

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ЗАЛИВЕ ВОСТОК (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2020 г. Н. И. Григорьева^{a, *}, Е. В. Журавель^b, А. А. Мазур^c

^aНациональный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия

^bДальневосточный федеральный университет, Владивосток, 690600 Россия

^cТихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия

*e-mail: grigoryeva04@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2018 г.

После доработки 06.02.2019 г.

Принята к публикации 11.04.2019 г.

На основе исследований 2015 г. дана характеристика вод в зал. Восток (зал. Петра Великого, Японское море) по содержанию фосфатов, биохимического потребления кислорода и рН. Выявлено, что поступление P_{tot} в значительно увеличивается в течение всего летнего периода, преимущественно за счет фосфора органического. Максимум выноса зафиксирован в августе (500–700 мкг/л). БПК₅, превышающие ПДК (2.17–3.50 мг/л), наблюдаются с апреля по октябрь. Подкисление вод отмечено в январе (до 6.28–6.72), апреле и августе (до 7.39–7.89). Показано, что поступающие с береговым стоком вещества широко распространяются во всей акватории залива и выносятся в открытую мористую часть зал. Петра Великого, что указывает на продолжающуюся интенсивную антропогенную нагрузку на данный район.

Ключевые слова: залив Петра Великого, залив Восток, бухта Гайдамак, бухта Средняя, фосфаты, биохимическое потребление кислорода, рН.

DOI: 10.31857/S0321059620020066

В морских и пресных водоемах качество воды определяется содержанием минеральных и органических веществ (ОВ), независимо от источника их поступления: городского или сельского хозяйства. Увеличение концентрации биогенных веществ (БВ) приводит к повышению трофности водоемов, а ОВ — к изменению сапробности. В свою очередь, это вызывает цветение водорослей, снижает уровень растворенного кислорода (DO) и увеличивает мутность воды с изменением цвета и запаха, что существенно сказывается на биоразнообразии и жизнедеятельности гидробионтов. Высокие концентрации ОВ в трансграничных стоках могут также влиять на здоровье людей. Степень трофности преимущественно зависит от поступления фосфатов (P_{tot}) и соединений азота. Показателем уровня сапробности служит биохимическое потребление кислорода (БПК), расходуемое на окисление ОВ [2]. Чаще всего рассчитывают БПК₅ (5 сут экспозиции). Норматив ПДК БПК₅ для рыбохозяйственных водоемов составляет 2.1 мг/л [10].

Водородный показатель рН тесно связан с процессом создания и распада ОВ и оказывает

влияние на подвижность ионов тяжелых металлов (ТМ) и фосфат-ионов (PO_4^-) в сточных водах. Изменение баланса рН может привести к катастрофическим последствиям. Чаще всего экологическое неблагополучие водоема связано с избыточным закислением среды, особенно в весенне-летнее время. Поскольку ПДК для него не существует, предложено ввести экологически допустимый уровень (ЭДУ) [7].

В каждой конкретной приморской области загрязняющие вещества (ЗВ) распространяются по-разному, а их распределение имеет сложную картину в результате влияния большого комплекса природных и антропогенных факторов. Залив Петра Великого, куда входит зал. Восток (рис. 1), — зона смешения вод, где происходит значительная трансформация берегового стока с активным вовлечением его элементов в биогеохимические циклы. Авторами статьи проанализированы факторы, характеризующие трофность (P_{tot}) и сапробность (БПК₅), а также рН, отражающий равновесие водных систем. Цель работы — исследование пространственной изменчивости кон-

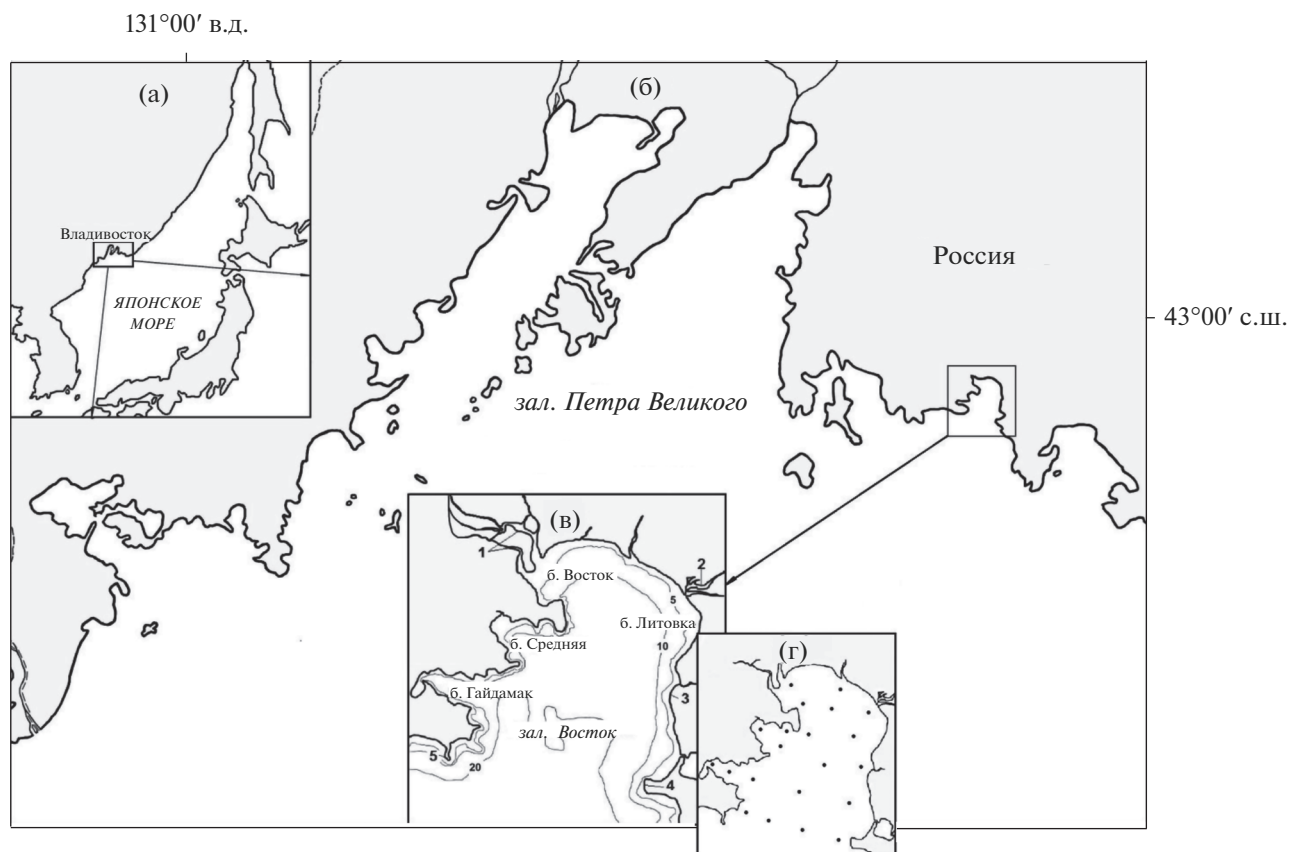


Рис. 1. Картограмма района работ (а), зал. Петра Великого (б), зал. Восток (в) и станций (г): 1 – р. Волчанка, 2 – р. Литовка, 3 – м. Елизарова, 4 – м. Подосенова, 5 – м. Пешурова.

центраций этих показателей по сезонам в разных районах зал. Восток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в апреле, июне, августе и октябре 2015 г. с борта заякоренного катера при слабом и умеренном ветре. Сетка станций включала 21 пункт отбора проб (рис. 1). Пробы воды для гидрохимических анализов отбирали из поверхностного слоя (0.5–1.0 м), 5-метрового и придонного горизонтов и анализировали в тот же день. В каждую съемку отбирали 63 пробы; в некоторых точках – по две склянки. Концентрацию DO для определения БПК₅ находили по методу Винклера. Количество P_{tot}, растворенного органического фосфора (DOP) и растворенного минерального фосфора (DIP) устанавливали фотометрически по методу Морфи–Райли. Для измерения их концентраций использовали окисление с персульфатом и последующим фотометрированием образовавшихся фосфатов. pH измеряли pH-метром “Piccolo plus HI 1295” фирмы “Hanna Instruments”. Все определения проводили в соответствии с нормативными документами Росгид-

ромета [12]. Дополнительно определяли температуру (T°C) и соленость (S‰) через электропроводность с помощью системы “Seaquard RCM” фирмы “AANDERAA”. От поверхности до дна моря выполнены серии фиксированных на стандартных горизонтах сканирований водной толщи по той же сетке станций во всей акватории залива.

Пространственные распределения элементов выполнены для поверхностного (0–5 м) слоя воды. Распределения на разрезах представлены от вершины бух. Восток до выхода к морю по средней осевой линии залива. Интерполирование проводили методом kriging. В анализе результатов использовали архивный материал, полученный в 2009 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Залив Восток расположен в восточной части зал. Петра Великого, имеет изрезанную береговую линию и несколько приглубых бухт (рис. 1). Его граница проходит по линии мысов Пешурова и Подосенова и открыта к югу. В вершине залива глубины составляют 5–15 м, увеличиваются к выходу, где достигают 30–33 м. Средняя область –



Рис. 2. Пространственное распределение P_{tot} в слое 0–5 м: в апреле (а), июне (б), августе (в) и октябре (г) 2015 г.

пороговая зона между мелководной и глубоководной частями. В залив впадают две крупных реки — Волчанка и Литовка.

Пресные воды поступают в основном из рек и многочисленных ручьев как с восточного, так и с западного берегов; морские воды — из открытой части зал. Петра Великого. Большая протяженность южной границы и расположение зал. Восток способствуют активному проникновению этих вод, которые отличаются высокой соленостью (34.0–35.0‰). Опресненный слой занимает преимущественно верхние горизонты до 1.0–1.5 м и в период штилевой погоды может растекаться по всей поверхности залива на значительное расстояние или в виде отдельных линз выноситься в южные районы. При этом глубина залегания изогалины 30.0‰ не опускается глубже 2–3 м; лишь при катастрофическом стоке во время тайфунов

воды залива могут повсеместно опресняться до глубин 5–7 м. При усилении ветров с юга вода в заливе перемешивается, по температуре становясь относительно однородной и в вершине залива, и у устьев основных рек, а по солености сравниваясь с морской.

При исследовании пространственного распределения фосфатов выявлены основные районы их поступления: р. Волчанка, рыбокомбинат п. Южно-Морской в бух. Гайдамак и промзона у мысов Елизарова и Подосенова (рис. 2, 3). (Из-за пятнистости распределения показателей представлены средние значения верхнего 5-метрового слоя воды).

В апреле максимальный вынос P_{tot} составил 166–207 (до 301 у рыбокомбината), в июне — 128–158 (до 205 у промзоны южнее м. Елизарова) мкг/л, преимущественно за счет DOP. Диапазон измене-

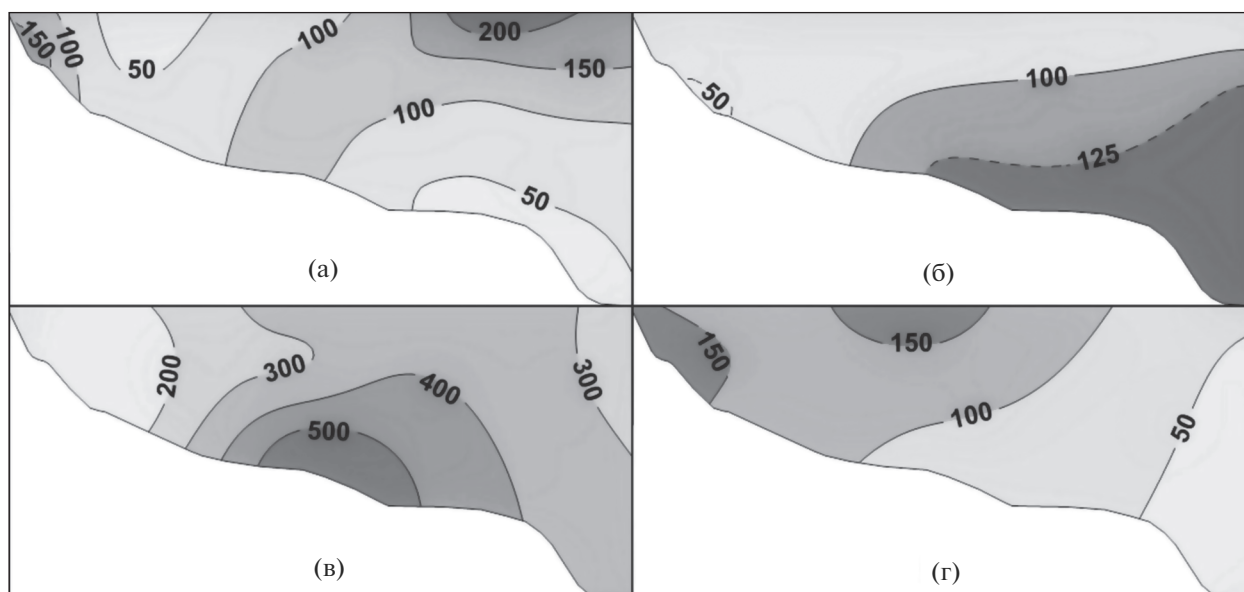


Рис. 3. Вертикальное распределение P_{tot} по осевой линии зал. Восток: в апреле (а), июне (б), августе (в) и октябре (г) 2015 г.

ний величин DIP во всей толще воды составил: 0–37 (в среднем 11) в апреле и 0–48 (в среднем 16) мкг/л в июне.

В августе поступление P_{tot} значительно увеличилось за счет поступления с пляжных зон северной части залива: бухт Восток и Литовка, а также бух. Средней. Вынос P_{tot} стал очень высоким: во всей акватории величина повсеместно увеличилась до 200–300, у промзон — до 500–700 мкг/л. DIP в августе изменялся в пределах 0–42 (в среднем 12) мкг/л во всей толще воды.

В октябре общий уровень P_{tot} снизился до 162–225 мкг/л, хотя количество DIP возросло до 48–123 (в среднем 54) мкг/л. Вынос DIP резко уменьшился, в отличие от летнего поступления, — до 120–171 мкг/л.

Исследование вертикальных распределений P_{tot} вдоль осевой линии залива показал, каким образом происходит перенос, заглубление и вынос из акватории основных пулов фосфатов (рис. 3). Выявлено, что при приливах высокие концентрации P_{tot} были преимущественно в вершине залива, при отливах — на выходе у придонных горизонтов. Также на профилях четко прослеживаются сбросы отработанной воды из рыбокомбината, который расположен на южном мысе у входа в бух. Гайдамак. Его сточные воды вносят существенный вклад в увеличение концентраций DIP в средней части залива.

В 1970–1980-е и в начале 2000-х гг. в поверхностном слое воды зал. Восток единично фиксировались высокие концентрации фосфатов (DIP и P_{tot} до 102 и 374 мкг/л соответственно) [11, 14],

что вызывало кратковременное повышение трофности до экстремально-эвтрофного уровня. В бух. Гайдамак, наиболее загрязненной акватории, максимальное содержание P_{tot} менялось в пределах 37–108 мкг/л, хотя в среднем показатели не выходили за рамки фоновых. Величины такого же порядка наблюдались и в соседнем зал. Находка [4]. Единичные наблюдения высоких концентраций P_{tot} (>350 мкг/л) фиксировались и в р. Раздольной — основным поставщиком БВ в зал. Петра Великого [5].

В настоящее время вынос БВ в приморских реках значительно возрос — до 32.5% общего сброса сточных вод [1]. Соответственно увеличились средние концентрации P_{tot} в открытых водах зал. Петра Великого: в поверхностных горизонтах — до 44, в подповерхностных (30 м) горизонтах — до 22 мкг/л [13], хотя в целом величины выноса P_{tot} колебались из-за падения промышленного производства. В р. Раздольной максимальная концентрация P_{tot} увеличилась до 527 мкг/л [8]. В прибрежных водах зал. Восток, по данным 2008–2009 гг. [5], из-за значительного увеличения числа отдыхающих в июле также отмечено заметное увеличение концентраций фосфатов; в последующие годы гидрохимические исследования не проводились.

Известно, что сезонный ход концентраций БВ в мористой глубоководной части зал. Петра Великого в поверхностном слое вод имеет минимальное содержание летом—осенью и максимальное зимой с размахом внутригодовых колебаний 17–30 мкг/л [13]. На эстуарных участках у поверхности наблюдается зимний (в декабре–феврале) и

летне-осенний максимумы (в мае—октябре) и небольшой осенний минимум в ноябре [13]. От сезонного хода в открытых водах он отличается высокими летне-осенними концентрациями, обусловленными береговым стоком, поскольку в речном стоке содержание P_{tot} увеличивается от весны к осени и дождевой паводок лишь усиливает эту тенденцию [8, 15].

В 2015 г. зафиксировано значительное поступление P_{tot} в летний период, за счет этого, возможно, снивелировалось потребление DIP фитопланктоном: лишь к августу уменьшилось его среднее содержание, а не в июне, как в предыдущие годы. Подобный летний ход концентраций БВ стал наблюдаться и в эстуарии р. Раздольной [8].

Таким образом, установлено, что вынос фосфатов в зал. Восток значительно увеличился в летне-осеннее время, особенно в августе. Максимум составил 715 мкг/л. Наибольшие показатели зафиксированы у р. Литовки (которая имеет большую площадь водосбора, чем р. Волчанка), у пляжной зоны бух. Средней и промзон — бух. Гайдамак и территории между мысами Елизарова и Подосенова. Отмечены различия показателей при разных фазах колебания уровня: при приливах высокие концентрации P_{tot} были преимущественно в вершине залива, при отливах — на выходе у придонных горизонтов. Из-за перемешивания и течений наибольший размах колебаний P_{tot} наблюдался вдоль линии мысов Пешурова и Подосенова (до 697 мкг/л).

Следующая величина, характеризующая качество воды, — БПК, которое отражает степень окисления нестойкого ОВ бактериями. За весь исследованный весенне-летне-осенний период БПК₅ у поверхности воды менялось в пределах 0.08–3.22 мг/л, в среднем не превышая ПДК (2.1 мг/л). При этом высокие показатели БПК₅ отмечены в большей части исследованной акватории, что свидетельствует о повышении сапробности вод. В целом пространственное распределение БПК₅ было неравномерным: на разных станциях повышенные значения наблюдались в разных горизонтах. По-видимому, интенсивная гидродинамика вод — основная причина пятнистого распределения данной величины. В апреле БПК₅ варьировало в пределах 0.50–3.22, в июне — 0.08–2.04, в августе 0.24–2.36, в октябре 0.29–2.17 мг/л. Максимальные значения наблюдались преимущественно у устьев рек (1.50–2.43), в бух. Гайдамак (1.50–2.36) и на выходе из залива (1.50–3.22 мг/л).

Во время исследований 1989–2000 гг. высокие значения БПК₅ в зал. Восток, превышающие ПДК, были зафиксированы только в летний период — июле—августе, причем на одной—двух станциях отбора проб [14]. В настоящее время ан-

тропогенная нагрузка в зал. Петра Великого возросла. По данным [1], показатели БПК₅ в р. Раздольной увеличились в 3–4 раза, а состояние ее устьевой зоны по содержанию легкоокисляемых ОВ можно оценить как “критическое”. Причем, вынос ОВ в реках на юге Дальнего Востока увеличился не только в р. Раздольной, но и в небольших реках на юго-востоке, впадающих в заливы Восток и Находка. Класс сапробности, рассчитываемый по содержанию водорослей перифитона, повысился со II до III класса, а качество вод сменилось с характеристики “чистые” на “слабозагрязненные” [16].

Таким образом, в зал. Восток зарегистрированы высокие значения БПК₅ (2.17–3.22 мг/л) преимущественно в районах, прилегающих к устьям рек и промзонам. В бух. Гайдамак в течение всего летнего периода БПК₅ > 1.5 мкг/л. Из-за перемешивания максимальные значения БПК₅ наблюдались в придонных слоях воды, затем — в открытой мористой части зал. Петра Великого.

По данным исследований в 2009 и 2015 гг., рН вод в зал. Восток в поверхностном слое воды менялся в зависимости от того, какие источники вод преобладали: уменьшался в апреле и июле—августе из-за половодья и дождевых паводков и увеличивался в мае—июне и октябре из-за сокращения стока пресных вод (рис. 4, 5). Минимальные значения рН наблюдались в январе (до 6.28–6.72), апреле и августе (до 7.39–7.89). Следует отметить большую пространственную неравномерность распределения рН и его минимум в придонных горизонтах. Вероятно, основная причина этого экстремума — занос подкисленных вод из других прилегающих к берегу участков зал. Петра Великого, что требует дополнительных исследований, так как распределение рН в мелководных заливах изучено недостаточно.

Известно, что диапазоны рН меняются в результате влияния вод как открытой части моря, так и берегового стока, который определяется свойствами подстилающих пород водосборного бассейна. В Японском море рН в поверхностных и подповерхностных горизонтах составляет 8.2–8.3, поэтому из открытых районов зал. Петра Великого в зал. Восток поступают воды преимущественно слабощелочные. Реки Приморья имеют гидрокарбонатно-кальцие-натриевый ионный состав с рН 6.4–7.7 (в среднем 7.0) [15]. Минимальные значения наблюдаются зимой, а также в периоды половодья и летних паводков. В 1970-х гг. в зал. Восток в теплый период года величины рН менялись в пределах 7.93–8.35 [11], т.е. воды имели преимущественно слабощелочной состав. Возможно, рН в зал. Восток стало снижаться в результате поступления ЗВ в повышенных концентрациях с дальнейшим разложением ОВ и образованием карбоновых кислот [1]. Низкие рН на глу-



Рис. 4. Пространственное распределение pH в слое 0–5 м: в апреле (а), июне (б), августе (в) и октябре (г) 2015 г.

бинах 20–30 м также могут быть связаны с выходом грунтовых вод, но этот вопрос также не изучен.

В настоящее время в прибрежных зонах морей происходит подкисление поверхностных морских вод. Причем, если в открытом океане pH отличается узким диапазоном изменчивости (<0.3), то у берегов из-за вовлечения ЗВ в биогеохимические циклы прибрежных экосистем pH меняется более широко (>0.3) [19]. Снижение pH в открытом океане в основном объясняют изменением климата, а в прибрежных районах — еще и эвтрофикацией, которая сопровождается развитием гипоксии в придонных горизонтах [17]. В [19, 20] указывается на двойной пресс низких pH и DO на морские организмы, особенно на раковинных моллюсков. В будущих климатических сценариях с увеличением содержания атмосферного CO_2 и

эвтрофикации прогнозируется резкое увеличение подкисления подпикноклиновых вод и ингибирование химических реакций карбонатов в биогенных осадках [18]. Поэтому для вод с высокой степенью эвтрофирования предлагается по показателям pH и DO рассчитывать индекс трофического состояния акваторий [21]. Необходимо отметить, что увеличение продуктивности водоемов наблюдается на территориях практически всех развитых стран, и, по-видимому, следует ожидать постепенной замены естественных экосистем антропогенными с соответствующими изменениями характеристик окружающей среды, поскольку вынос фосфатов повсеместно увеличился, даже в грунтовых водах (до 20–38%) [22].

В зал. Петра Великого также наблюдается обогащение воды минеральными и органическими веществами и дефицит DO в придонных слоях во-

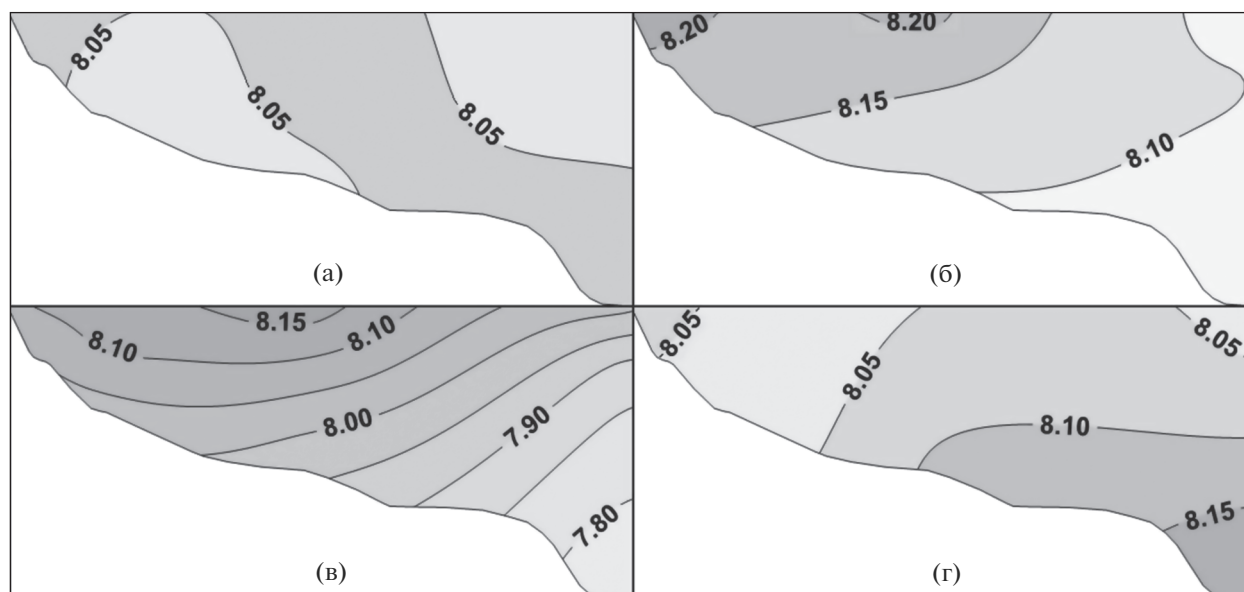


Рис. 5. Вертикальное распределение pH по осевой линии зал. Восток: в апреле (а), июне (б), августе (в) и октябре (г) 2015 г.

ды [3, 8]. По уровню загрязнения залив давно перешел в категорию заливов с “напряженным экологическим состоянием” [9]. Поскольку в целом экосистемы становятся наиболее уязвимыми для экологических и биогеохимических возмущений, предлагается ранжировать эстуарии Приморья по концентрации ЗВ [6]. Таким образом, проблемы эвтрофирования и загрязнения мелководных заливов заслуживают серьезного исследования в будущем.

ВЫВОДЫ

Выявлено, что в зал. Восток поступление P_{tot} значительно увеличилось с береговым стоком в течение всего теплого периода, возможно и зимой, преимущественно за счет DOP. Содержание P_{tot} стало выше по всей акватории; его высокие концентрации наблюдались в разных слоях воды, максимум — на выходе из бух. Средней. Сезонные пулы не перемежались минимумами, как было в предыдущие годы, напротив, отмечалось нарастание концентраций к концу летнего периода. Наибольшие величины DOP зафиксированы в августе: у промзон, в устьевых районах и у пляжей.

Значения БПК₅, превышающие ПДК, зарегистрированы во всей акватории залива с апреля по октябрь.

Сезонные колебания pH наблюдались в течение всего исследуемого периода. Подкисление вод зафиксировано в январе, апреле и августе в разных горизонтах по всему заливу.

Таким образом, в зал. Восток во всей толще вод с апреля по октябрь выявлены повышенные

концентрации фосфатов, БПК и значительные колебания pH, что указывает на продолжающуюся интенсивную антропогенную нагрузку на данный район. Выявлено, что поступающие пресные воды широко распространяются во всей акватории залива, заглубляются в придонные горизонты и выносятся в открытую мористую часть зал. Петра Великого. Возможно повышение уровня ОВ и накопление их в донных осадках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Важова А.С., Нигматулина Л.В., Лукьянова О.Н. Поступление загрязняющих веществ со сточными водами через эстуарии в залив Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 167. С. 128–134.
2. Готовцев А.В., Данилов-Данильян В.И., Никаноров А.М. Проблемы мониторинга БПК // Вод. ресурсы. 2012. Т. 39. № 5. С. 510–520.
3. Григорьева Н.И. Характеристика вод пролива Босфор Восточный (залив Петра Великого, Японское море) по кислородным показателям // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45. № 1. С. 62–67.
4. Дроздовская О.А., Журавель Е.В. Мониторинг экологического состояния прибрежных вод залива Находка // Проблемы экологии морского шельфа: матер. Всесоюз. науч. молодеж. конф.-шк. Владивосток: ДВФУ, 2010. С. 28–33.
5. Журавель Е.В., Христофорова Н.К., Дроздовская О.А., Токарчук Т.Н. Оценка состояния вод залива Восток (залив Петра Великого, Японское море) по гидрохимическим и микробиологическим показателям // Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1 (9). С. 2325–2329.

6. Колпаков Н.В. Антропогенное загрязнение эстуариев южного Приморья: обзор // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 187. С. 3–18.
7. Максимов В.Н., Соловьев А.В., Левич А.П., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Терехин А.Т. Методика экологического нормирования воздействий на водоемы, не нормируемых методами биотестирования (на примере объектов бассейна Дона) // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 3. С. 335–340.
8. Михайлик Т.А., Тищенко П.Я., Колтунов А.М., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Влияние реки Раздольной на экологическое состояние вод Амурского залива (Японское море) // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 474–484.
9. Наумов Ю.А. Об особенностях антропогенного воздействия на акватории залива Петра Великого (Японское море) // Изучение глобальных изменений на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 111–125.
10. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Минсельхоз, 2016. № 552. URL: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselkhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/>
11. Подорванова Н.Ф., Иващенко Т.С., Петренко В.С., Хомичук Л.С. Основные черты гидрохимии залива Петра Великого (Японское море). Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 201 с.
12. РД Росгидромета № 52. URL: http://www.sn-ti.ru/snips_rd52.htm
13. Тихомирова Е.А. Пространственное распределение биогенных веществ в заливе Петра Великого в “теплые” и “холодные” годы // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 6. С. 134–139.
14. Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Григорьева Н.И., Чернова Е.Н., Рисунова М.А. Оценка качества вод залива Восток Японского моря // Проблемы региональной экологии. 2001. № 2. С. 59–69.
15. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 4. С. 428–439.
16. Шулькин В.М., Семькина Г.И. Сезонная и многолетняя изменчивость содержания и выноса биогенных соединений р. Раздольной (Приморский край) // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32. № 5. С. 575–583.
17. Cai W.-J., Hu X., Huang W.-J., Murrell M.C., Lehrter J.C., Lohrenz S.E., Chou W.-C., Zhai W., Hollibaugh J.T., Wang Y., Zhao P., Guo X., Gundersen K., Dai M., Gong G.-C. Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication // Nat. Geosci. 2011. V. 4. P. 766–770.
18. Doney S.C., Ruckelshaus M., Duffy J.E., Barry J.P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N., Polovina J., Rabalais N.N., Sydeman W.J., Talley L.D. Climate change impacts on marine ecosystems // Annu. Rev. Mar. Sci. 2012. V. 4. P. 11–37.
19. Feely R.A., Alin S.R., Newton J., Sabine C.L., Warner M., Devol A., Krembs C., Maloy C. The combined effects of ocean acidification, mixing, and respiration on pH and carbonate saturation in an urbanized estuary // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2010. V. 88. P. 442–449.
20. Goble C.J., Depasquale E., Griffith A., Baumann H. Hypoxia and acidification have additive and synergistic negative effects on the growth, survival, and metamorphosis of early life stage bivalves // PLoS ONE. 2014. V. 9. № 1. P. 1–10.
21. O’Boyle S., McDermott G., Noklegaard T., Wilkes R. A simple index of trophic status in estuaries and coastal bays based on measurements of pH and dissolved oxygen // Estuar. Coast. 2013. V. 36. № 1. P. 158–173.
22. Sugimoto R., Honda H., Kobayashi S., Takao Y., Tahara D., Tominaga O., Taniguchi M. Seasonal Changes in Submarine Groundwater Discharge and Associated Nutrient Transport into a Tideless Semi-enclosed Embayment (Obama Bay, Japan) // Estuar. Coast. 2016. V. 39. P. 13–26.