

УДК 551.46(265.54)

**В.А.Лучин, Е.А.Тихомирова, А.А.Круц  
(ДВНИГМИ, г. Владивосток)**

### **ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

На основании всех доступных к настоящему времени материалов глубоководных океанографических наблюдений (25 062 станции, выполненные за период с 1925 по 2001 г.) рассмотрены закономерности распределения и пространственно-временной изменчивости океанографических параметров вод зал. Петра Великого. Исследуемый регион моря ограничен со стороны моря линией, соединяющей устье р. Туманной с мысом Поворотным. В отдельных разделах рассмотрены температура и соленость морской воды, растворенный в воде кислород, а также режим биогенных элементов (фосфаты и силикаты). Представлен анализ их вертикальной структуры, сезонной изменчивости и пространственно-временного распределения. Для отдельных районов зал. Петра Великого на поверхности и в подповерхностных водах рассмотрены тенденции межгодовых изменений термических условий.

**Luchin V.A., Tikhomirova E.A., Kruts A.A.** Oceanographic regime of Peter the Great Bay (Japan Sea) // *Izv. TINRO*. — 2005. — Vol. 140. — P. 130–169.

Oceanographic parameters (water temperature and salinity, dissolved oxygen content, and concentration of phosphates and silicates) distribution and variability in Peter the Great Bay are analyzed on the base of all available data series for the period 1925–2001 (obtained by regional Hydrometeorological agencies, Pacific Fisheries Research Center, Hydrographic Service, and Russian Academy of Sciences). The total number of the analyzed oceanographic stations is amounted as 25,062. The data are distributed by  $10^{\circ}\text{long.} \times 10^{\circ}\text{lat.}$  squares.

The parameters distribution is explained by multiyear monthly averaged charts for the depth 0, 20, 30 and 50 m (moreover, 10 m for dissolved oxygen). The set of the charts characterizes seasonal variability. Interannual variability of water temperature is investigated by periodogram method. The dominant oscillations with periods 2–3 and 5–6 years are revealed in the surface layer. Moreover, two opposite long-term tendencies are registered for the surface layer in certain parts of the Bay: warming trend in the Amur and Ussuri Bays (1967–2001; 1973–2001, respectively); cooling trend in offshore waters of the Bay, in the Nakhodka and Vostok Bays (1973–1988, 1969–1990). The 2–3 and 5–6 years oscillations dominate in the subsurface layer (20–30 m). The long-term tendencies in the subsurface layer change by decades: warming in 1966–1976; cooling in 1977–1990; cooling in 1995–2001.

Зал. Петра Великого находится в северо-западной части Японского моря и ограничен со стороны моря линией, соединяющей устье р. Туманной с мысом Поворотным. П-овом Муравьев-Амурский и группой островов, расположенных к юго-западу от него, зал. Петра Великого разделяется на два больших залива — Амурский и Уссурийский. Кроме того, в берега зал. Петра Великого вдаются еще четыре значительных залива: Посыета, Стрелок, Восток и Находка. Дно в зал. Петра Великого довольно ровное и плавно повышается с юга на север. Берега

залива высокие, обрывистые, большей частью скалистые, почти везде приглубые и значительно изрезаны. На акватории залива много различных по величине островов, которые сосредоточены главным образом в его западной части (Лощия ..., 1984).

Основными климатообразующими воздушными массами бассейна Японского моря являются континентальные и морские умеренные. Континентальный умеренный воздух, характеризующийся малой влажностью и очень низкими температурами, преобладает преимущественно в зимний период (зимний муссон), тогда как летом доминирует морской умеренный воздух (летний муссон). В начале лета в зал. Петра Великого метеорологические условия зависят от циркуляционных особенностей и теплового состояния Охотского моря (охотоморский вынос). В этот период погода в зал. Петра Великого характеризуется пониженным фоном температуры, образованием слоистой облачности, мороси и густыми туманами, сохраняющимися несколько дней. Во вторую половину лета термический контраст между дальневосточными морями и Тихим океаном сглаживается и над Японским морем преобладает довольно сухая погода (Климат Владивостока, 1978; Дашко и др., 1996).

Первые океанографические исследования вод залива были выполнены в конце 1920-х гг. К.А.Гомоюновым (1926, 1930), который представил вертикальные и пространственные распределения температуры и солености. В 50-е гг. прошлого столетия специалисты ТИНРО и Гидрометслужбы начали осуществлять в заливе стандартные наблюдения, которые в настоящее время являются основой для исследования режима его вод. Несмотря на большое число выполненных к настоящему времени океанографических наблюдений, опубликованных сведений по океанографическому режиму залива еще недостаточно. Так, например, в работах Л.А.Гайко (2000); В.В.Покудова и Н.А.Власова (1980) рассмотрены только термические условия региона, основанные на данных прибрежных гидрометеорологических станций. Из-за ограниченности имеющихся в их распоряжении исходных наблюдений исследователи (Микулич, Бирюлина, 1970; Винокурова, 1977; Винокурова, Скокленева, 1980; Ластовецкий, Якунин, 1981; Семилетов, 1987; Жабин и др., 1993; Гайко, Жабин, 1996; Давыдова, 1998; Надточий, Зуенко, 2000; Рачков, 2002; Danchenkov, 2003) рассматривали только отдельные участки залива. Более того, в этих работах подвергались анализу отдельные характеристики океанографического режима (как правило, температура и соленость). Имеющиеся исследования, основанные на данных многолетних наблюдений (Бирюлин и др., 1970; Гидрометеорологические условия ..., 1984; Основные черты гидрохимии ..., 1989; Данченков и др., 2003), также имеют свои ограничения. Так, в работе Г.М.Бирюлина с соавторами (1970), где представлены только общие сведения о гидрологическом режиме, отсутствуют данные об использованных материалах наблюдений. Распределения температуры и солености, помещенные в работе М.А.Данченкова с соавторами (2003), основаны на данных конкретных STD-съемок за 1993–2001 гг. Обобщающая работа “Основные черты гидрохимии ...” (1989) основана на материалах около 1000 океанографических станций, выполненных в 1975–1983 гг., и представляет в основном детальное распределение гидрохимических параметров отдельных прибрежных акваторий зал. Петра Великого. В работе “Гидрометеорологические условия ...” (1984) на основе данных за 1950–1979 гг. приведены средние многолетние сведения о гидрохимических условиях зал. Петра Великого. При обобщении имеющейся информации авторы этой работы использовали сезонное осреднение данных в “квадратах” 15 x 15 мин. В представленных выше работах было установлено, что режим вод зал. Петра Великого определяется главным образом 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 хоть и слабо развиты, но все же есть; орографией берегов и степенью изолированности вторичных бухт и заливов.

Целью настоящей работы является климатическое исследование параметров океанографического режима (температуры и солености морской воды, растворенного в воде кислорода, а также биогенных элементов — фосфатов и силикатов), основанное на всех доступных к настоящему времени данных наблюдений в зал. Петра Великого.

Для анализа закономерностей распределения и пространственно-временной изменчивости океанографических параметров вод зал. Петра Великого использованы данные наблюдений, собранные из всех доступных источников (учреждений Гидрометслужбы, ТИНРО—ТУРНИФ, Гидрографической службы, Академии наук). Так как данные были взяты из различных источников, в обобщенном массиве имелось большое количество дублей и станций с недостоверной информацией. После их исключения в результирующем массиве осталось 25 062 станции, выполненные за период с 1925 по 2001 г. Пространственное распределение океанографических станций на акватории залива (рис. 1) показывает, что зал. Петра Великого сравнительно хорошо и равномерно освещен наблюдениями.

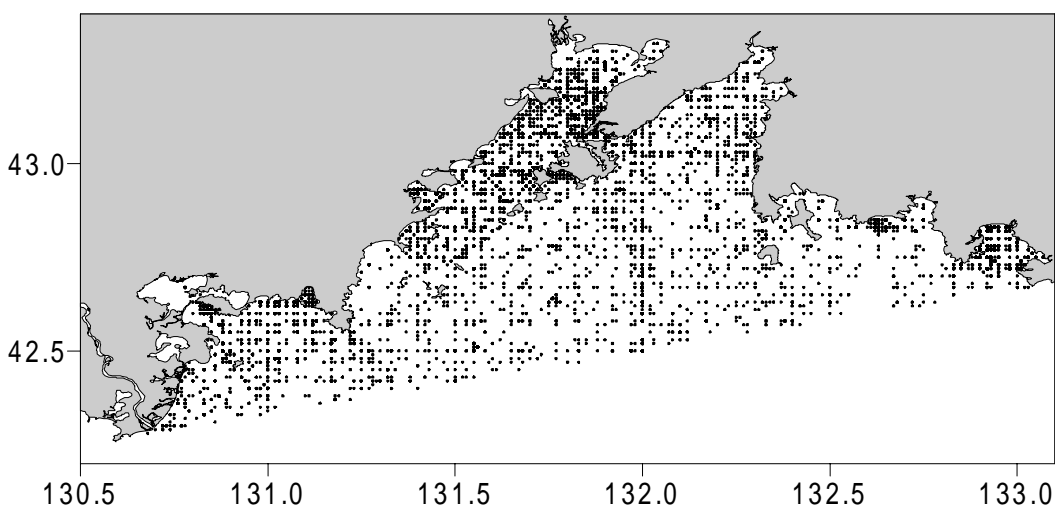


Рис. 1. Схема расположения океанографических станций в зал. Петра Великого  
Fig. 1. Distribution of oceanographic stations in Peter the Great Bay

Состояние информационной базы по конкретным элементам, а также пространственно-временное распределение имеющихся к настоящему времени данных наблюдений представлено в табл. 1 и 2. Все наблюдения приводились к стандартным горизонтам, а посредством линейной интерполяции восстанавливались пропуски в наблюдениях. После выполнения контроля качества информации она отсортировывалась в сферические трапеции (10 мин по широте и долготу), которые в дальнейшем будем называть квадратами. Масштаб осреднения данных выбирался с учетом распределения исходной информации по акватории залива и получения наиболее детальной картины распределения характеристик. Особенности вертикального распределения и сезонной изменчивости всех элементов были рассмотрены для 5 более крупных акваторий (отдельно Амурский и Уссурийский заливы, мористая часть зал. Петра Великого, зал. Посыета, а также зал. Находка и Восток).

Таблица 1  
Распределение количества станций по горизонтам и месяцам  
(1925–2001 гг.)

Table 1  
Distribution of stations quantity by depths and months (1925–2001)

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

Таблица 2  
Распределение количества станций по горизонтам и элементам  
(1925–2001 гг.)

Table 2  
Distribution of stations quantity by depths and elements (1925–2001)

Измеряемый элемент	Горизонт, м		
	0	20	50
Температура	25062	11174	2836
Соленость	18529	7344	1624
Растворённый кислород	18506	6502	1027
Фосфаты	12443	4221	648
Силикаты	13062	4473	635

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.

## Температура

**Вертикальное распределение.** Термическая структура вод в зал. Петра Великого зависит от морфометрических особенностей отдельных его частей, погодных условий, взаимодействия деятельного слоя вод с атмосферой, а также от особенностей неперидических и приливных течений. В вершинах бухт и отдельных заливов, при наличии мелководных участков с распресненным поверхностным слоем и значительными градиентами плотности вблизи поверхности, поверхностные воды летом хорошо прогреваются. В зимний период на всей акватории залива создаются благоприятные условия для ежегодной вентиляции вод от поверхности до дна. В мористой части залива большое влияние на термический режим оказывает адвекция вод из глубоководной части моря.

Толщу вод залива по значениям температуры воды и градиентам на отдельных участках вертикальных профилей, как правило, невозможно разделить на отдельные слои. Это в основном связано с технологией многолетнего обобщения данных наблюдений. Характерной чертой термической структуры вод зал. Петра Великого является гомогенное распределение температуры в холодный период года, а также монотонное понижение ее в направлении дна летом.



Вместе с тем на средних многолетних профилях вертикального распределения температуры воды в отдельные месяцы выделяются верхний квазиоднородный слой, сезонный термоклин и более холодные придонные воды (рис. 2).

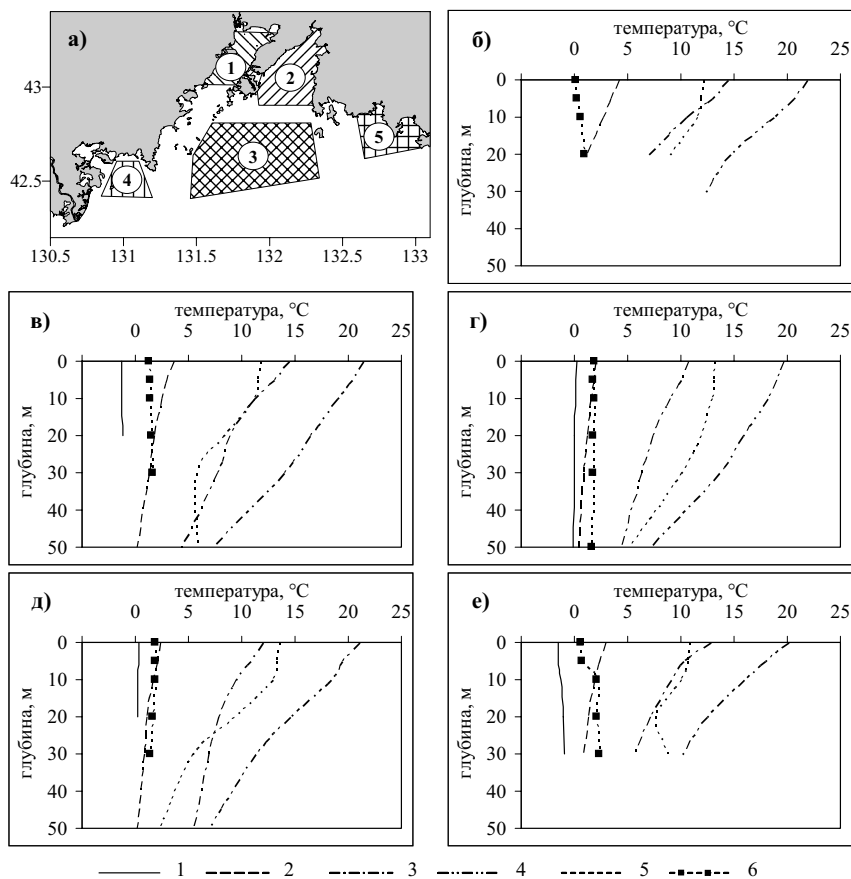


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — распределение температуры в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — февраль, 2 — апрель, 3 — июнь, 4 — август, 5 — октябрь, 6 — декабрь

Fig. 2. Vertical distribution of water temperature in different parts of Peter the Great Bay: **a** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — distribution of water temperature in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — February, 2 — April, 3 — June, 4 — August, 5 — October, 6 — December

Для периода с ноября—декабря по март в толще вод, как правило, наблюдается гомогенное распределение температуры. Это связано с мелководностью района исследования и благоприятными условиями для хорошего развития конвекции, в результате которой происходит охлаждение толщи вод от поверхности до придонных горизонтов в северной мелководной части зал. Петра Великого до температуры заморзания. Поэтому зимой в заливе не выделяются другие структурные элементы в вертикальном распределении температуры воды (рис. 2).

В теплый период года (с июня по сентябрь) вся толща вод залива представляет собой только хорошо выраженный слой сезонного термоклина с максимальными значениями температуры воды на поверхности. Осенью (рис. 2), когда существенно понижается температура воздуха и увеличиваются скорости ветра, на акватории залива выделяются все отмеченные выше структурные элементы вертикального распределения температуры воды. Следует отметить, что все изложенное основывается на средних многолетних величинах температуры воды. В конкретные годы отдельные элементы термической структуры могут быть

выражены более ярко. Более того, их вертикальное распространение и значения градиентов также могут быть существенно выше либо ниже.

**Сезонная изменчивость.** На акватории зал. Петра Великого сезонные изменения температуры значительны от поверхности до дна (рис. 3). В годовом ходе температуры воды отчетливо выделяется годовая гармоника. В зимний период в толще вод отмечается гомогенное распределение температуры воды, о чем свидетельствует схождение в одну линию месячных кривых годового распределения на отдельных горизонтах. Для теплого периода года характерно снижение температуры воды в направлении дна. Довольно отчетливо выделяется также запаздывание от горизонта к горизонту времени наступления годового максимума температуры воды на подповерхностных горизонтах. Синхронные сезонные изменения температуры характерны только для поверхностного слоя вод. Более того, только в заливах Уссурийский, Находка и Восток, а также в глубоководном районе зал. Петра Великого сохраняется единое время наступления максимального прогрева вод (август) в слое 0–20 м. В заливах Амурском и Посыета, где на гидрологический режим существенное влияние оказывает речной сток, максимальный прогрев (август) характерен только для поверхностных вод. На подповерхностных горизонтах время максимального прогрева смещается на сентябрь (рис. 3).

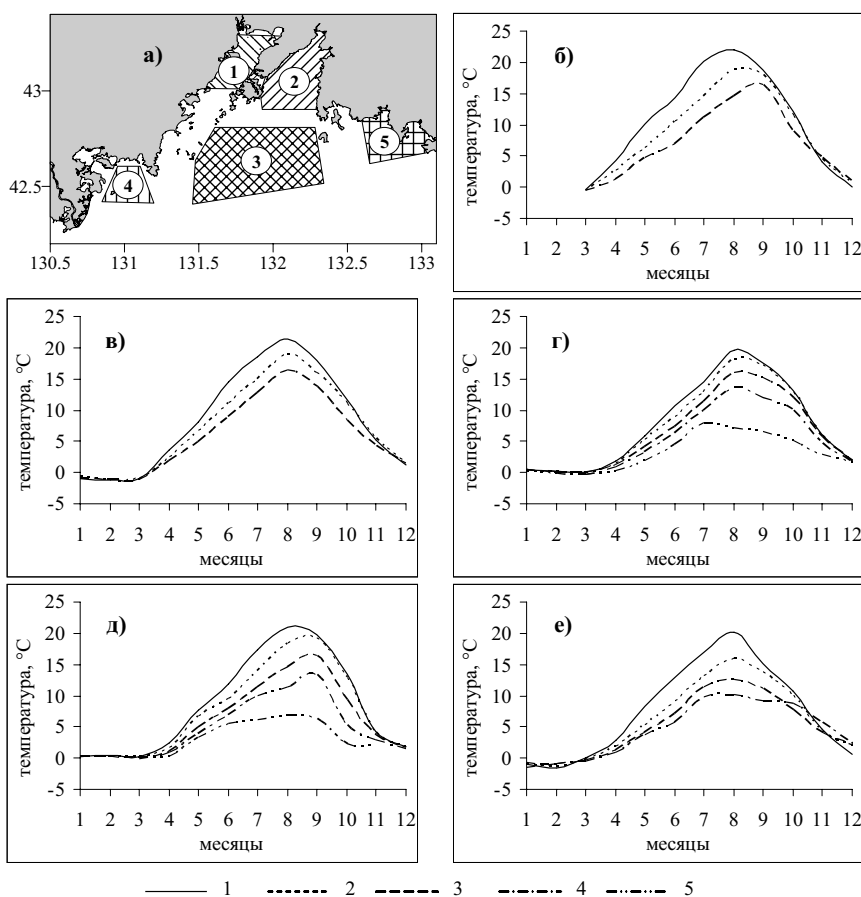


Рис. 3. Сезонные изменения температуры воды в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения температуры в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м, 5 — 50 м

Fig. 3. Seasonal variations of water temperature in different parts of Peter the Great Bay: **a** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — water temperature variations in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — 0 m, 2 — 10 m, 3 — 20 m, 4 — 30 m, 5 — 50 m

Максимальные сезонные колебания температуры воды в зал. Петра Великого характерны для поверхностного слоя (рис. 4), где они варьируют от 20 до 23 °С. Минимум сезонных колебаний наблюдается в мористых районах залива, что свидетельствует о существенно меньшей сезонной изменчивости температуры собственных вод Японского моря. Максимум сезонных колебаний температуры в поверхностных водах характерен для северных мелководных районов Амурского и Уссурийского заливов (рис. 4).

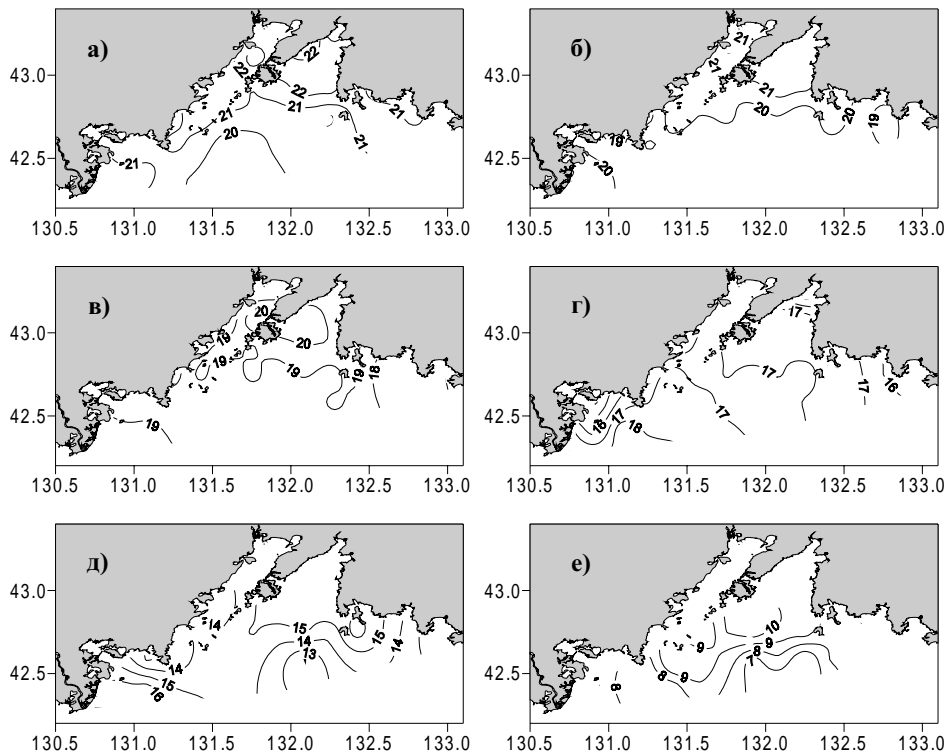


Рис. 4. Размах (max—min) сезонных колебаний температуры воды (°С) на различных горизонтах: а — 0 м; б — 5 м; в — 10 м; г — 20 м; д — 30 м; е — 50 м

Fig. 4. Range (max—min) of seasonal variations of water temperature (°С) at different horizons: а — 0 м; б — 5 м; в — 10 м; г — 20 м; д — 30 м; е — 50 м

Это связано с высокими значениями температуры в летний период, а также с интенсивной конвекцией зимой, которая снижает здесь температуру воды до точки замерзания. На подповерхностных горизонтах сезонные колебания температуры уменьшаются. Следует отметить, что на горизонтах 5 и 10 м размах сезонных колебаний температуры остается еще достаточно высоким (19–20 °С). Однако уже в слое сезонного термоклина, который наиболее ярко выражен на горизонтах 20–30 м, размах сезонных колебаний температуры воды существенно снижается (до 13–17 °С). Минимальные сезонные колебания температуры воды (7–10 °С), которые примерно в два раза ниже поверхностных, характерны для горизонта 50 м (рис. 4).

**Пространственно-временное распределение.** В пространственном распределении температуры воды на поверхности зал. Петра Великого в течение года выделяется два существенно различающихся крупномасштабных типа (рис. 5).

Для первого из них, выделяющегося в зимний период (рис. 5, а, е), максимальные значения температуры воды характерны для мористых глубоководных акваторий залива, где за счет теплообмена с прилегающей частью моря температура воды не опускается ниже минус 0,5 °С зимой (рис. 5, а) и 2,0–3,0 °С в начале зимы (рис. 5, е), что существенно выше точки замерзания. В мелководных

районах залива, для которых (несмотря на значительный прогрев поверхностных вод летом) характерен минимальный запас тепла толщи вод, температура воды зимой (рис. 5, а) опускается ниже минус 1,5 °С.

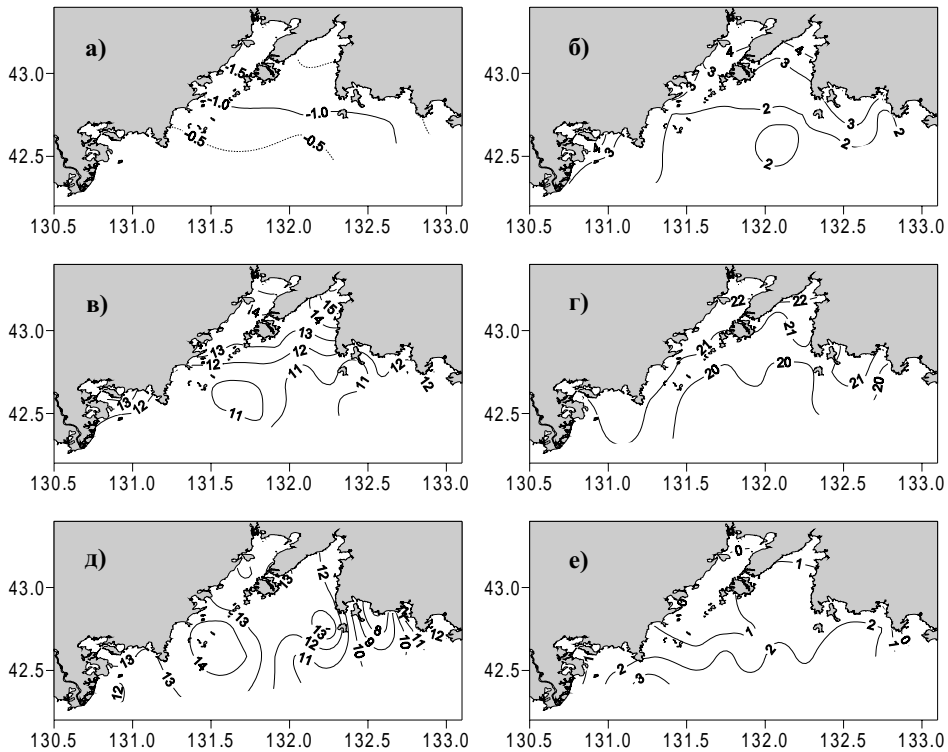


Рис. 5. Распределение температуры воды (°С) на поверхности зал. Петра Велико-го: а — февраль, б — апрель, в — июнь, г — август, д — октябрь, е — декабрь

Fig. 5. Distribution of water temperature (°С) at the surface of Peter the Great Bay: а — February, б — April, в — June, г — August, д — October, е — December

В теплое время года картина распределения температуры воды на поверхности становится обратной зимней (рис. 5, б–г). Для этого типа пространственного распределения температуры воды максимальные значения характерны для прибрежных акваторий, а в мористой части залива выделяются пониженные значения. В октябре в термическом режиме поверхностных вод залива отмечается переходная ситуация (рис. 5, д).

На горизонте 20 м в течение года также выделяется два существенно различающихся типа распределения (рис. 6). Первый из них, при котором максимальные значения температуры воды регистрируются в открытых (глубоководных) районах залива, наблюдается с октября по февраль (рис. 6, а, д, е). Для второго типа, выделяющегося в теплое время года, картина распределения температуры воды на горизонте 20 м становится обратной зимней (рис. 6, б–г), а ее максимальные значения характерны для прибрежных акваторий.

На горизонте 30 м в течение года отчетливо выделяется только осенне-зимний тип, для которого максимальные значения температуры воды отмечаются в открытых (глубоководных) частях залива с октября по февраль (рис. 7, а, д, е).

В течение теплого периода года (с апреля по август—сентябрь) картина распределения температуры воды на горизонте 30 м характеризует переходную ситуацию. Ее отличительной чертой (от одного месяца к другому) является географическое смещение экстремумов температуры воды по акватории залива (рис. 7, б–г).

На горизонте 50 м происходит существенное понижение температуры воды, уменьшаются ее сезонные колебания, а также термические контрасты между

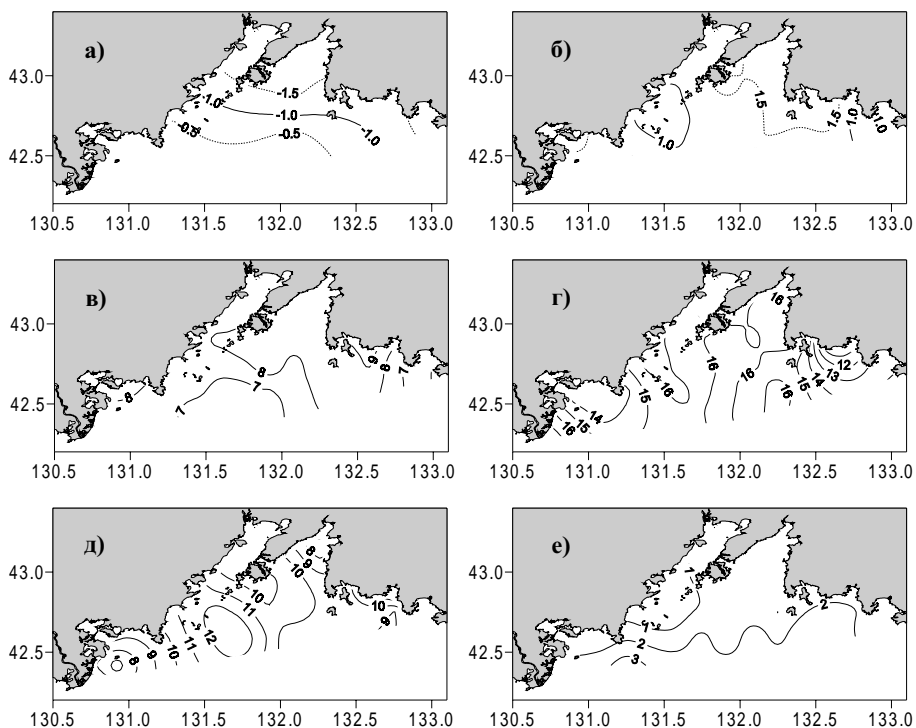


Рис. 6. Распределение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 6. Distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at the depth of 20 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

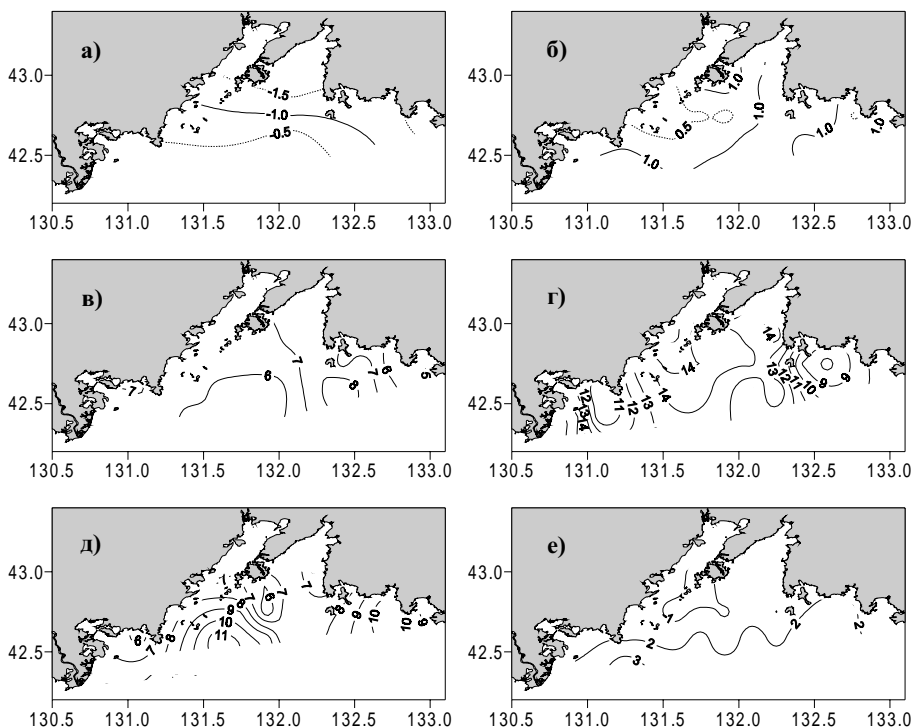


Рис. 7. Распределение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 7. Distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at the depth of 30 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December



отдельными районами залива (рис. 8). Здесь, как и на горизонте 30 м, достаточно отчетливо выделяется только осенне-зимний тип пространственного распределения температуры, характерной чертой которого являются максимальные значения температуры воды в открытых глубоководных частях залива с октября по апрель (рис. 8, а, б, д, е). В разгар летнего прогрева поверхностных вод (с июня по август—сентябрь) для картины распределения температуры воды на горизонте 50 м характерна переходная ситуация. Ее отличительной чертой (от одного месяца к другому) является географическое смещение экстремумов температуры воды по акватории зал. Петра Великого (рис. 8, в, г).

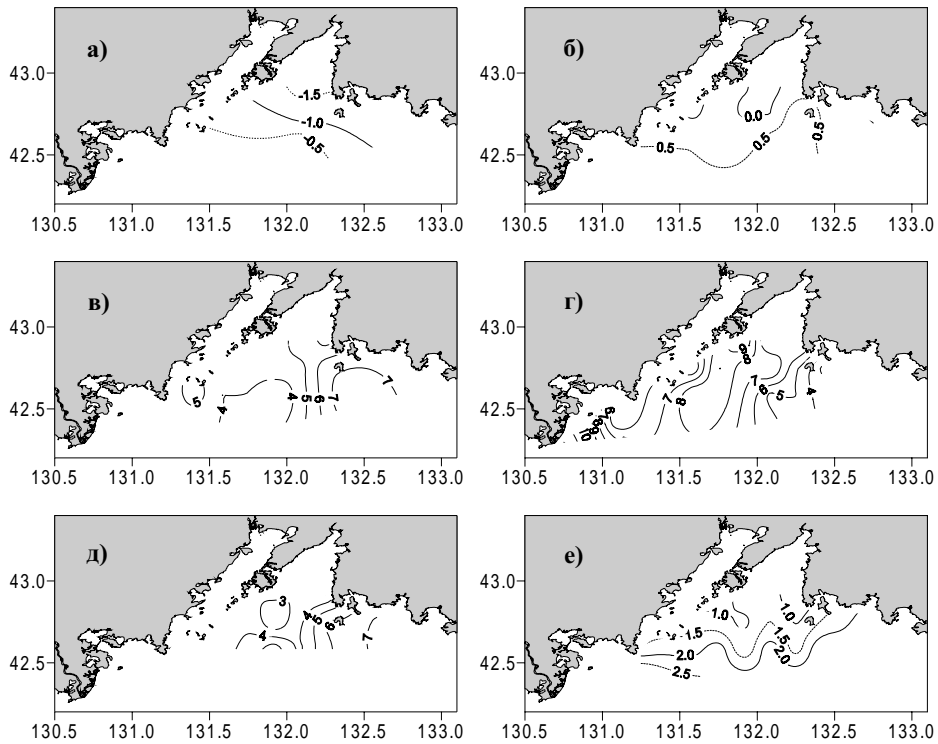


Рис. 8. Распределение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 8. Distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at the depth of 50 m in Peter the Great Bay: **а** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

### Соленость

**Вертикальное распределение.** Соленость в толще вод залива формируется под влиянием солевого баланса, который в основном определяется атмосферными осадками, испарением, вариациями стока рек, образованием и разрушением льда, а также адвекцией вод из сопредельных регионов Японского моря. Немаловажную роль в пространственном распределении солености играет открытость южной границы залива, которая способствует свободному обмену вод с прилегающими глубоководными акваториями. Дополнительное влияние на пространственно-временное распределение солености оказывают термодинамические факторы, такие как система течений моря, фронтальные зоны, вихревые образования, процессы конвективного перемешивания и другие.

В течение всего года на профилях вертикального распределения не наблюдается локальных экстремумов (рис. 9). Главная особенность для зал. Петра Великого — рост солености с глубиной. Помимо этого в заливе выделяется два основных типа вертикального распределения солености. Первый из них характерен для заливов Амурский, Уссурийский, Находка и Восток, на режим солености

которых доминирующее воздействие оказывает речной сток, а влияние адвекции из открытых районов моря сказывается в меньшей степени. Напротив, в открытых глубоководных районах залива, к которым относится и зал. Посыета, воздействие стока рек выражено слабо, а основную роль играет адвективный приток высокосолёных вод из глубоководных районов Японского моря. Как следствие отмеченного выше, на акваториях, подверженных влиянию речного стока, в теплое время года отмечаются минимальные значения солёности (27,5–31,7 ‰). Здесь также выделяются максимальные вертикальные градиенты солёности, которые наиболее ярко выражены в слое 0–10 м, где они достигают 0,30–0,45 ‰/м. Однако уже в слое 10–20 м на этих акваториях величины вертикальных градиентов уменьшаются примерно в 5–10 раз (рис. 9, б, в, е).

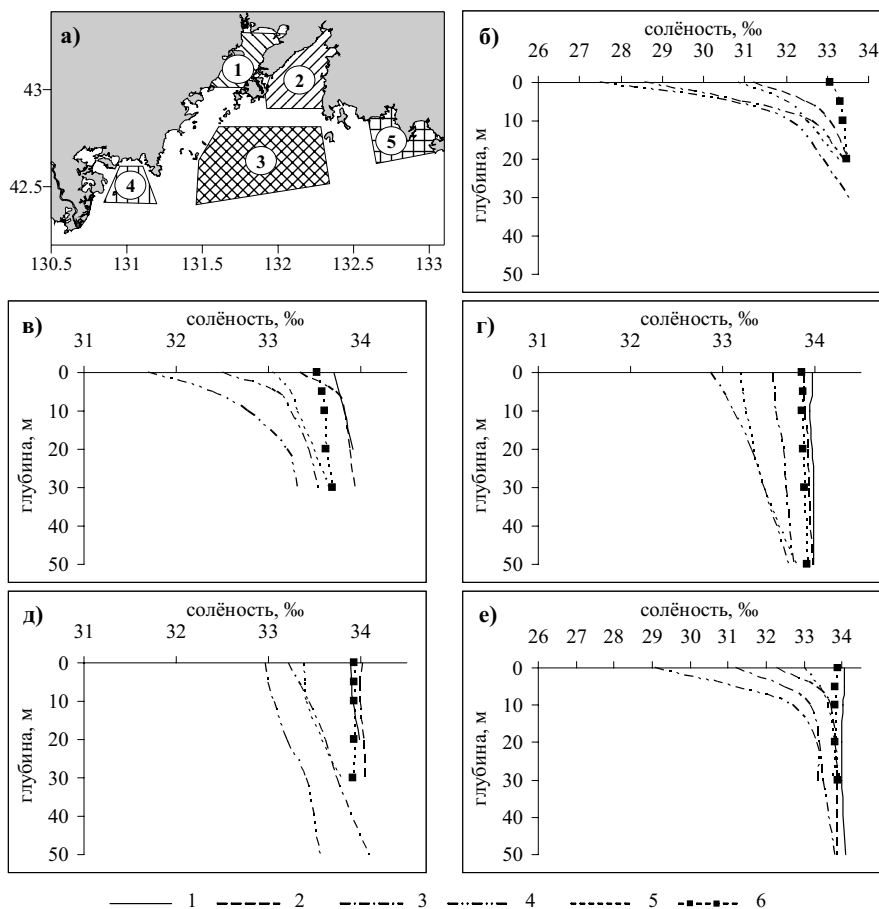


Рис. 9. Вертикальное распределение солёности воды в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — распределение солёности в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — февраль, 2 — апрель, 3 — июнь, 4 — август, 5 — октябрь, 6 — декабрь

Fig. 9. Vertical distribution of water salinity in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — distribution of water salinity in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — February, 2 — April, 3 — June, 4 — August, 5 — October, 6 — December

Для открытых глубоководных районов залива в теплый период года характерной чертой представленных вертикальных профилей является повсеместный и не превышающий 0,012–0,015 ‰/м рост солёности в направлении дна (рис. 9, г, д). Более значимый вклад в формирование солёности поверхностного слоя вод здесь вносят атмосферные осадки. Поэтому летом в поверхностном слое на рассматриваемых акваториях отмечаются минимальные значения солёности.

Зимой, за счет снижения объема атмосферных осадков и материкового стока, а также интенсивного вертикального перемешивания толщи вод, соленость на поверхности зал. Петра Великого повсеместно существенно возрастает. Происходит также сглаживание пространственных градиентов солености, наблюдающихся летом между прибрежными и мористыми акваториями. В осенне-зимний период, средние многолетние значения солености в толще вод зал. Петра Великого колеблются в пределах 33,00–34,05 ‰ (рис. 9).

**Сезонные изменения солености.** На акватории зал. Петра Великого сезонные изменения солености значительны только в тонком поверхностном слое (рис. 10).

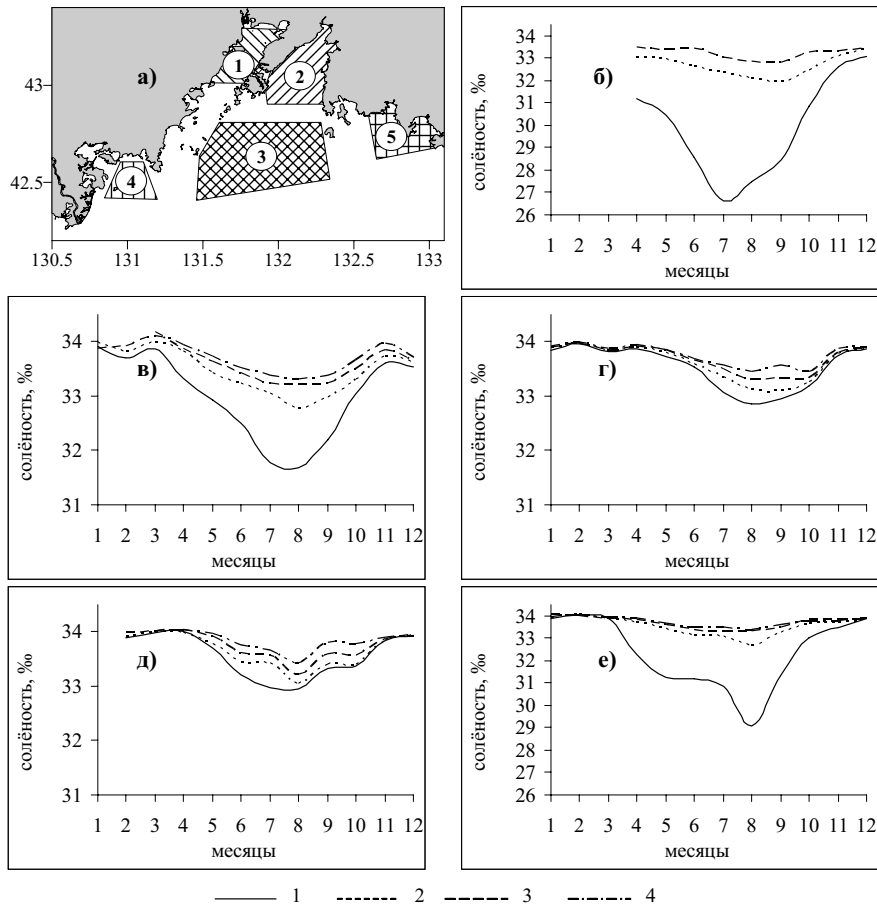


Рис. 10. Сезонные изменения солености воды в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения солености в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м

Fig. 10. Seasonal variations of water salinity in different parts of Peter the Great Bay: **a** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — water salinity variations in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — 0 m, 2 — 10 m, 3 — 20 m, 4 — 30 m

Максимальное распреснение поверхностных вод наступает в июле—августе, на нижележащие горизонты оно распространяется в августе—сентябре. На акватории залива в годовом ходе солености четко выделяется годовая гармоника. Синхронные сезонные изменения солености в толще вод залива характерны только для холодного периода года. Максимальная соленость в толще вод зал. Петра Великого формируется в период с ноября—декабря по март—апрель — время максимального охлаждения поверхностных вод (рис. 10).

В поверхностном слое минимум сезонных изменений солености (около 1 ‰) отмечается в мористых глубоководных частях залива (рис. 11, а). Выделяется также повсеместное увеличение значений при приближении к берегу. В прибрежных районах северной части залива сезонные колебания солености максимальны (2–7 ‰). Это связано в основном с речным стоком, а также с процессами конвекции, образования и разрушения ледяного покрова.

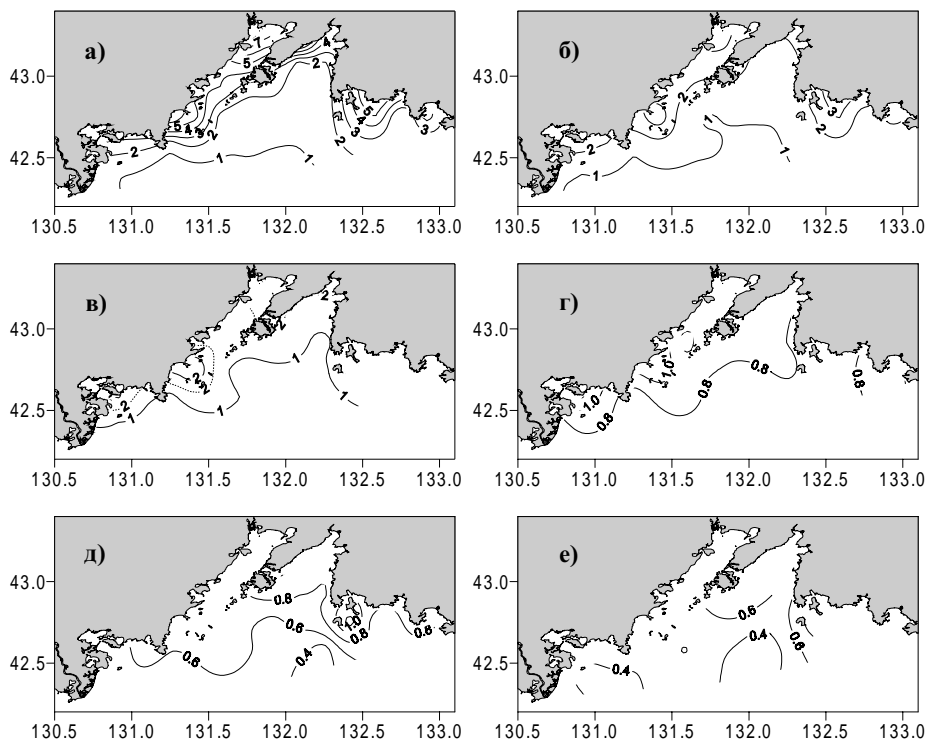


Рис. 11. Размах (max—min) сезонных колебаний солености воды (‰) на горизонтах: **а** — 0 м, **б** — 5 м, **в** — 10 м, **г** — 20 м, **д** — 30 м, **е** — 50 м

Fig. 11. Range (max—min) of seasonal variations of water salinity (‰) at different horizons: **а** — 0 m, **б** — 5 m, **в** — 10 m, **г** — 20 m, **д** — 30 m, **е** — 50 m

На подповерхностных горизонтах сезонные колебания солености существенно уменьшаются. На большей части исследуемой акватории на горизонтах 5 и 10 м они не превышают 1–3 ‰ (рис. 11, б, в). По мере роста глубин происходит дальнейшее снижение величин сезонных изменений солености. Поэтому на горизонтах 20–50 м они уже не превышают 0,4–1,0 ‰.

**Пространственно-временное распределение.** Для поверхностных вод зал. Петра Великого в течение всего года характерно однотипное пространственное распределение солености (рис. 12). Отличительной чертой этого распределения являются максимальные значения в южной глубоководной части залива, которые в течение года варьируют от 33,5 до 34,0 ‰. По мере приближения к берегам соленость существенно понижается.

Особенно ярко прибрежное распреснение поверхностных вод выражено летом в вершинах заливов Амурский, Стрелок, Восток и Находка, где значения не превышают 26–28 ‰ (рис. 12, г). В осенне-зимний период за счет снижения объема атмосферных осадков и материкового стока, а также интенсивного вертикального перемешивания толщи вод соленость на поверхности зал. Петра Великого существенно возрастает. Происходит также сглаживание пространственных градиентов солености между прибрежными и мористыми акваториями (рис. 12).

На горизонте 20 м в течение года выделяются два типа крупномасштабного пространственного распределения солености (рис. 13).

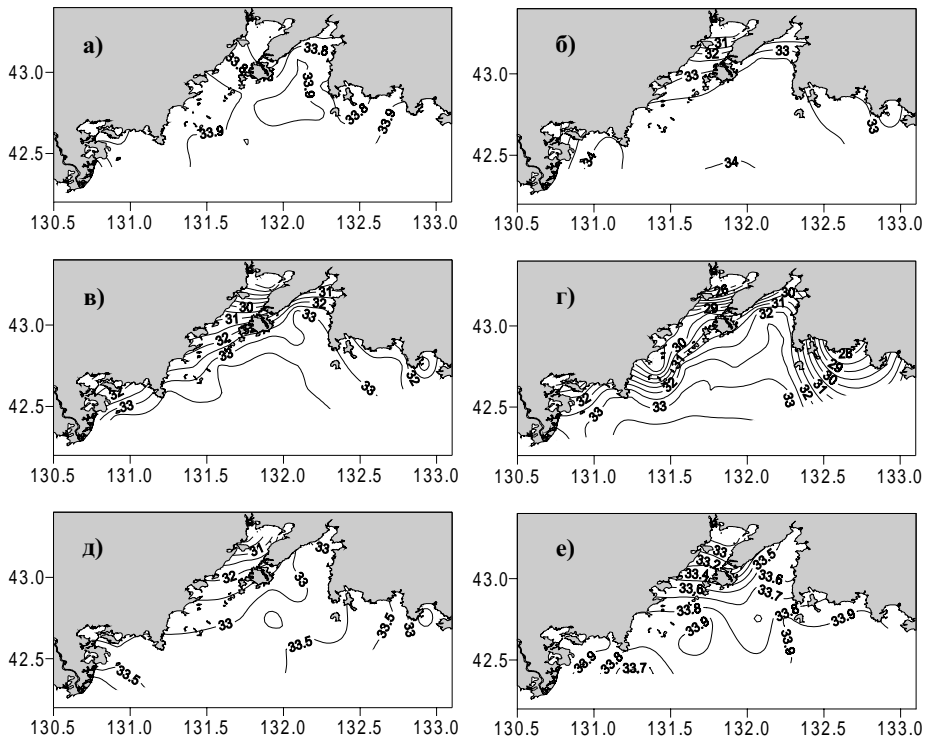


Рис. 12. Распределение солёности воды (‰) на поверхности зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 12. Distribution of water salinity (‰) at the surface of Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

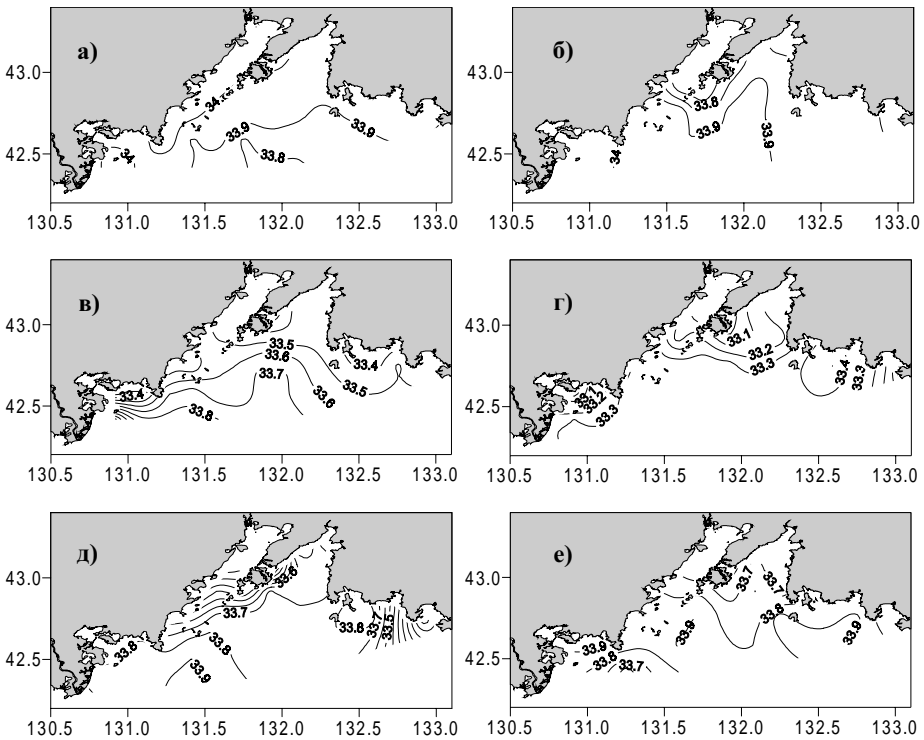


Рис. 13. Распределение солёности воды (‰) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 13. Distribution of water salinity (‰) at the depth of 20 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December



Для зимнего типа распределения (например, рис. 13, а) максимальные значения солёности характерны для северной мелководной части зал. Петра Великого. По мере продвижения на юг происходит постепенное снижение солёности. Главная особенность распределения солёности с апреля по октябрь — смещение максимальных значений в южную глубоководную часть залива. Для данного типа распределения в поле солёности на горизонте 20 м характерно наличие хорошо выраженного распреснения на северной периферии зал. Петра Великого (рис. 13, б–д). В эти месяцы на пространственное распределение солёности в заливе доминирующее влияние оказывают атмосферные осадки и речной сток. Минимум солёности на горизонте 20 м (33,1–33,4 ‰) выделяется в августе, что хорошо согласуется с режимом атмосферных осадков. Их максимум (150–170 мм) в заливе наблюдается в августе.

В декабре наблюдается переходная ситуация в пространственном распределении солёности. Так, на преобладающей части зал. Петра Великого (к востоку от зал. Посыета) сохраняется еще летний тип распределения солёности. В то же время на акватории зал. Посыета уже выделяется зимний тип распределения солёности, для которого характерны максимальные значения вблизи берегов (рис. 13, е).

На горизонтах 30 и 50 м (как и на горизонте 20 м) в течение года выделяются два типа крупномасштабного пространственного распределения солёности (рис. 14 и 15).

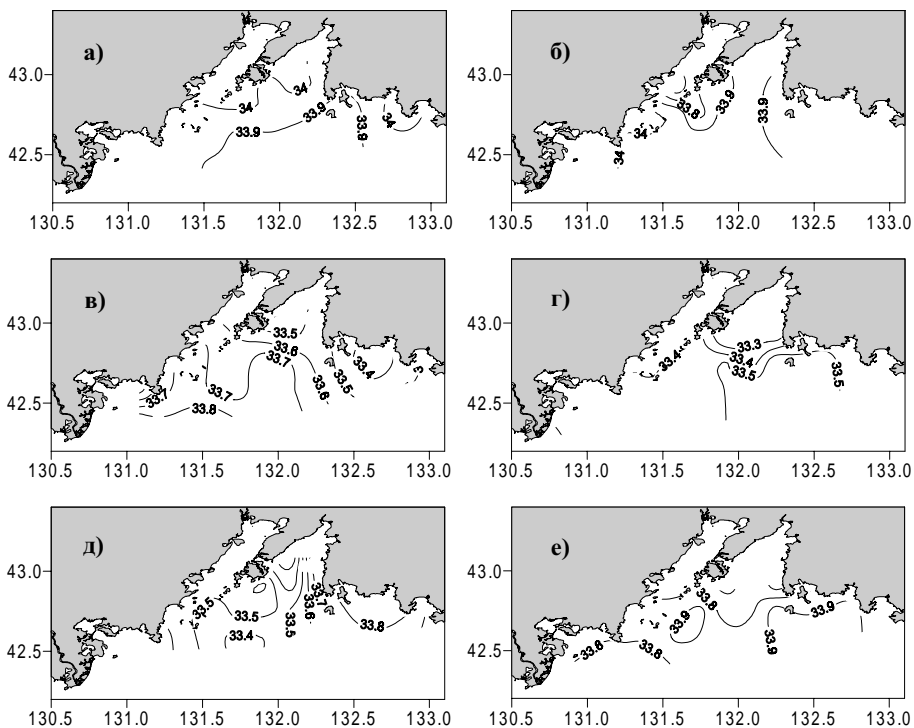


Рис. 14. Распределение солёности воды (‰) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого: а — февраль, б — апрель, в — июнь, г — август, д — октябрь, е — декабрь  
 Fig. 14. Distribution of water salinity (‰) at the depth of 30 m in Peter the Great Bay: а — February, б — April, в — June, г — August, д — October, е — December

Для первого из них, который выделяется в зимний период (рис. 14, а; 15, а), максимальные значения солёности характерны для северной части зал. Петра Великого. По мере продвижения на юг происходит постепенное снижение значений солёности. Главная особенность второго типа распределения солёности (с июня по август) — смещение максимальных значений в южную глубоководную часть залива (рис. 14, в, г; 15, в, г). Для данного типа распределения характерно наличие зоны распреснения на северной периферии зал. Петра Великого. В апре-

ле, октябре и декабре наблюдаются переходные ситуации в пространственном распределении солености на горизонтах 30 и 50 м, для которых типично чередование областей с максимальными и минимальными значениями (рис. 14 и 15).

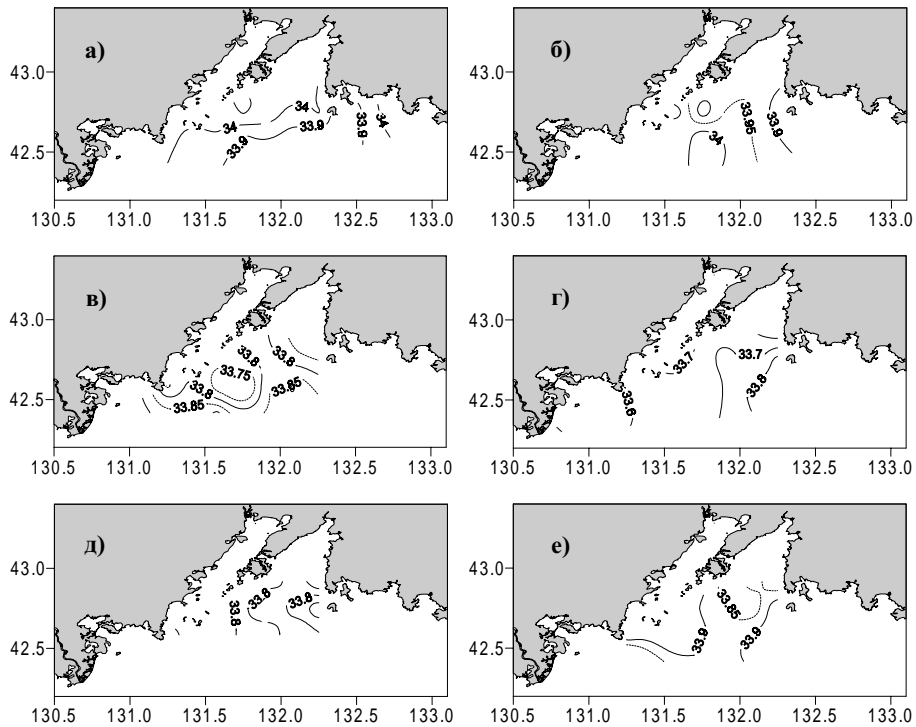


Рис. 15. Распределение солености воды (‰) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 15. Distribution of water salinity (‰) at the depth of 50 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

### Растворенный кислород

**Вертикальное распределение.** Известно, что процесс растворения газов в воде является обратимым. При равенстве скоростей абсорбции и десорбции возникает состояние равновесия между концентрациями в газовой среде и растворе. Повышение температуры и солености обычно уменьшает растворимость газов в морской воде. Поэтому в поверхностном слое воды, непосредственно соприкасающемся с атмосферой, в течение всего года отмечаются максимальные вариации (в зависимости от температуры и солености вод исследуемого региона) в содержании большинства растворенных в воде газов. Максимум абсолютных значений приходится на осенне-зимний период.

Уровень концентрации кислорода в любой точке зал. Петра Великого определяется, во-первых, динамикой газообмена на границе морская вода—атмосфера. Из-за большой скорости эти процессы, а также термические и динамические условия в толще вод играют основную роль в перераспределении кислорода между отдельными слоями и районами залива. В расходовании и поступлении кислорода значимы также окислительно-восстановительные процессы. Кислород продуцируется при расщеплении воды в процессе фотосинтеза, а расходуется на дыхание живых организмов, на окисление органических и неорганических веществ естественного и антропогенного происхождения. Перенос кислорода по вертикали осуществляется при конвективном и турбулентном перемешивании, а также при динамическом опускании и подъеме вод.

Величины содержания кислорода в толще вод зал. Петра Великого, как правило, не показывают отдельных структурных элементов (рис. 16). В течение

года режим растворенного в воде кислорода определяется доминирующим влиянием гидрологических условий и в первую очередь внутригодовыми изменениями температуры воды. Так, в холодный период года (за счет интенсивного вертикального перемешивания толщи вод) образуется гомогенный слой зимней конвекции, в котором содержание кислорода максимально и практически однородно. С началом прогрева поверхностных вод, который в зависимости от суровости зимы начинается с марта по май, поверхностный слой начинает выделять кислород (так как повышение температуры уменьшает растворимость газов в воде). Поэтому на подповерхностных горизонтах начинает формироваться слабый (не превышающий 0,3–0,5 мл/л) подповерхностный максимум содержания растворенного кислорода. Вносит свой вклад в данную особенность вертикального распределения кислорода и интенсификация развития фитопланктона.

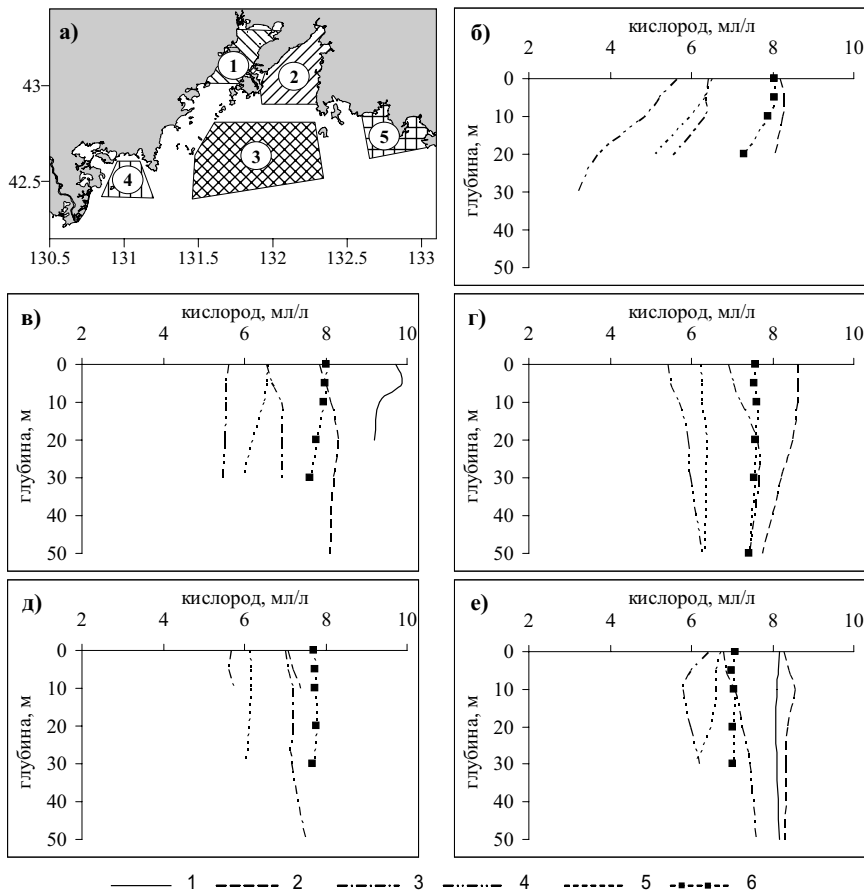


Рис. 16. Вертикальное распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — распределение кислорода в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — февраль, 2 — апрель, 3 — июнь, 4 — август, 5 — октябрь, 6 — декабрь

Fig. 16. Vertical distribution of dissolved oxygen (ml/l) in different parts of Peter the Great Bay: **a** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — distribution of dissolved oxygen in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — February, 2 — April, 3 — June, 4 — August, 5 — October, 6 — December

Летом, за счет существенного повышения температуры воды от поверхностной до придонных горизонтов, в толще вод зал. Петра Великого отмечается годовой минимум кислорода. Осенью, за счет начавшегося охлаждения поверхностных вод и роста скорости ветра, происходит интенсификация обменных процессов. Поэтому начиная с октября концентрации кислорода в толще вод залива выравниваются и вновь начинают увеличиваться.

**Сезонные изменения** содержания растворенного кислорода в толще вод зал. Петра Великого определяются в основном внутrigодовой изменчивостью температуры, солености и интенсивности фотосинтеза. Потребление кислорода происходит на всех глубинах: он расходуется на дыхание организмов, при разложении органического вещества бактериями, а также на окисление неорганических соединений.

Имеющиеся к настоящему времени материалы наблюдений свидетельствуют о том, что в водах залива в течение всего года сохраняются достаточно высокие концентрации растворенного кислорода (рис. 17). Основным источником его пополнения являются термические и динамические процессы, происходящие в осенне-зимнее время. В результате конвекции, которая приводит в это время года к полному исчезновению вертикальных градиентов плотности, создаются дополнительные условия для передачи кислорода от поверхности до придонных горизонтов посредством ветро-волнового и вихревого перемешивания.

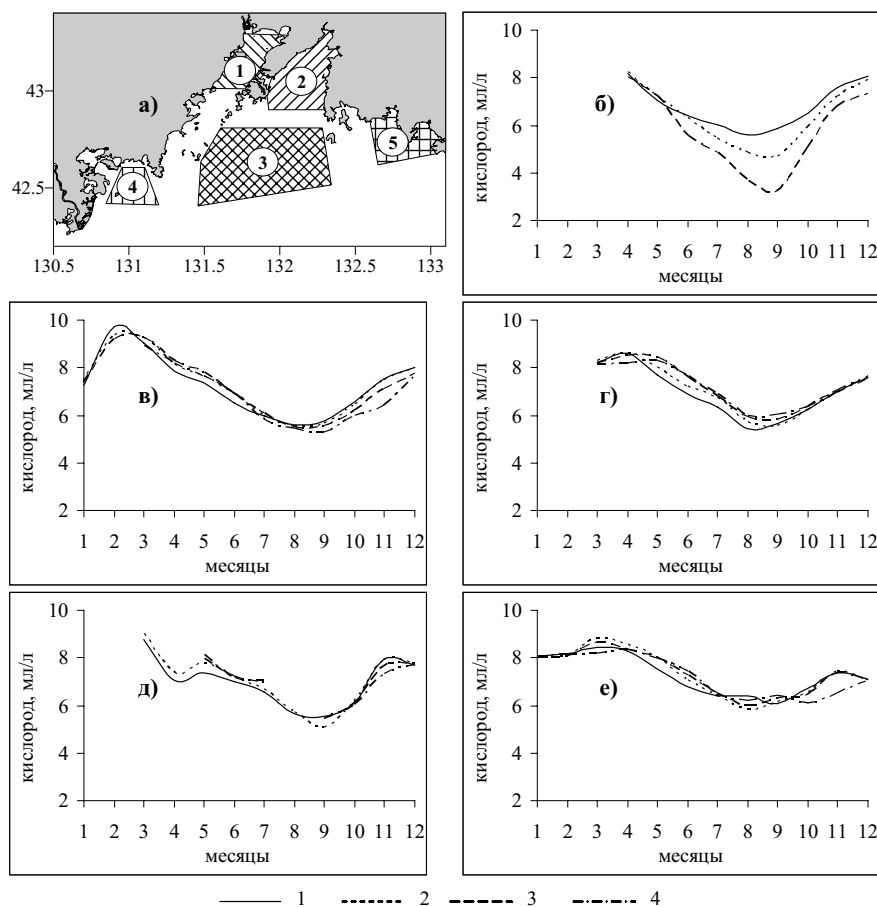


Рис. 17. Сезонные изменения растворенного в воде кислорода (мл/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения кислорода в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м

Fig. 17. Seasonal variations of dissolved oxygen (ml/l) distribution in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — dissolved oxygen variations in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — 0 m, 2 — 10 m, 3 — 20 m, 4 — 30 m

Для всей толщи вод зал. Петра Великого характерна четко выраженная годовая гармоника в ходе сезонных изменений содержания растворенного кислорода. Его максимальные значения формируются на конечном этапе осенне-

зимнего охлаждения толщи вод, в феврале—марте, а также ранней весной в условиях сравнительно невысоких значений температуры воды и бурного развития фитопланктона, в апреле (рис. 17). В холодное время года понижение температуры воды приводит к повсеместному увеличению абсолютного содержания растворенного кислорода в поверхностных слоях, что связано с повышением растворимости кислорода.

Постоянный рост температуры воды весной и в начале лета приводит к существенному снижению содержания кислорода в толще вод залива. Даже интенсивная фотосинтетическая деятельность фитопланктона не может восполнить возникающего дефицита кислорода. В разгар лета (август—сентябрь) на всей акватории залива формируется максимум температуры воды. Наряду с этим происходит также снижение содержания биогенных элементов (за счет их потребления фитопланктоном), что приводит к ослаблению цветения фитопланктона. Поэтому летом в водах зал. Петра Великого наблюдается минимум содержания растворенного кислорода. Так, на придонных горизонтах Амурского залива концентрации кислорода понижаются до 3,5 мл/л. На преобладающей части акватории зал. Петра Великого в это же время содержание кислорода не превышает 5,0–6,5 мл/л. Осенью начинающееся охлаждение поверхностных вод и возрастающие скорости ветра приводят к интенсификации обменных процессов. Поэтому с октября в водах зал. Петра Великого концентрации растворенного кислорода выравниваются и увеличиваются.

**Пространственно-временное распределение.** Характер распределения растворенного кислорода в водных массах служит показателем их происхождения и протекающих в них химических и физических процессов. Уровень концентрации кислорода в водной среде и перераспределение его между отдельными слоями водных масс и районами моря определяется окислительно-восстановительными процессами, внутриводным обменом различного происхождения и масштаба, а также обменом с атмосферой.

На поверхности зал. Петра Великого, как правило, в течение года наблюдается два существенно различающихся типа крупномасштабного пространственного распределения кислорода (рис. 18).

Первый характерен для осенне-зимнего периода года. В этом случае наиболее низкие концентрации растворенного кислорода (7,5–8,0 мл/л) наблюдаются в открытых глубоководных районах залива. В основном это связано со сравнительно высокой температурой воды, которая, по средним многолетним данным, даже зимой не опускается здесь ниже минус 0,5 °С (см. рис. 5). На северной периферии залива, где в осенне-зимний период наблюдается наиболее низкая температура воды, насыщение толщи вод кислородом максимально (до 8,0–9,0 мл/л). Неравномерный весенне-летний прогрев поверхностных вод в заливе, связанный с различной плотностной стратификацией толщи вод, а также влияние речного стока и дифференцированный (для различных частей залива) адвективный приток вод из глубоководных частей Японского моря приводят к перестройке поля пространственного распределения кислорода в поверхностном слое вод. В результате этого с апреля по июнь на акватории зал. Петра Великого выделяется второй тип горизонтального распределения кислорода, для которого максимальные значения (7,0–8,5 мл/л) характерны для мористой глубоководной части залива, где температура воды существенно ниже. По мере продвижения к северной периферии залива (где более высокая температура воды) в поверхностных водах происходит существенное снижение содержания кислорода (до 6,5 и 8,0 мл/л соответственно в июне и апреле). В августе и октябре наблюдается переходная ситуация в пространственном распределении кислорода. Как правило, в это время года для большей части акватории залива характерно чередование областей с минимальными и максимальными значениями кислорода. Только мористее заливов Стрелок и Восток в поле кислорода отчетливо выделяется область с повышенными значениями, происхождение которой связано с пониженной температурой воды.



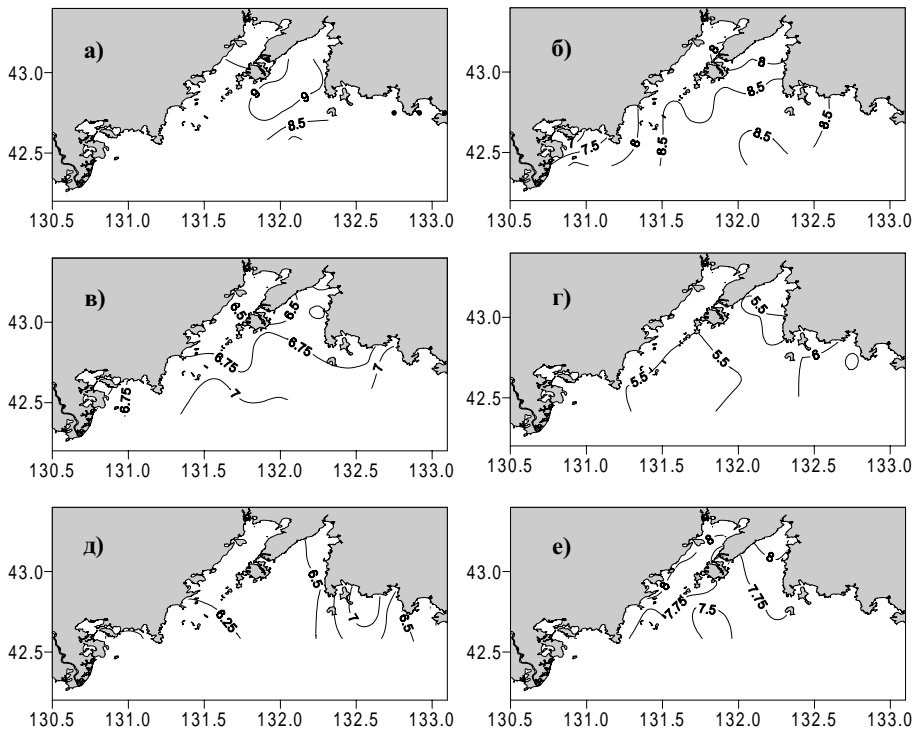


Рис. 18. Распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) на поверхности зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 18. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) at the surface of Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

По мере роста глубины в толще вод зал. Петра Великого в течение года сохраняются два существенно различающихся типа крупномасштабного пространственного распределения кислорода. Однако отличительной чертой полей распределения кислорода на конкретном горизонте является различная продолжительность периодов их существования, а также наличие или отсутствие переходных ситуаций.

На горизонте 10 м осенне-зимний тип (с максимумом значений в мелководной части залива) распределения кислорода выделяется, как и на поверхности, с декабря по февраль. Второй тип, для которого характерны более высокие значения кислорода в глубоководных частях залива, наблюдается с апреля по август. Поэтому переходная ситуация в пространственном распределении кислорода отмечается только в октябре (рис. 19).

На горизонте 20 м в пространственном распределении кислорода не наблюдается переходных ситуаций. Зимний тип распределения выделяется с декабря по февраль, а летний — с апреля по октябрь (рис. 20).

На горизонте 30 м в пространственном распределении кислорода, как и в верхнем слое вод зал. Петра Великого, вновь начинает проявляться переходная ситуация, которая выделяется в апреле. Это свидетельствует о постепенном (с ростом глубины) увеличении продолжительности зимнего типа пространственного распределения кислорода (рис. 21).

На горизонте 50 м выделяются два одинаковых по продолжительности типа пространственного распределения кислорода. Осенне-зимний тип (с максимумом значений в мелководной части залива) распределения кислорода наблюдается с декабря по апрель. Второй тип, для которого характерны более высокие значения кислорода в глубоководных частях залива, наблюдается с июня по октябрь (рис. 22).

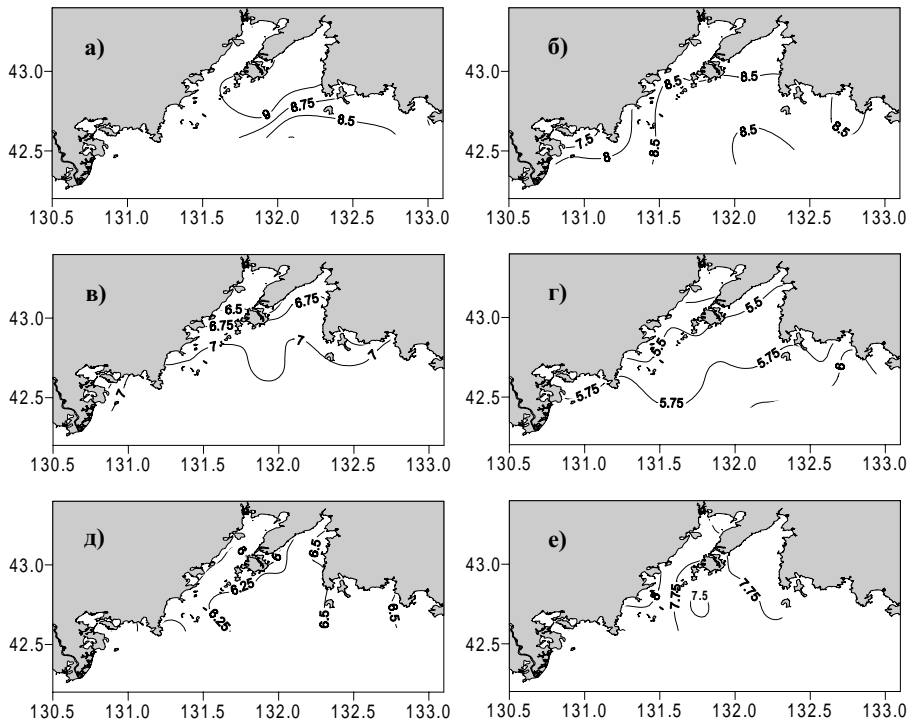


Рис. 19. Распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) на горизонте 10 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 19. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) at the depth of 10 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

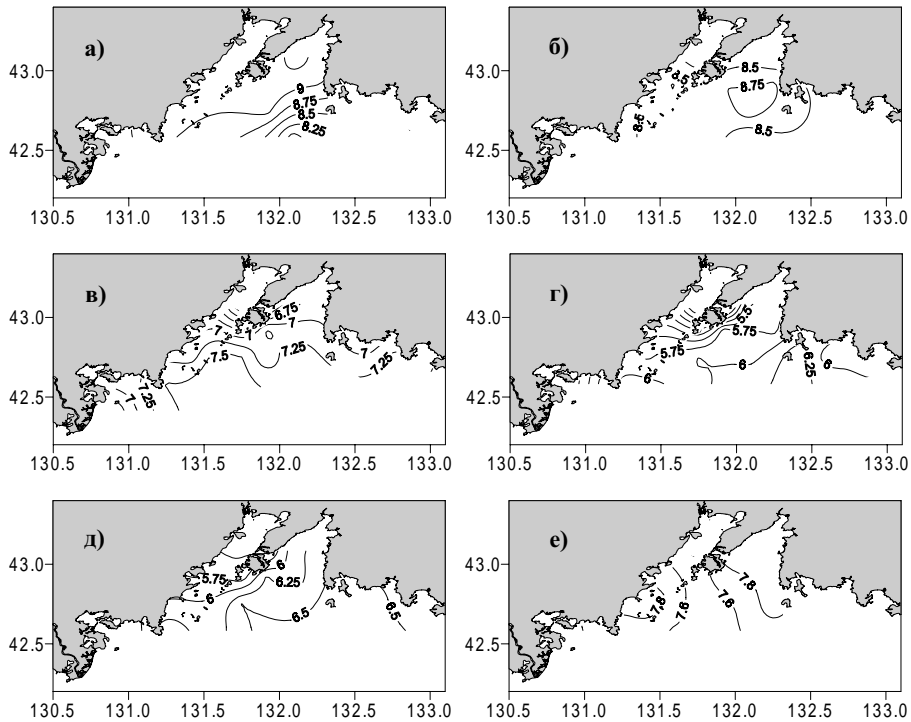


Рис. 20. Распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 20. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) at the depth of 20 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

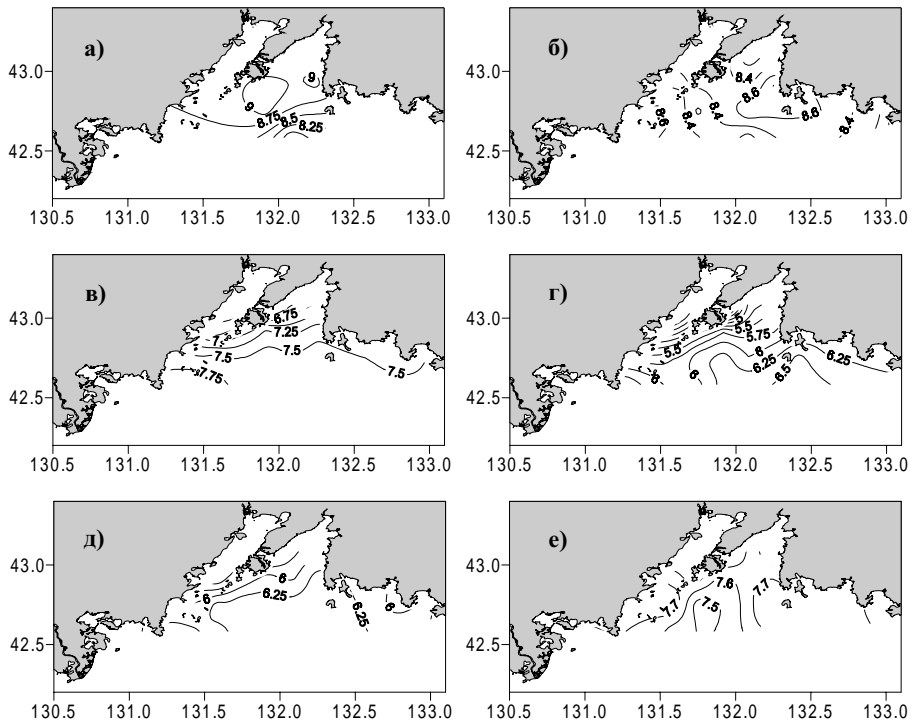


Рис. 21. Распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 21. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) at the depth of 30 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

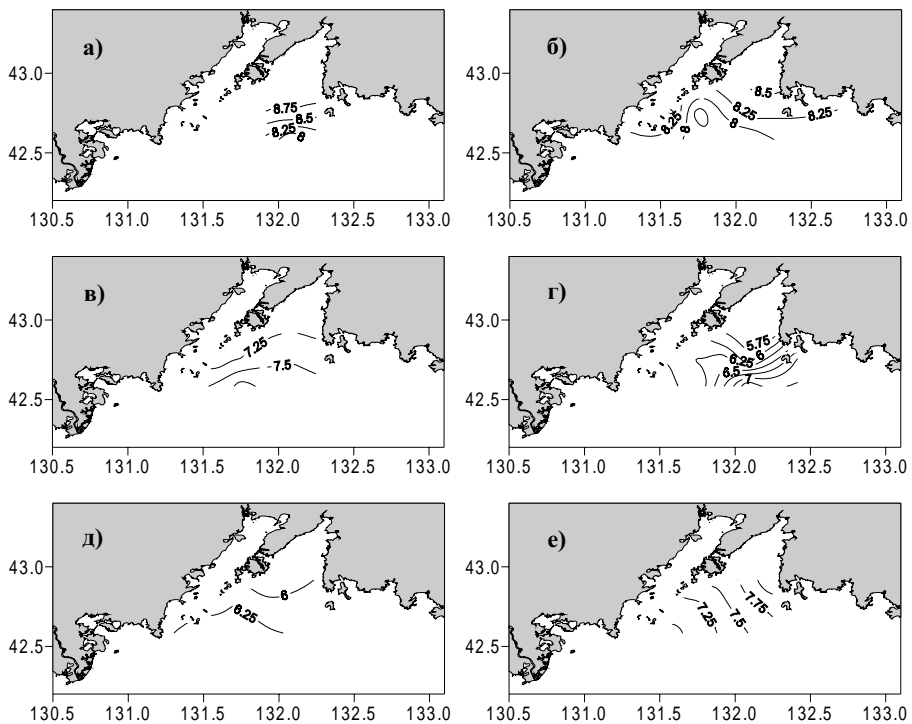


Рис. 22. Распределение растворенного в воде кислорода (мл/л) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого: **а** — февраль, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 22. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) at the depth of 50 m in Peter the Great Bay: **a** — February, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

## Фосфаты

Фосфор содержится в морской воде в виде ионов ортофосфорной кислоты (фосфатов) и встречается во всех клеточных образованиях, регулируя их основные жизненные процессы: фотосинтез, дыхание и обмен веществ. Характер распределения фосфатов в толще вод, оценка их количественного содержания, биохимические процессы потребления и регенерации фосфора имеют большое значение при определении продуктивности морей и океанов.

**Вертикальное распределение.** Фосфор, находящийся в морской воде в органической и минеральной формах, является одним из основных биогенных элементов, лимитирующих развитие фитопланктона. Концентрация его в любом районе моря и на разных глубинах определяется динамическими факторами, а также биохимическими и физико-химическими процессами, происходящими при разложении и образовании органического вещества.

В вертикальном распределении фосфатов на акватории зал. Петра Великого (из-за его мелководности) сложно выделить существенно различающиеся структурные элементы (рис. 23). Здесь преобладают продукционные процессы, вследствие чего наблюдаются минимальные концентрации фосфатов и максимальные их сезонные изменения. На подповерхностных горизонтах в районах с ярко выраженной плотностной стратификацией вод наблюдается существенный рост содержания фосфатов в направлении дна.

Основной закономерностью вертикального распределения фосфатов в зал. Петра Великого (рис. 23), как и в большинстве других регионов Мирового океана, является наличие минимальных концентраций в поверхностном слое. Следует отметить, что особенно низкие концентрации фосфатов наблюдаются в слое фотосинтеза, где происходит интенсивное потребление фосфора в результате жизнедеятельности фитопланктона. Минимальные вертикальные градиенты фосфатов характерны для осенне-зимнего периода. В этот период, за счет конвекции и большой повторяемости штормовых ветров над морем, а также замедленного потребления фосфатов при образовании органического вещества (как следствия недостатка света в результате значительного заглубления сезонного скачка плотности) происходит обогащение поверхностного слоя вод не только фосфатами, но и всеми питательными элементами. Поэтому изменения концентраций фосфатов по вертикали зимой незначительны.

Весной и летом вертикальные градиенты фосфатов в верхнем фотическом слое вод моря существенно возрастают. В это время, по мере увеличения потока солнечной радиации и преобладания слабых и неустойчивых по направлению ветров, происходит образование устойчивого пикноклина, что в свою очередь приводит к бурному развитию фитопланктона и понижению концентрации фосфатов в верхней части фотического слоя.

**Сезонная изменчивость.** Внутригодовые изменения содержания фосфатов в толще вод зал. Петра Великого определяются в основном интенсивностью фотосинтеза, изменчивостью в системе течений, вертикальным смещением вод в результате осенне-зимней конвекции. Имеющиеся к настоящему времени материалы наблюдений свидетельствуют о том, что в водах залива в течение всего года сохраняются достаточные для поддержания фотосинтеза концентрации фосфатов, которые не являются лимитирующим фактором развития фитопланктона (рис. 24). Основным источником их пополнения — термодинамические процессы, происходящие в осенне-зимнее время, а также материковый сток. В результате конвекции, которая приводит в холодное время года к существенному уменьшению или полному исчезновению вертикальных градиентов плотности от поверхности до придонных горизонтов, создаются условия для передачи фосфатов от нижеле-

жащих горизонтов к поверхности посредством конвективного обмена. Вносит свой вклад также усиливающееся ветро-волновое и вихревое перемешивание водных масс.

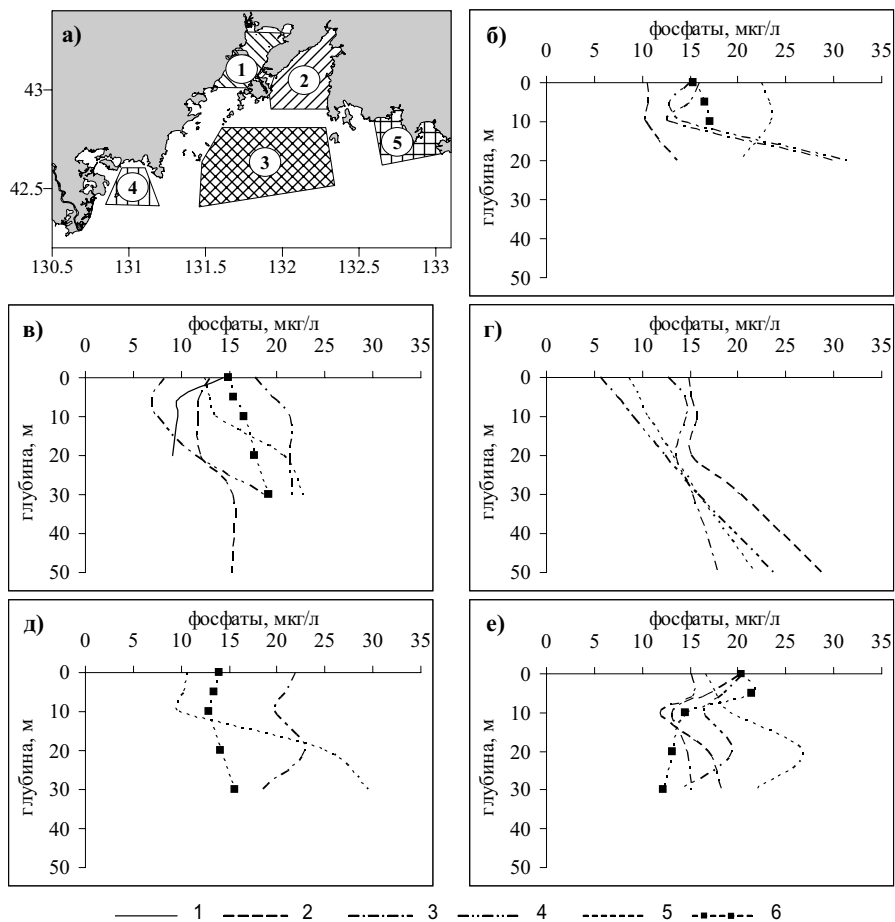


Рис. 23. Вертикальное распределение фосфатов (мкг/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — распределение фосфатов в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — февраль, 2 — апрель, 3 — июнь, 4 — август, 5 — октябрь, 6 — декабрь

Fig. 23. Vertical distribution of phosphates ( $\mu\text{g/l}$ ) in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — distribution of phosphates in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — February, 2 — April, 3 — June, 4 — August, 5 — October, 6 — December

Только в мористой глубоководной части залива в поверхностном слое четко выражена годовая гармоника в ходе сезонных изменений содержания фосфатов. Их максимальное содержание формируется в осенне-зимний период, с ноября по март (рис. 24). Минимальное содержание фосфатов выделяется летом (сентябрь). Отмеченные выше закономерности с правильной годовой гармоникой сезонных вариаций содержания фосфатов не наблюдаются в толще вод прибрежных районов зал. Петра Великого (рис. 24). Характерной чертой внутригодовых изменений фосфатов здесь является чередование локальных экстремумов во всех представленных квадратах осреднения данных. Возможно, что основной причиной этого является недостаточное в настоящее время для обобщения количество исходных данных в отдельные месяцы. На подповерхностных горизонтах картина внутригодовых изменений содержания фосфатов на акватории залива (по сравнению с поверхностной) несколько усложняется. Вместе с



тем можно отметить, что размах сезонных изменений фосфатов на акватории моря существенно не уменьшается.

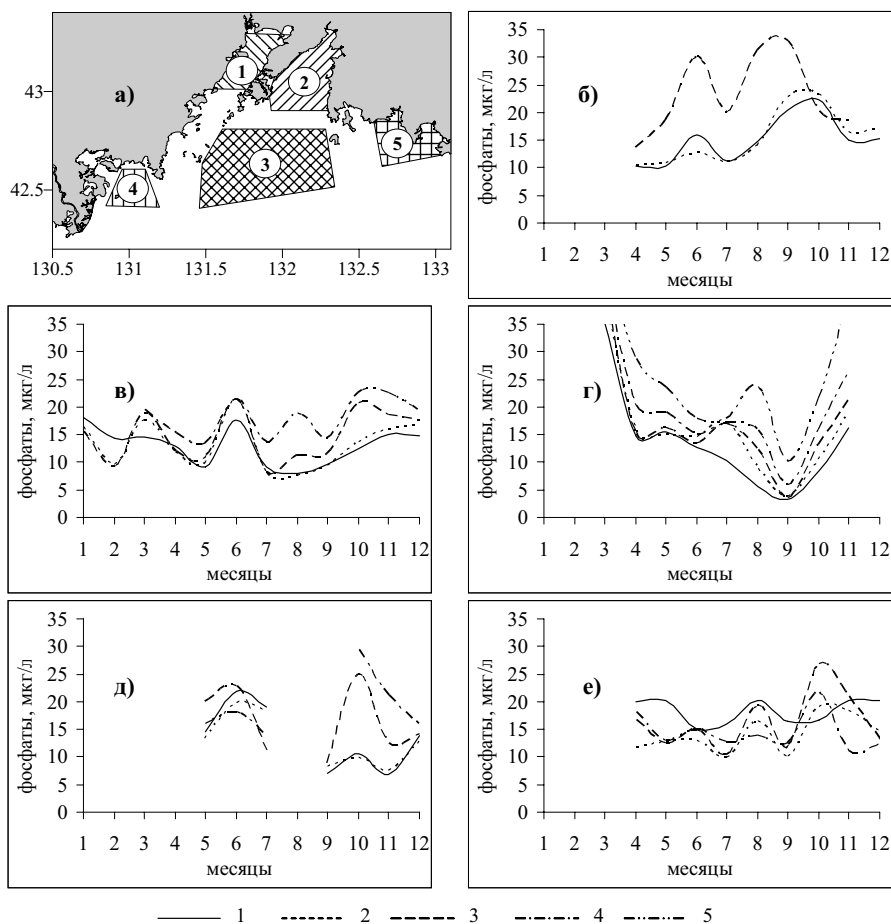


Рис. 24. Сезонные изменения фосфатов (мкг/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения фосфатов в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м, 5 — 50 м

Fig. 24. Seasonal variations of phosphates distribution ( $\mu\text{g/l}$ ) in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — phosphates variation in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м, 5 — 50 м

Помимо выделения экстремумов на графиках годового хода представляет также практическую значимость и оценка размаха колебаний характеристик в течение года, их вариаций как в пределах исследуемой акватории, так и по мере роста глубин.

В толще вод залива размах внутригодовых колебаний фосфатов составляет от 17 до 30 мкг/л (рис. 24). Наиболее высокие значения, превышающие 25 мкг/л, отмечаются в глубоководной части залива, что связано со значительными внутригодовыми изменениями параметров вертикальной структуры вод (особенно в осенне-зимнее время, когда интенсивно проявляются конвективные процессы), а также с изменчивостью интенсивности цветения фитопланктона. Также высокие значения внутригодовых колебаний содержания фосфатов (до 25 мкг/л) характерны для Амурского залива, где значительны внутригодовые изменения параметров вертикальной структуры вод, а также наблюдается изменчивость интенсивности цветения фитопланктона и стока рек.

**Пространственно-временное распределение.** На пространственное распределение фосфатов в поверхностных водах зал. Петра Великого зимой основное влияние оказывают конвективные процессы, в результате которых происходит перемещение фосфатов от придонных горизонтов на поверхность, а также сток рек. Существенное влияние на пространственное распределение фосфатов оказывает также адвекция вод из глубоководной части моря, где содержание фосфатов зимой ниже, чем в прибрежных водах залива (рис. 25).

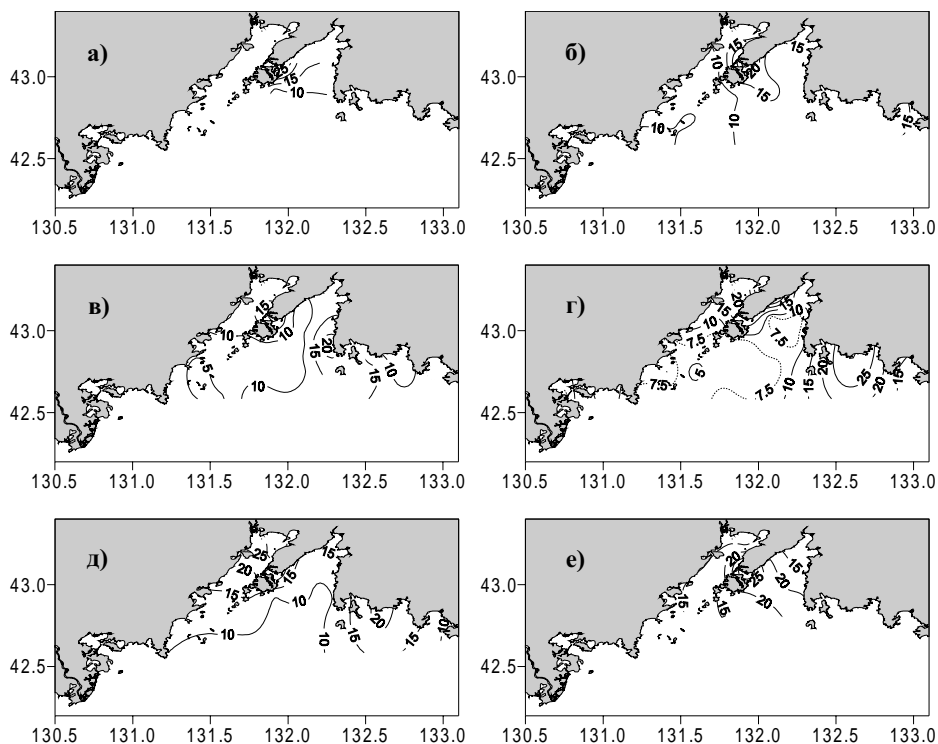


Рис. 25. Распределение фосфатов ( $\mu\text{г/л}$ ) на поверхности зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь

Fig. 25. Distribution of phosphates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the surface of Peter the Great Bay: **a** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

Это связано с тем, что в водах глубоководной части Японского моря конвекция не достигает придонных горизонтов, а также нет влияния стока рек. Нельзя исключить также и роль фитопланктона, условия для развития которого в открытых районах моря благоприятны в течение всего года. Все эти факторы приводят к тому, что на поверхности зал. Петра Великого в течение года сохраняется односторонний характер пространственного распределения фосфатов с максимальным содержанием в прибрежных районах залива. В прибрежных районах максимальные значения содержания (20–25  $\mu\text{г/л}$ ) характерны для периода с октября по февраль, а в теплый период года они снижаются до 10–15  $\mu\text{г/л}$  (рис. 25). Только в августе, за счет увеличения речного стока, в вершине Амурского залива содержание фосфатов возрастает до 20  $\mu\text{г/л}$  (рис. 25, г). Осенью на поверхности залива содержание фосфатов начинает увеличиваться, что связано со снижением интенсивности жизнедеятельности фитопланктона и начавшимися процессами осенней конвекции.

На горизонтах 20 и 30 м (рис. 26 и 27) основные особенности пространственного распределения фосфатов, которые были отмечены для поверхностных

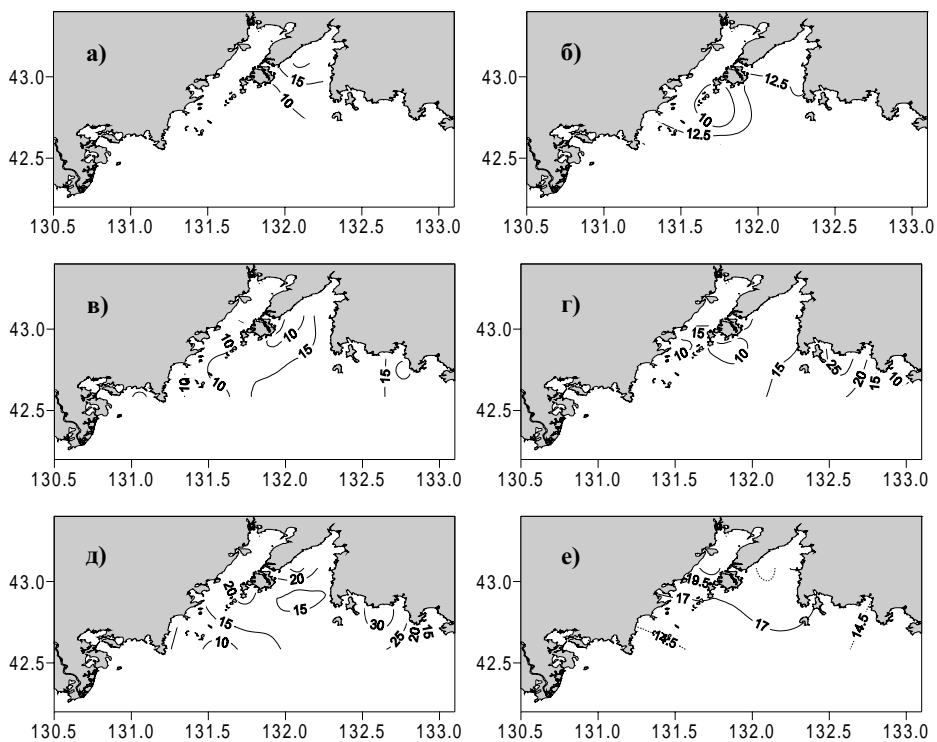


Рис. 26. Распределение фосфатов (мкг/л) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 26. Distribution of phosphates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 20 m in Peter the Great Bay: **a** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

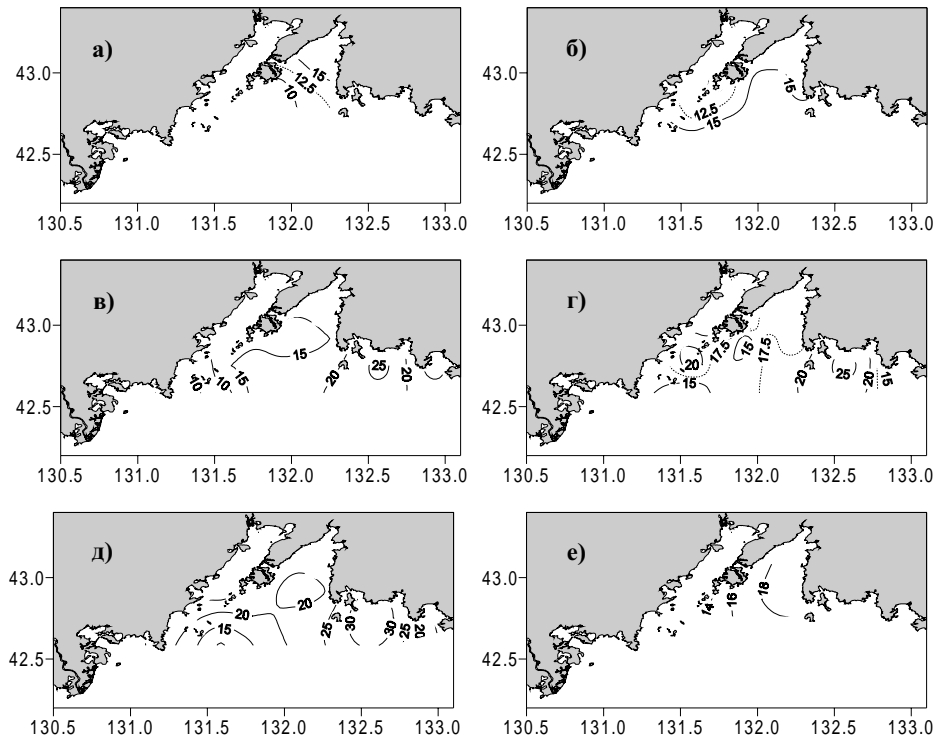


Рис. 27. Распределение фосфатов (мкг/л) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 27. Distribution of phosphates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 30 m in Peter the Great Bay: **a** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

вод, не сохраняются в течение всего года. Так, в апреле—июне (время наиболее интенсивного развития фитопланктона) для пространственного распределения фосфатов характерны пониженные значения в северной части зал. Петра Великого. Особенно ярко это проявляется в вершинах Амурского и Уссурийского заливов. На этих горизонтах, которые являются нижней границей сезонного пикноклина, сток рек сказывается существенно меньше, чем на поверхности, а условия для развития фитопланктона еще достаточно комфортные. Для августа характерна переходная ситуация в пространственном распределении фосфатов, главная особенность которой заключается в том, что в прибрежных районах преобладают более высокие значения (рис. 26, 27). Вероятно, здесь нельзя исключить влияния речного стока, за счет которого на поверхности в августе существенно повышается содержание фосфатов.

На горизонте 50 м в течение года, как правило, преобладает тип пространственного распределения фосфатов, для которого максимальные значения характерны для северной периферии залива, а в глубоководной части наблюдается пониженное содержание. Только в апреле наблюдается обратная картина, что, наиболее вероятно, связано с вегетацией фитопланктона на вышележащих горизонтах. Следует также отметить, что в пространственном распределении выделяется чередование областей с повышенными и пониженными значениями содержания фосфатов. Наиболее вероятно, что это не связано с региональными особенностями распределения, а является следствием недостаточного числа имеющихся данных наблюдений, которые неравномерно распределены в пространстве и во времени, а также имеют неизбежные объективные и субъективные ошибки наблюдений. Необходимо иметь в виду и наличие изменчивости в содержании фосфатов на конкретных станциях, связанной с движениями вод различной природы и временных масштабов.

Выполненный анализ всех имеющихся данных наблюдений свидетельствует, что на горизонте 50 м, как правило, значения содержания фосфатов не выходят за пределы 10–30 мкг/л (рис. 28). Однако в ноябре их содержание существенно возрастает (до 37,5–40,0 мкг/л). Это не может быть ошибкой расчетов или наблюдений, так как в исходном массиве данных значения содержания фосфатов на горизонте 50 м находятся в пределах от 10 до 60 мкг/л. К наиболее вероятной причине данного явления можно отнести следующее.

В течение теплого периода на акватории зал. Петра Великого существует двухслойная плотностная структура вод с разделяющим слоем с резкими градиентами характеристик. Вследствие этого обмен между верхним и придонными слоями практически исключен. В верхнем слое вод (за счет вегетации фитопланктона) идет интенсивное потребление биогенных элементов, и поэтому здесь наблюдается их минимальное содержание. На горизонтах ниже сезонного пикноклина, нижняя граница которого в зал. Петра Великого летом и в начале осени наблюдается на глубинах 20–30 м, потребление биогенных элементов существенно ниже, что является причиной высокого содержания здесь фосфатов. Дополнительным фактором (увеличивающим содержание фосфатов в придонном слое вод) является регенерация биогенных веществ, происходящая при разложении остатков биологических объектов. Все вышесказанное находит подтверждение в материалах современных достаточно точных экспедиционных наблюдений в зал. Петра Великого. Так, по данным НИС “Павел Гордиенко” (наблюдения выполнены в ноябре 2001 г.), в вертикальном распределении океанографических параметров на акватории зал. Петра Великого наблюдалась четко выраженная двухслойная структура вод (рис. 29).

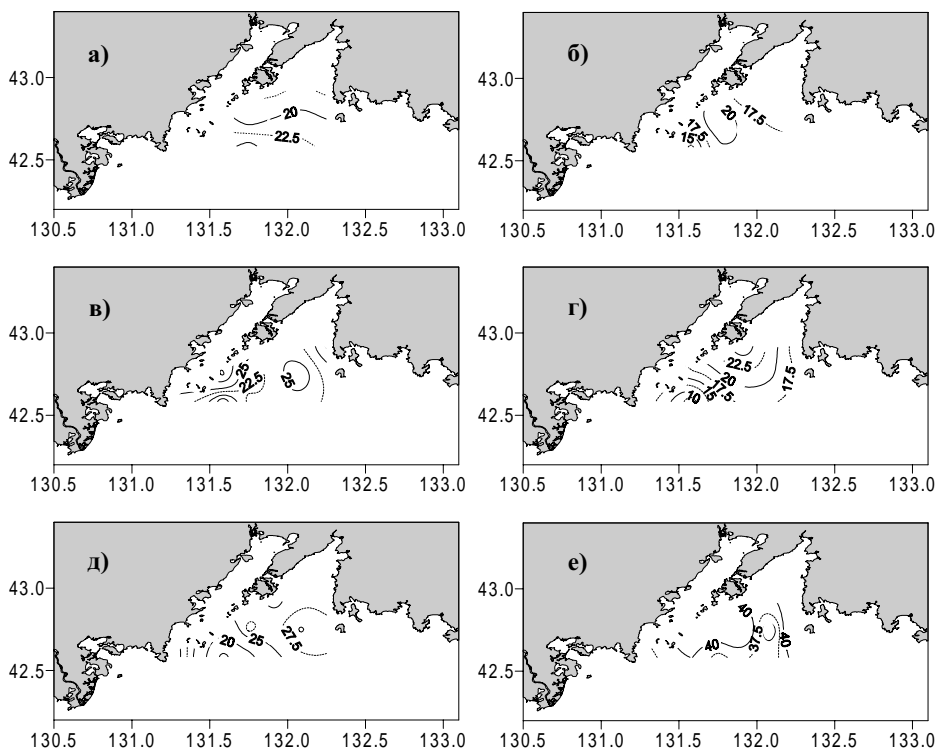


Рис. 28. Распределение фосфатов (мкг/л) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого: **а** — апрель, **б** — июнь, **в** — август, **г** — сентябрь, **д** — октябрь, **е** — ноябрь  
 Fig. 28. Distribution of phosphates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 50 m in Peter the Great Bay: **a** — April, **б** — June, **в** — August, **г** — September, **д** — October, **е** — November

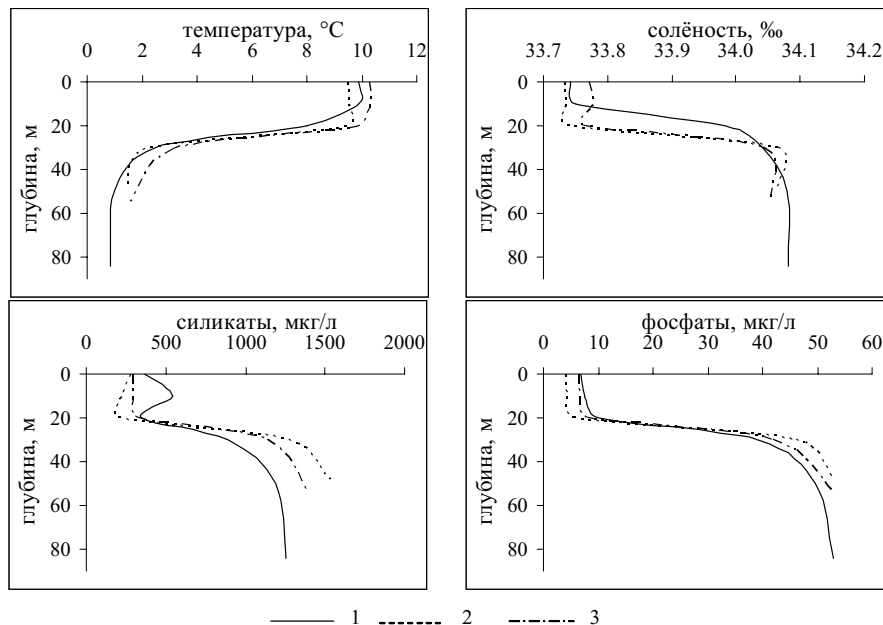


Рис. 29. Вертикальное распределение океанографических параметров в отдельных районах зал. Петра Великого по данным 50-го рейса НИС “Павел Гордиенко” в ноябре 2001 г.: 1 — в точке  $\varphi = 42^{\circ}36.5'$  с.ш.,  $\lambda = 132^{\circ}01.5'$  в.д.; 2 —  $\varphi = 42^{\circ}50.6'$  с.ш.,  $\lambda = 132^{\circ}32.1'$  в.д.; 3 —  $\varphi = 42^{\circ}55.4'$  с.ш.,  $\lambda = 132^{\circ}10.6'$  в.д.  
 Fig. 29. Vertical distribution of oceanographic parameters in different parts of Peter the Great Bay according to data of the 50<sup>th</sup> cruise of R/V “Pavel Gordienko” in November, 2001: 1 — at point  $\varphi = 42^{\circ}36.5'$  N,  $\lambda = 132^{\circ}01.5'$  E; 2 —  $\varphi = 42^{\circ}50.6'$  N,  $\lambda = 132^{\circ}32.1'$  E; 3 —  $\varphi = 42^{\circ}55.4'$  N,  $\lambda = 132^{\circ}10.6'$  E

Минимальные значения содержания фосфатов (не превышающие 10 мкг/л) были характерны для верхнего 0–20-метрового слоя вод, а максимальные (около 50 мкг/л) — наблюдались на придонных горизонтах (рис. 29).

### Силикаты

Биологическая роль кремния в морской воде определяется тем, что он (наряду с кальцием и магнием) входит в состав скелетных образований широко распространенных морских организмов: створок диатомовых, игл радиоляриевых, спикул кремниевых губок. Главным источником поступления кремния в океан служит материковый сток, и поэтому нахождение кремния (в форме истинно растворенной кремниевой кислоты) в больших количествах может служить показателем распространения речных вод в пределах залива.

Основной путь удаления растворенного кремния из морской воды — это биогенные процессы, происходящие в фотическом слое. Высокое содержание кремния способствует интенсивному развитию диатомей, что уменьшает его содержание в фотическом слое. Однако только в исключительных случаях в районах с высокой биологической продуктивностью и при наиболее благоприятных условиях содержание кремния в морской воде может снижаться до аналитического нуля.

**Вертикальное распределение.** На вертикальное распределение кремния в толще вод залива оказывают влияние последствия жизнедеятельности кремниевых организмов (поглощение в процессе развития и регенерация кремния из продуктов их распада), вертикальная осенне-зимняя конвекция, горизонтальный и вертикальный перенос вод, различная интенсивность приливных и непериодических течений, вихреобразование, а также связанное с ними турбулентное перемешивание вод.

Для периода с декабря по февраль—март в толще вод зал. Петра Великого, как правило, наблюдается гомогенное распределение кремния. Это связано с мелководностью района исследования и благоприятными условиями для хорошего развития конвекции. Поэтому в этот период года в заливе не выделяются какие-либо особенности в вертикальном распределении силикатов (рис. 30). В теплый период года главная особенность вертикального распределения кремния в водах зал. Петра Великого заключается в том, что на подповерхностных горизонтах (10–20 м) выделяется слой с пониженным содержанием силикатов. Весной и летом в верхнем слое вод (за счет вегетации фитопланктона) формируется минимальное содержание кремниевой кислоты. Более того, по мере прогрева верхнего слоя вод и потребления биогенных веществ на поверхности моря интенсивность вегетации фитопланктона смещается на подповерхностные горизонты. Как следствие, происходит формирование подповерхностного минимума силикатов. Только в поверхностных водах залива этот дефицит силикатов пополняется за счет стока рек. Как правило, подповерхностный минимум силикатов в зал. Петра Великого проявляется на горизонтах 10–20 м. По мере дальнейшего роста глубин на средних многолетних профилях вертикального распределения выделяется однотипное распределение, для которого характерен рост содержания силикатов с глубиной (рис. 30). Осенью и в начале зимы, когда существенно понижается температура воздуха и увеличивается скорость ветра, на акватории залива происходит перестройка вертикального распределения, в результате которой постепенно (от поверхности до придонных горизонтов) происходит разрушение отмеченной выше для теплого периода года структуры вертикального распределения силикатов. Следует также отметить, что все изложенное основывается на средних многолетних величинах. В конкретные годы отдельные элементы представленной выше структуры вертикального распределения кремния могут быть выражены более ярко (см. рис. 29). Более того, их вертикальное распространение и значения градиентов также могут быть существенно выше либо ниже.



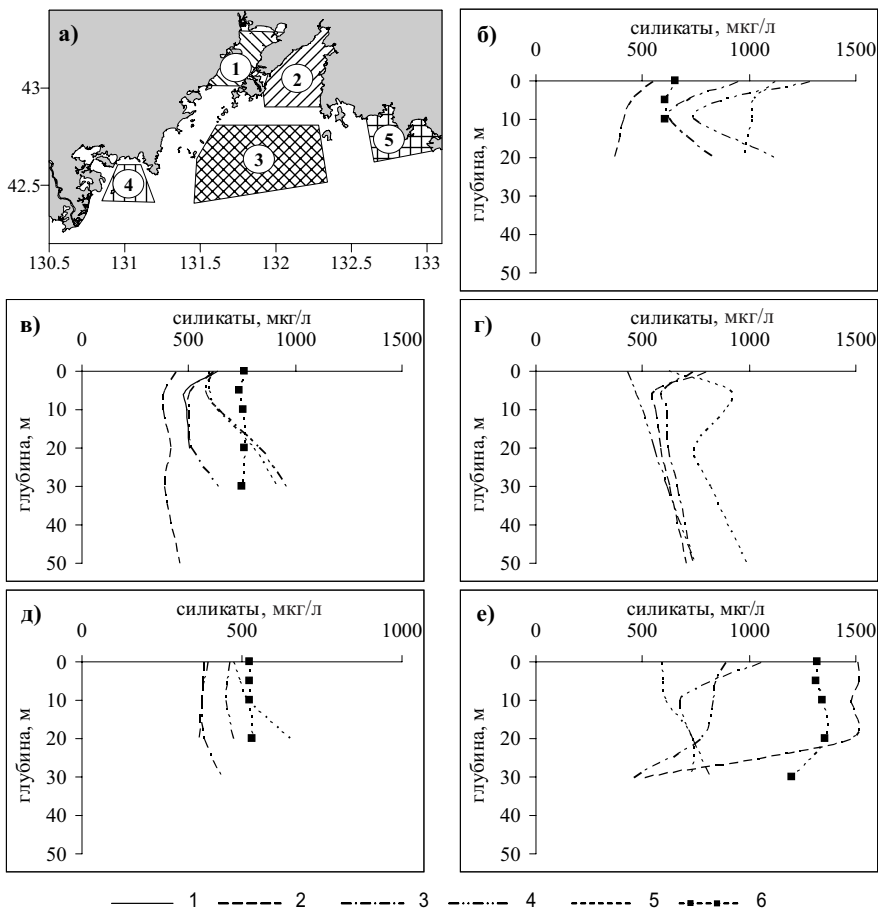


Рис. 30. Вертикальное распределение силикатов (мкг/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — распределение силикатов в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — февраль, 2 — апрель, 3 — июнь, 4 — август, 5 — октябрь, 6 — декабрь

Fig. 30. Vertical distribution of silicates ( $\mu\text{g/l}$ ) in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — distribution of silicates in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — February, 2 — April, 3 — June, 4 — August, 5 — October, 6 — December

**Сезонная изменчивость.** Внутригодовые изменения содержания кремния в водах зал. Петра Великого зависят от сложного взаимодействия гидрологических, гидрохимических, динамических и биохимических процессов. В прибрежной части моря главной их причиной оказывается изменчивость материкового стока. По мере удаления от берегов на особенности внутригодового распределения кремния начинают больше влиять изменения крупномасштабной циркуляции вод, вихри и меандры локальных течений, а также процессы осенне-зимней конвекции. Жизнедеятельность диатомового фитопланктона, являющегося основным потребителем кремния, также имеет свои внутригодовые особенности, обусловленные активной вегетацией в теплый период года и существенным ее снижением зимой.

Имеющиеся средние многолетние данные позволяют выделить следующие закономерности внутригодовой изменчивости количества кремнекислоты в водах зал. Петра Великого (рис. 31). Минимальный размах внутригодовой изменчивости количества силикатов наблюдается в толще вод заливов Уссурийского и Посыета, где он не превышает 300–600 мкг/л (рис. 31, в, д). На акваториях, режим которых существенно зависит от речного стока, сезонные колебания количества силикатов значительно увеличиваются и достигают, например в зали-

вах Амурский, Восток и Находка, 700–1000 мкг/л (рис. 31, б, е). В мористой глубоководной части зал. Петра Великого сезонные вариации силикатов достигают 1000 мкг/л (рис. 31). Так как колебания количества силикатов здесь совершаются синхронно на всех горизонтах рассматриваемой толщи вод, то можно предположить, что сезонная изменчивость содержания силикатов в глубоководной части зал. Петра Великого имеет адвективную природу. Только в водах Амурского залива наблюдается четко выраженная годовая гармоника в ходе сезонных изменений силикатов. Их максимальное содержание хорошо согласуется с изменчивостью речного стока, для которого максимальные значения наблюдаются в августе (рис. 31, б). Минимальное содержание силикатов выделяется в осенне-зимний период (когда сток рек минимален).

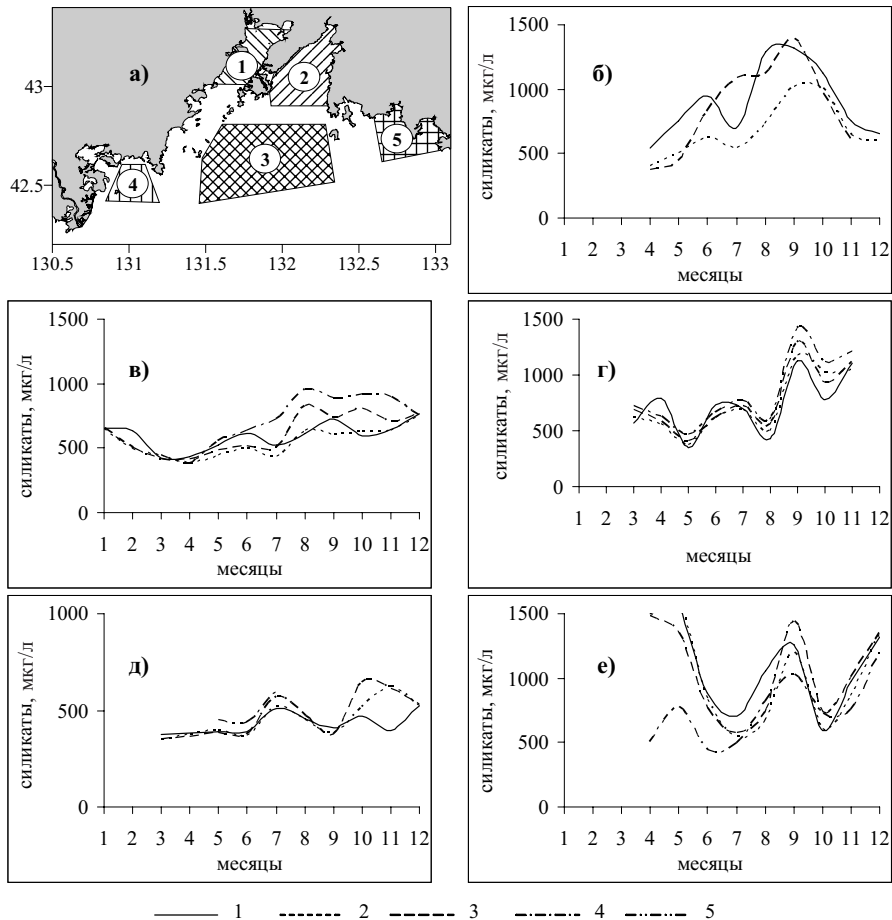


Рис. 31. Сезонные изменения силикатов (мкг/л) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения силикатов в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5; 1 — 0 м, 2 — 10 м, 3 — 20 м, 4 — 30 м, 5 — 50 м

Fig. 31. Seasonal variations of silicates distribution ( $\mu\text{g/l}$ ) in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — silicates variation in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5; 1 — 0 m, 2 — 10 m, 3 — 20 m, 4 — 30 m, 5 — 50 m

Отмеченные выше закономерности с правильной годовой гармоникой сезонных вариаций содержания силикатов не наблюдаются в толще вод остальной и преобладающей части зал. Петра Великого (рис. 31).

Характерной чертой внутrigодовых изменений силикатов является присутствие локальных экстремумов во всех районах обобщения данных. Возмож-

но, что основной причиной этого является недостаточное для обобщения в настоящее время количество исходных данных в отдельные месяцы. Следует также отметить, что на подповерхностных и придонных горизонтах размах сезонных колебаний кремнекислоты существенно не уменьшается (рис. 31).

**Пространственно-временное распределение.** В поверхностном слое зал. Петра Великого в течение года наблюдается однотипное пространственное распределение кремния, отличительной чертой которого является наличие максимальных значений в прибрежных районах северной периферии исследуемой акватории. В мористой глубоководной части залива, как правило, содержание кремния существенно ниже (рис. 32). В основном эти различия связаны с тем, что влияние стока рек на гидрологический режим вод зал. Петра Великого ограничивается прибрежными мелководными участками акватории.

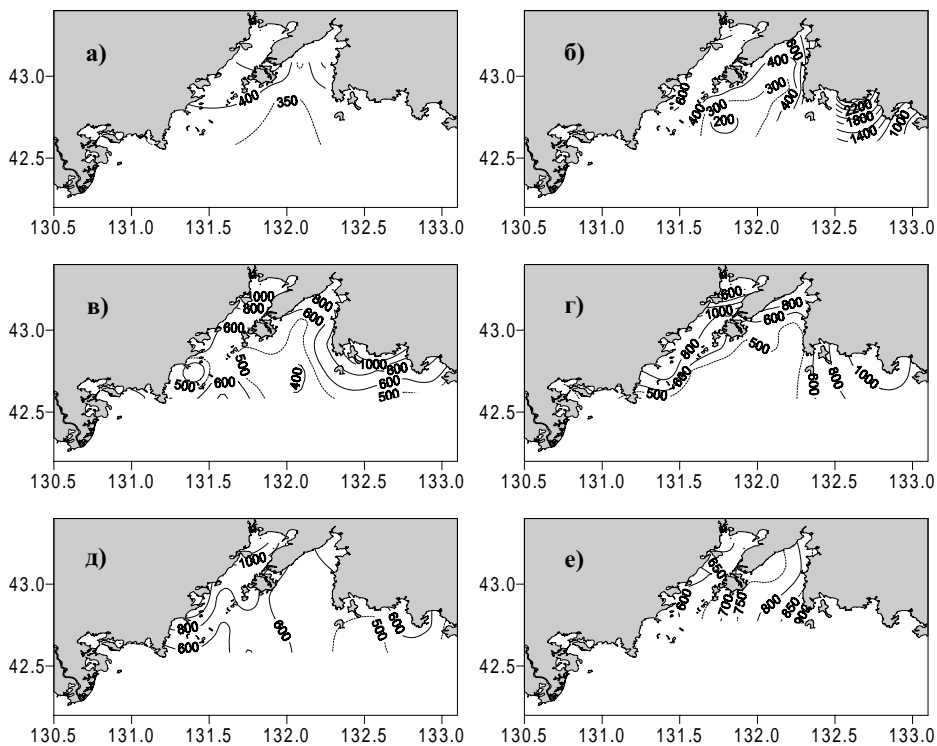


Рис. 32. Распределение силикатов ( $\mu\text{г}/\text{л}$ ) на поверхности зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 32. Distribution of silicates ( $\mu\text{г}/\text{л}$ ) at the surface of Peter the Great Bay: **а** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

На горизонтах 20, 30 и 50 м пространственное распределение силикатов определяется адвекцией вод из глубоководной части Японского моря, вертикальной протяженностью отдельных элементов структуры вод, зависящей от сезона года, а также интенсивностью развития фитопланктона. Влияние стока материковых вод на этих горизонтах практически не сказывается, так как в теплый период года между верхним (хорошо перемешанным и прогретым) слоем и придонными водами существует слой сезонного пикноклина, препятствующий вертикальному обмену. В то же время зимой, когда конвекция охватывает всю толщу вод залива, материковый сток минимален. Все перечисленные составляющие баланса кремния в зал. Петра Великого подвержены воздействию динамических процессов, происходящих в толще вод, а также существенно изменяющихся атмосферных процессов над рассматриваемой акваторией.

Минимальные значения содержания кремния в слое 20–50 м (не превышающие 360–440  $\mu\text{г}/\text{л}$ ) наблюдаются в конце зимы (рис. 33–35).

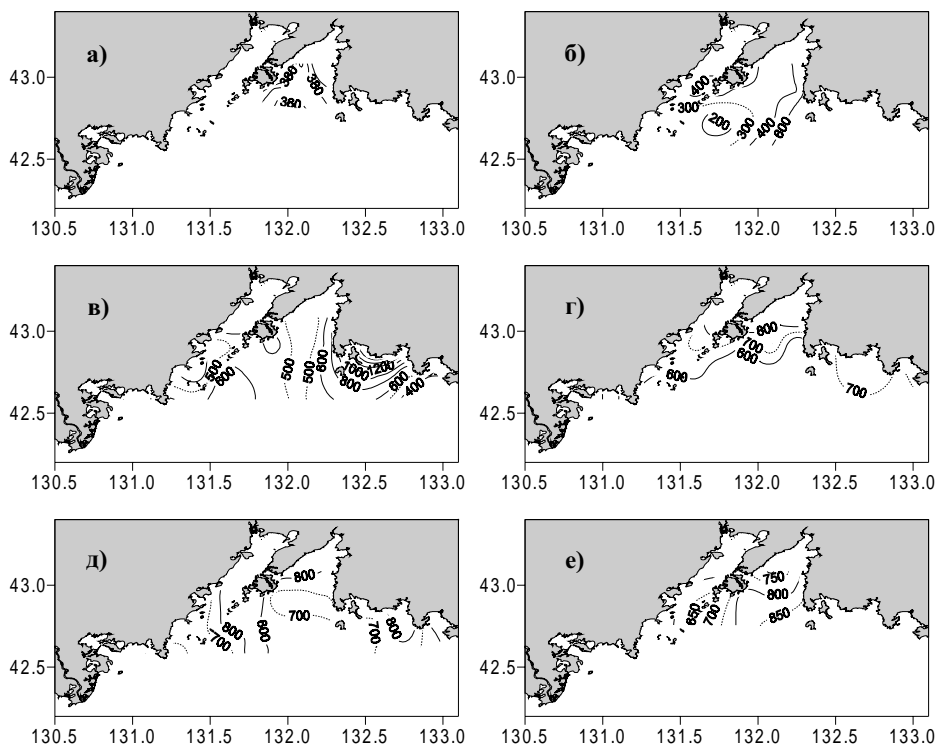


Рис. 33. Распределение силикатов ( $\mu\text{г/л}$ ) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 33. Distribution of silicates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 20 m in Peter the Great Bay: **a** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

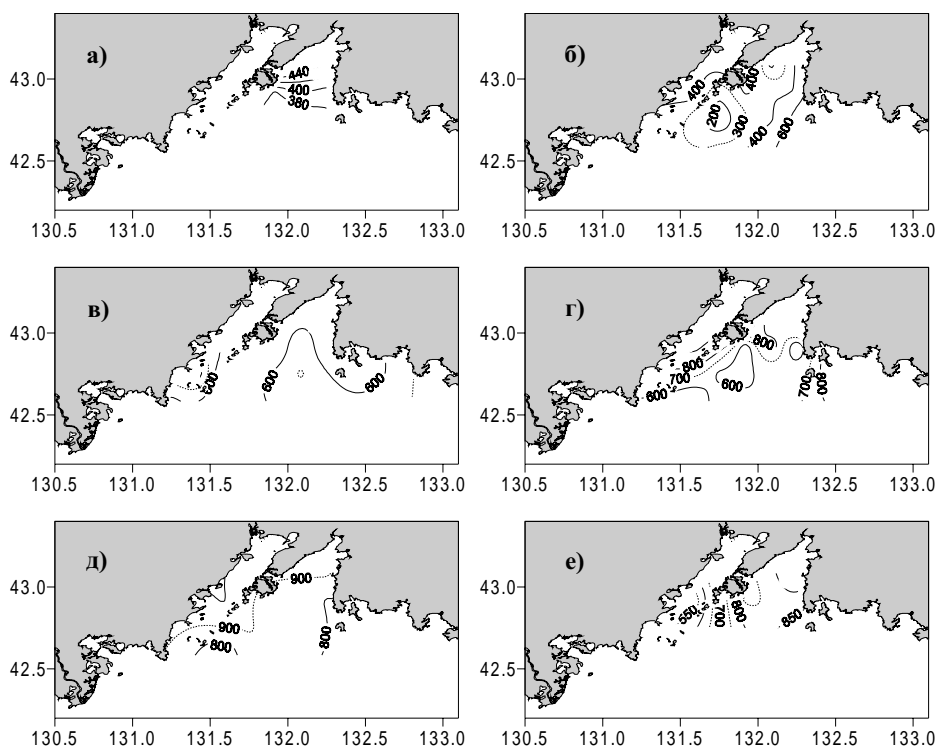


Рис. 34. Распределение силикатов ( $\mu\text{г/л}$ ) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого: **а** — март, **б** — апрель, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — декабрь  
 Fig. 34. Distribution of silicates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 30 m in Peter the Great Bay: **a** — March, **б** — April, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — December

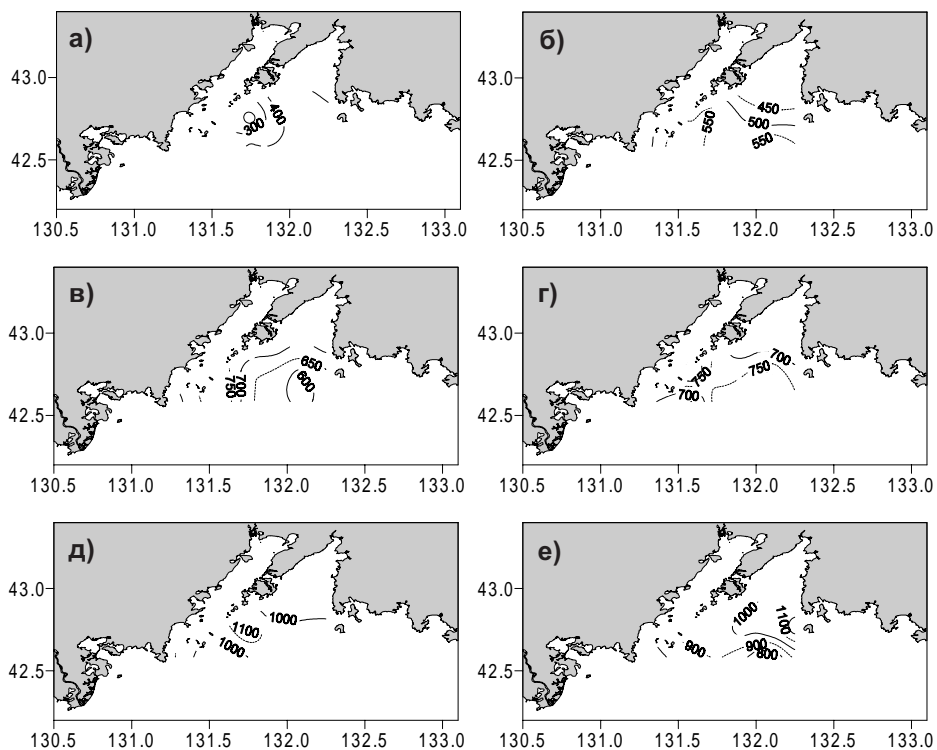


Рис. 35. Распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого: **а** — апрель, **б** — май, **в** — июнь, **г** — август, **д** — октябрь, **е** — ноябрь  
 Fig. 35. Distribution of silicates ( $\mu\text{g/l}$ ) at the depth of 50 m in Peter the Great Bay: **a** — April, **б** — May, **в** — June, **г** — August, **д** — October, **е** — November

Затем содержание кремния в слое 20–50 м начинает увеличиваться и достигает максимума (700–800, 800–900 и 1000–1100 мкг/л соответственно на горизонтах 20, 30 и 50 м) в октябре. Наиболее вероятно, что этот рост содержания кремния в слое 20–50 м в первую очередь связан с регенерацией кремния при разложении остатков биологических объектов, перемещающихся из поверхностного слоя вод. Сказывается здесь (хоть и в меньшей мере) также и передача кремния на нижележащие горизонты из поверхностного слоя вод, в котором содержание силикатов существенно зависит от стока рек. Однако уже в декабре (за счет конвективного обмена в толще вод зал. Петра Великого) содержание кремния на горизонтах 20, 30 и 50 м вновь начинает уменьшаться (рис. 33–35).

### Тенденции долгопериодных изменений

Анализ межгодовой изменчивости и долговременных тенденций в термическом состоянии толщи вод зал. Петра Великого выполнен по данным глубоководных океанографических наблюдений, так как данные прибрежных гидрометеорологических станций несут в себе ограниченную информацию, которая относится только к поверхностному слою и, как правило, характеризует режим 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.

Анализ распределения исходной океанографической информации во времени и в пространстве показал, что в настоящее время (несмотря на значительное количество имеющихся данных наблюдений) на акватории зал. Петра Великого не существует даже сравнительно небольших по размерам областей,

в которых были бы непрерывные ряды наблюдений за последние 40–50 лет. Представительный ряд наблюдений имеется 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 предполагалось, что она должна охватывать продолжительный временной интервал и значительную по площади акваторию. Поэтому вначале вся имеющаяся информация была сгруппирована по отдельным месяцам и достаточно крупным районам, которые сравнительно полно отражают вариации термических условий в различных частях акватории зал. Петра Великого (рис. 36, а). Анализ полученной информации показал, что в настоящее время отсутствуют непрерывные ряды наблюдений за любой месяц, пригодные для оценки межгодовых изменений температуры воды, даже для таких сравнительно больших регионов.

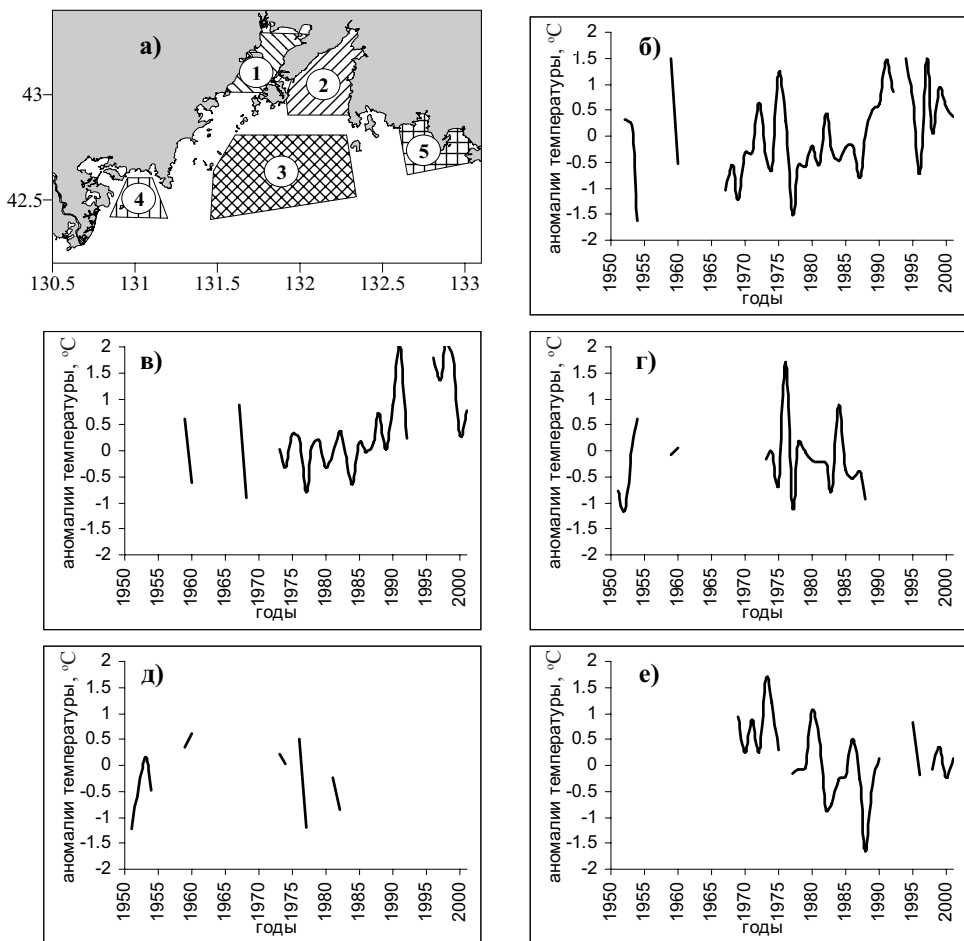


Рис. 36. Межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий поверхностной температуры воды (апрель—июнь) в отдельных районах зал. Петра Великого: **а** — номера и границы районов, **б** — изменения температуры в районе 1, **в** — в районе 2, **г** — в районе 3, **д** — в районе 4, **е** — в районе 5

Fig. 36. Interannual variations of weighted average standardized sea surface temperature (SST) anomalies (April—June) in different parts of Peter the Great Bay: **а** — numbers and boundaries of the bay regions, **б** — SST variation in region 1, **в** — in region 2, **г** — in region 3, **д** — in region 4, **е** — in region 5



С учетом всего отмеченного выше на первом этапе исследований была оценена преобладающая термическая ситуация 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 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. 36 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 (рис. 36) 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.), причем 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, произошла в конце 80-х — начале 90-х гг. прошлого столетия (рис. 36, е).

**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. 3. Для подповерхностного слоя вод наиболее тесная связь наблюдается между горизонтами 20 и 30 м в районах 3, 4 и 5 (рис. 36). 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. 3, 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.

При анализе аномальности термической ситуации 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 (рис. 37). Анализ графика рис. 37 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, 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.

Таблица 3  
Корреляционная таблица рядов межгодовых изменений температуры воды  
на акватории зал. Петра Великого

Table 3  
Correlation table of interannual water temperature variation series  
for Peter the Great Bay

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

Примечание. 95 %-ный уровень значимости коэффициентов корреляции выделен жирным шрифтом.

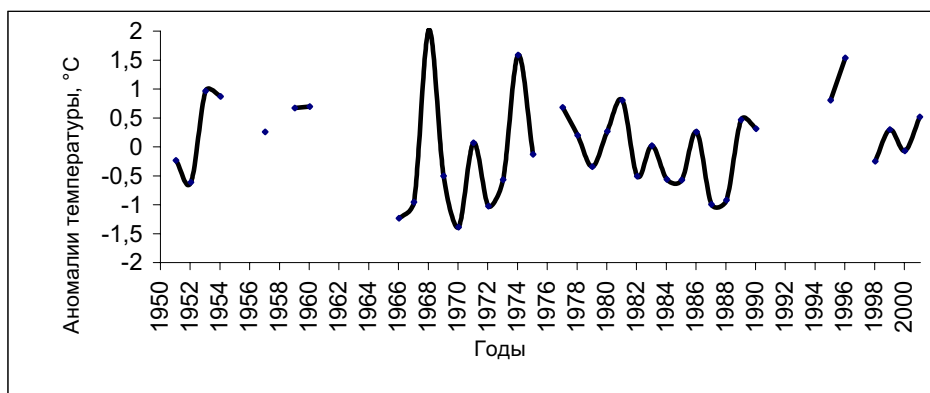


Рис. 37. Межгодовые изменения средних взвешенных нормализованных аномалий температуры воды в слое 20–30 м за апрель—июнь в районах 3, 4 и 5 зал. Петра Великого

Fig. 37. Interannual variations of weighted average standardized water temperature anomalies at the depth of 20–30 m in April—June in regions 3, 4 and 5 of Peter the Great Bay

Таким образом, на основании всех доступных на настоящее время материалов глубоководных океанографических наблюдений, проведенных на акватории моря с 1925 по 2001 г., нами рассмотрен океанографический режим вод зал. Петра Великого, в том числе — температура и соленость морской воды, растворенный в воде кислород, а также режим биогенных элементов (фосфаты и силикаты). Проведен анализ их вертикальной структуры, сезонной изменчивости, пространственно-временного распределения. Для температуры воды, имею-

шей наиболее представительный ряд наблюдений, показаны тенденции долгопериодных изменений.

В целом можно отметить, что к настоящему времени достаточно обоснованы закономерности крупномасштабного распределения основных гидрологических и гидрохимических параметров, характеризующих состояние вод зал. Петра Великого, их вертикальная структура и сезонная изменчивость. Недостаточно полно изученными и требующими дальнейшего развития являются вопросы долгопериодной изменчивости параметров вод. Исследования этих аспектов режима вод сдерживаются тем, что в настоящее время, как правило, не имеется непрерывных рядов наблюдений на преобладающей части залива. Поэтому к представленным выше результатам межгодовой изменчивости температуры воды необходимо относиться как к предварительным. Для получения более строгих оценок межгодовых изменений термических условий в толще вод зал. Петра Великого необходимо дополнение существующей информационной базы, а также более тщательное районирование акватории и проведение на их основе дополнительных расчетов.

*Настоящая работа подготовлена при частичной финансовой поддержке проекта “Динамика экосистем, формирование биопродуктивности и биоресурсов Мирового океана”, выполняемого в рамках подпрограммы “Исследование природы Мирового океана”, Федеральной целевой программы “Мировой океан”.*

## Литература

**Бирюлин Г.М., Бирюлина М.Г., Микулич Л.В., Якунин Л.П.** Летние модификации вод залива 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., Скоклеева Н.М.** Временная изменчивость гидрологических условий в различных районах залива Посыета // Изв. ТИНРО. — 1980. — Т. 104. — С. 29–35.

**Гайко Л.А.** Анализ многолетних наблюдений температуры воды и воздуха в заливе Петра Великого (Японское море) // Тем. вып. ДВНИГМИ. — 2000. — № 3. — С. 62–76.

**Гайко Л.А., Жабин И.А.** Изменчивость температуры и солености в районе плантации мидий в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. — 1996. — Т. 22, № 2. — С. 126–130.

**Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Раздел 2. Гидрохимия. Японское море:** Тр. ДВНИГМИ. — Владивосток, 1984. — Т. 8, вып. 35. — 89 с.

**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 залива Петра Великого. — Владивосток, 1930. — С. 93–96.

**Давыдова С.В.** Видовой состав ихтиопланктона бухт залива 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 залива Петра Великого // Тем. вып. ДВНИГМИ. — 2003. — № 4. — С. 10–25.

**Дашко Н.А., Варламов С.М., Ким Е. Сеуп.** Роль Охотского моря в формировании температуры воздуха и сумм осадков на юге Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ. — 1996. — Вып. 147. — С. 173–196.

**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.

**Климат Владивостока** / Под ред. Ц.А.Швер. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 248 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.

**Микулич Л.В., Бирюлина М.Г.** Некоторые вопросы гидрологии и донная фауна залива Посыета // 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.

**Основные черты гидрохимии залива 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.

**Danchenkov M.A.** Sea water density distribution in Peter the Great bay // Pacific oceanography. — 2003. — Vol. 1, № 2. — P. 179–184.

*Поступила в редакцию 26.11.04 г.*