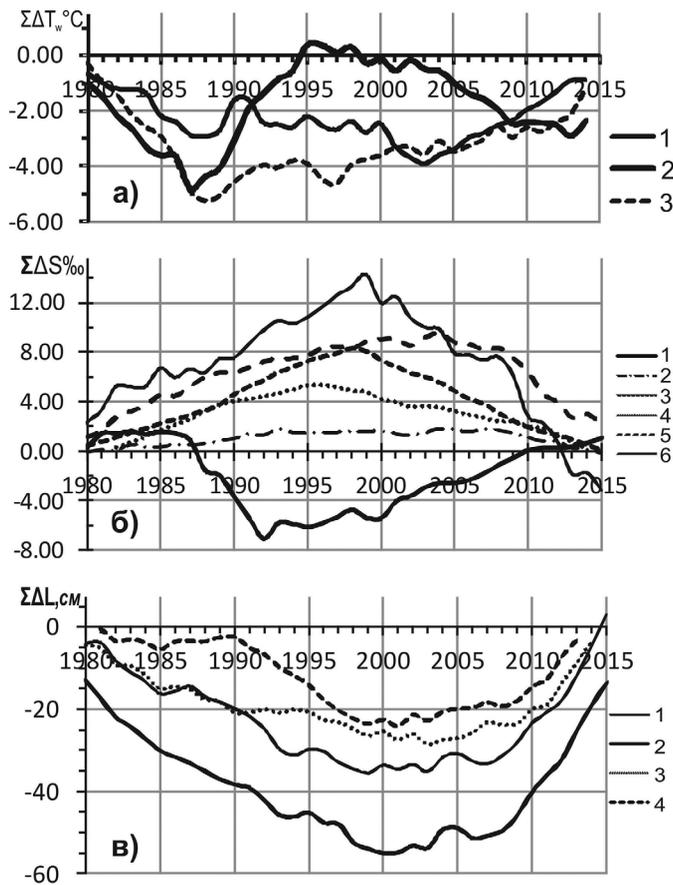


Рис. 3. Межгодовая изменчивость накопленных аномалий температуры воды (а) по отдельным районам: 1 — район ТП, 2 — район СП, 3 — район ЗПВ; солености (б): 1 — Александровск-Сахалинский, 2 — Углегорск, 3 — Холмск, 4 — Рудная Пристань, 5 — Владивосток, 6 — Посыет; уровня моря (в): 1 — Углегорск, 2 — Холмск, 3 — Владивосток, 4 — Посыет

Fig. 3. Year-to-year changes of accumulated anomalies: а — for the sea surface temperature, by areas: 1 — Tartar Strait, 2 — northern Primorye, 3 — Peter the Great Bay; б — for the sea surface salinity, by stations: 1 — Alexandrovsk-Sakhalinsky, 2 — Ulegorsk, 3 — Kholmok, 4 — Rudnaya Pristan, 5 — Vladivostok, 6 — Posyet; в — for the sea level, by stations: 1 — Ulegorsk, 2 — Kholmok, 3 — Vladivostok, 4 — Posyet

* Гидрометеорологические условия... (1976).

Соленость. Режим солености в верхнем слое прибрежных мелководных участков определяется процессами льдообразования и ледотаяния, стоком рек, соотношением атмосферных осадков и испарения, влиянием циркуляционных факторов и водообмена через проливы. Воды северной части Татарского пролива опреснены стоком из Амурского лимана и водами р. Тумнин. Опресненные воды обычно распространяются из вершины пролива вдоль побережья на юг. Внутригодовые колебания отличаются большим разнообразием и подвержены резким колебаниям в приустьевых участках*. Соленость воды на различных ГМС может изменяться разнонаправленно в связи с их расположением и особенностями гидрометеорологического режима.

На всех пунктах, кроме ГМС Александровск-Сахалинский, наблюдалась тенденция понижения солености за период наблюдений в среднем на 1,3 ‰ (см. рис. 2, в) на фоне общего, но незначительного увеличения среднегодовой суммы осадков. Тенденции понижения солености прослеживаются и в прилегающих мористых районах в поверхностном 20-метровом слое (Luchin et al., 2009).

Имеющиеся данные позволяют определить общие характеристики пространственных и межгодовых изменений солености отдельных участков прибрежных акваторий за последние десятилетия на примере шести ГМС (табл. 3). Согласно данным табл. 3 минимальные величины \bar{S} отмечались на севере района ТП (Александровск-Сахалинский) и юге района ЗПВ (Посъет), а максимальные — в юго-восточной части района ТП в области влияния ветви Цусимского течения. При этом размах межгодовых колебаний солености изменялся в зависимости от локальных физико-географических условий на этих станциях от минимальных величин 1,1–1,4 ‰ (Углегорск, Рудная Пристань) — до максимальных 3,8–4,1 ‰ (Александровск-Сахалинский, Посъет), что отражается в величине стандартных отклонений аномалий $\sigma\Delta S$.

Таблица 3

Характер и тенденции межгодовых изменений солености на отдельных ГМС за период наблюдений (названия станций см. на рис. 1)

Table 3

Year-to-year changes and long-term trends of salinity at coastal stations (see the stations at Fig. 1)

Показатель	1	3	5	7	9	11	Все ГМС
\bar{S}	30,37	32,73	32,95	32,21	31,91	31,20	31,90
$\Delta\bar{S}$	<u>31,80</u>	<u>33,30</u>	<u>33,80</u>	<u>32,87</u>	<u>33,00</u>	<u>32,96</u>	<u>33,80</u>
$S\pm$	27,99	32,25	32,17	31,43	29,87	28,86	27,99
$S\pm$	+0,70	-0,40	-1,30	-1,10	-1,57	-2,60	-1,40
$\sigma\Delta S$	0,89	0,27	0,49	0,38	0,65	1,27	0,75
R^2	0,07	0,18	0,60	0,76	0,52	0,40	0,60
a	0,02	-0,01	-0,04	-0,04	-0,05	-0,08	-0,03
r	-0,06	-0,58	-0,65	-0,65	-0,68	-0,66	-0,44

Примечания. \bar{S} — среднее значение солености, ‰; $\Delta\bar{S}$ — экстремальные величины межгодовых изменений (над чертой — максимальное значение, под чертой — минимальное); $S\pm$ — тренд; $\sigma\Delta S$ — стандартное отклонение аномалий; R^2 — коэффициент детерминации; a — коэффициент уравнения линейной регрессии тренда; r — коэффициент корреляции аномалий солености и суммы осадков (жирным шрифтом выделены величины значимого тренда и коэффициента корреляции).

Значимый отрицательный тренд в межгодовом ходе аномалий солености величиной от -0,4 до -2,6 ‰ выявлен на всех станциях за исключением ГМС Александровск-Сахалинский (табл. 3). Наибольшие величины угла наклона линии регрессии, характеризующие уменьшение солености, отмечались в зал. Петра Великого на ГМС Посъет и Владивосток. Предварительный анализ многолетних сезонных изменений аномалий солености показал, что эти особенности линейных трендов стабильно наблюдаются весной и летом, а в другие сезоны проявляются некоторые региональные различия в тенденциях этого процесса. Так, зимой на ст. 1 (Александровск-Саха-

* Гидрометеорологические условия... (1976).

линский) наблюдается положительный тренд $\Delta \bar{s}$, в то время как на ст. 3 (Углегорск) трендовая составляющая незначима. Осенью значимые тренды на станциях 1, 3 и 11 совсем не выражены.

Совместный корреляционный анализ рядов межгодовых изменений солёности и суммы осадков показал, что на пяти из шести пунктов наблюдений присутствует сильная корреляционная связь между изменениями этих характеристик ($r = -0,6 \dots -0,7$, табл. 3), которые происходят асинхронно. Только на ГМС Александровск-Сахалинский эта связь незначима, так как на изменения солёности в северной части акватории района ТП значительное влияние оказывают сток р. Амур и ветровой режим в безледовый период*.

Характер изменения тенденций межгодового хода аномалий солёности на различных временных интервалах отражают графики накопленных аномалий (рис. 3, б). Отчетливо заметны индивидуальные различия в интенсивности и характере протекания этого процесса в разных участках прибрежной зоны. На всех ГМС, кроме названной выше, до конца 1990-х гг. наблюдалась тенденция увеличения солёности, выраженная в преобладании положительных аномалий, а с 1999 г. — смена тенденции и устойчивое распределение вод.

Уровень моря. Многолетний ход уровня моря в исследуемом районе на выбранном временном интервале главным образом обусловлен изменением составляющих водного баланса, эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана в результате таяния льдов и изменения климата Земли. В предшествующее тридцатилетие здесь наблюдались слабо выраженные циклические колебания уровня относительно среднемноголетних значений, а значимые трендовые составляющие выражены не были**. Характер внутригодовых (сезонных) колебаний уровня довольно сложен (Гидрометеорологические условия..., 1976*; Oh et al., 1993; Гидрохимия и гидрология морей, 2001*). Основной вклад в формирование сезонных колебаний уровня моря вносят изменения плотности воды деятельного слоя моря в течение года, изменения атмосферного давления над Тихим океаном, приход (расход) воды через проливы, соединяющие Японское море с Тихим океаном и Охотским морем. Согласно опубликованным данным (Андреев, 2014) в период 1979–2011 гг. наблюдалось постепенное увеличение объема поступления более теплых вод в Японское море через Корейский (Цусимский) пролив (возрастание расхода в 1,3 раза) со значимым линейным трендом (по данным автора и нашим оценкам $R^2 = 0,58$; $a = 0,15$). Этот процесс сопровождается тепловым расширением и уменьшением плотности вод поверхностного слоя южной и центральной частей моря (Андреев, 2014).

Наиболее полные непрерывные ряды наблюдений за исследуемый период представлены четырьмя ГМС**, расположенными на западном побережье о. Сахалин и в зал. Петра Великого (станции 3, 5, 9 и 11, см. рис. 1). Во временном ходе аномалий уровня моря на этих станциях (см. рис. 2, г) прослеживаются флюктуации со значимой положительной трендовой динамикой. В среднем увеличение составило около 7 см за последние 35 лет (35–50 % диапазона наблюдаемых сезонных колебаний) вследствие регионального отклика на процессы глобального потепления. При этом межгодовые изменения расходов воды через Корейский (Цусимский) пролив и относительной плотности (Андреев, 2014) характеризуются значимыми величинами коэффициента корреляции с колебаниями уровня ($r = 0,5$ и $-0,4$).

Пространственная изменчивость аномалий колебаний уровня моря на реализациях средних годовых значений по отдельным станциям проявляется в увеличении амплитуды колебаний и наклона линии линейной регрессии, характеризующем тенденцию возрастания уровня по направлению с юга на север (табл. 4). Коэффициент парной корреляции этих колебаний для разных станций высок ($r = 0,8$). Анализ особенностей многолетних сезонных изменений уровня показал, что на всех ГМС положительный линейный тренд этих изменений устойчив и значим во все сезоны года, однако весной (на ст. Холмск летом) скорость подъема уровня, как правило, выше.

* Гидрометеорологические условия... (1976); Гидрохимия и гидрология морей (2001).

** Гидрохимия и гидрология морей (2001).

Характер и тенденции межгодовых изменений уровня моря на отдельных ГМС за период наблюдений (названия станций см. на рис. 1)

Year-to-year changes and long-term trends of the sea level at coastal stations (see the stations at Fig. 1)

Показатель	3	5	9	11	Все ГМС
ΔL	6,91 -13,03	7,23 -4,92	5,30 -4,49	5,38 -3,65	7,23 -13,03
$L \pm$	+10,3	+7,7	+5,9	+4,0	+7,0
R^2	0,66	0,56	0,52	0,27	0,62
a	0,30	0,22	0,17	0,12	0,21

Примечания. ΔL — аномалия уровня (над чертой — максимальное значение, под чертой — минимальное), см; $L \pm$ — тренд; R^2 — коэффициент детерминации (жирным шрифтом выделены величины значимого тренда); a — коэффициент уравнения линейной регрессии тренда.

Особенности межгодового хода изменений уровня моря в исследуемый период отражают графики накопленных аномалий (см. рис. 3, в). Характер изменений этих величин подобен, а их корреляционная связь очень высока ($r = 0,87-0,96$). На рис. 3 (в) видно, что в первой половине периода, до начала XXI в., преобладали отрицательные аномалии уровня, затем в течение 3–5 лет процесс изменения уровня стабилизировался, а в последующие годы происходило его монотонное повышение. Важно отметить, что в изменениях расхода воды через Корейский (Цусимский) пролив наблюдаются подобные тенденции, но переход соответствующих величин отрицательных аномалий к положительным наблюдался раньше (1993 г.), т.е. оба процесса сдвинуты по фазе на несколько лет. Этот факт является косвенным показателем процесса адаптации уровня поверхности акватории к происходящим изменениям водного и теплового баланса бассейна после периода относительной стабилизации 1950–1990-х гг.*

Общие показатели уровня загрязнения вод

Одним из необходимых этапов при оценке экологической ситуации той или иной акватории является выбор приоритетных ЗВ, поступающих в морскую среду, т.е. тех, которые имеют наибольшие фоновые концентрации и представляют значительную угрозу природным экосистемам по токсичности. Среди многочисленных ЗВ, поступающих в морскую среду, значительную опасность и угрозу по степени воздействия на морские организмы представляют ТМ, ХОП, НУ и СПАВ, или детергенты (Пагин, 1982; Проблемы..., 1985**), а также фенолы и нетоксичные ЗВ — органические и биогенные элементы (Огородникова, 2001). Эти вещества, и прежде всего НУ, являются наиболее распространенными в исследуемом районе и входят в перечень приоритетных в системе наблюдений государственного мониторинга и при проведении научных исследований. Для контроля показателей состояния водоемов используются способы нормирования концентраций загрязняющих веществ по уровню превышения ПДК, устойчивости/повторяемости и длительности.

Согласно нормативному документу*** выбранные для исследуемых акваторий приоритетные загрязняющие вещества имеют следующие значения ПДК (табл. 5).

Наиболее напряженная ситуация по повторяемости превышения ПДК наблюдалась для НУ и фенолов в бухтах Золотой Рог, Диомид и прол. Босфор Восточный. По

* Гидрохимия и гидрология морей (2001).

** Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана: в 8 т. Т 1: Динамика и прогноз загрязнения океанических вод / под ред. А.И. Симонова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 145 с.

*** Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20г. М.: Российская газета № 5125, 5 марта 2010 г. <http://www.rg.ru/2010/03/05/voda-dok.html>.

растворенному кислороду — в Амурском заливе, бухте Золотой Рог и прол. Босфор Восточный. Повышенные концентрации СПАВ, ТМ и ХОП в рассматриваемые годы наблюдались значительно реже. В прибрежных водах Татарского пролива у г. Александров-Сахалинский максимальные величины повторяемости превышения ПДК отмечены по НУ, фенолам и меди (табл. 5).

Межгодовая изменчивость концентраций загрязняющих веществ. Общими особенностями временной динамики концентрации ингредиентов являются наличие однонаправленных тенденций в пределах всех акваторий зал. Петра Великого, согласованный характер волнообразных изменений их значений во времени и существенное различие акваторий по составу и содержанию поступающих в них ЗВ. Эти особенности обусловлены относительно высокой интенсивностью процессов переноса и перемешивания поверхностных вод заливов и бухт зал. Петра Великого, что приводит к распространению поступающих загрязняющих веществ от локальных источников, характерных для каждой акватории, в сопредельные районы.

В табл. 6 представлены количественные оценки уровня экстремального загрязнения вод за период наблюдений.

Нефтяные углеводороды. В акваториях зал. Петра Великого (см. рис. 1) в целом наблюдалась тенденция снижения средних концентраций НУ за период с 1980 г. по начало 2000-х гг., сменившаяся ростом в последующие годы (рис. 4, а). В последнее десятилетие пики максимальных значений C_{cp} , многократно превышающих ПДК, приходятся на 2007–2009 и 2011–2012 гг. После 2012 г. во всех этих районах наблюдается некоторое улучшение экологической ситуации по содержанию НУ. В прибрежных водах Татарского пролива у г. Александров-Сахалинский до 2006 г. отмечались экстремально высокие величины концентрации НУ, после — отмечена тенденция на снижение C_{cp} до значений < 1 ПДК.

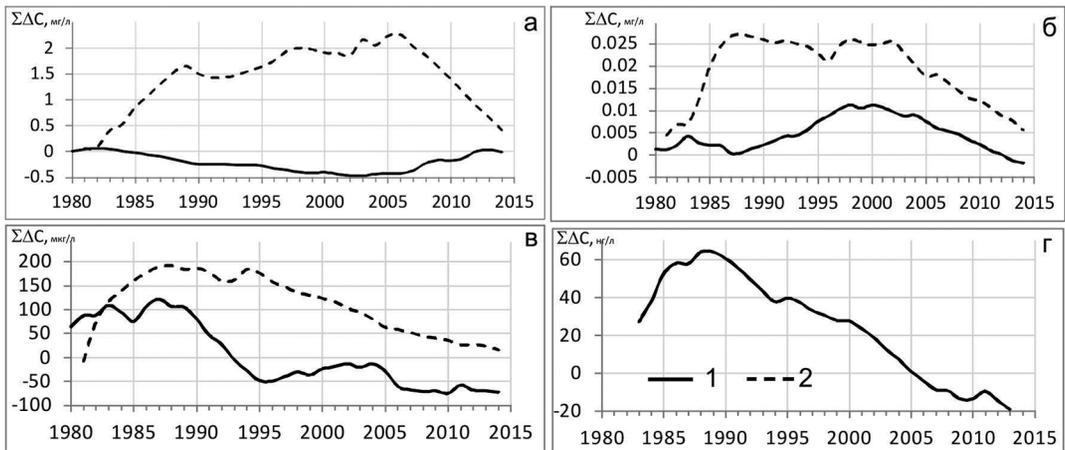


Рис. 4. Межгодовая изменчивость накопленных аномалий среднегодовых концентраций загрязняющих веществ: а — НУ, б — фенолы, в — СПАВ, г — ДДТ_{общ} (ДДТ+ДДЭ+ДДД); 1 — акватории зал. Петра Великого, 2 — исследуемый район Татарского пролива

Fig. 4. Year-to-year changes of accumulated mean annual anomalies of polluting substances: а — TPHs, б — phenols, в — detergents, г — total HOPs (DDT+DDE+DDD); 1 — Peter the Great Bay, 2 — controlled sites in the Tartar Strait

По статистическим данным госнадзора о поступлении нефтепродуктов в воды исследуемых акваторий установить прямую зависимость динамики НУ в морской воде от антропогенных воздействий не удастся, так как в них не в полной мере учитывается ряд источников загрязнения (естественные стоки с загрязненных участков территории, сбросы с судов, аварийные ситуации и др.). Так, по данным статистических таблиц «2-ТП (водхоз)», включаемых в ежегодники*, в целом отмечается снижение объемов ежегодного поступления НУ в воды зал. Петра Великого с 200–400 т в 1980–1990-е

* Качество морских вод... — <http://oceanography.ru/>.

Таблица 5

Количество лет с превышением ПДК приоритетных загрязняющих веществ
в водах исследуемых акваторий за период наблюдений

Table 5
Number of years in the period of observations (%) with events of the maximum permissible concentration excess, by polluting substances

Ингредиент	ПДК/класс опасности	Амурский залив	Уссурийский залив	Зал. Находка	Бухта Золотой Рог	Прол. Босфор Восточный	Бухта Диомид	Татарский пролив
НУ, мг/л	0,05/3	<u>1975–2014</u> 76	<u>1975–2014</u> 68	<u>1975–2014</u> 63	<u>1975–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 100	<u>1977–2014</u> 91
Фенолы, мг/л	0,001/3	<u>1975–2014</u> 90	<u>1975–2014</u> 95	<u>1975–2014</u> 87	<u>1975–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 100	<u>1977–2014</u> 71
СПАВ (АПAB), мкг/л	100/4	<u>1975–2014</u> 13	<u>1975–2014</u> 8	<u>1975–2014</u> 8	<u>1975–2014</u> 29	<u>2004–2014</u> 9	<u>2004–2014</u> 27	<u>1981–2013</u> 0
Сu, мкг/л	5/3	<u>1985–2014</u> 4	<u>1985–2014</u> 7	<u>1985–2014</u> 11	<u>1985–2014</u> 7	<u>2004–2014</u> 9	<u>2004–2014</u> 0	<u>2002–2013</u> 67
Fe, мкг/л	50/2	<u>1987–2014</u> 18	<u>1987–2014</u> 14	<u>1987–2014</u> 11	<u>1987–2014</u> 39	<u>2004–2014</u> 27	<u>2004–2014</u> 27	–
Pb, мкг/л	10/3	<u>1985–2014</u> 0	<u>1985–2014</u> 4	<u>1985–2014</u> 4	<u>1985–2014</u> 0	<u>2004–2014</u> 0	<u>2004–2014</u> 0	<u>2002–2013</u> 0
Zn, мкг/л	50/3	<u>1987–2014</u> 14	<u>1987–2014</u> 18	<u>1987–2014</u> 21	<u>1987–2014</u> 14	<u>2004–2014</u> 0	<u>2004–2014</u> 0	<u>2002–2013</u> 0
γ-ГХЦГ, нг/л	Усл. 10/1	<u>1983–2013</u> 4	<u>1983–2013</u> 0	<u>1983–2013</u> 0	<u>1983–2013</u> 0	<u>2004–2013</u> 0	<u>2004–2013</u> 0	–
ДДТ, нг/л	Усл. 10/1	<u>1983–2013</u> 4	<u>1983–2013</u> 7	<u>1983–2013</u> 4	<u>1983–2013</u> 4	<u>2004–2013</u> 0	<u>2004–2013</u> 0	–
Hg, мкг/л	0,1/1	<u>1990–2014</u> 14	<u>1987–2014</u> 7	<u>1987–2014</u> 11	<u>1987–2014</u> 21	<u>2004–2014</u> 9	<u>2004–2014</u> 18	–
Раств. O ₂ , мг/л	< 6	<u>1980–2014</u> 94	<u>1980–2014</u> 61	<u>1980–2014</u> 67	<u>1980–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 100	<u>2004–2014</u> 36	<u>2002–2013</u> 8

Примечание. Над чертой — период наблюдений, под чертой — количество лет за период наблюдений с превышением ПДК, %.

Таблица 6

Максимальные концентрации загрязняющих веществ в водах исследуемых акваторий за период наблюдений

Table 6

Maximal observed concentrations of polluting substances

Ингредиент	Амурский залив	Уссурийский залив	Зал. Находка	Бухта Золотой Рог	Прол. Босфор Восточный	Бухта Диомид	Татарский пролив
НУ, мг/л	<u>0,20</u>	<u>0,24</u>	<u>0,19</u>	<u>0,42</u>	<u>0,39</u>	<u>0,48</u>	<u>0,58</u>
	4,64	2,19	0,64	13,76	5,98	2,35	9,80
Фенолы, мг/л	<u>0,006</u>	<u>0,006</u>	<u>0,008</u>	<u>0,006</u>	<u>0,004</u>	<u>0,004</u>	<u>0,010</u>
	0,038	0,031	0,050	0,058	0,008	0,006	0,152
СПАВ (АПАВ), мкг/л	<u>130</u>	<u>110</u>	<u>120</u>	<u>160</u>	<u>115</u>	<u>132</u>	<u>100</u>
	457	440	300	670	192	169	460
Cu, мкг/л	<u>5,4</u>	<u>5,9</u>	<u>6,5</u>	<u>5,5</u>	<u>4,9</u>	<u>4,2</u>	<u>16,0</u>
	47	27	120	133	22	12	37
Fe, мкг/л	<u>236</u>	<u>492</u>	<u>362</u>	<u>185</u>	<u>198</u>	<u>140</u>	—
	1920	888	2463	1520	811	498	—
Zn, мкг/л	<u>80</u>	<u>88</u>	<u>100</u>	<u>77</u>	<u>45</u>	<u>30</u>	<u>38</u>
	725	378	1250	1722	265	107	241
Hg, мкг/л	<u>0,17</u>	<u>0,10</u>	<u>0,17</u>	<u>0,16</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	—
	0,58	0,33	1,42	0,57	0,49	0,49	—
ДДТ, нг/л	<u>19,6</u>	<u>20,1</u>	<u>23,0</u>	<u>23,3</u>	<u>2,4</u>	<u>2,4</u>	—
	6117	533	565	13235	24	12	—
ДДЭ, нг/л	<u>8,3</u>	<u>4,9</u>	<u>18,0</u>	<u>12,2</u>	<u>9,1</u>	<u>14,2</u>	—
	2992	363	243	6786	43	43	—
ДДД, нг/л	<u>6,9</u>	<u>6,5</u>	<u>14,2</u>	<u>8,0</u>	<u>5,7</u>	<u>4,4</u>	—
	7720,0	278,6	239,0	4875,0	22,0	9,0	—
α -ГХЦГ, нг/л	<u>2,7</u>	<u>3,3</u>	<u>2,1</u>	<u>5,3</u>	<u>2,0</u>	<u>7,0</u>	—
	12,2	13,2	5,7	27,6	13,9	14,0	—
γ -ГХЦГ, нг/л	<u>10,6</u>	<u>7,4</u>	<u>5,5</u>	<u>7,8</u>	<u>0,5</u>	<u>0,9</u>	—
	87	446	40	406	3	5	—
Раств. O ₂ , мг/л	<u>8,1</u>	<u>8,1</u>	<u>7,8</u>	<u>7,7</u>	<u>8,2</u>	<u>8,4</u>	<u>8,7</u>
	1,3	2,9	4,0	0,1	1,7	5,6	5,5

Примечание. Для каждого ингредиента в верхней строке указано наибольшее среднее годовое значение ($C_{\text{ср}}$), в нижней — абсолютный максимум (для кислорода — наименьшее) за период наблюдений.

гг. до 30–60 т в последующие годы (с двумя максимумами в 2000-е гг.). Только одно пиковое значение этого показателя (1050 т в 2007 г.) согласуется с ходом межгодовых изменений $C_{\text{ср}}$. Количественные оценки величин максимальных концентраций НУ в водах исследуемых акваторий приведены в табл. 6.

Фенолы. На протяжении большей части периода наблюдений $C_{\text{ср}}$ фенолов в прибрежных водах превышала ПДК (см. табл. 5). На рис. 4 (б) выделяются два временных интервала наибольшего фенольного загрязнения вод: первая половина 1980-х и 1990-е гг. С начала 2000-х гг., одновременно с уменьшением объема сбросов неочищенных сточных вод, повсеместно наблюдалось уменьшение $C_{\text{ср}}$ фенолов и улучшение экологической ситуации по этому показателю. По данным официальной статистики* в 1980-е гг. годовой объем поступления фенолов в воды зал. Петра Великого достигал 20 т и более, а к 2013 г. уменьшился до 2 т. Количественные оценки величин максимальных концентраций фенолов в водах исследуемых акваторий приведены в табл. 6.

Синтетические поверхностно-активные вещества. $C_{\text{ср}}$ СПАВ в прибрежных водах за период наблюдений в основном превышали установленные нормы (см. табл.

* Качество морских вод... — <http://oceanography.ru/>.

5) и были минимальными в прибрежной зоне г. Александровск-Сахалинский. Выделяется несколько временных интервалов, характеризующих динамику положительных и отрицательных аномалий концентраций этого ЗВ (рис. 4, в). 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. 6. По данным наблюдений на отдельных станциях в некоторых случаях отмечалось 4–6-кратное превышение ПДК по концентрации СПАВ. Одним из возможных неучтенных источников таких «залповых» поступлений СПАВ и других загрязняющих веществ в воды зал. Петра Великого являются паводки, достигающие уровня опасного природного явления. Такие случаи (их локализация, масштабы и интенсивность) регистрируются в соответствующих базах данных Росгидромета и могут отслеживаться спутниковыми наблюдениями (Ростов и др., 2015).

Тяжелые металлы. Однородные ряды наблюдений за ТМ в зал. Петра Великого имеются не для всех элементов (см. табл. 5), а по Татарскому проливу — только за последние 13 лет. Наибольшее количество случаев превышения ПДК в акваториях залива наблюдалось по железу (2-й класс опасности) и цинку (3-й класс) (табл. 5). По ртути (1-й класс) они отмечены в заливах Амурский, Находка и в бухте Золотой Рог. Превышение ПДК по меди в Татарском проливе составляло 67 %. 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 (см. табл. 6). Межгодовые изменения C_{cp} ТМ в исследуемых районах зал. Петра Великого в общем согласуются между собой. В целом для рассматриваемого периода по большинству элементов наблюдалась общая тенденция снижения C_{cp} во всех заливах и бухтах. Однако в 2014 г. уровень загрязненности прибрежных вод тяжелыми металлами вновь увеличился.

Хлорорганические пестициды. ХОП (ДДТ и его метаболиты ДДД и ДДЭ; α -, γ -изомеры ГХЦГ) являются одними из наиболее опасных для окружающей среды загрязняющих веществ. Количество случаев превышения ПДК C_{cp} хлорорганических пестицидов в зал. Петра Великого (по Татарскому проливу данных нет) в течение всего периода наблюдений было в целом невелико (см. табл. 5). В середине 1980-х гг. отмечалось двукратное превышение ПДК по ДДТ на всех акваториях, где проводились наблюдения (табл. 5) и повышенные средние концентрации ДДЭ и ДДД в зал. Находка и бухте Золотой Рог (см. табл. 6). Среднегодовое содержание ХОП группы α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ за период наблюдений во всех районах было ниже ПДК, кроме одного случая, когда в 2008 г. в Амурском заливе наблюдался пик содержания γ -ГХЦГ, формально совпавший с началом подготовки к строительным работам на объектах саммита АТЭС-2012 на о. Русском (зачистка территории). 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.).

Величины отношения концентраций ДДТ/ДДЭ и ДДТ/ДДД косвенным образом свидетельствуют о времени нахождения загрязняющих веществ в природной среде (Проблемы..., 1985*; Лукьянова и др., 2012). Массовые загрязнения ДДТ морских акваторий, наблюдаемые в 1980-е гг., прекратились к началу 1990-х гг. (в бухте Золотой Рог — к 2004 г.), но вновь обнаружился в заливах Амурском, Уссурийском и Находка в 1995–2002 гг., а также во всех районах в отдельные периоды после 2008 г. В свою очередь, с учетом стабильности изомеров α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, если отношение их концентраций составляет менее единицы, то это свидетельствует о недавнем поступлении гексахлорциклогексана в окружающую среду (Лукьянова и др., 2012). 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.

* Проблемы химического загрязнения... (1985).

Результатом воздействия экстремально высоких концентраций ХОП на морские гидробионты, к тому же сопровождавшегося нарушением кислородного режима (Тищенко и др., 2011), мог быть случай массовой гибели рыбы в Амурском заливе и прол. Босфор Восточный в сентябре 2008 г., по которому проводилась проверка Приморским УГМС, ТИПРО-центром и надзорными органами.

Тенденции изменения качества вод. Одним из критериев качества морских вод является индекс загрязненности вод (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. Использование этого индекса позволяет отнести воды того или иного района к определенному классу чистоты*.

Анализируя тенденции межгодовых изменений качества вод исследуемых районов по показателю ИЗВ с учетом ранее опубликованных данных**, следует отметить широкий диапазон его изменчивости: от минимальных значений, соответствующих классу II («чистые»), до максимальных, отвечающих классу VII («очень грязные»). В отдельные годы в зал. Петра Великого изменения ИЗВ во времени носят синхронный характер, отражая общие тенденции ухудшения состояния среды в периоды мощных антропогенных воздействий и улучшения ее качества при ослаблении таких воздействий в процессе самоочищения (рис. 5).

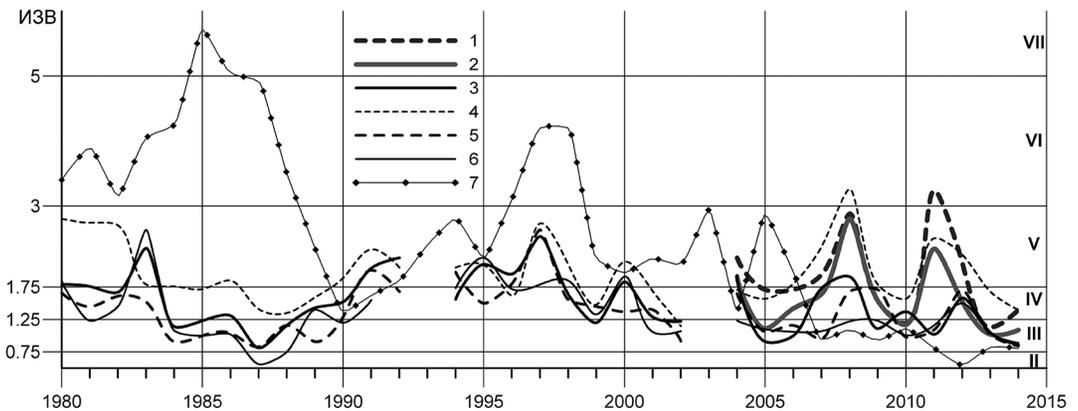


Рис. 5. Динамика индекса загрязненности и классы качества вод прибрежных акваторий: 1 — бухта Диомид, 2 — прол. Босфор Восточный, 3 — Амурский залив, 4 — бухта Золотой Рог, 5 — Уссурийский залив, 6 — зал. Находка, 7 — Татарский пролив

Fig. 5. Dynamics of water contamination rate index and water quality class, by coastal areas: 1 — Diomid Bight, 2 — Bosfor Vostochny Strait, 3 — Amur Bay, 4 — Golden Horn Bay, 5 — Ussuri Bay, 6 — Nakhodka Bay, 7 — Tartar Strait

Заключение

На фоне общего «потепления» климатических условий в морях дальневосточного бассейна, происходящего с конца 1970-х гг. и связанного с глобальными изменениями, в межгодовом ходе гидрологических характеристик прибрежной зоны Японского моря прослеживаются циклические колебания с преобладающими периодами 2–5 лет, а на большинстве ГМС — значимые трендовые составляющие. Они по-разному проявляются в пределах рассматриваемого региона и усиливаются с начала XXI в.

Значимые положительные тренды изменения аномалий температуры воды величиной от 0,6 до 1,4 °С выявлены на всех станциях юга Приморского края, а севернее — только в Советской Гавани и Холмске, где они составляли соответственно

* Качество морских вод... — <http://oceanography.ru/>.

** Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 г. М.: Росгидромет, 2013. 178 с.

1,1 и 0,8 °С. В среднем по всем ГМС увеличение температуры составило 0,7 °С. При этом на большинстве станций положительный линейный тренд значим только летом и осенью и только в Советской Гавани — во все сезоны года. Обобщенно по данным всех ГМС наиболее холодными были 1980 и 1987 гг., а 1990 г. — наиболее теплым. В большинстве случаев ход этих изменений происходит синхронно с тенденциями колебаний среднегодовых значений температуры воздуха, однако в северной части побережья Приморья, а также в районе Находки корреляционная связь ослабевает.

Значимый отрицательный тренд в межгодовом ходе аномалий солёности величиной от $-0,4$ до $-2,6$ ‰ (в среднем $-1,3$ ‰) выявлен на всех станциях за исключением ГМС Александровск-Сахалинский. Он наблюдается на фоне общего, но незначительного увеличения среднегодовой суммы осадков по региону. Эти особенности стабильно наблюдаются весной и летом, а в другие сезоны проявляются некоторые региональные различия в тенденциях изменений солёности, что отражает индивидуальные черты в характере протекания этого процесса в различных участках прибрежной зоны.

На всех рассмотренных ГМС наблюдался устойчивый положительный линейный тренд межгодовых изменений уровня моря, значимый во все сезоны года, однако весной приращения уровня были выше. В среднем увеличение уровня за последние 35 лет составило около 7 см, что составляет 35–50 % диапазона сезонных колебаний. Этот процесс хорошо согласован с тенденцией постепенного увеличения объема поступления более теплых вод в Японское море через Корейский (Цусимский) пролив.

Выявленные особенности динамики и тенденций изменения совокупности гидрологических характеристик являются следствием неоднозначности и несинхронности проявления происходящих изменений климатических условий и циркуляционных факторов в северной части Японского моря в результате адаптации к глобальным процессам.

Прибрежные воды исследуемых районов на протяжении последних десятилетий оставались одними из наиболее загрязненных среди всех контролируемых участков морей Российской Федерации. Приоритетными загрязняющими веществами являлись НУ и фенолы. Однако уровень содержания других загрязняющих веществ тоже достаточно высокий.

Наиболее напряженная ситуация по повторяемости превышения ПДК фенолов и НУ наблюдалась в контролируемом участке Татарского пролива, бухтах Золотой Рог, Диомид и прол. Босфор Восточный. По растворенному кислороду — в Амурском заливе, бухте Золотой Рог и прол. Босфор Восточный. Повышенные концентрации СПАВ, ТМ и ХОП в рассматриваемые годы наблюдались значительно реже. Воды бухты Золотой Рог оставались наиболее загрязненными во все годы наблюдений. В наблюдениях последних лет проявляются отмечавшиеся ранее негативные тенденции ухудшения качества вод 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. В контролируемом участке Татарского пролива качество вод улучшилось к 2007 г. до класса «умеренно загрязненные» и «чистые».

Полученные результаты могут служить ориентиром при изучении причинно-следственных механизмов динамики межгодовых изменений биоты и биологических последствий загрязнения вод прибрежной зоны.

Список литературы

Андреев А.Г. Межгодовые изменения параметров морской воды и концентрации хлорофилла а в Японском море в осенний период // Метеорол. и гидрол. — 2014. — № 8. — С. 55–65.

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.

Ванин Н.С. Аномальные термические условия северо-западной части Японского моря осенью 2003 г. // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 345–354.

Василевская Л.Н., Шкаберда О.А., Ламаш Б.Е. и др. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в районе залива Петра Великого // Вестн. ДВО РАН. — 2013. — № 6. — С. 71–82.

Ващенко М.А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биол. моря. — 2000. — Т. 26, № 3. — С. 149–159.

Гаврилова Г.С., Кучерявенко А.В. Продуктивность плантаций двухстворчатых моллюсков в Приморье : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — 112 с.

Гайко Л.А. Многолетняя изменчивость температуры воды и воздуха у российского побережья Японского моря по данным гидрометеорологических станций // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана : в 2 кн. — Владивосток : Дальнаука, 2013. — Кн. 1. — С. 64–78.

Гайко Л.А. Особенности гидрометеорологического режима прибрежной зоны залива Петра Великого (Японское море) : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — 151 с.

Глебова С.Ю., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Долгопериодные тенденции в ходе атмосферных процессов и термического режима дальневосточных морей за последний 30-летний период // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 159. — С. 285–298.

Дьяков Б.С. Крупномасштабные колебания в системе океан-атмосфера и перспективы сверхдолгосрочного прогноза температуры воды Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 165. — С. 231–250.

Зуенко Ю.И. Влияние изменений климата на режим и экосистему Японского моря : дис. ... д-ра геогр. наук. — СПб., 2009. — 241 с.

Карпова И.П., Шатилина Т.А. Долгопериодная изменчивость температуры воды и воздуха у юго-западного побережья Сахалина // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 50–60.

Лишавская Т.С., Севастьянов А.В., Чернова А.С., Чаткина Т.В. Мониторинг прибрежных районов залива Петра Великого // Юбилейный выпуск ДВНИГМИ — 60 лет. — Владивосток : Дальнаука, 2010. — С. 97–112.

Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоконов М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. — 2012. — № 2. — С. 55–63.

Лучин В.А., Кислова С.И., Круз А.А. Тенденции долгопериодных изменений в водах залива Петра Великого // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 33–50.

Лучин В.А., Тихомирова Е.А. Межгодовая изменчивость температуры воды в заливе Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 338–348.

Наумов Ю.А. Антропогенез и экологическое состояние геосистем прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2006. — 300 с.

Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — 193 с.

Патин С.А. Особенности распределения и биологического действия загрязняющих веществ в Мировом океане. Эколого-токсикологическая характеристика крупномасштабного загрязнения морской среды // Человек и биосфера. — М. : МГУ, 1982. — Вып. 7. — С. 62–71.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых условиях : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 160 с.

Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И. Межгодовая динамика уровня загрязненности акваторий залива Петра Великого за последние 40 лет // Вестн. ДВО РАН. — 2015. — № 6. — С. 49–63.

Симоконов М.В. Исследования в области прикладной экологии и токсикологии // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 171–194.

Терещенко В.В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море : моногр. — Мурманск : ПИНРО, 1997. — 70 с.

Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И. и др. Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 165. — С. 136–157.

Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Оценка тенденций изменчивости центров действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом в летние периоды 1950–1979 и 1980–2012 гг. // Метеорол. и гидрол. — 2016. — № 1. — С. 17–28.

Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Волвенко И.В. и др. Экосистемное изучение биологических ресурсов дальневосточных морских вод России: некоторые результаты исследований в конце

20 — начале 21-го столетия // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 25–78.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Темных О.С. и др. Глава 2. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в дальневосточной российской экономической зоне // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 75–176.

Luchin V., Kruts A., Sokolov O. et al. Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan / V. Akulichev, Yu. Volkov, V. Sapozhnikov, S. Levitus (eds) : NOAA Atlas NESDIS 67, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. — 329 p. (DVD Disc.)

Oh I.S., Rabinovich A.B., Park M.S., Mansurov R.N. Seasonal sea level Oscillations in the East Sea (Sea of Japan) // The Journal of the Oceanological Society of Korea. — 1993. — Vol. 28, № 1. — P. 1–16.

Поступила в редакцию 20.06.16 г.