

# ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД АМУРСКОГО ЗАЛИВА В ИЮЛЕ 2008 г.

**Приведены результаты гидрохимических исследований Амурского залива, которые были выполнены в июле 2008 г. В придонном слое залива были обнаружены anomalно низкие концентрации кислорода, pH и anomalно высокие значения растворенного неорганического углерода, парциального давления углекислого газа, нормированной щелочности и концентраций силикатов, фосфатов, аммония. Показано, что причиной возникновения гидрохимических anomalий в придонном слое залива является микробиологическое окисление «избыточной» биомассы диатомей на границе раздела вода/дно в условиях дефицита ФАР и устойчивой вертикальной стратификации вод.**

## Введение

**Д**естабилизация экосистем морского шельфа в настоящее время носит глобальный характер в связи с возросшими темпами освоения прибрежной зоны, что получило название «прибрежная революция» [1]. Гипоксия придонных шельфовых вод является наиболее частой формой проявления дестабилизации экосистемы. В большинстве случаев возникновение гипоксии является результатом совместных действий природных и антропогенных факторов [2]. Роль антропогенного фактора сводится, в первую очередь, к обогащению прибрежных акваторий биогенными элементами (азотом и фосфором), т.е. к эвтрофикации. В последние два десятилетия количество акваторий, подверженных гипоксии, значительно возросло, и это явление рассматривается как новая глобальная проблема, стоящая перед человечеством [3].

Наиболее часто гипоксия возникает в полужакрытых бассейнах, в которые впадают реки [2], именно к такому бассейну относится Амурский залив (Японское море). Существование дефицита кислорода в отдельных точках Амурского залива летом в придонном горизонте обсуждалось в лите-

**П.Я. Тищенко\***,

доктор химических наук, заведующий лабораторией гидрохимии, ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

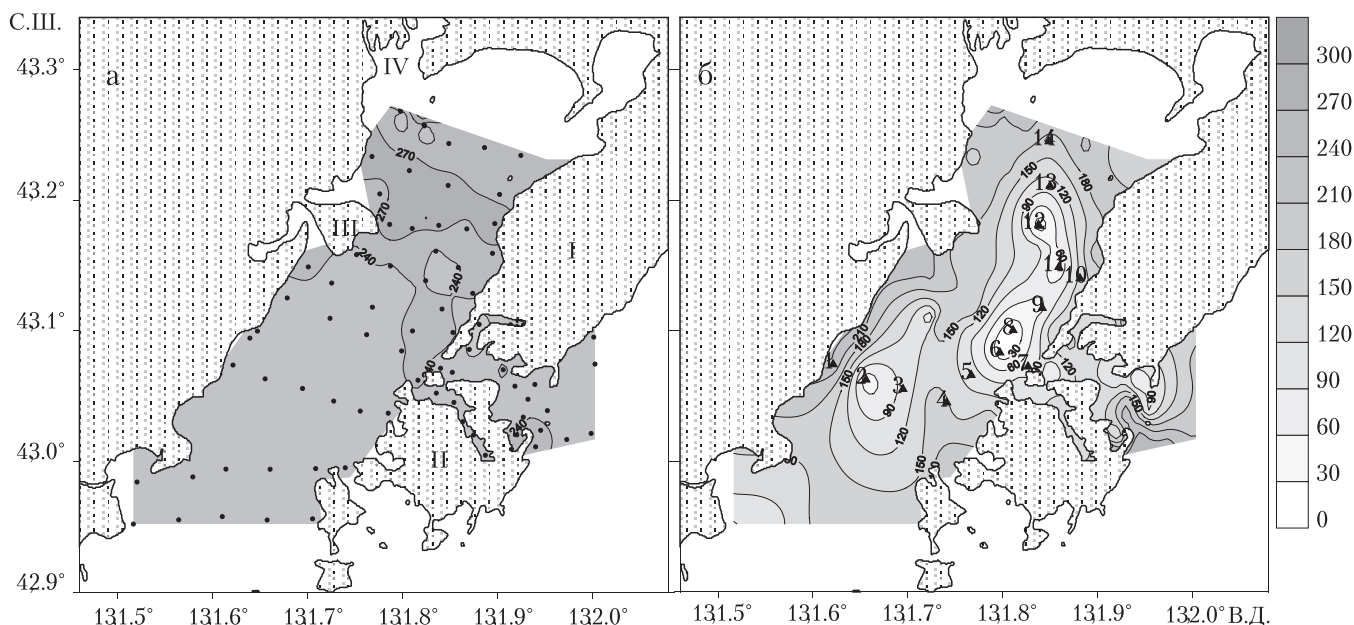
**Т.А. Михайлик,**

младший научный сотрудник лаборатории гидрохимии, ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

ратуре неоднократно [4–10], однако эта проблема рассматривалась скорее как проблема «загрязнения» легкоокисляемыми органическими веществами, а не как дестабилизация экосистемы в результате ее эвтрофикации.

В августе 2005 г. (выполнено 69 гидрохимических станций) обнаружена заметная гидрохимическая anomalия в придонном слое — высокое парциальное давление углекислого газа, высокая концентрация ионов аммония и пониженное содержание кислорода [11, 12]. Эта anomalия наблюдалась между г. Владивостоком и полуостровом Песчаный в области понижений рельефа дна. Последующие исследования, проведенные в летний сезон 2006 г. и весной 2007 г., не показали значительных anomalий как в связи с недостаточным объемом выполненных станций, так и в связи с сезонной изменчивостью структуры вод. Однако, по результатам детальной съемки акватории Амурского залива, пролива Босфор Восточный и прилегающей части Уссурийского залива, выполненной в августе 2007 г. (99 гидрохимических станций) вновь были обнаружены обширные участки с чрезвычайно низкими концентрациями кислорода в придонных водах [13]. Anomalно низкое содержание кислорода в придонном слое отмечалось в двух связанных между собой областях понижения рельефа дна — в восточной и западной частях Амурского залива, и имело «трехъядерную» структуру (рис. 1). Для станций, расположенных в центрах ядер, степень насыщенности вод по кислороду изменялась от 1,7 до 14,7 %. В области низких концентраций кислорода наблюдались и другие anomalии гидрохимических характеристик: исключительно высокие концентрации аммония, фосфатов и силикатов, высокое парциальное давление углекислого газа (более 2000 мкратм). Все эти данные в совокупности свидетельствуют о микробиологической деструкции большого количества умершего фитопланктона, который образовался в результате залповой эвтрофикации залива па-

\*Адрес для корреспонденции: tpavel@poi.dvo.ru



**Рис. 1.** Распределение содержания кислорода (мкмоль/кг) в поверхностной (а) и придонной (б) воде Амурского залива в августе 2007 г. На рис. 1а точками отмечены расположения станций в августе 2007 г. На рис. 1б треугольниками дополнительно отмечены расположения станций в июле 2008 г. На рис. 1б видны три ядра значительного пониженного содержания кислорода [13]. На рис. 1а римскими буквами указаны географические объекты: I — полуостров Муравьев-Амурский; II — остров Русский; III — полуостров Песчаный; IV — устье р. Раздольной.

водками р. Раздольной [14]. Данная статья содержит результаты гидрохимических исследований, выполненных в июле 2008 г.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась акватория Амурского залива, географическое описание которого содержится в работах [8, 9]. Исследования были проведены 8 июля 2008 г. на НИС «Малахит». Во время этой экспедиции было выполнено 14 гидрохимических станций. Их расположение было выбрано с учетом того, чтобы разрез измеряемых параметров проходил через ядра гидрохимических аномалий, обнаруженных в августе 2007 г. Схема расположения станций дана на рис. 1б.

Образцы воды отбирались с двух горизонтов — с поверхностного (глубина 0,5 м) и с придонного (1-1,5 м от дна). Для отбора проб использовали пятилитровый батометр Нискина. Измерялись следующие параметры: соленость (кондуктометрический метод), рН, щелочность (ТА), концентрации кислорода, главных биогенных элементов (силикатов, фосфатов, нитритов, нитратов, аммония), гумусовых веществ, хлорофилла *a*, а также глубина видимости диска Секки. На каждой

**П.П. Тищенко,** научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии, ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

**М.Г. Швецова,** научный сотрудник лаборатории гидрохимии, ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Е.М. Шкирникова,** научный сотрудник лаборатории гидрохимии, ФГБУН Тихоокеанский

станции с помощью зонда RBR-620XR проводились определения температуры, солёности, кислорода, мутности и хлорофилла *a*. Образцы воды в тот же день доставлялись в лабораторию, где проводились измерения ее параметров. Методики гидрохимического анализа подробно изложены в работе [12]. Измерение рН, ТА и расчет параметров карбонатной системы (парциальное давление углекислого газа —  $pCO_2$ , растворенный неорганический углерод — DIC) даны в работе [15].

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены распределения устойчивости вод, хлорофилла *a*, мутности и степени насыщенности вод кислородом на разрезе, проходящем через область с минимальным содержанием кислорода, обнаруженной ранее в Амурском заливе в августе 2007 г. (станции 1-14, рис. 1б). Устойчивость рассчитывалась по данным температуры и солёности, полученных в результате СТД-зондирований, по уравнению:

$$EH = 0.5 \cdot \frac{g}{\rho} \cdot \left[ \frac{\partial \rho}{\partial \theta} \frac{\Delta \theta}{\Delta Z} + \frac{\partial \rho}{\partial S} \frac{\Delta S}{\Delta Z} \right] \quad (1),$$

где  $\theta$ ,  $S$ ,  $g$ ,  $\rho$ ,  $Z$  — потенциальная температура, солёность, ускорение свободного паде-

ния, плотность и вертикальная координата, соответственно. Для построения распределений других параметров также использовались данные зондирований.

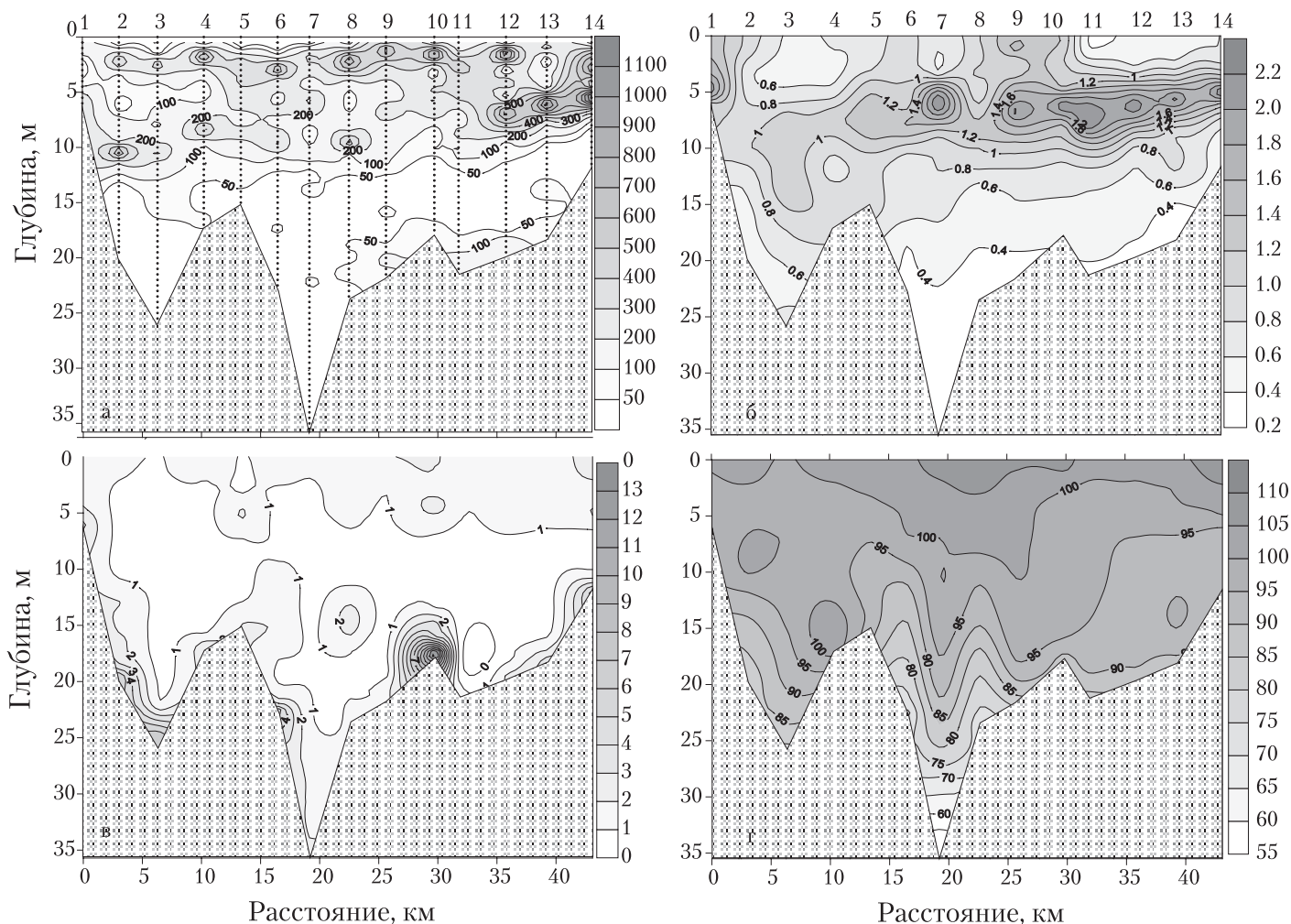
Из структуры вертикальной устойчивости воды залива (рис. 2а) для исследуемой области следует два важных вывода. Во-первых, величины статической устойчивости имеют высокие значения, что указывает на высокую устойчивую стратификацию вод, которая обусловлена летним прогревом поверхностного слоя вод и поступлением речных вод в залив. Во-вторых, вертикальная структура залива разделяется на два слоя. Верхний слой имеет толщину 11-12 м в южной части залива (станции 1-3), который уменьшается до 9-10 м в северной части залива (станции 13, 14). Этот слой характеризуется высокими градиентами по температуре и солености, что обуславливает его высокую статическую устойчивость.

океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

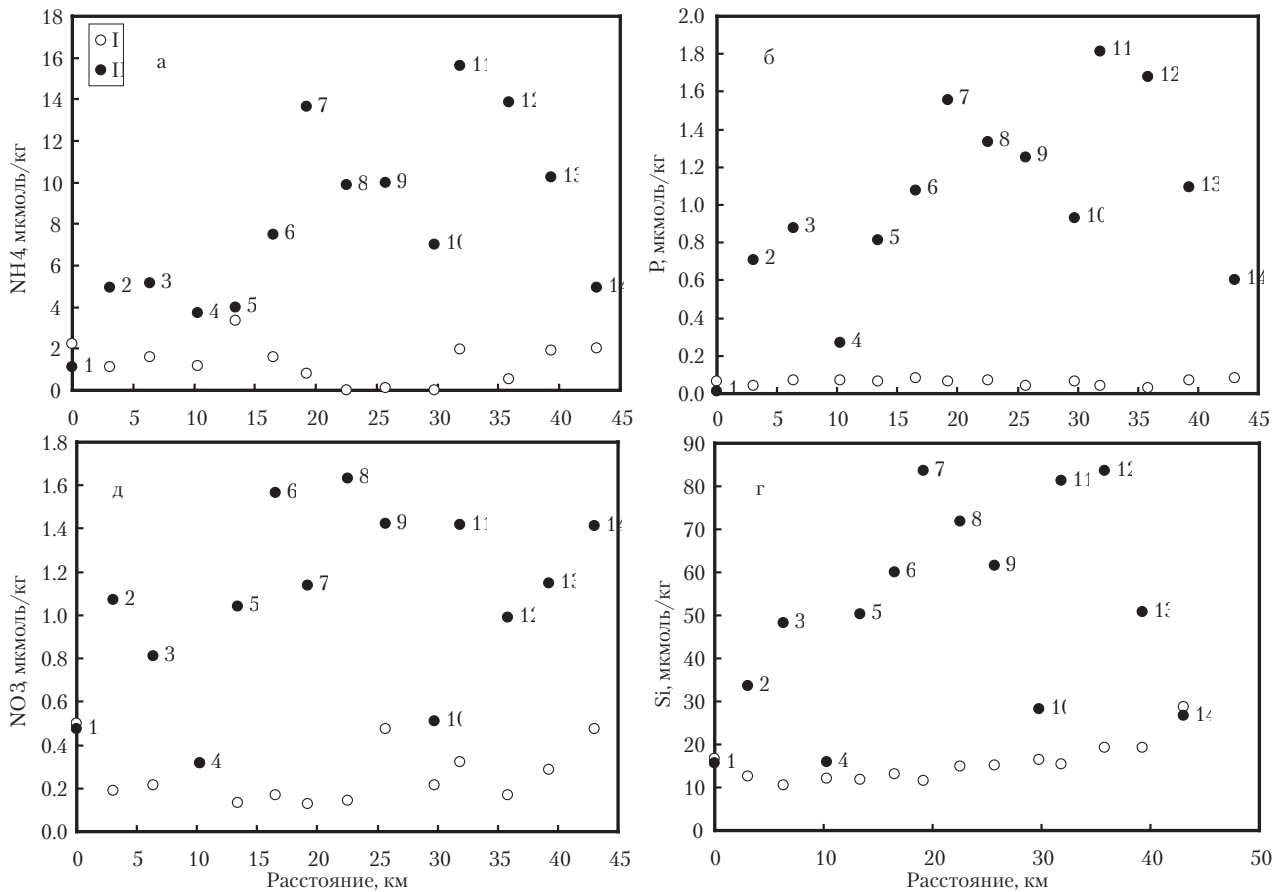
**А.М. Колтунов,** ведущий инженер лаборатории продукционной биологии, ФГБУН Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук

Нижний слой более однороден, в первую очередь по солености, поэтому он характеризуется относительно низкой устойчивостью. В северной части залива слой с максимальным содержанием хлорофилла находится на глубине 8–9 м, т.е. непосредственно над слоем максимальной статической устойчивости (рис. 2б). В южной части залива этот слой размывается и находится в диапазоне 10-15 м. На наш взгляд, максимум хлорофилла обусловлен с одной стороны концентрационными ограничениями фотосинтеза по азоту и фосфору в поверхностном слое (рис. 3), а с другой стороны — интенсивностью проникновения фотосинтетической активной радиации (ФАР) в более глубокие слои.

Необходимо отметить, что положение максимума хлорофилла для южной части залива качественно совпадает с минимумом мутности. Вертикальное распределе-



**Рис. 2.** Распределение: а — статической устойчивости столба воды ( $\text{Дж}/\text{м}^2/\text{кг}\cdot 10^5$ ); б — хлорофилла *a* ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ); в — мутности (FTU- Formazin Turbidity Unit); г — степени насыщенности воды по отношению к кислороду воздуха на разрезе через станции 1-14. Амурский залив, июль, 2008 г.



**Рис. 3.** Концентрации аммония (а), фосфатов (б), нитратов (в), силикатов (г) для поверхностных (I) и придонных (II) вод Амурского залива в июле 2008 г. Номера станций указаны рядом с точками для придонных горизонтов.

ние мутности характеризуется минимумом. Этот минимум обусловлен тем, что высокая мутность поверхностных слоев (рис. 2в) вызвана речным стоком, а мутность придонных слоев, по-видимому, связана с ресуспензией донных осадков. Донные отложения залива в исследуемом районе представляют собой восстановленные либо песчаные илы [16]. Поэтому динамические процессы в придонных слоях вызывают взмучивание пелитовой фракции донных отложений, а также умершего фитопланктона. Процесс взмучивания донных отложений важен не только в связи с уменьшением прозрачности воды. Он также усиливает поток восстановленных форм серы ( $H_2S$ ,  $S^{2-}$ ) и азота ( $NH_4^+$ ) из поровых вод морских осадков в придонный слой воды. Отчасти этим можно объяснить резкое уменьшение кислорода в придонном слое воды (рис. 2г).

Измерения зондом зарегистрировали уменьшение кислорода до 45 % для ст. 7 в придонном горизонте. Лабораторный анализ проб воды показал еще более низкие

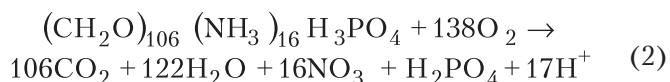
**А.Ф. Сергеев,**  
старший научный  
сотрудник лабора-  
тории ядерной океано-  
логии,  
ФГБУН Тихоокеан-  
ский океанологический институт  
им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

значения, до 20 % от насыщения (рис. 4а). Разница в измерениях обусловлена тем, что при столь низких концентрациях кислорода возникают кинетические проблемы при работе кислородного датчика зонда. Для поверхностных горизонтов согласие между лабораторными и зондовыми измерениями кислорода значительно лучше и указывают на небольшое пересыщение воды по отношению к атмосферному кислороду (рис. 4а). В тоже время поверхностные воды залива также немного пересыщены по отношению к атмосферному углекислому газу ( $pCO_{2атм} = 380$  мкатм) (рис. 4б). Такое сочетание в концентрациях кислорода и углекислого газа указывает, что на момент проведения съемки небольшое пересыщение поверхностных вод  $O_2$  и  $CO_2$  обусловлено продолжающимся прогревом поверхностных вод, а не соотношением между фотосинтезом и деструкцией органического вещества [17].

Как указывалось выше, низкие концентрации кислорода (до 20 % от насыщения) вновь были обнаружены для придонных го-

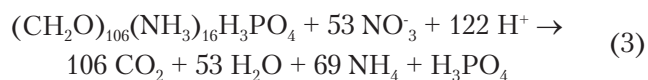
ризонтов. В географическом отношении ст. 7 с содержанием кислорода 61 мкмоль/кг весьма близко расположена по отношению к станции 62 (4,7 мкмоль/кг, август 2007 г.). Станции 11 (концентрация кислорода равна 61,7 мкмоль/кг) и станции 39 (концентрация кислорода равна 30,4 мкмоль/кг, август 2007 г.) имеют одинаковые координаты. Столь низкие концентрации (менее 64 мкмоль/кг) соответствуют гипоксии [3]. Высокая согласованность между данными измерений кислорода в придонном слое воды и такими гидрохимическими параметрами как pH, pCO<sub>2</sub>, DIC, концентрациями фосфатов и силикатов (рис. 3, 4) указывает на то, что их величины обусловлены одним и тем же процессом, а именно микробиологическим окислением «избыточной» биомассы умерших диатомовых водорослей.

В зависимости от внешних условий микробиологическое окисление органического вещества может осуществляться разными путями. В аэробных условиях продуктом окисления является углекислый газ, нитраты и фосфаты. Этот процесс можно представить уравнением [19]:

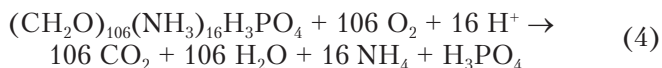


При записи реакции (2) использовалась стехиометрия Рэдфила для «молекулы» органического вещества [20]. При аэробном окислении органического вещества (реакция (2)) из водной среды поглощается кислород и выделяются в среду фосфаты и нитраты. Однако уровень нитратов в придонном горизонте соответствует около 1,5 мкмоль/кг, а концентрации ионов аммония в придонном слое воды достигают 15 мкмоль/кг в местах минимального содержания кислорода (ст. 7, 11) (рис. 3а), что невозможно объяснить схемой реакции (2).

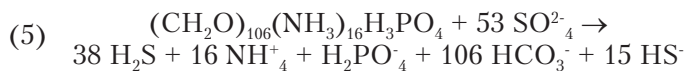
Для объяснения наблюдаемых данных мы полагаем, что вслед за реакцией (2) протекает микробиологическая реакция, в которой участвуют нитрат анионы [21]:



Массовый баланс реакций (2) и (3) можно записать следующим образом:



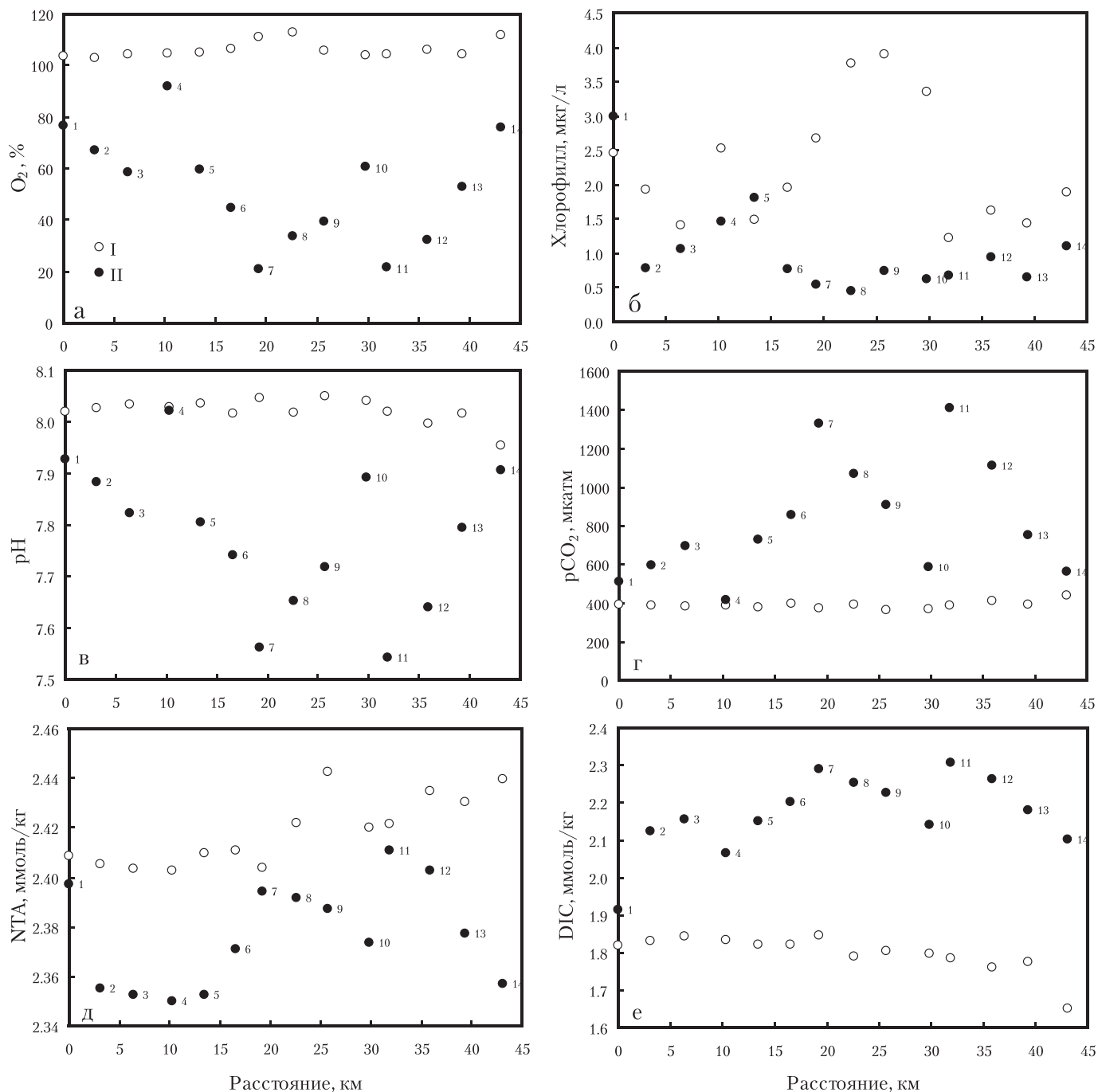
Кроме того, для мест с низкой концентрацией кислорода в придонном слое соответствуют высокие содержания нормированной щелочности (NTA = 35×TA/S) (рис. 3д). Поэтому мы не исключаем локального существования анаэробных условий, которые могут приводить к сульфатредукции, увеличивающей щелочность в среде [19]:



Известно, что доминирующими видами фитопланктона в Амурском заливе являются диатомеи как по видовому составу, так по численности и биомассе [22]. При разложении умерших и осевших на дно диатомей происходит выделение кремния.

На наш взгляд, микробиологическое окисление умершего и осевшего на дно залива «избыточного» фитопланктона происходит, главным образом, на границе раздела дно/вода. На этой границе могут создаваться микроусловия, благоприятные для протекания сульфатредукции — отсутствие кислорода либо очень низкая его концентрация. В тоже время мы не исключаем возможность, что на придонной ресуспензированной взвеси находятся сульфатредуцирующие бактерии, которые способны окислять органическое вещество в толще воды по механизму сульфатредукции (реакция (5)) в присутствии кислорода. Об этом свидетельствует ряд публикаций, в которых показана высокая активность сульфатредуцирующих бактерий в присутствии кислорода (например, [23]). Именно, сульфатредукцией мы объясняем увеличение NTA в придонном слое в местах низкого содержания кислорода [15] на выполненном разрезе (рис. 4). Схемы реакций (2) — (5) объясняют всю совокупность наблюдаемых аномальных концентраций кислорода, силикатов, ионов аммония, фосфатов, DIC, pH, pCO<sub>2</sub> и NTA в придонном слое для станций 7, 11 (рис. 3, 4).

Основной вопрос в связи с возникновением гипоксии и формированием других гидрохимических аномалий в придонном слое заключается в том, каким образом создается «избыточная» биомасса фитопланктона. Очевидно, что она возникает в результате «цветения» фитопланктона, когда вторичное звено пищевой цепи (зоопланктон и другие фитофаги) не успевает употребить в пищу всю биомассу фитопланктона. Для среднеширотных морских экосистем известны механизмы весенне-осеннего «цветения»



**Рис. 4.** Степень насыщенности вод кислородом (а), содержание хлорофилла *a* (б), pH *in situ* в шкале «общей концентрации водородных ионов» [18] (в), парциальное давление углекислого газа (г), нормированная щелочность (д) и DIC (е) для поверхностных (I) и придонных (II) вод Амурского залива в июле 2008 г. Номера станций указаны рядом с точками для придонных горизонтов.

фитопланктона, обусловленные перестройкой вертикальной структуры температуры и солености фотического слоя в весенний и осенний периоды [24]. Наряду с этими механизмами для эстуарных экосистем, каким является Амурский залив, возникают дополнительные благоприятные условия для

«цветения» фитопланктона в летний сезон, обусловленные паводком на р. Раздольной, впадающей в северную часть залива [14]. В зимний сезон в мелководных и эстуарных бассейнах также возникают условия для подледного «цветения» фитопланктона [25]. Таким образом, в Амурском заливе круглого-

дично производится «избыточная» биомасса фитопланктона, которая оседает на дно залива, где подвергается микробиологической деструкции. Благодаря зимней конвекции в придонный слой залива поступают воды, обогащенные кислородом. Однако с наступлением весны и лета возникает плотностная стратификация вод. Ослабление ветров в летний сезон приводит к ослаблению адвективной динамики придонных вод залива. Эти два фактора уменьшают поставку кислорода в придонный слой, а интенсивность потребления кислорода на окисление органического вещества не уменьшается, а только возрастает с повышением температуры, что в конечном итоге приводит к гипоксии и гидрохимическим аномалиям в придонном слое.

## Заключение

**В** июле 2008 г. в придонном слое Амурского залива были обнаружены аномально низкие концентрации кислорода, значения рН и аномально высокие значения DIC, pCO<sub>2</sub>, NTA и концентраций силикатов, фосфатов, аммония. Причиной их возникновения является микробиологическое окисление «избыточной» биомассы диатомей на границе раздела вода/дно в условиях дефицита ФАР и устойчивой стратификации вод. Поставка «избыточной» биомассы на дно залива обусловлена «цветением» фитопланктона, которое периодически возникает во все сезоны года. Однако многие вопросы, связанные с условиями, временем и частотой возникновения «цветения» фитопланктона требуют дополнительного исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 11-05-00241-а, 11-05-98543-р\_восток-а.

## Литература

1. Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. М.: Наука, 2005. 364 с.
2. Zhang J. Natural and human hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development / J. Zhang, D. Gilbert, A.J. Gooday, L. Levin, S.W.A. Naqvi, J.J. Middelburg, M. Scranton, W. Ekau, A. Pena, B. Dewitte, T. Oguz, P.M.S. Monteiro, E. Urban, N.N. Rabalais, V. Ittekkot, W.M.

**В.И. Звалинский**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрохимии, ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

- Kemp, O. Ulloa, R. Elmgren, E. Escobar-Briones, and A.K. Van der Plas // *Biogeosciences*. 2010. V. 7. P. 1443-1467.
3. Diaz R.J. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems / R.J. Diaz, R. Rosenberg // *Science*. 2008. V. 321. P. 926-929.
  4. Ластовецкий Е.И. Гидрометеорологический очерк Амурского и Уссурийского заливов / Е.И. Ластовецкий, В.М. Вещева // Под ред. Закопной Л.Н. Владивосток: Приморское управление гидрометеорологической службы. 1964. 264 с.
  5. Родионов Н.П. Японское море // *Прогноз загрязнений морей СССР*. Л.: ГИМИЗ, 1984. С. 118-150.
  6. Вейдеман Е.Л. Комплексные исследования воздействия загрязнения на морские прибрежные экосистемы / Е.Л. Вейдеман, С.А. Черкашин, В.В. Щеглов // *Тр. ДВНИИ*. 1987. Вып. 131. С. 30-40.
  7. Вейдеман Е.Л. Диагностика состояния прибрежных акваторий: некоторые проблемы и результаты / Е.Л. Вейдеман, С.А. Черкашин, В.В. Щеглов // *Известия ТИНРО*. 2001. Т. 128. С. 1036-1049.
  8. Подорванова Н.Ф. 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.
  9. Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого. Владивосток: ТИНРОО-Центр, 2001. 194 с.
  10. Нигматулина Л.В. Воздействие сточных вод контролируемых выпусков на экологическое состояние Амурского залива // Автореф. дис... канд. биол. наук. Владивосток, ТИНРО-Центр, 2005. 19 с.
  11. Тищенко П.Я. Карбонатная система Амурского залива (Японское море) летом 2005 г. / П.Я. Тищенко, П.П. Тищенко, В.И. Звалинский, Шкирникова Е.М., Чичкин Р.В., Лобанов В.Б. // *Изв. ТИНРО*. 2006. Т.146. С. 235-255.
  12. Звалинский В.И. Гидрохимические и продукционные параметры на Акватории Амурского залива в период паводка реки Раздольной в августе 2005 года / В.И. Звалинский, П.П. Тищенко, П.Я. Тищенко, В.Б. Лобанов, С.Г. Сагалаев, М.Г. Швецова, Т.И. Волкова, А.Ф. Сергеев, Л.Н. Пропп // *Современное состояние и тенденции измерения природной среды залива Петра Великого Японского моря*. М.: ГЕОС, 2008. С. 199-229.
  13. Тищенко П.Я. Гипоксия придонных вод Амурского залива / П.Я. Тищенко, А.Ф. Сергеев, В.Б. Лобанов и др. // *Вестник ДВО РАН*. 2008. №4. С.

14. Михайлик Т.А. Влияние реки Раздольной на экологическое состояние вод Амурского залива (Японское море) / Т.А. Михайлик, П.Я. Тищенко, А.М. Колтунов, П.П. Тищенко, М.Г. Швецова // Водные Ресурсы. 2011. Т.38. №4. С. 474-484.
15. Тищенко П.П. Карбонатная система Амурского залива (Японское море) в условиях гипоксии / П.П. Тищенко, П.Я. Тищенко, В.И. Звалинский, А.Ф. Сергеев // Океанология. 2011. Т. 51. №2. С. 246-257.
16. Ходоренко Н.Д. Гумусовые вещества и макросостав донных отложений в нижнем течении реки Раздольной и северной части Амурского залива (Японское море) / Н.Д. Ходоренко, Т.И. Волкова, П.Я. Тищенко // Современное состояние и тенденции измерения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 229-243.
17. Тищенко П.Я. Карбонатная система и растворенный кислород Японского моря. Анализ биологического и температурного фактора / П.Я. Тищенко, Г.Ю. Павлова, А.Н. Салюк, А.С. Бычков // Океанология. 1998. Т. 38. С. 678-684.
18. Dickson A.G. pH scales and proton-transfer reactions in saline media such as sea water // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2299-2308.
- Ключевые слова:** гипоксия, гидрохимия эстуария, Амурский залив
19. Friedrich J. Benthic nutrient cycling and diagenetic pathways in the north-western Black Sea / J. Friedrich, C. Dinkel, G. Friedl, N. Pimenov, J. Wijsman, M.-T. Gomoiu, A. Cociasu, L. Popa and B. Wehrli // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2002. V. 54. P. 369-383.
20. Redfield A.C. The influence of organisms on the composition of seawater / A.C. Redfield, B.H. Ketchum, F.A. Richards // The Sea. M.N.Hill. Ed. New York: Interscience, 1963. V.2. P.26-77.
21. Van de Leemput I.A. Predicting microbial nitrogen pathways from basic principles / I.A. Van de Leemput, A.J. Veraart, V. Dakos, et al. // Environ. Microbiol. 2011. V. 13. P. 1477 – 1487.
22. Стоник И.В. Летне-осенний фитопланктон в Амурском заливе Японского моря / И.В. Стоник, Т.Ю. Орлова // Биол. Моря. 1998. Т. 24. №4. С. 205-211.
23. Frund C. Diurnal cycles of sulfate reduction under oxic conditions in cyanobacterial mats / C. Frund, Y. Cohen // Appl. Environ. Microb. 1992. V.58. P. 70-77.
24. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2001. 579 с.
25. Вышкварцев Д.И., Коновалова Г.В. О механизмах зимнего «цветения» микроводорослей в водах залива Петра Великого (Японское море) // Биология моря. 1979. Т. 5. №1. С. 72-73.

P.Ya. Tishchenko, T.A. Mikhailik, P.P. Tishchenko, M.G. Shvetsova, E.M. Shkirknikova, A.M. Koltunov, A.F. Sergeev, V.I. Zvalinskii

## PECULIARITIES OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER OF THE AMUR BAY IN JULY 2008

This article represents results on hydrochemical investigation of the Amur Bay in July 2008. Abnormal low concentrations of oxygen, pH and abnormal high values of carbon dioxide, normed alkalinity and concentrations of silicates, phosphates and ammonium were observed near bottom layer of the Bay. It was shown that a cause of the anomaly raising is microbial oxidation of excessive diatom biomass at interface barrier between water and bottom under conditions of photosynthetic active radiation lack and stabile vertical water stratification.

**Key words:** hypoxia, hydrochemistry of estuary, Amur Bay