

УДК 556.114(282.257.91)

П.Ю. Семкин, П.Я. Тищенко, Т.А. Михайлик, Ю.А. Барабанщиков,
Г.Ю. Павлова, С.Г. Сагалаев, П.П. Тищенко, М.Г. Швецова,
Е.М. Шкирникова*

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

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭСТУАРИЯ РЕКИ ПАРТИЗАНСКОЙ (ЗАЛИВ НАХОДКА, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ

В период 18–19 июля 2012 г. проведены гидрохимические наблюдения в эстуарии р. Партизанской в летнюю межень при расходе $20,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Установлено, что дальность проникновения зоны смешения составляет 11 км от устьевых бара реки. Расчетное «время жизни» речных вод в зоне смешения при таком расходе составляет около двух суток, зависимость параметров солевого состава от солености при смешении вод — консервативная. По динамическим признакам зона смешения разделяется на два района: 1 — 5,5 км от устьевых бара до песчаного переката, с интенсивным обменом морских вод в придонном слое за период около 12 ч; 2 — выше песчаного переката, с ограниченным водообменом. Высокая прозрачность вод р. Партизанской, слабый водообмен в начале зоны смешения, характерный для микроприливных русловых эстуариев мощный пикноклин, поставка речными водами биогенных веществ создают благоприятные условия для цветения фитопланктона, в результате которого концентрация хлорофилла *a* в зоне смешения превышает 40 мкг/л . Деструкция автохтонного органического вещества сопровождается аномальным поведением карбонатных параметров и биогенных веществ, а также гипоксией придонных вод: концентрация кислорода уменьшается до 61 мкмоль/кг .

Ключевые слова: р. Партизанская, зал. Находка, эстуарий, устьевая область реки, гипоксия, биогенные вещества, продукция/деструкция органического вещества, динамика вод, зона смешения, профиль глубин.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-143-152.

* Семкин Павел Юрьевич, младший научный сотрудник, e-mail: pahno@list.ru; Тищенко Павел Яковлевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией, e-mail: tpavel@poi.dvo.ru; Михайлик Татьяна Александровна, научный сотрудник, e-mail: tatyana_libra@poi.dvo.ru; Барабанщиков Юрий Александрович, младший научный сотрудник, e-mail: biw90@mail.ru; Павлова Галина Юрьевна, ведущий научный сотрудник, e-mail: pavlova@poi.dvo.ru; Сагалаев Сергей Григорьевич, научный сотрудник, e-mail: sagalaev@poi.dvo.ru; Тищенко Петр Павлович, старший научный сотрудник, e-mail: ek15@poi.dvo.ru; Швецова Мария Геннадьевна, научный сотрудник, e-mail: chippers@rambler.ru; Шкирникова Елена Михайловна, научный сотрудник, e-mail: elmi@poi.dvo.ru.

Semkin Pavel Yu., junior researcher, e-mail: pahno@poi.dvo.ru; Tishchenko Pavel Ya., D.Sc., head of laboratory, e-mail: tpavel@poi.dvo.ru; Mikhailik Tatyana A., researcher, e-mail: tatyana_libra@mail.ru; Barabanshchikov Yuri A., junior researcher, e-mail: biw90@mail.ru; Pavlova Galina Yu., leading researcher, e-mail: pavlova@poi.dvo.ru; Sagalaev Sergey G., researcher, e-mail: sagalaev@poi.dvo.ru; Tishchenko Petr P., senior researcher, e-mail: ek15@poi.dvo.ru; Shvetsova Maria G., researcher, e-mail: chippers@rambler.ru; Shkirknikova Elena M., researcher, e-mail: elmi@poi.dvo.ru.

Semkin P.Yu., Tishchenko P.Ya., Mikhailik T.A., Barabanshchikov Yu.A., Pavlova G.Yu., Sagalaev S.G., Tishchenko P.P., Shvetsova M.G., Shkirnikova E.M. Hydrochemical studies of the Partizanskaya River estuary (Nakhodka Bay, Japan Sea) in summer season of low water discharge // *Izv. TINRO*. — 2018. — Vol. 193. — P. 143–152.

Chemical water parameters in the Partizanskaya River estuary were measured on July 18–19, 2012 in conditions of low water discharge (20.1 m³/s). In these conditions, the cline of salt water at the bottom penetrated up to 11 km upstream from the river mouth and the fresh river water passed the estuarine zone of mixing in approximately 2 days. Salt composition of the mixed water in the estuary had conservative dependence on salinity. By dynamical signs, the estuary could be divided into two zones: i) zone of active exchange between the surface freshwater layer and the bottom salted layer on the distance 5.5 km from the river mouth to the first sandy riverbank that the fresh river water passed in 12 hours, and ii) the upper part of the estuary with limited water exchange. The complex of water environments in the estuary, as good water transparency, strong stratification, and high concentrations of terrestrial nutrients, was favorable for phytoplankton blooming, so the chlorophyll concentration in the estuarine waters exceeded 40 µg/L. Destruction of autochthonous organic matter caused anomalies in distribution of carbonate and nutrient parameters and was accompanied by hypoxia in the bottom layer with the dissolved oxygen content lowering to 61 µM/kg.

Key words: Partizanskaya River, Nakhodka Bay, estuary, hypoxia, nutrient, primary production, destruction of organic matter, water dynamics, water mixing, riverbed profile.

Введение

Высокая интенсивность первичного продуцирования органического вещества в эстуариях — это естественный процесс (Хлебович, 1974; Costanza et al., 1997), сопровождаемый дефицитом кислорода в придонных водах зоны смешения (ЗС) (Симонов, 1969). Ранее (Levin et al., 2009) гипоксия регистрировалась в эстуариях, в том числе в эстуариях рек зал. Петра Великого (Тищенко и др., 2017, в печати). Актуальность исследования гидрохимических характеристик эстуариев зал. Петра Великого, отличающихся биоразнообразием (Колпаков и др., 2010), трудно переоценить в связи с тяжелыми последствиями для экосистемы залива нарушений кислородного режима в результате эвтрофикации (Звалинский и др., 2013; Стунжас и др., 2016; Тищенко и др., 2016).

В июле 2012 г. в ходе выполнения комплексной съемки в придонном слое воды в средней части продольного профиля эстуария р. Партизанской была обнаружена гипоксия. Цель статьи — анализ изменчивости гидролого-гидрохимических и продукционных характеристик воды и выяснение причин формирования гипоксии в эстуарии р. Партизанской в период летней межени 2012 г.

Материалы и методы

Река Партизанская (до 1972 г. р. Сучан) зарождается на южных отрогах хребта Сихотэ-Алинь (Приморский край) и впадает вблизи г. Находка в одноименный залив, расположенный в восточной части зал. Петра Великого и ограниченный мысом Поворотным (рис. 1). Это одна из крупнейших рек южного Приморья. Площадь водосбора реки — 3120 км² в створе у г. Партизанск (в 43 км от устья) и 4140 км² в устьевом створе, протяженность составляет 142 км*. Среднегодовой расход реки за период с 1958 по 1980 г. равен 31,6 и 41,9 м³/с соответственно в створе г. Партизанск и в устьевом створе*. Река и ее притоки имеют горный характер в верхнем и полугорный в нижнем течении. В водном режиме р. Партизанской выделяются зимняя межень, весеннее половодье и летне-осенние паводки, а также периоды межени в летний и осенний сезоны**. Средняя дата перехода температуры воды весной через 0,2 °C в районе поста в г. Партизанск — 2 апреля. После этого температура воды постепенно растет до августа

* Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. Т. 1, вып. 21. 387 с.

** Многолетние данные... (1986); Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18: Дальний Восток, вып. 3: Приморье. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 246 с.

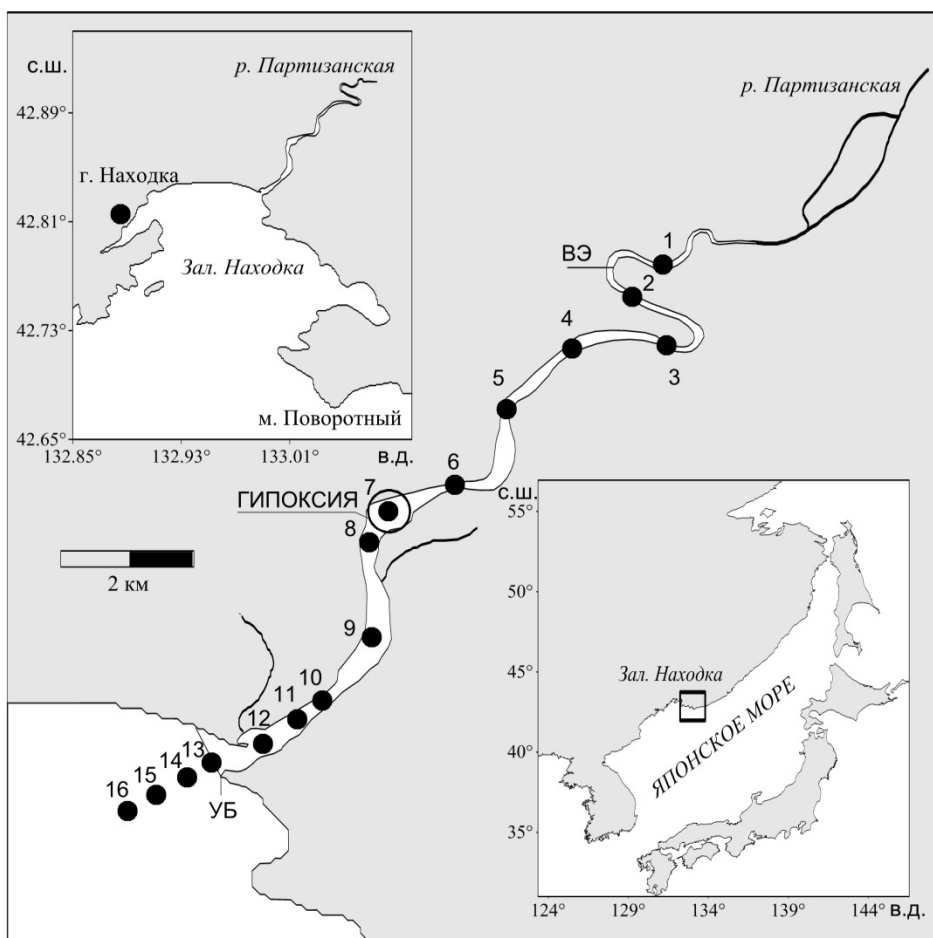


Рис. 1. Географическое положение эстуария р. Партизанской (зал. Находка, Японское море) и схема станций отбора проб воды (1–16) и зондирования 18–19 июля 2012 г.: ВЭ — вершина эстуария; УБ — устьевой бар реки; ст. 7 — песчаный перекал с гипоксией в придонном слое воды

Fig. 1. Scheme of water sampling and profiling in the Partizanskaya River estuary (Nakhodka Bay, Japan Sea) on July 18–19, 2012: ВЭ — upper zone of the estuary; УБ — river bar; ст. 7 — sandy riverbank with hypoxia at the bottom

(среднемесечные значения $19,3^{\circ}\text{C}$). Максимальная температура воды, зафиксированная на посту в г. Партизанск — $27,4^{\circ}\text{C}$. Средняя дата перехода температуры воды осенью через $0,2^{\circ}\text{C}$ — 2 декабря*. Ледостав в среднем начинается в г. Партизанск 12 декабря, освобождается ото льда река 5–10 апреля*.

На фоне ярко выраженного сезонного изменения общей минерализации воды р. Партизанской, согласно классификации О.А. Алекина (1970), относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу (Павлова и др., 2015), с минимальной антропогенной нагрузкой (Вах и др., 2017) и относительно невысокими концентрациями биогенных веществ (Шулькин и др., 2009; Вазова, 2017).

Залив Находка, располагаясь в районе с сезонной изменчивостью климатических условий и связанной с ней изменчивостью атмосферной циркуляции, подвержен сезонному распресняющему влиянию речного стока. Также на гидрологический режим зал. Находка оказывают влияние водообмен с Японским морем и различные динамические факторы.

Минимальная температура воды в течение года на поверхности зал. Находка наблюдается в январе-феврале, а максимальная — в августе. Согласно данным пунктов

* Многолетние данные... (1986).

ГМС мыс Поворотный и г. Находка в период с 1918 по 1964 г. средняя дата перехода температуры воды весной через 0 °С — 31 марта. После этого температура воды постепенно растет до 20,5 °С в середине августа. Максимальная среднемесячная температура воды в августе на посту в г. Находка — 26,8 °С. Постепенное понижение температуры воды в осенние месяцы сопровождается переходом через 0 °С 1 декабря (Супранович, Якунин, 1976).

В сезонной изменчивости солености воды в зал. Находка наблюдается минимум летом и максимум зимой, что определяется внутригодовыми колебаниями стока р. Партизанской. По данным наблюдения ГМС на пункте мыс Поворотный минимальное значение солености в заливе (около 30 ‰) характерно для поверхностных вод в июле-августе, а максимальное (более 34 ‰) наблюдается по всей водной толще в ноябре-декабре.

Приливные колебания носят неправильный полусуточный характер. Средняя величина сизигийного прилива в зал. Петра Великого колеблется от 15 до 20 см (Подорванова и др., 1989), что позволяет отнести эстуарий р. Партизанской к микроприливным эстуариям (Davis, 1964).

Несмотря на повышенную антропогенную нагрузку, связанную с промышленностью г. Находка, восточная часть зал. Петра Великого имеет низкий трофический статус в связи с интенсивным водообменом шельфовых вод с открытой частью Японского моря (Звалинский и др., 2013).

18–19 июля 2012 г. на 16 станциях (рис. 1), расположенных вдоль профиля наибольших глубин, были отобраны пробы воды с поверхностных и придонных горизонтов, а также выполнено гидрологическое зондирование водной толщи. Отбор проб воды, анализ гидрохимических характеристик и расчет параметров карбонатной системы проводили по стандартным и авторским методикам, подробно изложенным ранее (Методы..., 1988*; Тищенко и др., 2005). Для зондирования использовали канадский профилограф RBR-XX620, оборудованный комплектом STD-датчиков, а также датчиками флуоресценции хлорофилла *a*, мутности и фотосинтетически активной радиации (ФАР). Работы были проведены за два дня с привязкой к отливной фазе в период с 8.00 до 12.00 час в первый и второй день на станциях соответственно 1–9 и 10–16 (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Данные гидрологического зондирования (рис. 2) позволили приблизительно оценить объем пресной воды в районе ЗС — около $2,75 \cdot 10^6$ м³ (слой воды 1 м, средняя ширина реки 250 м, дальность проникновения ЗС 11 км). Зная расход реки в период съемки в июле 2012 г. (20,1 м³/с), можно рассчитать время, необходимое для полной замены пресных вод в ЗС (время «жизни» пресных вод (flushing time)), по известному соотношению (Priya et al., 2012)

$$T_f = V/Q. \quad (1)$$

Здесь T_f — время «жизни» пресных вод в эстуарии; V — объем пресных вод; Q — расход реки. Из соотношения (1) следует, что величина $T_f = 38$ ч для расхода воды в летнюю межень. Расход воды сильно зависит от сезона. При минимальном расходе в зимний сезон (около 7 м³/с) время «жизни» увеличивается до 4 сут. В весеннее половодье при расходе реки 73 м³/с оно сокращается до 4,5 ч.

Время «жизни» морских вод в ЗС определяется соотношением продолжительности и интенсивности потоков прямых и обратных течений в придонном слое воды в районе устьевого створа. Исследование внутрисуточной изменчивости динамики вод в эстуарии р. Партизанской показало наличие устойчивого обратного течения в придонном слое воды (в направлении реки) со скоростью до 18 см/с в малые воды и в приливную фазу периода летней межени (Семкин и др., в печати). Течение с указанной скоростью обеспечивает проникновение морской воды за период менее 12 ч до песча-

* Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 118 с.

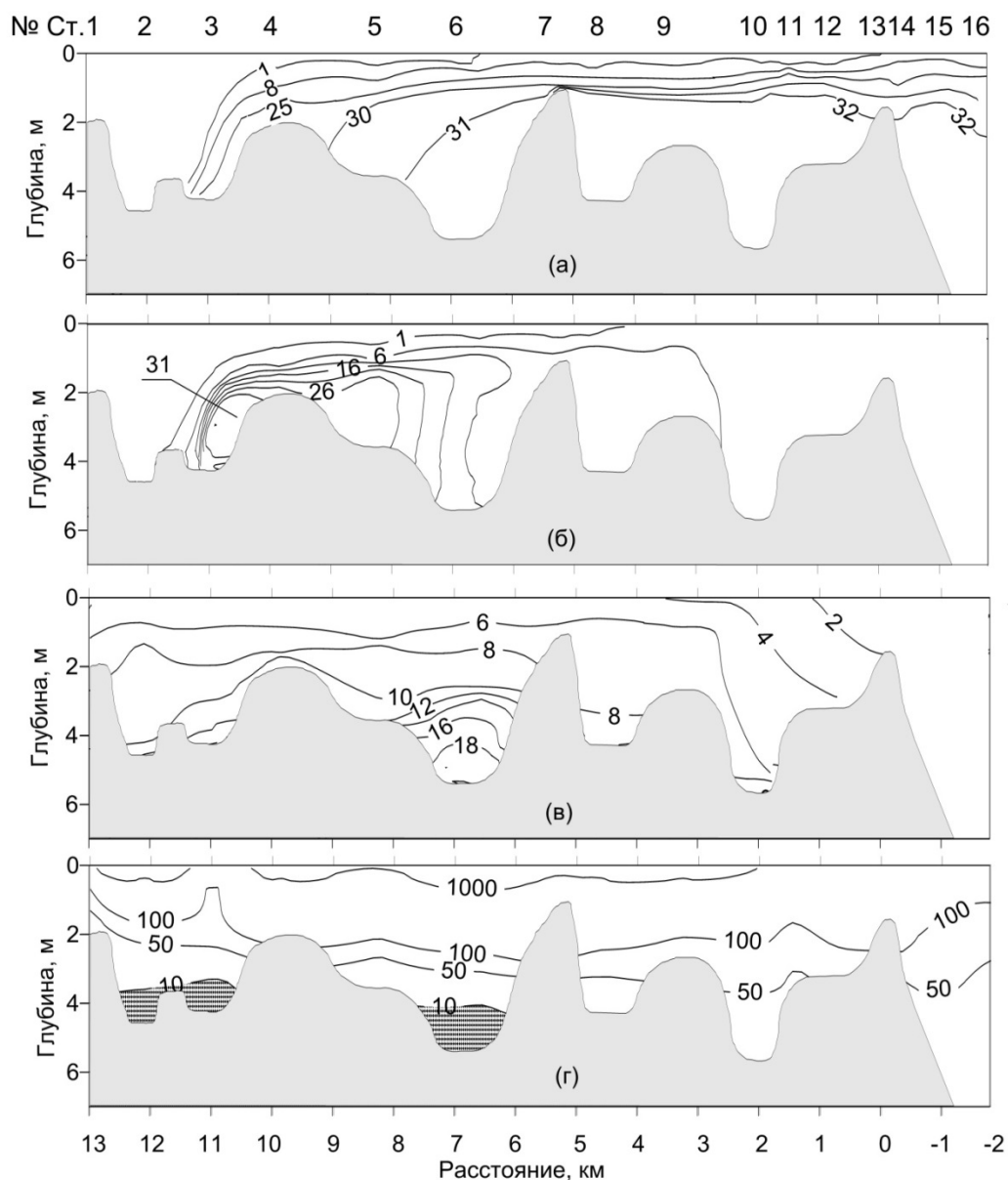


Рис. 2. Изменчивость характеристик воды по данным зондирования в продольном профиле наибольших глубин эстуария р. Партизанской 18–19 июля 2012 г. при расходе реки $20,1 \text{ м}^3/\text{с}$: **а** — соленость воды, ‰; **б** — концентрация хлорофилла *a*, $\mu\text{г}/\text{л}$; **в** — мутность в единицах «formazin turbidity units»; **г** — фотосинтетически активная радиация (ФАР); заштрихован слой воды с ФАР менее $10 \text{ мкмоль квантов}/\text{м}^2\text{с}$. Слева — река, справа — море. Отсчет расстояния — от гребня устьевых бара реки

Fig. 2. Variation of water parameters measured by sonde-profiler on the transect along the maximal depths in the Partizanskaya River estuary on July 18–19, 2012, in conditions of the river discharge $20.1 \text{ м}^3/\text{с}$: **a** — salinity of water, ‰; **б** — chlorophyll *a* concentration, $\mu\text{г}/\text{л}$; **в** — turbidity, formazin turbidity units; **г** — photosynthetically active radiation (FAR), $\mu\text{M quantum}/\text{м}^2\text{s}$. River is on the left, sea is on the right, distance counting is from the river bar

ного переката с наблюдаемой гипоксией (в районе ст. 7), расположенного в 5,5 км от устьевых бара. Очевидно, что при такой интенсивности водообмена в придонном слое на участке от устьевых бара до указанного переката морские воды будут заполнять русло эстуария без изменения солености, что мы и видим в действительности (рис. 2, а). В результате развитой эстуарной циркуляции формируется высокая устойчивость

слоев воды с мощным пикноклином, что характерно для микроприливных русловых эстуариев (Михайлов, 1997). Формирующийся пикноклин можно рассматривать как жидкое дно, на котором скапливается фитопланктон.

Пережат на ст. 7 ограничивает проникновение морских вод выше по течению реки. Для этого района характерна соленость менее 5 ‰. Однако в полные воды на пережатке наблюдалось кратковременное повышение солености до 31 ‰ (Семкин и др., в печати), которое было связано с потоком обратных (в направлении реки) и прямых (в направлении моря) течений. Таким образом, солёность на пережатке могла повышаться за счет воды, пришедшей из района плеса, расположенного на ст. 6 (рис. 2, а). Пробоотбор воды на пережатке ст. 7 в июле 2012 г. выполняли в «момент» «полные воды + 4 ч», когда в придонном горизонте могут формироваться прямые течения (в направлении моря). Соленость на ст. 7 соответствовала солености вод на ст. 6. Как видно на рис. 2 (б), ограниченный водообмен способствовал развитию микроводорослей в морской воде, особенно в начале ЗС, в районе ст. 3, где по данным зондирования концентрация хлорофилла *a* на нижней границе халоклина была выше 31 мкг/л, а в пробе воды, отобранной в придонном горизонте, достигала 41 мкг/л (рис. 3, а). Район ЗС с высокой концентрацией хлорофилла *a* можно рассматривать как биологическую систему маргинального фильтра (Лисицын, 1994). В этом районе наблюдаются максимальные концентрации взвеси: повышается мутность (см. рис. 2, в) и снижается ФАР в придонных водах (рис. 2, г). Доминирование деструкции органического вещества в условиях отсутствия ФАР — естественное явление для придонных вод в ЗС, сопровождаемое

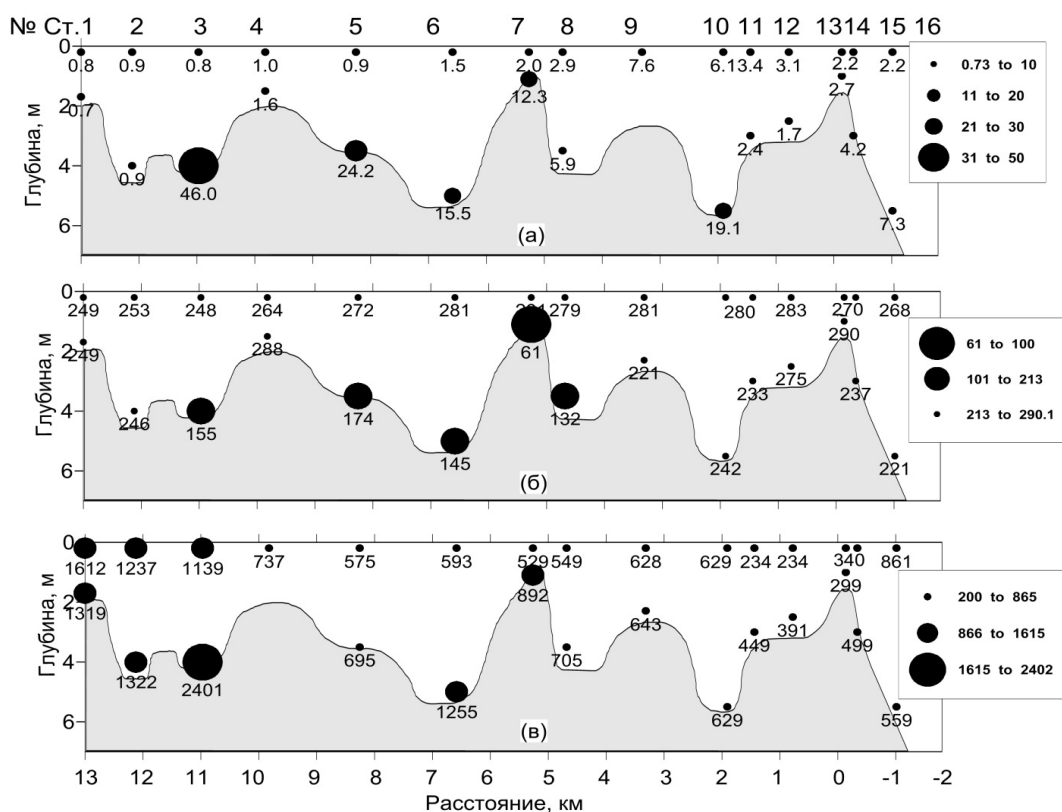


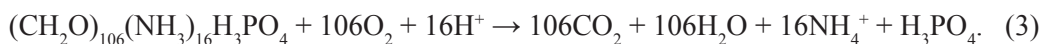
Рис. 3. Изменчивость гидрохимических параметров в поверхностных и придонных пробах воды, отобранных в продольном профиле эстуария р. Партизанской 18–19 июля 2012 г. при расходе реки 20,1 м³/с: **а** — концентрации хлорофилла *a*, мкг/л; **б** — концентрация O₂, мкмоль/кг; **в** — парциальное давление CO₂, мклатм

Fig. 3. Variation of chemical parameters at the surface and at the bottom of the Partizanskaya River estuary on the transect along the maximal depths on July 18–19, 2012, in conditions of the river discharge 20.1 m³/s: **а** — chlorophyll *a* concentration, µg/l; **б** — dissolved oxygen content, µM/kg; **в** — CO₂ partial pressure, µatm

поглощением O_2 , повышением pCO_2 и ростом концентрации биогенных веществ (нитратного азота и фосфатов). Концентрация O_2 в области гипоксии снизилась до 61 мкмоль/кг, в то время как за пределами ЗС для речной и морской воды она превышала соответственно 250 и 280 мкмоль/кг (см. рис. 3, б). Микробиологическое окисление биомассы фитопланктона в аэробных условиях, в соответствии со стехиометрией Редфилда (Redfield et al., 1963), можно представить соотношением (Friedrich et al., 2002)



В условиях ограниченного содержания кислорода, например на границе раздела вода/осадок, микробиологическое окисление органического вещества происходит в соответствии со схемой (An, Gardner, 2002)



Тот факт, что уменьшение концентрации кислорода в придонных горизонтах сопровождается положительными аномалиями pCO_2 (рис. 3) и ионов аммония без повышения нитратов (рис. 4, а, б), подтверждает протекание микробиологического процесса согласно схеме (3).

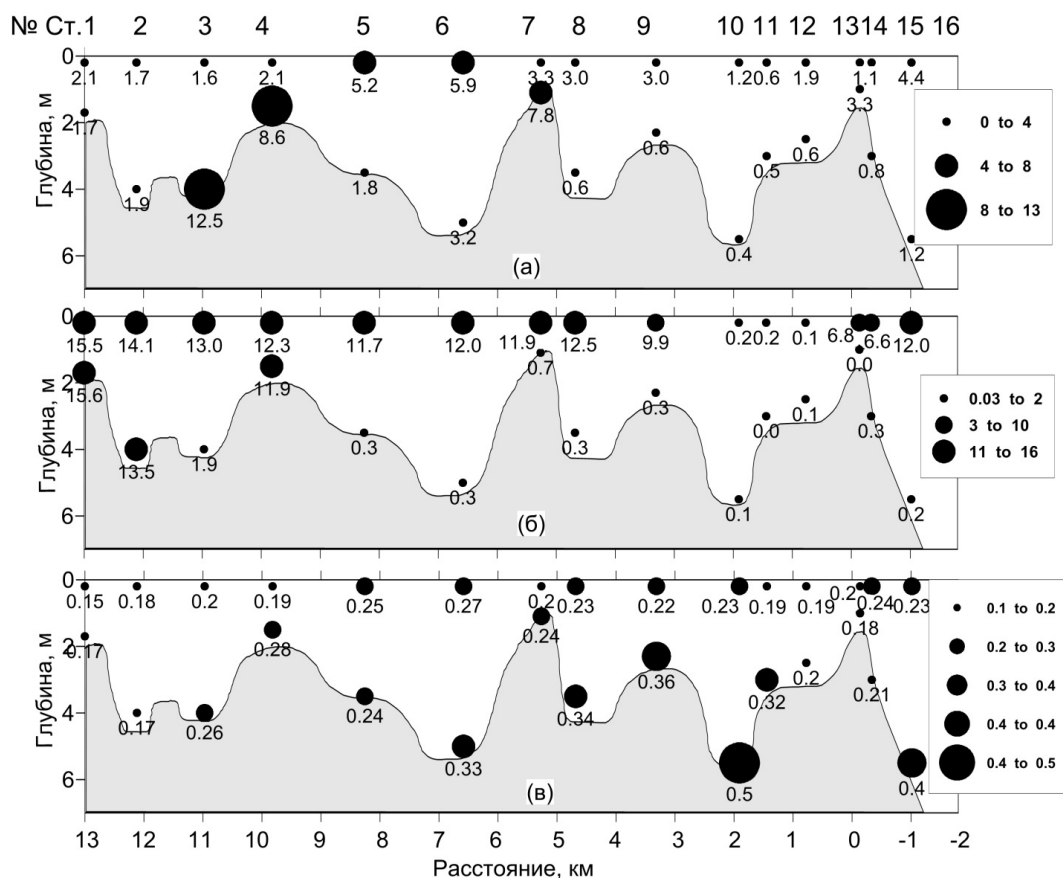


Рис. 4. Концентрация биогенных веществ в поверхностных и придонных пробах воды, отобранных в продольном профиле эстуария р. Партизанской 18–19 июля 2012 г. при расходе реки 20,1 м³/с: а — аммонийный азот, мкмоль/л; б — нитратный азот, мкмоль/л; в — фосфат ионы, мкмоль/л

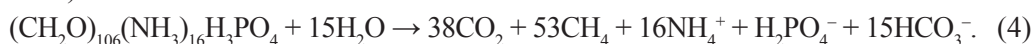
Fig. 4. Nutrients concentration at the surface and at the bottom of the Partizanskaya River estuary on the transect along the maximal depths on July 18–19, 2012, in conditions of the river discharge 20.1 m³/s: а — ammonium nitrogen, $\mu M/L$; б — nitrate nitrogen, $\mu M/L$; в — phosphate ions, $\mu M/L$

Как видно на рис. 4 (в), речные воды имеют низкие концентрации фосфатов, а также в них отсутствует корреляция фосфатов с O_2 , аммонийным азотом и величиной pCO_2 . Этот факт объясняется сорбцией фосфатов минеральной взвесью, содержащей

оксигидроксиды железа (Froelich, 1988). По концентрации растворенных форм железа р. Партизанская занимает четвертое место в списке рек Приморья после Артемовки, Туманной и Раздольной (Шулькин, Семькина, 2012). В меженные режимы в реках Приморского края отмечается увеличение концентрации растворенных форм железа (Шулькин и др., 2009).

Характерной особенностью гидрохимических характеристик в районе гипоксии р. Партизанской была минимальная концентрация O_2 на песчаном перекате на глубине 1,5 м, где визуально просматривалось дно, т.е. фотический слой доходил до дна. Величина pCO_2 на дне достигала 890 мклатм при солёности около 30 ‰, что сходно с условиями гипоксии в акваториях зал. Петра Великого (Тищенко и др., 2011; Семкин и др., 2012; Тищенко, 2013; Стунжас и др., 2016). Остальные характеристики, отражающие гипоксию как результат деструкции органического вещества, не имели значительных отклонений по сравнению с придонным слоем в начале ЗС. Приведенные выше особенности динамики вод в ЗС свидетельствуют о том, что наблюдаемая на перекате ст. 7 гипоксия могла быть результатом пришедших из расположенного выше плеса вод в результате прямого течения, формирующегося в отливную фазу.

Наблюдаемая разница в величинах pCO_2 в придонных водах в начале ЗС и в области гипоксии может быть результатом метаногенеза — разложения органического вещества при отсутствии внешних окислителей на границе вода/осадок (Friedrich et al., 2002):



Смешение морских вод с речными сопровождается понижением буферной емкости и, как результат, более интенсивным ростом pCO_2 при окислении органического вещества, что также может быть причиной значительного различия в этой величине для придонных вод в области гипоксии при солёности более 30 ‰ и в плесах в начале ЗС в солоноватых водах. Отсутствие положительной аномалии нитратного и аммонийного азота в области гипоксии в районе ст. 7 обусловлено денитрификацией неорганического азота ($NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+$) в воде, когда азот превращается микроорганизмами в газы, менее доступные в биологическом отношении формы (NO , N_2O и N_2) (Lam, Kuipers, 2011).

Ранее в работе А.М. Колтунова с соавторами (2009) было показано, что для эстуариев с высокой динамикой вод существует различие в полях распределения концентрации хлорофилла a , pCO_2 и O_2 , обусловленное «памятью» о направленности продукционно-деструкционных процессов в предшествующие периоды. Таким образом, в межень в верхней части эстуария, ограниченной песчаным перекатом, создаются условия сниженного водообмена. В результате окисления автохтонного органического вещества, образованного в начале ЗС в условиях отсутствия ФАР, в плесах формируется гипоксия, которая сопровождается аномалиями величины pCO_2 и концентрации биогенных веществ. Обратные течения в придонном слое воды эстуария способствуют короткопериодному проникновению морских вод в плесы через перекаат, прямые течения во всем слое вод эстуария, возникающие в отливную фазу, сопровождаются потоком гипоксических вод из плесов через перекаат в мористую часть эстуария.

Выводы

В эстуарии р. Партизанской в период летней межени высокая прозрачность речных вод, слабый водообмен в верхней части ЗС, мощный пикноклин, характерный для микроприливных русловых эстуариев, поступление биогенных веществ с речными водами создают условия для цветения фитопланктона.

Деструкция автохтонного органического вещества в плесах в условиях отсутствия ФАР сопровождается гипоксией придонных вод с падением концентрации кислорода до 61 мкмоль/кг и аномалией карбонатных параметров и биогенных веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 11-05-00241 а, 11-05-98543-р_восток-а, 14-05-31127.мол_а) в рамках НИР ТОИ ДВО РАН (тема № 6).

Список литературы

- Алекин О.А.** Основы гидрохимии : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1970. — 444 с.
- Важова А.С.** Сезонные изменения концентраций биогенных веществ и содержания растворенного кислорода в реках южного Приморья // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 210–222.
- Вах Е.А., Павлова Г.Ю., Михайлик Т.А. и др.** Основной солевой состав и редкоземельные элементы как индикаторы экологического состояния рек южного Приморья // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328, № 1. — С. 39–49.
- Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я.** Эвтрофикация залива Петра Великого // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : Дальнаука, 2013. — Кн. 1. — С. 260–293.
- Колпаков Н.В., Долганова Н.Т., Надточий В.А. и др.** Экосистемные исследования биоресурсов прибрежных и эстуарных вод южного Приморья // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 103–128.
- Колтунов А.М., Тищенко П.Я., Звалинский В.И. и др.** Карбонатная система Амурского лимана и прилегающих морских акваторий // Океанол. — 2009. — Т. 49, № 5. — С. 649–706.
- Лисицын А.П.** Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.
- Михайлов В.Н.** Гидрологические процессы в устьях рек : моногр. — М. : ГЕОС, 1997. — 176 с.
- Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю. и др.** Гидрохимический режим эстуария реки Партизанской (залив Находка, Японское море) // Водн. ресурсы. — 2015. — Т. 42, № 4. — С. 396–405. DOI: 10.7868/S0321059615040112.
- Подорванова Н.Ф., Ивашинникова Т.С., Петренко В.С., Хомичук Л.С.** Основные черты гидрохимии залива Петра Великого (Японское море) : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. — 201 с.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Лобанов В.Б.** Динамика и структура вод в эстуарии реки Партизанской (залив Находка, Японское море) // Водн. ресурсы (в печати).
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Лобанов В.Б. и др.** Особенности распределения гидрохимических параметров Уссурийского залива (Японское море) в летний период // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 168. — С. 152–168.
- Симонов А.И.** Гидрология и гидрохимия вод устьевого взморья в морях без приливов : моногр. — М. : Гидрометеиздат, 1969. — 230 с.
- Стунжас П.А., Тищенко П.Я., Ивин В.В. и др.** Первый случай аноксии в водах Дальневосточного морского заповедника // ДАН. — 2016. — Т. 467, № 2. — С. 218–221. DOI: 10.7868/S0869565216080211.
- Супранович Т.И., Якунин Л.П.** Гидрология залива Петра Великого : Тр. ДВНИГМИ. — Л. : Гидрометеиздат, 1976. — Вып. 22. — 200 с.
- Тищенко П.П.** Сезонная гипоксия Амурского залива : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 2013. — 16 с.
- Тищенко П.Я., Вонг Ч.Ш., Волкова Т.И. и др.** Карбонатная система эстуария реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 1. — С. 51–60.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И. и др.** Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 165. — С. 136–158.
- Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю. и др.** Гидрохимия эстуария реки Туманной // Океанол. (в печати).
- Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Тищенко П.П. и др.** Гипоксия придонных вод эстуария реки Раздольная // ДАН. — 2017. — Т. 476, № 5. — С. 576–580. DOI: 10.7868/S0869565217290217.
- Тищенко П.Я., Стунжас П.А., Ивин В.В. и др.** Сезонная гипоксия вод Дальневосточного морского заповедника // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь : ИПТС, 2016. — Вып. 3(23). — С. 124–129.
- Хлебович В.В.** Критическая соленость биологических процессов : моногр. — Л. : Наука, 1974. — 235 с.
- 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.
- Шулькин В.М., Семькина Г.И.** Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого и оценка их вклада в создание экологических проблем // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : Издат. дом ДВФУ, 2012. — С. 252–287.

An S., Gardner W.S. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) as a nitrogen link, versus denitrification as a sink in a shallow estuary (Laguna Madre/Baffin Bay, Texas) // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2002. — Vol. 237. — P. 41–50. DOI: 10.3354/meps237041.

Costanza R., d'Arge R., de Groot R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*. — 1997. — Vol. 387. — P. 253–260.

Davies J.L. A morphogenetic approach to world shorelines // *Geomorphol.* — 1964. — Vol. 8. — P. 127–142.

Friedrich J., Dinkel C., Friedl G. et al. Benthic nutrient cycling and diagenetic pathways in the north-western Black Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. — 2002. — Vol. 54, Iss. 3. — P. 369–383. DOI: 10.1006/ecss.2000.0653.

Froelich P.N. The problem with phosphorus // *EOS*. — 1988. — Vol. 69, Iss. 31. — P. 760–761.

Lam P., Kuypers M.M.M. Microbial nitrogen cycling processes in oxygen minimum zones // *Ann. Rev. Mar. Sci.* — 2011. — Vol. 3. — P. 317–345.

Levin L.A., Ekau W., Gooday A.J. et al. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos // *Biogeosciences*. — 2009. — Vol. 6, № 10. — P. 2063–2098.

Priya K.L., Jegathambal P., James E.J. Seasonal Behavior of a Shallow Estuary of the Lower Cauvery Basin, India // *Environ. Res. Eng. Manage.* — 2012. — Vol. 61, № 3. — P. 6–13.

Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. The influence of organisms on the composition of the sea water // *The Sea*. — N.Y. : Interscience Publishers, 1963. — Vol. 2. — P. 26–77.

Поступила в редакцию 15.02.18 г.

Принята в печать 12.04.18 г.