

- Minobe S.* Interdecadal temperature variation of deep water in the Japan Sea (East Sea) // Proceedings of fourth CREAMS workshop, r/v Okean, Vladivostok, Febr. 12–13, 1996. Vladivostok, 1996. P. 81–88.
- Naganuma K.* The oceanographic fluctuations in the Japan Sea // *Kaye Kagaku*. 1977. Vol. 9, N 2. P. 65–69.
- Nakamura K.* Interannual variation of the water temperature in the southern part of the Japan Sea // *Umi to sora*. 1992. Vol. 67, Extra Number. P. 217–230.
- Pavlychev V.P., Teterin A.I.* Interannual changes of thermal conditions in the north-western Japan Sea // Proceedings of fourth CREAMS workshop, r/v Okean, Vladivostok, Febr. 12–13, 1996. Vladivostok, 1996. P. 71–75.
- Ponomarev V.I., Salyuk A.N.* The climate regime shifts and heat accumulation in the Sea of Japan // Proceedings of the CREAMS' 97 intern. symp. 28–30 January, 1997. Fukuoka, Japan. P. 157–161.
- Ponomarev V.I., Salyuk A.N., Bychkov A.S.* The Japan Sea water variability and ventilation processes // Proceedings of fourth CREAMS workshop, r/v Okean, Vladivostok, Febr. 12–13, 1996. Vladivostok, 1996. P. 63–69.
- Ponomarev V.I., Kaplunenko D.D., Ishida H.* Centennial and semi-centennial climatic tendencies in the Asian continental and Pacific marginal areas // *Bull. Japan Sea Res. Inst., Kanazawa Univ. Kanazawa, Japan*, 2001. Vol. 32. P. 77–90.
- Regional Real Time Data Base at neargoos@hq.kishou.go.jp
- Riser S.C.* Long-term variation in the deep ventilation of the Japan/East Sea // Proceedings of the CREAMS' 97 intern. symp. 28–30 Jan., 1997. Fukuoka, Japan, 1997. P. 31–34.
- Riser S.C., Warner M.J., Yurasov G.I.* Circulation and mixing of water masses of Tatar Strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea // *J. Oceanogr.* 1999. Vol. 55. P. 133–156.
- Sudo H.* A note on the Japan Sea Proper Water // *Progr. Oceanogr.* 1986. Vol. 17. P. 313–336.
- Trusenkova O., Ponomarev V., Ishida H.* Heat transport to the Northwest Japan Sea: simulation with the MHI model // *Recent Advances in Marine Science and Technology 2002*. Tokyo: Publication of Japan International Marine Science and Technology Federation, 2003a. P. 37–44.
- Trusenkova O., Ponomarev V., Ishida H.* Impact of climate change on circulation patterns in the Japan Sea // *J. Hydraulic Coastal Environment Engineering*. 2003b. N 733/II-63. P. 131–150.
- Watanabe T., Hanawa K., Toba Y.* Analysis of year-to-year variation of water temperature along the coast of the Japan Sea // *Progr. Oceanogr.* 1986. Vol. 17. P. 337–357.
- Zuenko Y.I.* The year-to-year temperature variation of the main water masses in the north-western Japan Sea // Proceedings of the CREAMS'94 intern. symp. 24–26 Jan., 1994. Fukuoka, Japan, 1994. P. 115–118.

ТЕНДЕНЦИИ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ВОДАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

¹ В.А. Лучин, ² С.И. Кислова, ² А.А. Круц

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

² Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт Росгидромета

Зал. Петра Великого находится в северо-западной части Японского моря и ограничен со стороны моря линией, соединяющей устье р. Туманная с мысом Поворотный. Дно в зал. Петра Великого довольно ровное и плавно повышается с юга на север (Лощия..., 1984).

Средние многолетние месячные значения температуры воздуха на западном побережье Японского моря имеют минимум в январе и максимум в августе. Однако в отдельные годы эти экстремумы могут смещаться в ту или иную сторону. В целом за имеющийся период инструментальных наблюдений июль в 18% случаев был теплее августа либо температуры между ними практически не различались (Климат Владивостока, 1978; Дашко, Варламов, 2003).

Одни из первых океанологических исследований вод залива были выполнены К.А. Гомоюновым (1926, 1930), который представил вертикальные и пространственные распределения температуры и солености. В 50-х годах прошлого столетия специалисты ТИНРО и Гидрометеослужбы начали выполнять стандартные наблюдения в заливе, которые в настоящее время являются основой для исследования режима его вод. Несмотря на большое число океанографических наблюдений, опубликованных сведений по океанографическому режиму залива еще недостаточно. Так, например, в работах

(Покудов, Власов, 1980; Гайко, 2000) рассмотрены только термические условия региона, основанные на данных прибрежных гидрометеорологических станций. Однако данные этих станций несут ограниченную информацию, которая относится только к поверхностному слою и, как правило, отражает режимные характеристики локальных акваторий (конкретных бухт или ограниченных участков заливов). Более того, эта информация не всегда адекватно отражает весь спектр изменчивости температуры воды, который реально наблюдается в мористых районах зал. Петра Великого.

Авторами исследований (Гомоюнов, 1926, 1930; Ластовецкий, Вещева, 1964; Микулич и Бирюлина, 1970; Винокурова, 1977; Винокурова и Скокленава, 1980; Коновалова, 1980; Ластовецкий и Якунин, 1981; Корякова, 1987; Семилетов, 1987; Жабин и др., 1993; Гайко и Жабин, 1996; Давыдова, 1998; Надточий и Зуенко, 2000; Рачков, 2002; Danchenkov, 2003; Омельяненко и др., 2004; Шевченко и др., 2004) из-за ограниченности имеющихся в их распоряжении исходных наблюдений рассмотрены только отдельные участки залива. В этих работах подвергались анализу только отдельные характеристики океанографического режима (как правило, температура и соленость). Имеющиеся исследования, основанные на данных многолетних наблюдений (Бирюлин и др., 1970; Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, 1984; Основные черты гидрохимии зал. Петра Великого, 1989; Данченков и др., 2003), также имеют свои ограничения. Так, в работе Г.М. Бирюлина и др. (1970), где представлены только общие сведения о гидрологическом режиме, отсутствуют данные об использованных материалах наблюдений. Распределения температуры и солености из работы Данченкова и др. (2003) основаны на данных конкретных СТД-съемок за 1993–2001 гг. Зимние условия в отдельных районах зал. Петра Великого рассматривались в работах (Лучин, Сагалаев, 2005; Зуенко, 1993). Отдельные аспекты формирования придонных высокосоленых вод на акватории зал. Петра Великого, которые образуются при зимней конвекции, рассмотрены в работе (Vanin et al., 2001). В.П. Павлычев и А.И. Тетерин (1996) за период 1973–1985 гг. для марта выявили в заливе Петра Великого 6-летнюю периодичность межгодовых вариаций площади акватории, заполненной переохлажденными водами. Эти вариации авторы связывают с изменениями интенсивности северо-западных и северных ветров зимой.

Обобщающая работа (Основные черты гидрохимии зал. Петра Великого, 1989), основанная на материалах около 1000 океанографических станций, выполненных в 1975–1983 гг., дает детальное распределение гидрохимических параметров в основном отдельных прибрежных акваторий зал. Петра Великого. Средние многолетние распределения океанографических параметров, полученные в результате обобщения всей доступной океанографической информации по Амурскому заливу, исследовали Р.В. Григорьев и Ю.И. Зуенко (2005). Особенности межгодовых изменений температуры воды в Амурском и Уссурийском заливах рассмотрены в статье (Лучин и др., 2005). В обобщающей работе (Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, 1984) на основе данных за 1950–1979 гг. представлены средние многолетние сведения о гидрохимических условиях зал. Петра Великого, основанные на сезонном осреднении данных в «квадратах» 15×15 мин.

В перечисленных выше работах было установлено, что режим вод зал. Петра Великого главным образом определяется следующими факторами: суточными и годовыми колебаниями температуры воды, связанными с общими климатическими условиями района; свободным водообменом с открытой частью Японского моря; влиянием стока рек (причем в Амурский залив пресной воды поступает больше, чем в Уссурийский); ветровыми нагонами и сгонами, повышающими или понижающими уровень вод залива, что влияет на характер и интенсивность горизонтального движения вод; приливными явлениями, которые в этой части Японского моря хотя и слабо развиты, но все же имеют место; орографией берегов и степенью изолированности вторичных бухт и заливов.

Интенсивность и масштаб антропогенных процессов в береговой зоне зал. Петра Великого тесно связаны с временным фактором. По формальному признаку первые антропогенные нарушения, например, на берегу бух. Золотой Рог начались в 1860 г., когда были основаны первые поселения и проведены вырубки леса, постройки причалов и дорог. Наиболее мощному техногенному прессу природные комплексы береговой зоны подверглись в 1960–1980-е годы в связи со строительством причалов, судоремонтных заводов, доков, грузовых терминалов и ТЭЦ (Petrenko, 2000). Несмотря на то, что в заливе находится основная масса крупных портов и промышленных центров, данных по

гидрологии и гидрохимии для оценки многих характеристик явно не достаточно. Особенно это касается прибрежных районов г. Владивосток, где в последние 40–50 лет произошли существенные экологические изменения. Например, по данным К.А. Гомоюнова (1930) в зимний период акватория бух. Золотой Рог, как правило, была покрыта льдом, и с января по апрель суда на рейде Владивостока не стояли. В то же время, начиная с 80-х годов прошлого столетия, только в очень суровые годы на акватории бух. Золотой Рог формируется устойчивый ледяной покров. Эти изменения в гидрологическом режиме связаны с вводом в эксплуатацию ТЭЦ-2, но экологическая роль от последствий ее работы, а также промышленных и бытовых сбросов в прибрежную часть г. Владивосток до настоящего времени не оценена.

Целью настоящей работы является анализ межгодовой изменчивости и долговременных тенденций в океанологическом состоянии мористых и прибрежных вод зал. Петра Великого, основанный на данных всех доступных океанографических наблюдений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования особенностей океанографического режима глубоководных акваторий зал. Петра Великого использованы данные наблюдений, которые были собраны из всех доступных источников (учреждений Гидрометеослужбы, ТИПРО–ТУРНИФ, Гидрографической службы, Академии наук). Так как данные были взяты из различных источников, в обобщенном массиве имелось большое количество дублирований. После их исключения, а также станций с недостоверной информацией, в результирующем массиве осталось 25 062 станции, произведенные за период с 1925 по 2001 г. Пространственное распределение океанографических станций на акватории залива представлено на рис. 1, из которого следует, что зал. Петра Великого сравнительно хорошо и равномерно освещен наблюдениями. Временное распределение имеющихся к настоящему времени данных наблюдений представлено в табл. 1. Все наблюдения приводились к стандартным горизонтам, а посредством линейной интерполяции восстанавливались пропуски в наблюдениях.

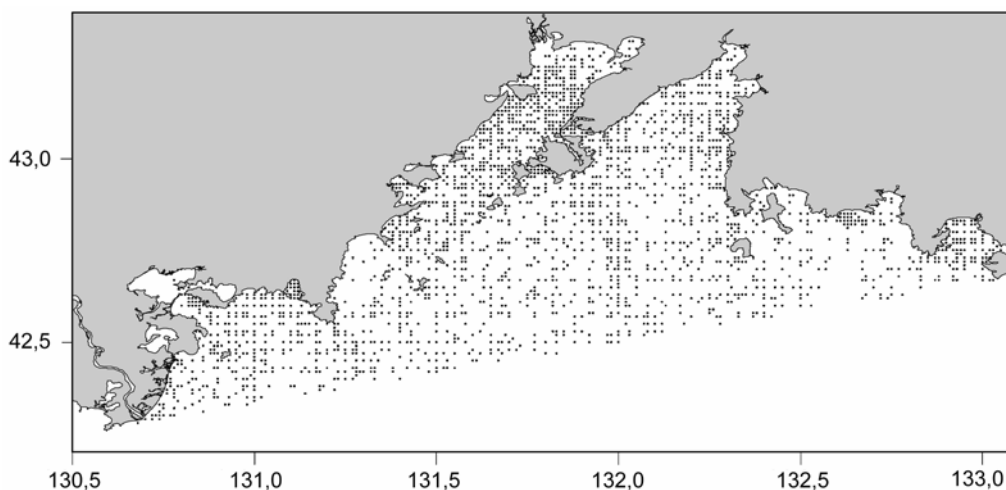


Рис. 1. Схема расположения океанографических станций в зал. Петра Великого

В каждом из квадратов или более крупных районов на стандартных горизонтах рассчитывались среднее, максимум, минимум и среднее квадратическое отклонение для всех характеристик. Указанные статистики относились к центрам соответствующих квадратов или районов. В процессе построения карт и графиков распределения характеристик проводилась дополнительная оценка их качества с учетом региональных особенностей зал. Петра Великого.

Для исследования океанографического режима бух. Золотой Рог использованы данные наблюдений в точках Общегосударственной службы наблюдения и контроля за состоянием природной

Распределение количества станций по горизонтам и месяцам в зал. Петра Великого (1925–2001 гг.)

Месяц	Измерения температуры			Измерения солености		
	0 м	20 м	50 м	0 м	20 м	50 м
Январь	409	269	74	303	196	25
Февраль	367	269	52	158	81	38
Март	618	474	239	434	269	93
Апрель	1826	761	209	1584	626	157
Май	2806	1358	358	2164	879	221
Июнь	3451	1351	353	2198	682	138
Июль	3896	1780	437	2686	1090	224
Август	3554	1465	301	2575	960	167
Сентябрь	2714	1130	283	1932	711	177
Октябрь	2504	1023	165	1897	745	114
Ноябрь	1914	869	254	1642	737	190
Декабрь	1003	425	111	956	368	80

среды (ОГСНК). Всего было привлечено 2127 станций, произведенных за период с 1968 по 2002 г. Их распределение на исследуемой акватории, а также по отдельным годам представлено на рис. 2, 3. До систематизации и обработки этих данных наблюдений был проведен контроль их качества, включающий стандартный набор процедур, применяемых при обработке океанографических данных (поиск и исключение дублей; удаление значений, выходящих за физические пределы; исключение недостоверных значений). Далее производилась разбивка всего имеющегося массива по месяцам, по точкам наблюдений, а также по выделенным более крупным районам (рис. 3). В конкретных слоях и

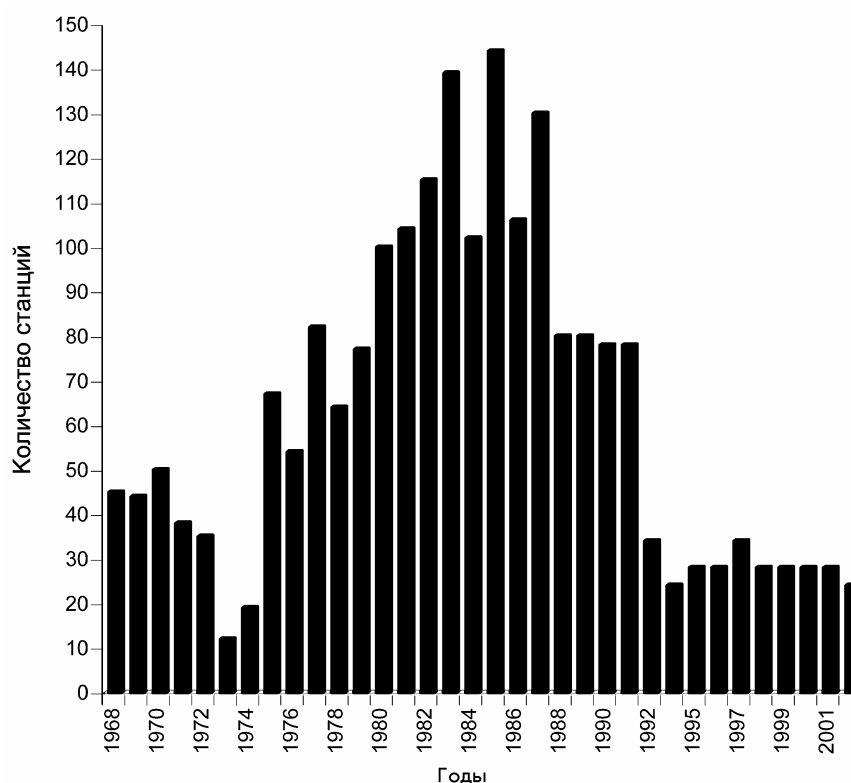


Рис. 2. Распределение имеющихся океанографических наблюдений в бух. Золотой Рог по годам

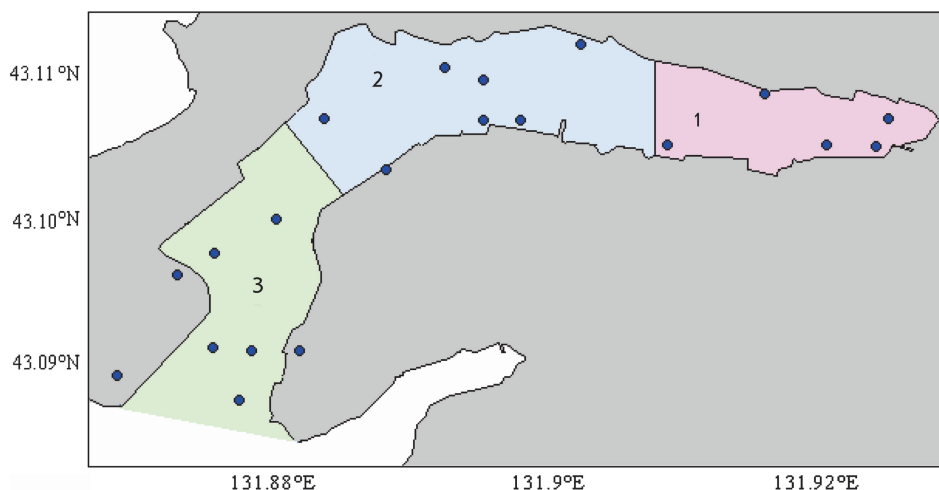


Рис. 3. Расположение станций ОГСНК и выделенных районов исследования в бух. Золотой Рог (станции, находящиеся на берегу, – это изначальные точки, которые переносились в море в связи с отсыпкой территории порта)

для всех исследуемых характеристик находились средние значения. Была проведена разбивка всей акватории на три района по сходству географических и гидрологических характеристик (рис. 3). Затем были рассчитаны средние значения, экстремумы и средние квадратические отклонения для выделенных районов и точек наблюдений. На заключительном этапе оценки качества данных (в процессе построения карт и графиков распределения, гидрологических и гидрохимических характеристик) проводилась дополнительная оценка их качества с учетом региональных особенностей режима вод бух. Золотой Рог.

Дополнительно были использованы наблюдения за температурой воды на станции Владивосток-порт.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ ЗАЛ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Анализ распределения исходной исторической океанографической информации во времени и в пространстве показал, что в настоящее время (несмотря на значительное количество имеющихся данных наблюдений) на акватории зал. Петра Великого нет даже сравнительно небольших по размерам областей, в которых имеются непрерывные ряды наблюдений за последние 40–50 лет. Наиболее представительный ряд наблюдений есть только по температуре воды. Кроме того, нестационарность термических процессов, обусловленная наличием сезонного тренда и пространственных градиентов, делает невозможным формальное объединение всех имеющихся данных по зал. Петра Великого в одну выборку.

При исследовании аномальности термического состояния вод залива в том или ином году полагалось, что она должна охватывать продолжительный временной интервал и значительную по площади акваторию. Поэтому вначале вся имеющаяся информация была сгруппирована по отдельным месяцам в достаточно крупные районы, которые сравнительно полно отражают вариации термических условий в различных частях акватории зал. Петра Великого. Положение районов представлено на рис. 4а. Анализ полученной информации показал, что даже для таких сравнительно больших регионов в настоящее время отсутствуют непрерывные ряды наблюдений за любой месяц, пригодные для оценки межгодовых изменений температуры воды.

Учитывая все отмеченное выше, на первом этапе исследований была оценена преимущество термического состояния вод в отдельных районах. Для этого были рассчитаны коэффициенты корреляции между временными рядами отдельных месяцев. Было установлено, что наиболее тесная связь наблюдается между временными рядами за период с апреля по июнь. Для исключения сезонного

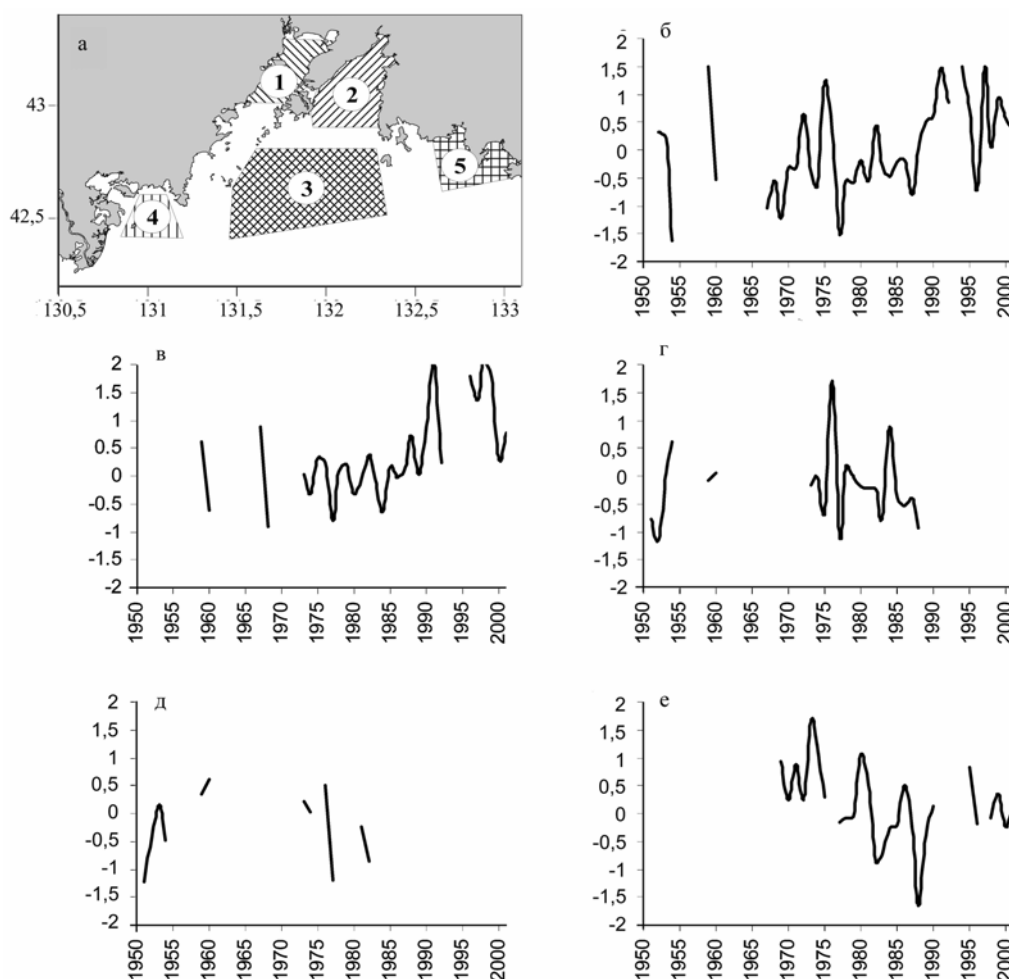


Рис. 4. Межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий поверхностной температуры (°C) воды (апрель–июнь) в отдельных районах зал. Петра Великого (а – номера и границы районов, б – изменения температуры в районе 1, в – в районе 2, г – в районе 3, д – в районе 4, е – в районе 5)

тренда исходные данные предварительно центрировались, т. е. представлялись в виде отклонений от средних многолетних месячных значений в каждом районе. Затем ряды полученных средних месячных аномалий температуры воды нормировались на средние квадратические отклонения соответствующих рядов.

Поверхностный слой вод. На рис. 4 представлены межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий поверхностной температуры воды за апрель–июнь в отдельных районах зал. Петра Великого; во временном ходе температуры воды прослеживается ряд квазипериодических циклов. Анализ представленных графиков и рассчитанные периодограммы показали, что в межгодовой изменчивости температуры воды на поверхности зал. Петра Великого доминируют колебания с периодами от 2–3 до 5–6 лет. Дополнительно в межгодовом ходе температуры воды, как следует из рис. 4, на отдельных акваториях зал. Петра Великого выделяются две противоположные климатические тенденции:

в Амурском и Уссурийском заливах периоды потепления (соответственно с 1967 по 2001 г. и с 1973 по 2001 г.). Наиболее вероятно, что различия в начале этих периодов связаны с недостаточным числом данных наблюдений в Уссурийском заливе;

периоды похолодания в глубоководной части залива, а также в заливах Находка и Восток (соответственно с 1973 по 1988 г. и с 1969 по 1990 г.).

Помимо этого, в заливах Восток и Находка, где ряд имеющихся наблюдений продолжительнее, с 1995 по 2001 г. наблюдается повышение температуры воды. Смена знака долгопериодной тенденции на акваториях этих заливов, как следует из рис. 4е, произошла в конце 80-х–начале 90-х годов прошлого столетия.

Подповерхностный слой вод. Результаты корреляционного анализа для всех сформированных средних взвешенных рядов межгодовых изменений температуры воды за апрель–июнь на акватории зал. Петра Великого представлены в табл. 2. Из нее следует, что для подповерхностного слоя вод наиболее тесная связь наблюдается между горизонтами 20 и 30 м в районах 3, 4 и 5 (положение районов представлено на рис. 4). Затем, учитывая результаты корреляционного анализа, а также для получения более продолжительного ряда межгодовых изменений температуры воды, был сформирован ряд средних взвешенных нормализованных аномалий температуры воды в слое 20–30 м для районов 3, 4 и 5. Как показывают данные табл. 2, этот подход оказался успешным. Коэффициенты корреляции между средним взвешенным для этих районов рядом и отдельными его составляющими находятся в пределах от 0,67 до 0,96, что существенно выше уровня значимости.

ТАБЛИЦА 2

Корреляционная таблица рядов межгодовых изменений температуры воды на акватории зал. Петра Великого

Район		5			4			3			2			1	Суммарно для 3–5		
		Горизонт			Горизонт			Горизонт			Горизонт			Горизонт			
		0 м	20 м	30 м	0 м	20 м	30 м	0 м	20 м	30 м	0 м	20 м	30 м	0 м		20–30 м	
		n	14	12	11	30	29	19	29	28	28	32	20	12	39	39	
		R _{крит}	0,52	0,55	0,59	0,35	0,36	0,44	0,36	0,37	0,37	0,34	0,44	0,55	0,31	0,31	
5	0 м	14	0,52	1	0,45	0,21	0,08	-0,35	-0,05	0,20	0,01	0,00	0,75	0,25	0,16	0,41	0,00
	20 м	12	0,55		1	0,87	0,01	0,24	0,26	0,42	0,48	0,33	0,26	0,43	0,19	-0,24	0,67
	30 м	11	0,59			1	0,78	0,55	0,28	0,59	0,60	0,40	-0,07	0,36	0,19	-0,23	0,80
4	0 м	30	0,35			1	0,44	0,50	0,32	0,47	0,30	-0,17	0,21	-0,08	0,12	0,39	
	20 м	29	0,36				1	0,98	0,19	0,70	0,57	-0,18	0,15	-0,41	0,02	0,88	
	30 м	19	0,44					1	0,10	0,81	0,72	-0,24	0,22	-0,44	-0,07	0,96	
3	0 м	29	0,36						1	0,33	0,15	-0,14	-0,19	-0,65	-0,11	0,35	
	20 м	28	0,37							1	0,90	-0,39	0,34	0,27	-0,22	0,93	
	30 м	28	0,37								1	-0,33	0,34	0,24	-0,10	0,89	
2	0 м	32	0,34									1	0,00	0,00	0,51	-0,16	
	20 м	20	0,44										1	-0,07	0,02	0,39	
	30 м	12	0,55											1	0,34	0,14	
1	0 м	39	0,31												1	-0,06	
3–5	20–30 м	39	0,31													1	

Примечание: Значение на 95%-ном уровне значения коэффициентов корреляции выделены полужирным шрифтом. n – длина ряда, R_{крит} – критическое значение коэффициента корреляции для длины ряда n.

При анализе аномальности термического состояния подповерхностных вод от года к году использованы межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий температуры воды в слое 20–30 м за апрель–июнь в районах 3, 4 и 5 зал. Петра Великого, которые представлены на рис. 5. Анализ графика и его периодограмма показали, что в межгодовой изменчивости температуры воды на подповерхностных горизонтах зал. Петра Великого доминируют колебания с периодами от 2–3 до 5–6 лет. Более того, как следует из рис. 5, на отдельных участках временного ряда выделяются также несколько долговременных тенденций термического режима вод:

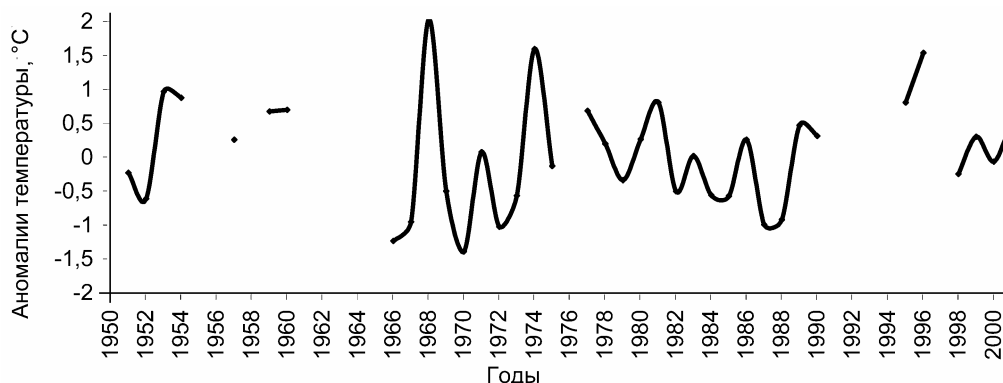


Рис. 5. Межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий температуры воды в слое 20–30 м за апрель–июнь в районах 3, 4 и 5 зал. Петра Великого

потепления (с 1966 по 1976 г.);
 похолодания (с 1977 по 1990 г.);
 похолодания (с 1995 по 2001 г.).

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БУХ. ЗОЛОТОЙ РОГ

Известно, что за последние несколько десятков лет на океанографический режим бух. Золотой Рог накладывает антропогенное влияние, связанное с вводом в эксплуатацию Владивостокской ТЭЦ-2. Хронология этого техногенного воздействия следующая. Весной 1970 г. был обеспечен ввод первых агрегатов Владивостокской ТЭЦ-2, затем, с 1970 по 1984 г., запущены в эксплуатацию 12 котлоагрегатов и 5 турбоагрегатов. На рис. 6 показана динамика увеличения мощности ТЭЦ-2, связанная с введением котлоагрегатов в работу за период с 1970 по 1990 г. (30 лет..., 2000). Характерной особенностью работы ТЭЦ-2 является использование морской воды в системе технического водоснабжения. Забор морской воды осуществляется из Уссурийского залива, затем она по двум трубопроводам подается в конденсаторы турбин для охлаждения отработанного пара. Из конденсаторов турбин подогретая морская вода сбрасывается в бух. Золотой Рог (30 лет..., 2000).

Как отмечалось выше, для анализа межгодовой изменчивости и выявления долговременных тенденций в термическом состоянии вод бух. Золотой Рог были использованы данные наблюдений на сети ОГСНК. В зимний период эти наблюдения практически не проводились. Есть только единичные и прерывистые наблюдения в марте, по которым невозможно определить закономерности межгодовых изменений температуры воды. Регулярные измерения в бух. Золотой Рог начинаются с апреля. Дополнительно были привлечены средние месячные значения температуры воды, полученные на поверхности бух. Золотой Рог (данные пункта Владивосток-порт).

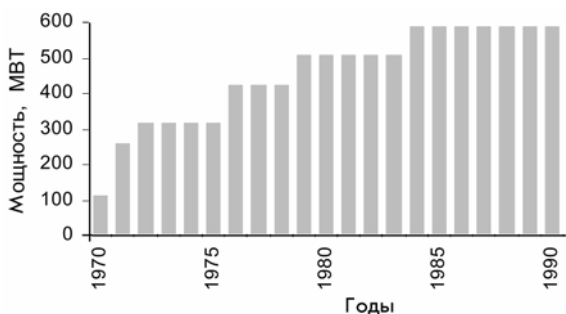


Рис. 6. Диаграмма увеличения мощности ТЭЦ-2, связанная с последовательным введением котлоагрегатов в работу

верхности бух. Золотой Рог (данные пункта Владивосток-порт).

На рис. 7 представлены межгодовые изменения средних месячных значений температуры воды на поверхности бух. Золотой Рог по данным пункта Владивосток-порт. Как видно из рисунка, в межгодовой изменчивости температуры воды доминируют колебания с периодами 2–3 года. В течение отопительного периода (с ноября по апрель) размах межгодовых колебаний температуры воды составляет от 1,0 до 6,5°C. Максимальные его величины – 4,0–6,5 °С – характерны для начала (ноябрь–декабрь) и завершения (апрель) отопительного периода.

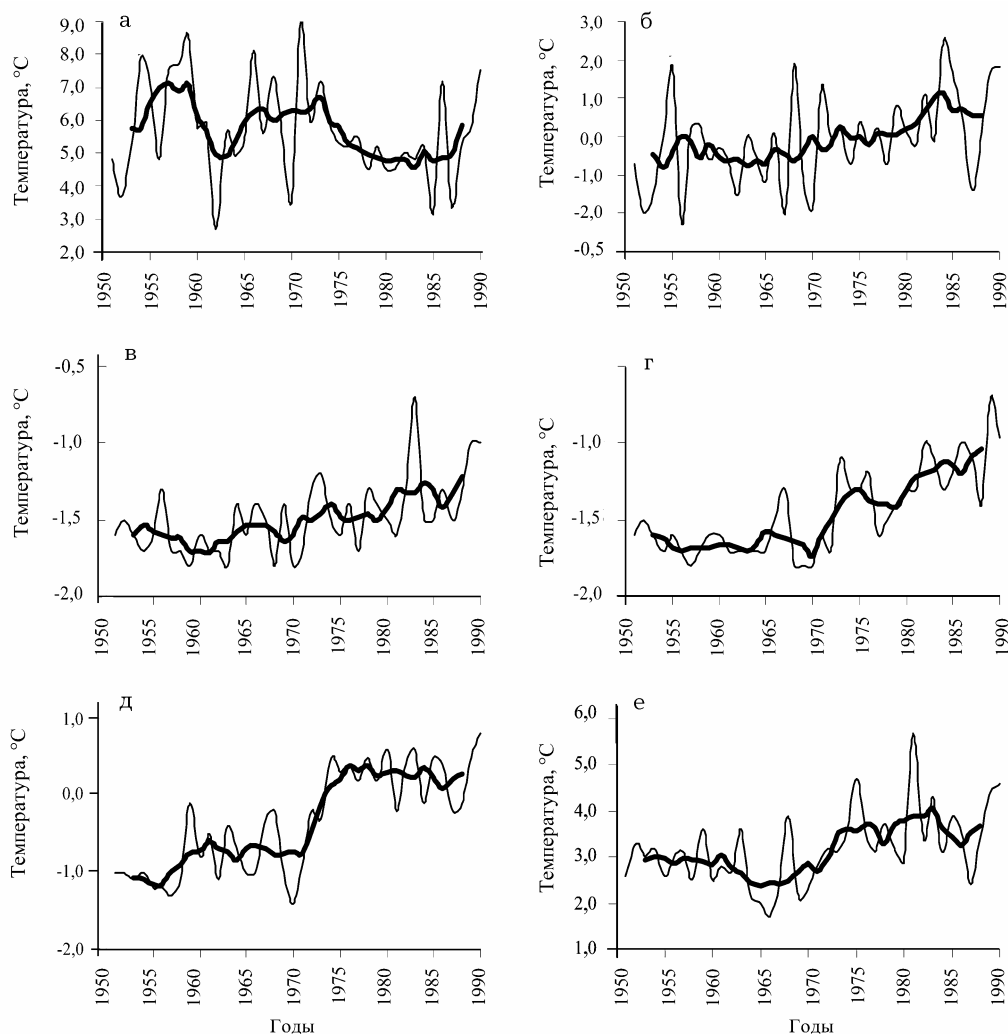


Рис. 7. Межгодовые изменения температуры воды на поверхности бух. Золотой Рог по данным пункта Владивосток-порт (а – ноябрь, б – декабрь, в – январь, г – февраль, д – март, е – апрель). Жирная линия – пятилетнее сглаживание

На отдельных участках временного ряда, как следует из рис. 7, с декабря по апрель выделяются также несколько долговременных тенденций термического режима вод, которые наиболее ярко прослеживаются на кривой пятилетнего осреднения данных:

- пониженный фон температуры воды с 1950 до 1970 г.;
- рост температуры воды с 1970 г.

Наиболее ярко антропогенное воздействие ТЭЦ-2 проявляется в марте (рис. 7д). Из представленного графика следует, что в результате работы станции температура воды в средней части бух. Золотой Рог (в районе пункта наблюдений Владивосток-порт) начиная с 1975 г. повысилась примерно на 1,5 °С.

Если сравнивать пространственные распределения температуры воды за периоды до сдачи в эксплуатацию ТЭЦ-2 (до 1971 г.) и после начала работы большинства котлоагрегатов (с 1980 по 2002 г.), то видно, что температурный режим в бух. Золотой Рог существенно изменился. Для периода до 1971 г. наиболее высокая температура воды на поверхности бух. Золотой Рог (3 °С) характерна для ее мористой части (рис. 8а). По мере продвижения к вершине бухты, где глубины уменьшаются, температура воды существенно уменьшается, достигая минимальных значений вблизи устья р. Объяснения (2,3 °С).

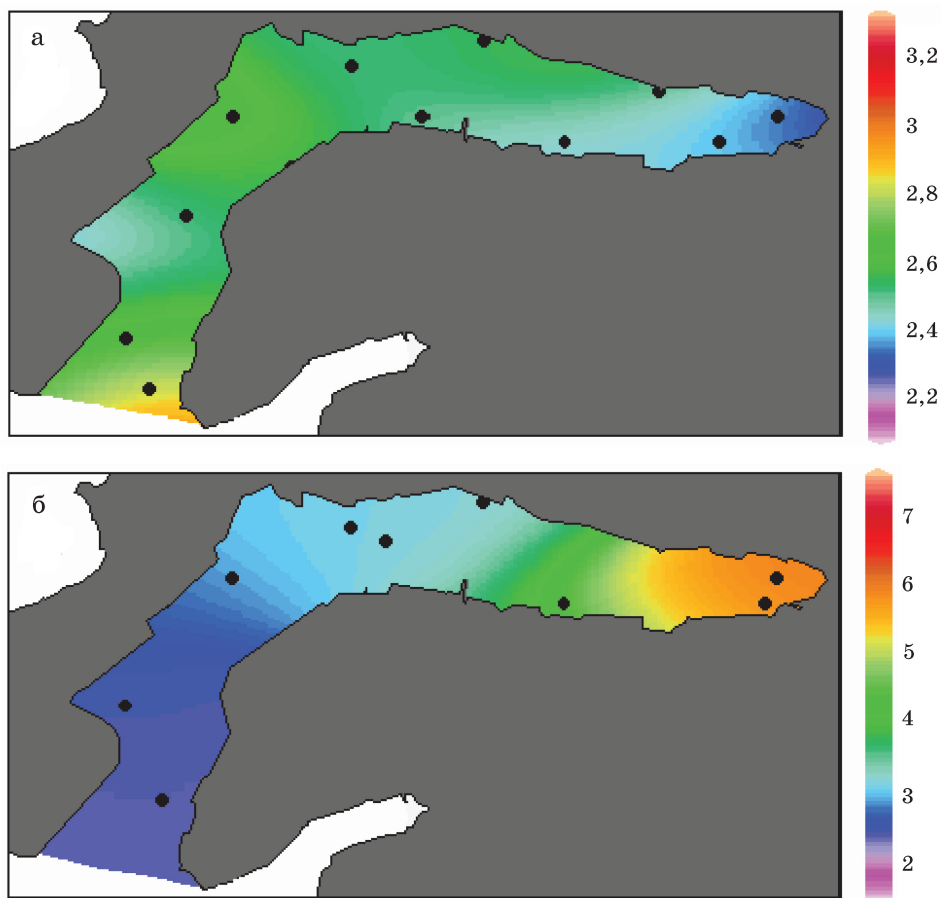


Рис. 8. Пространственное распределение температуры воды (°C) в апреле на поверхности бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

Совсем иная картина распределения температуры воды наблюдается по данным наблюдений для периода после 1979 г. (рис. 8 б). Максимальные значения температуры воды находятся в районе устья р. Обьяснения (6,5 °C), и далее идет постепенное уменьшение температуры в направлении выхода из бухты, где она достигает минимальных значений (2,5 °C). Как видно из рис. 8, антропогенное воздействие ТЭЦ-2 наиболее ярко проявляется в вершине бух. Золотой Рог, где температура воды в апреле выросла примерно на 4 °C. Однако уже в центральной части бухты это воздействие проявляется менее ярко (температура воды здесь изменилась только на 0,5–0,8 °C). На входе в бух. Золотой Рог (вблизи пролива Босфор Восточный) изменения температуры воды, связанные с антропогенным воздействием ТЭЦ-2, практически не проявляются.

На рис. 9 представлено пространственное распределение температуры воды в бух. Золотой Рог в апреле на горизонте 10 м. Как видно из рис. 8 и 9, на термическом режиме бух. Золотой Рог антропогенное влияние, связанное с вводом в эксплуатацию Владивостокской ТЭЦ-2, сказывается только в поверхностном слое вод. На глубине 10 м различия в значениях температуры воды по данным до 1971 г. и после 1979 г. не превышают 0,1 °C. Это, наиболее вероятно, связано не с антропогенным влиянием ТЭЦ-2, а с различным количеством данных, принятых для осреднения в рассматриваемые периоды.

В апреле для вершины бух. Золотой Рог по данным до 1971 г., как правило, характерно гомогенное распределение температуры по вертикали. Это связано с мелководностью этого района и благоприятными условиями для хорошего развития конвекции, в результате которой происходит охлаждение толщи вод от поверхности до придонных горизонтов (рис. 10).

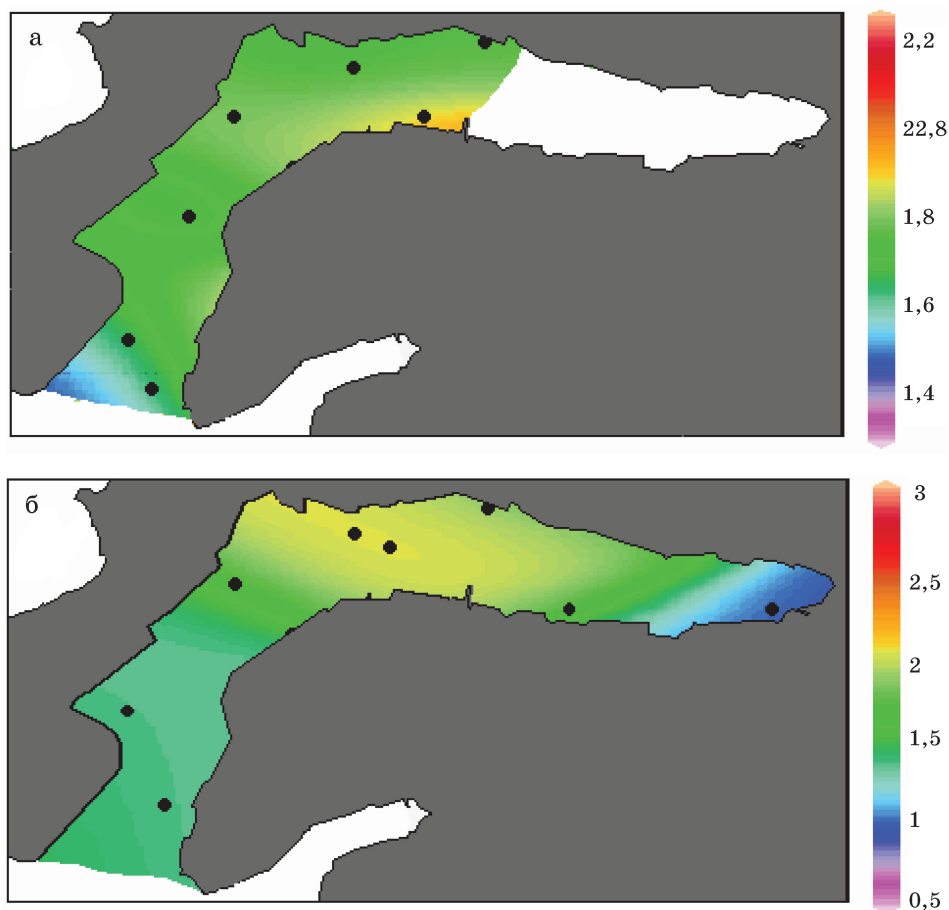


Рис. 9. Пространственное распределение температуры воды (°C) в апреле на горизонте 10 м в бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

Из представленных средних многолетних профилей вертикального распределения температуры воды следует, что в вершине бух. Золотой Рог наблюдается существенная разница значений температуры в пределах выделенных периодов (рис. 10). Однако различия в значениях температуры по вертикали наиболее значительны в поверхностном слое (0–5 м), где оказывает свое влияние сбрасываемая подогретая морская вода из конденсаторов турбин ТЭЦ-2. Здесь значения температуры в рассматриваемые периоды изменились от 2,4 до 5,6 °C. Однако начиная с горизонта 5 м эти изменения практически не заметны. В районах 2 и 3 (средняя и внешняя часть бухты, положение которых представлено на рис. 3) антропогенные изменения температуры воды (по результатам наших расчетов) оказались не значимы.

На акватории бух. Золотой Рог в пределах двух рассматриваемых периодов в сезонном ходе температуры воды имеются как сходства, так и различия (рис. 11, 12). Так, во временном ходе сохраняется единое время наступления максимального прогрева поверхностных вод (август). В отдельных районах значения варьируют от 20,78 до 23,28 °C (1980–2002 гг.) и от 20,50 до 21,00 °C (1968–1970 гг.). На подповерхностных горизонтах максимальные значения температуры воды наблюдаются в августе–сентябре (около 20 °C).

Минимальные значения температуры воды на поверхности бух. Золотой Рог наблюдаются в январе. В первом районе нет данных наблюдений в зимние месяцы за период 1968–1970 гг. Поэтому здесь в поверхностном слое в течение всего года наблюдаются положительные средние многолетние месячные значения температуры воды. Во втором и третьем районах минимальные средние многолетние месячные значения температуры воды на поверхностном горизонте выделяются в январе–феврале и составляют соответственно 1,54° и –1,84 °C. На подповерхностных горизонтах минимум

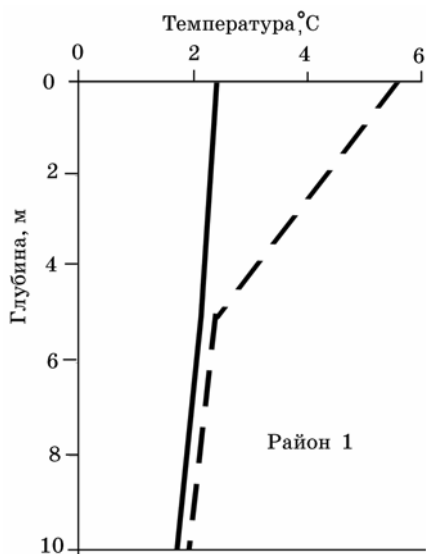


Рис. 10. Вертикальные профили температуры в вершине бухты Золотой Рог в апреле для двух рассматриваемых периодов (сплошная линия – по данным 1968–1970 гг., пунктирная – по данным за 1980–2002 гг.)

температуры воды наступает в январе–феврале (рис. 12). Из рис. 11 и 12 видно, что антропогенное влияние ТЭЦ-2 наиболее ярко сказывается только на термическом режиме поверхностного слоя вод бух. Золотой Рог. Для первого исследуемого района (рис. 11) это влияние хорошо выражено в течение всего года, а для второго и третьего районов только весной (апрель–май).

Далее рассмотрим антропогенное воздействие на режим солености в бух. Золотой Рог. Как следует из рис. 13а, для первого из рассматриваемых периодов значения солености поверхностных вод в вершине бух. Золотой Рог составляли около 33,6‰. По мере продвижения к средней части бухты они увеличивались до 33,8‰. На выходе из бухты значения имели максимальные значения (до 34,0‰).

После полного ввода в эксплуатацию ТЭЦ-2 соленость воды на поверхности в мористой части бух. Золотой Рог составляет 33,0–33,2‰ (рис. 13б). По мере продвижения к вершине бух. Золотой Рог значения солености уменьшаются и вблизи устья реки Обьяснения не превышают 31,75‰. Сравнительный анализ этих двух рисунков показывает, что за 20 лет соленость в вершине бух. Золотой Рог понизилась на 1,85‰, в средней части – на 1,05‰ и на выходе из бухты – на 0,70‰.

Аналогичная тенденция пространственного распределения солености воды в бух. Золотой Рог характерна для горизонта 10 м. Так как данные наблюдений за период с 1968 по 1971 г. в апреле отсутствуют, у нас нет возможности оценить произошедшие изменения в вершине бухты на глубине 10 м (рис. 14а). В то же время, как следует из представленного рисунка, если до ввода ТЭЦ-2 в эксплуатацию соленость в средней части бух. Золотой Рог на горизонте 10 м составляла 33,95‰, то за последующие два десятилетия она понизилась до 33,2‰ (рис. 14). Таким образом, значения солености по данным до 1971 г. и после 1979 г. в бух. Золотой Рог понизились даже в средней ее части на 0,75‰, а на выходе из бухты на 0,25‰. Следует отметить, что размах антропогенных изменений солености воды на глубине 10 м примерно в 2–3 раза ниже, чем на поверхности бух. Золотой Рог (рис. 13–14).

Отметим также, что межгодовые изменения солености в бух. Золотой Рог не связаны с вводом в эксплуатацию ТЭЦ-2, так как в процессе своей работы ТЭЦ-2 использует морскую воду из Уссурийского залива. Подтверждением этого могут служить пробы воды, которые были взяты в нескольких точках р. Обьяснения (от ТЭЦ-2 до устья) 3 мая 2004 г. По этим данным, вблизи ТЭЦ соленость воды составляла около 34‰, затем она постепенно снижалась, и вблизи устья реки ее значения не превышали 31‰. Это убедительно показывает, что на режим солености воды в бух. Золотой Рог преобладающее влияние оказывают бытовые и промышленные стоки пресной воды.

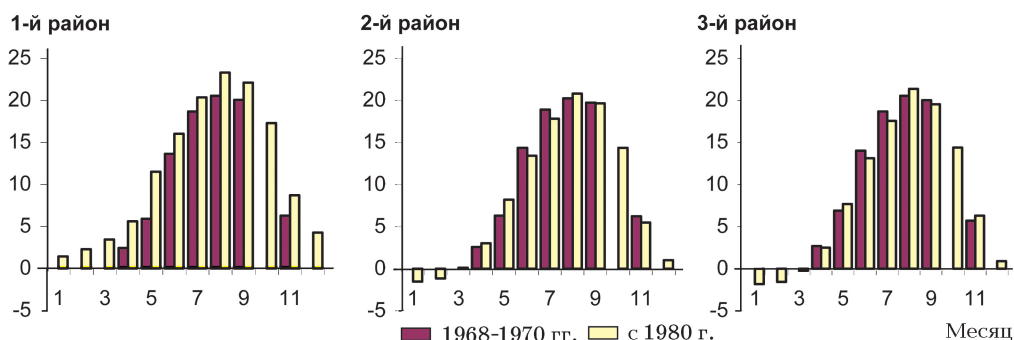


Рис. 11. Особенности внутригодового распределения температуры воды (°С) на поверхности бух. Золотой Рог для двух рассматриваемых периодов

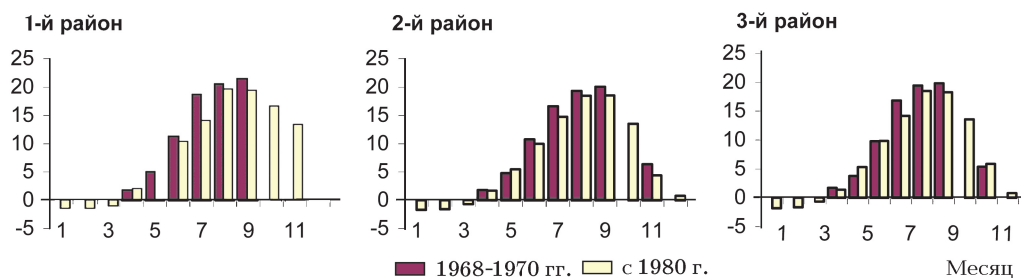


Рис. 12. Особенности внутригодового распределение температуры воды (°C) в слое 8–12 м в бух. Золотой Рог для двух рассматриваемых периодов

Известно, что процесс растворения газов в воде является обратимым. При равенстве скоростей абсорбции и десорбции возникает состояние равновесия между концентрациями в газовой среде и в растворе. Повышение температуры и солёности обычно уменьшает растворимость газов в морской воде. В поверхностном слое воды, непосредственно соприкасающемся с атмосферой, в течение года должны отмечаться максимальные вариации в содержании большинства растворённых в воде газов, и в том числе кислорода. Уровень концентрации кислорода определяется, во-первых, динамикой газообмена на границе морская вода–атмосфера. Из-за своей большой скорости эти процессы играют основную роль в перераспределении кислорода. В расходе и поступлении кислорода значимы также окислительно-восстановительные процессы. Кислород продуцируется при фотосинтезе,

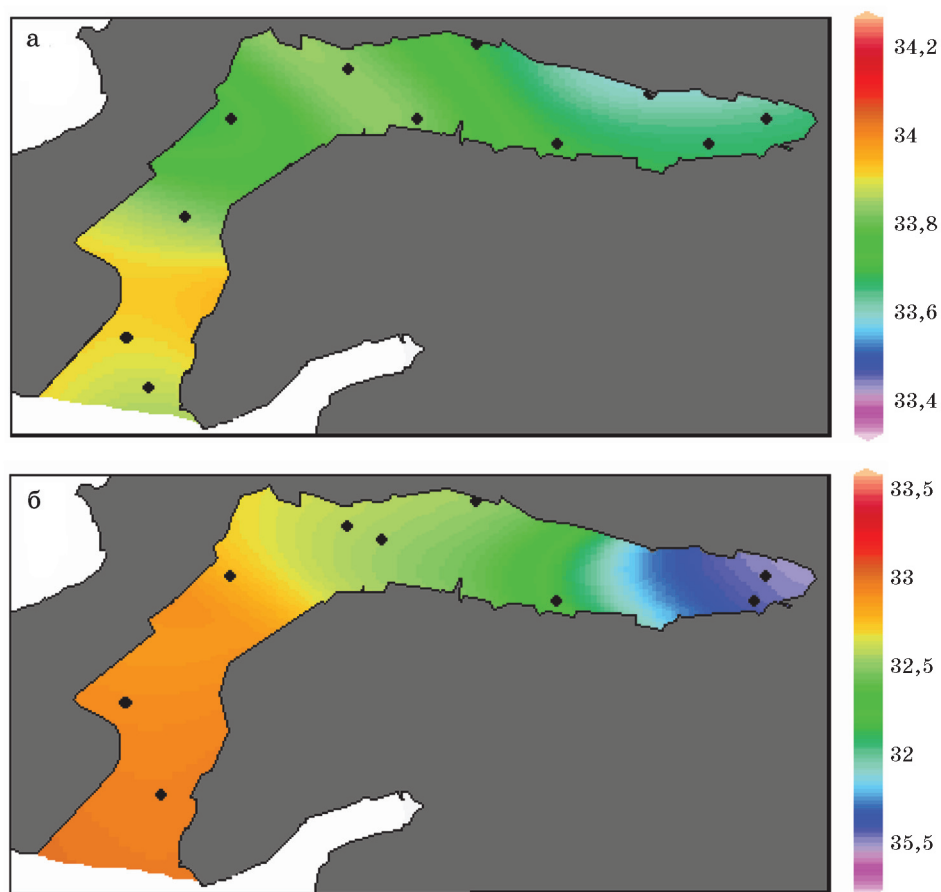


Рис. 13. Пространственное распределение солёности воды (‰) в апреле на поверхности бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

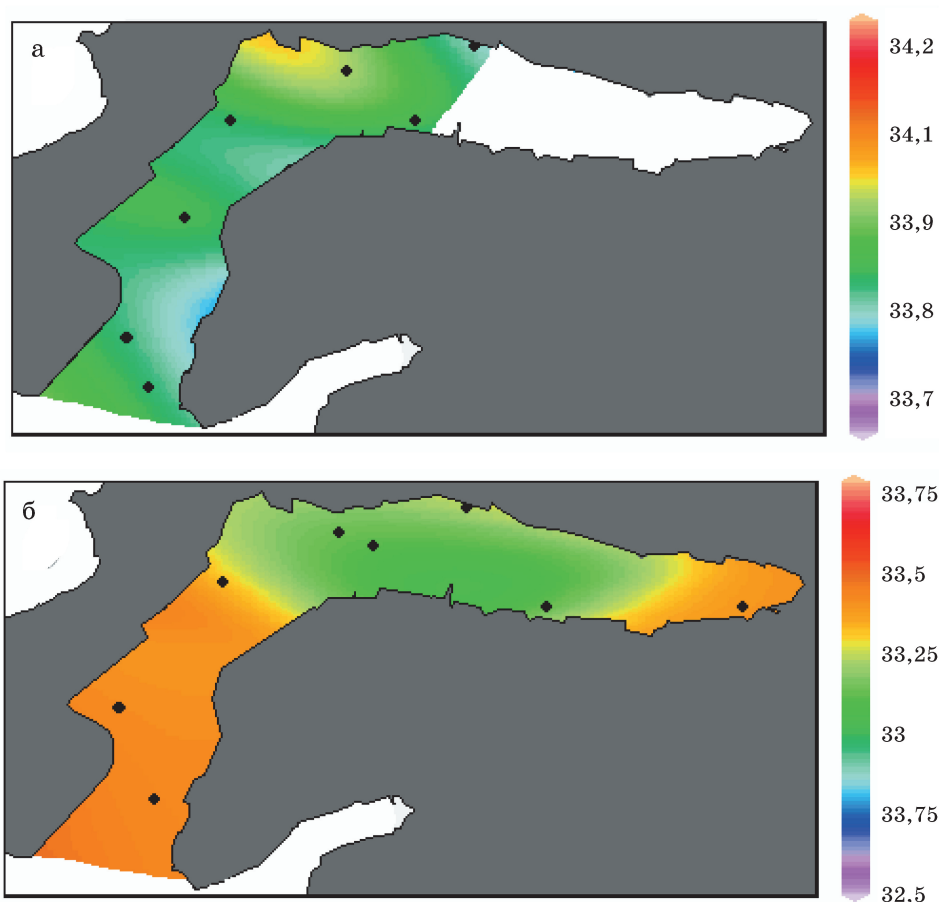


Рис. 14. Пространственное распределение солености воды (‰) в апреле на горизонте 10 м в бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

а расходуется при дыхании живых организмов, на окисление органических и неорганических веществ естественного и антропогенного происхождения.

С началом весеннего прогрева вод поверхностный слой начинает выделять кислород (так как повышение температуры уменьшает растворимость газов в воде). В то же время в фотическом слое вод начинает интенсивно развиваться фитопланктон, что приводит к увеличению содержания растворенного в воде кислорода. В результате этих процессов в апреле содержание растворенного кислорода в поверхностном слое вод бух. Золотой Рог меняется в пределах от 6,75 до 7,60 мл/л для периода с 1968 по 1971 г. и от 6,5 до 8,0 мл/л после 1980 г. (рис. 15). Причем минимальные концентрации кислорода за весь период наблюдений наблюдаются в вершине бухты. Из представленных рисунков видно также, что за последние 20 лет в вершине бух. Золотой Рог содержание растворенного кислорода на поверхности понизилось на 0,17 мл/л, а в ее средней части и на выходе из бухты возросло примерно на 0,5 мл/л.

На горизонте 10 м (рис. 16) содержание растворенного в морской воде кислорода в апреле увеличилось во втором из рассматриваемых периодов примерно на 0,5 мл/л. Однако пространственные его вариации, как следует из рис. 16, на акватории бухты (в отличие от поверхностного распределения, см. рис. 15) изменяются незначительно (от 7,25 до 7,5 мл/л с 1968 по 1971 г. и от 7,75 до 8,3 мл/л после 1979 г.).

Таким образом, как следует из рис. 15 и 16, содержание растворенного кислорода на преобладающей части бух. Золотой Рог в последние десятилетия увеличилось. Антропогенное воздействие ТЭЦ-2 на содержание растворенного в воде кислорода проявляется только в вершине бух. Золотой Рог на поверхности, где за счет существенного изменения термического режима произошло небольшое

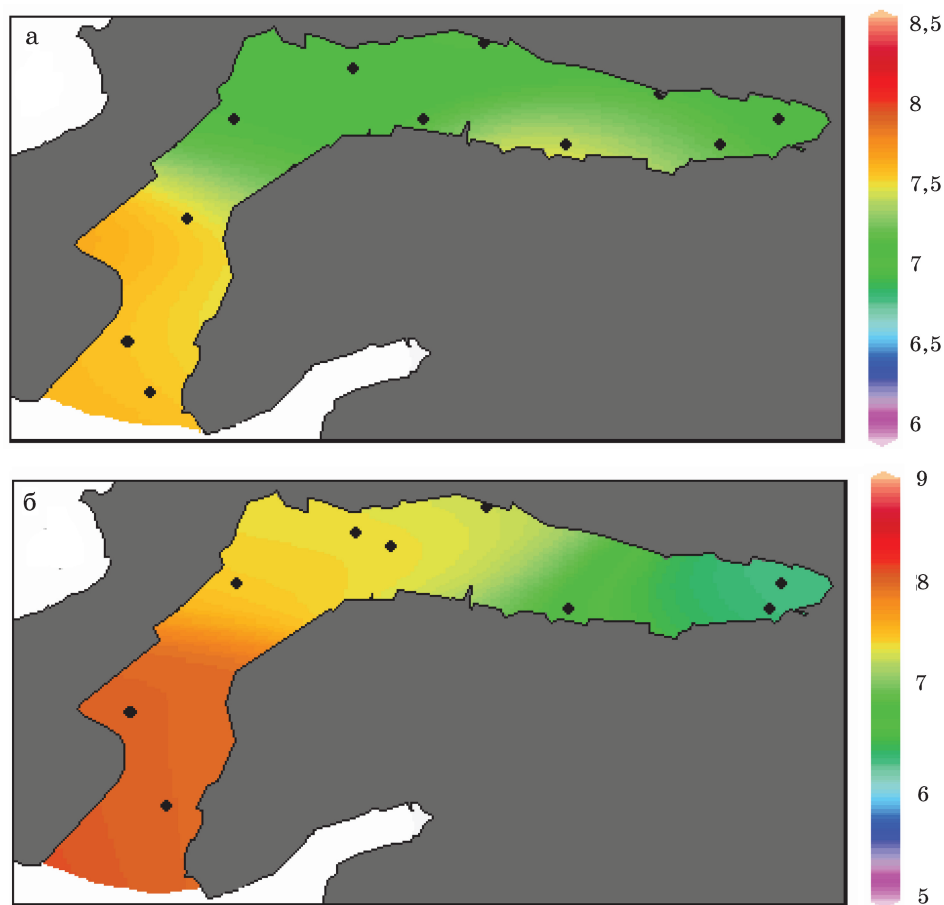


Рис. 15. Пространственное распределение кислорода (мл/л) в апреле на поверхности бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

уменьшение содержания растворенного кислорода (на 0,17 мл/л), связанное с повышением температуры воды.

Учитывая представленные результаты, можно предположить наличие следующих процессов, влияющих в бух. Золотой Рог на межгодовые изменения в режиме растворенного в воде кислорода. Во-первых, на акватории бухты произошло существенное уменьшение солёности воды, что, естественно, привело к увеличению растворимости кислорода. Во-вторых, рост температуры воды является благоприятным фактором для более интенсивной фотосинтетической деятельности водорослей, последствиями которой является увеличение содержания растворенного кислорода в водах бух. Золотой Рог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании всех доступных на настоящее время материалов глубоководных наблюдений (с 1925 по 2002 г.) представлены тенденции долгопериодных изменений океанологических условий для акваторий зал. Петра Великого и бух. Золотой Рог. В целом можно отметить, что вопросы долгопериодной изменчивости параметров вод до настоящего времени являются недостаточно полно изученными и требующими дальнейшего развития. Исследования этих аспектов режима вод сдерживаются тем, что для морских акваторий не существует непрерывных рядов наблюдений, характеризующих условия зал. Петра Великого в целом. Поэтому к представленным выше результатам межгодовой изменчивости океанологических условий необходимо относиться как к предварительным. Для получения более строгих оценок межгодовых изменений термических условий в толще вод зал. Петра

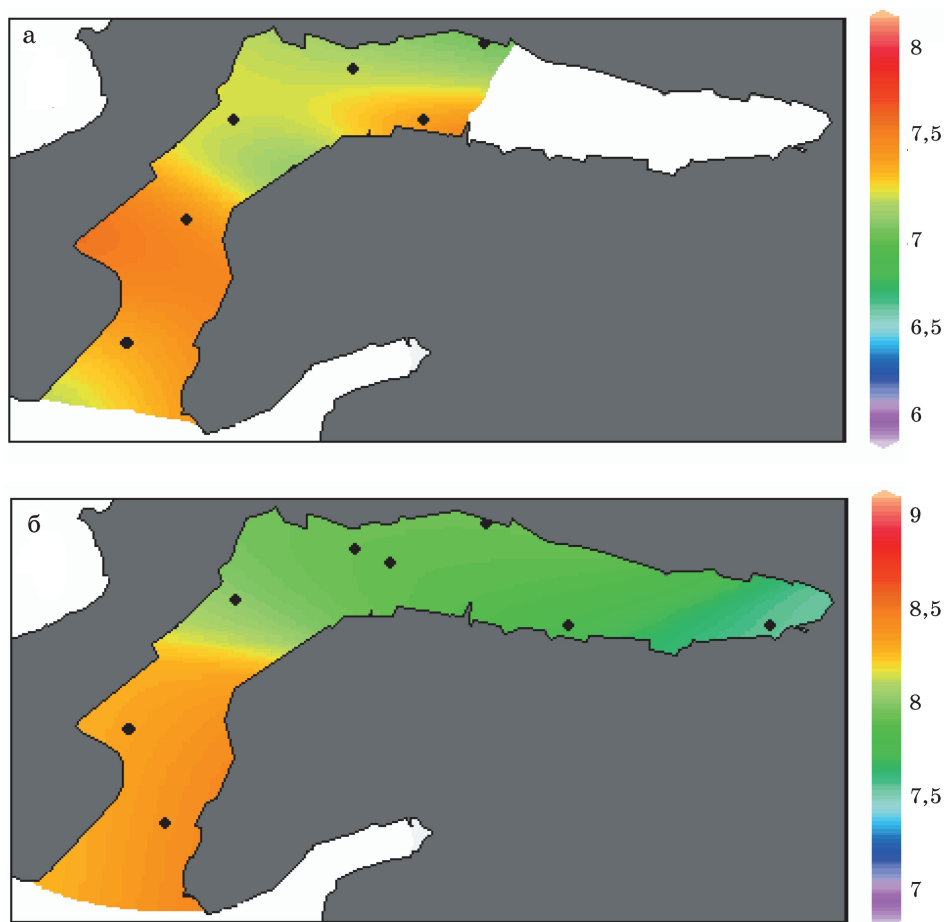


Рис. 16. Пространственное распределение кислорода (мл/л) в апреле на горизонте 10 м в бух. Золотой Рог: а) за период 1968–1970 гг.; б) за период 1980–2002 гг.

Великого необходимы дополнение существующей информационной базы, а также более тщательное районирование акватории и проведение на их основе дополнительных расчетов.

В то же время в межгодовой изменчивости температуры воды на поверхности зал. Петра Великого можно отметить колебания с периодами от 2–3 до 5–6 лет. Дополнительно на отдельных акваториях зал. Петра Великого выделяются две противоположные климатические тенденции:

в Амурском и Уссурийском заливах – периоды потепления (соответственно с 1967 по 2001 гг. и с 1973 по 2001 гг.). Наиболее вероятно, что различия в начале этих периодов связаны с недостаточным числом данных наблюдений в Уссурийском заливе;

периоды похолодания в глубоководной части залива, а также в заливах Находка и Восток (соответственно с 1973 по 1988 г. и с 1969 по 1990 г.);

в заливах Восток и Находка с 1995 по 2001 г. наблюдается повышение температуры воды. Смена знака долгопериодной тенденции на акваториях этих заливов произошла в конце 80-х–начале 90-х годов прошлого столетия.

В слое 20–30 м для периода с апреля по июнь в районах 3, 4 и 5 зал. Петра Великого (их положение представлено на рис. 4) в межгодовой изменчивости температуры воды доминируют колебания с периодами от 2–3 до 5–6 лет. Более того, на отдельных участках временного ряда выделяются также несколько долговременных тенденций термического режима вод: потепления (с 1966 по 1976 г.); похолодания (с 1977 по 1990 г.); похолодания (с 1995 по 2001 г.).

Проведенные исследования с привлечением всех доступных материалов наблюдений свидетельствуют о наличии существенного влияния промышленных и бытовых стоков на гидрологический и гидрохимический режим бух. Золотой Рог, которое заключается в следующем:

в апреле температура воды после 1979 г. возросла (по данным станции Владивосток-порт) в среднем на 1,5 °С;

по данным ОГСНК, температура воды на поверхности в вершине бух. Золотой Рог в последние десятилетия в апреле увеличилась на 3,7 °С, в ее центральной части – на 1,0 °С, а на выходе из бухты ее изменения практически не заметны;

за последние 20 лет соленость на поверхности в вершине бух. Золотой Рог понизилась на 1,85‰, в средней ее части – на 1,05‰, а на выходе из бухты – на 0,7‰. На горизонте 10 м соленость воды в средней части бух. Золотой Рог понизилась на 0,75‰, а на выходе из нее – на 0,25‰;

за последние 20 лет в вершине бухты содержание растворенного кислорода на поверхности понизилось на 0,17 мл/л (вследствие влияния ТЭЦ-2), а на остальной акватории (как на поверхности, так и в ниже лежащих слоях) оно возросло примерно на 0,5 мл/л. Предполагается, что это следствие уменьшения солености (за счет бытовых и промышленных стоков), а также более интенсивного развития фитопланктона (как отклик на рост температуры воды).

Литература

- 30 лет Владивостокской ТЭЦ-2. Владивосток, 2000. 10 с.
- Бирюлин Г.М., Бирюлина М.Г., Микулич Л.В., Якунин Л.П.* Летние модификации вод зал. Петра Великого // Тр. ДВНИГМИ. 1970. Вып. 30. С. 286–299.
- Винокурова Т.Т.* О сезонной и краткопериодной изменчивости гидрологических характеристик в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. 1977. Т. 101. С. 7–12.
- Винокурова Т.Т., Скокленева Н.М.* Временная изменчивость гидрологических условий в различных районах залива Посыета // Изв. ТИНРО. 1980. Т. 104. С. 29–35.
- Гайко Л.А., Жабин И.А.* Изменчивость температуры и солености в районе плантации мидий в заливе Восток Японского моря // Биология моря. 1996. Т. 22, № 2. С. 126–130.
- Гайко Л.А.* Анализ многолетних наблюдений температуры воды и воздуха в заливе Петра Великого (Японское море) // Тр. ДВНИГМИ. Темат. вып. № 3. 2000. С. 62–76.
- Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Раздел 2. Гидрохимия. Японское море. Владивосток, 1984. 89 с. (Тр. ДВНИГМИ; т. 8, вып. 35).
- Гомоюнов К.А.* Гидрологический очерк Амурского залива и реки Суйфуна. Владивосток: Изд-во Гос. дальневост. ун-та, 1926. С. 7–22.
- Гомоюнов К.А.* Гидрологические работы в заливе Петра Великого в связи с общим режимом Японского моря // Гидрология зал. Петра Великого. Владивосток, 1930. С. 93–96.
- Григорьев Р.В., Зуенко Ю.И.* Среднегодовое распределение температуры и солености в Амурском заливе Японского моря // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 143. С. 179–188.
- Давыдова С.В.* Видовой состав ихтиопланктона бухт зал. Петра Великого и его сезонная динамика // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 123. С. 105–121.
- Данченков М. А., Фельдман К. Л., Файман П. А.* Температура и соленость вод зал. Петра Великого // Темат. вып. ДВНИГМИ № 4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 10–25.
- Дашко Н.А., Варламов С.М.* Метеорология и климат. Гидрометеорологические условия. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. С. 18–102.
- Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И.* Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря // Метеорология и гидрология. 1993. № 10. С. 82–86.
- Зуенко Ю. И.* Термическая структура вод на шельфе Приморья // Геогр. исслед. шельфа дальневост. морей. Владивосток, 1993. С. 62–71.
- Климат Владивостока / под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 248 с.
- Коновалова Г.В.* Микро- и нанопланктон Амурского залива зимой // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. Владивосток, 1980. С. 6–8.
- Корякова М.Д.* Гидрохимическая и гидрологическая характеристика морской воды одной из бухт зал. Петра Великого // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 36. С. 59–66.
- Ластовецкий Е.И., Вещева В.М.* Гидрометеорологический очерк Амурского и Уссурийского заливов / под ред. Л.Н. Закопной. Приморское управление гидрометеорологической службы. Владивосток, 1964. 264 с.

- Ластовецкий Е.И., Якунин Л.П.* Гидрологическая характеристика Дальневосточного государственного морского заповедника // Цветковые растения островов Дальневосточного морского заповедника. Владивосток, 1981. С. 18–33.
- Лоция северо-западного берега Японского моря. Л.: ГУНИО МО, 1984. 316 с.
- Лучин В.А., Сагалаев С.Г.* Океанологические условия в Амурском заливе (Японское море) зимой 2005 года // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 143. С. 203–218.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Круц А.А.* Океанографический режим вод зал. Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 140. С. 130–169.
- Микулич Л.В., Бирюлина М.Г.* Некоторые вопросы гидрологии и донная фауна залива Посъета // Тр. ДВНИГМИ. 1970. Вып. 30. С. 300–316.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.И.* Межгодовая изменчивость весенне-летнего планктона в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 281–300.
- Омельяненко В.А., Куликова В.А., Погодин А.Г.* Меропланктон Амурского залива (залив Петра Великого Японского моря) // Биология моря. 2004. Т. 30, № 3. С. 191–207.
- Основные черты гидрохимии зал. Петра Великого (Японское море) / Н.Ф. Подорванова, Т.С. Ивашинникова, В.С. Петренко, Л.С. Хомичук. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 201 с.
- Покудов В.В., Власов Н.А.* Температурный режим прибрежных вод Приморья и острова Сахалин по данным ГМС // Тр. ДВНИГМИ. 1980. Вып. 86. С. 109–118.
- Рачков В.И.* Характеристика гидрохимических условий вод Амурского залива в теплый период года // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 65–77.
- Семилетов И.П.* О сезонной изменчивости содержания углеводородных газов и кислорода в заливе Угловом // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 131. С. 80–84.
- Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю., Масленников С.И.* Сезонная динамика диатомовых водорослей рода *Chaetoceros Ehrenberg* в Амурском заливе Японского моря // Биология моря. 2004. Т. 30, № 1. С. 30–38.
- Danchenkov M.A.* Sea water density distribution in Peter the Great bay // Pacific Oceanography. 2003. Vol. 1, N 2. P. 179–184.
- Pavlychev V.P., Teterin A.I.* Interannual changes of thermal conditions in the north-western Japan Sea // Proceedings of fourth CREAMS workshop, r/v Okean, Vladivostok, Febr. 12–13, 1996. Vladivostok, 1996. P. 71–75.
- Petrenko V.S.* Global and local features of technogenesis on the Primorye coast (Sea of Japan) // Reports of the Workshop on the Global Change Studies in the Far East, Vladivostok, Sept. 11–15, 2000. Vladivostok, 2000. С. 26–37.
- Vanin N.S., Yurasov G.I., Zuenko Ju.I., Nedaskovskiy A.P., Ermolenko S.S.* Monitoring of the update state of Peter the Great Bay waters based on observations of November 1999–April 2000 // Proceed. CREAMS Symp. 2001. P. 150–157.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ И СОСТАВА БЕНТОСА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

¹*Т.А. Белан,* ²*А.В. Мощенко,* ¹*Т.С. Лишавская*

¹*Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт Росгидромета*

²*Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН*

Источниками загрязнения прибрежной среды зал. Петра Великого являются муниципальные и промышленные сточные воды, речной сток и атмосферный перенос, сброс материалов дночерпания, судоходство. В последние годы на российском Дальнем Востоке обнаружен еще один фактор загрязнения, не учитывавшийся ранее – трансграничный перенос загрязняющих веществ из соседних с Россией стран по руслу рек, впадающих в наши территориальные воды: р. Туманная – в юго-западную часть зал. Петра Великого, р. Раздольная – в северную часть Амурского залива (Касьянов, Питрук, 2000; Огородникова, 2001). Реальную опасность для прибрежных экосистем дальневосточных морей представляют строительство и эксплуатация объектов нефтедобывающего