

УДК 551.468

## ДИНАМИКА И СТРУКТУРА ВОД В ЭСТУАРИИ РЕКИ ПАРТИЗАНСКОЙ (ЗАЛИВ НАХОДКА, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)<sup>1</sup>

© 2019 г. П. Ю. Семкин<sup>1,\*</sup>, П. Я. Тищенко<sup>1</sup>, В. Б. Лобанов<sup>1</sup>,  
А. Ф. Сергеев<sup>1</sup>, Ю. А. Барabanщиков<sup>1</sup>, Т. А. Михайлик<sup>1</sup>, Г. Ю. Павлова<sup>1</sup>, А. В. Костылева<sup>2</sup>,  
Е. М. Шкирникова<sup>1</sup>, П. П. Тищенко<sup>1</sup>, Т. Л. Чижова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН  
Владивосток 690041 Россия, ул. Балтийская, 43

<sup>2</sup> Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
Геленджик 353470 Россия, ул. Просторная, 1г

\*E-mail: pahno@list.ru

Поступила в редакцию 19.12.2014 г.

После доработки 25.04.2017 г.

Принята к публикации 29.09.2017 г.

Проведены полевые исследования сезонной и суточной динамики зоны смешения в микроприливном эстуарии р. Партизанской. Положение зоны смешения определялось объемом речного стока. Верхняя граница зоны смешения наблюдалась на расстоянии от 5 (при величине речного расхода 73.67 м<sup>3</sup>/с) до 12.5 км (при 7.7 м<sup>3</sup>/с) от устьевых бара. Для эстуария характерна двухслойная циркуляция вод, в результате которой формируется галоклин с градиентом солености воды до 30‰ на 1 м. Изменчивость солености на перекатах, обусловленная приливами, достигает 27‰ за 3-часовой период.

*Ключевые слова:* эстуарий, устьевая область реки, зона смешения, циркуляция вод, река Партизанская, залив Находка, Приморье.

DOI: 10.31857/S0321-059646124-34

### ВВЕДЕНИЕ

Гидрология эстуариев на Дальнем Востоке России изучена очень слабо. В настоящее время есть данные по отдельным объектам Камчатки [3], Сахалина [1] и материкового побережья Охотского моря [2, 7]. Но все эти объекты находятся под воздействием значительных приливов. Микро- и неприливно-эстуарии в основном находятся в Приморье — наиболее освоенном с хозяйственной точки зрения регионе Дальнего Востока.

Проникновение морских вод в устья рек рассматривается как опасное гидрологическое явление, осложняющее хозяйственную деятельность [9, 16, 29]. С другой стороны, зона смешения речных и морских вод (ЗС) — это ядро формирования специфических экосистем [19], препятствующих выносу биогенных веществ в приемные бассейны. Поступление биогенных и органи-

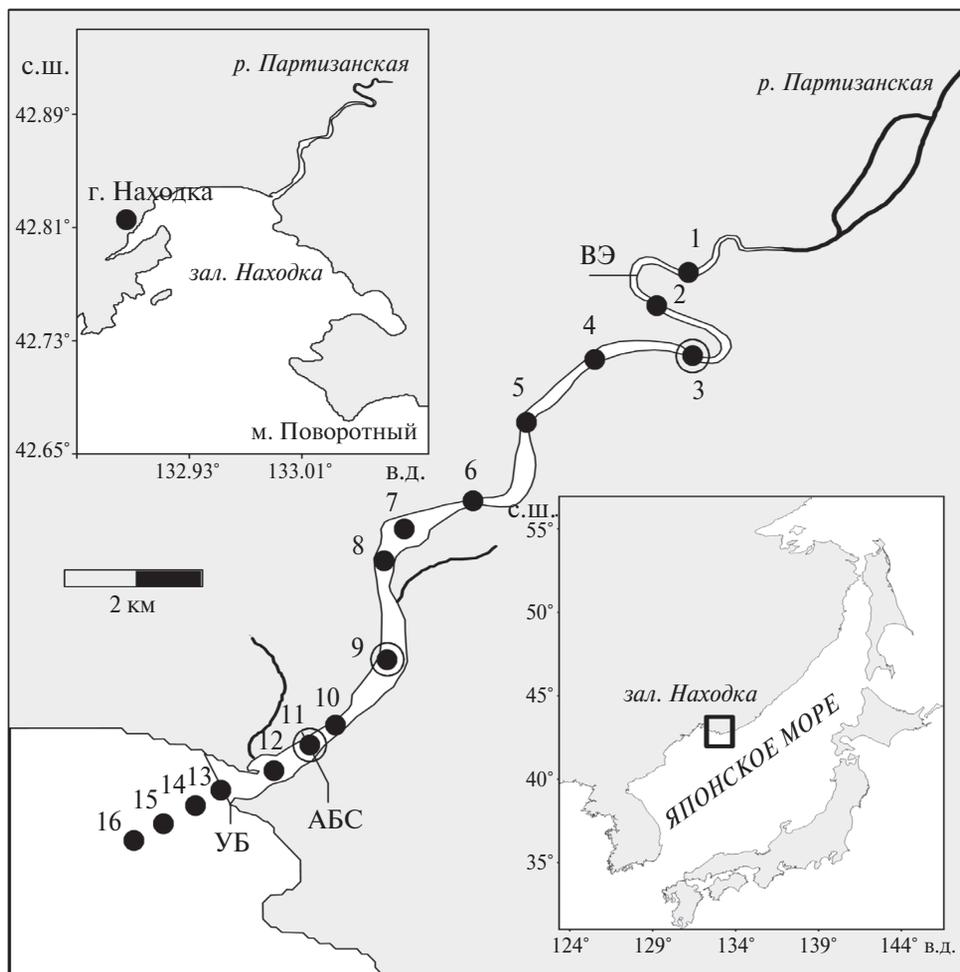
ческих веществ с речными водами в приемные бассейны может приводить к их эвтрофикации и гипоксии [6, 18, 23, 27], поэтому изучение ЗС в роли биологического барьера актуально.

Цель данной работы — изучение сезонной и суточной динамики зоны смешения и циркуляции вод в эстуарии р. Партизанской на основе данных инструментальных измерений.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Партизанская (до 1972 г. — р. Сучан) берет начало на южных отрогах хребта Сихотэ-Алинь (Приморский край) и впадает вблизи г. Находки в одноименный залив в восточной части зал. Петра Великого, который ограничен мысом Поворотным (рис. 1). Партизанская — одна из крупнейших рек Южного Приморья. Площадь водосбора реки — 3120 км<sup>2</sup> в створе г. Партизанска (в 43 км от устья) и 4140 км<sup>2</sup> в устьевом створе, протяженность составляет 142 км [11, 14]. Среднегодовой расход реки

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 11-05-00241-а, 11-05-98543-р\_восток-а, 14-05-31127 мол\_а, 16-05-00166-а).

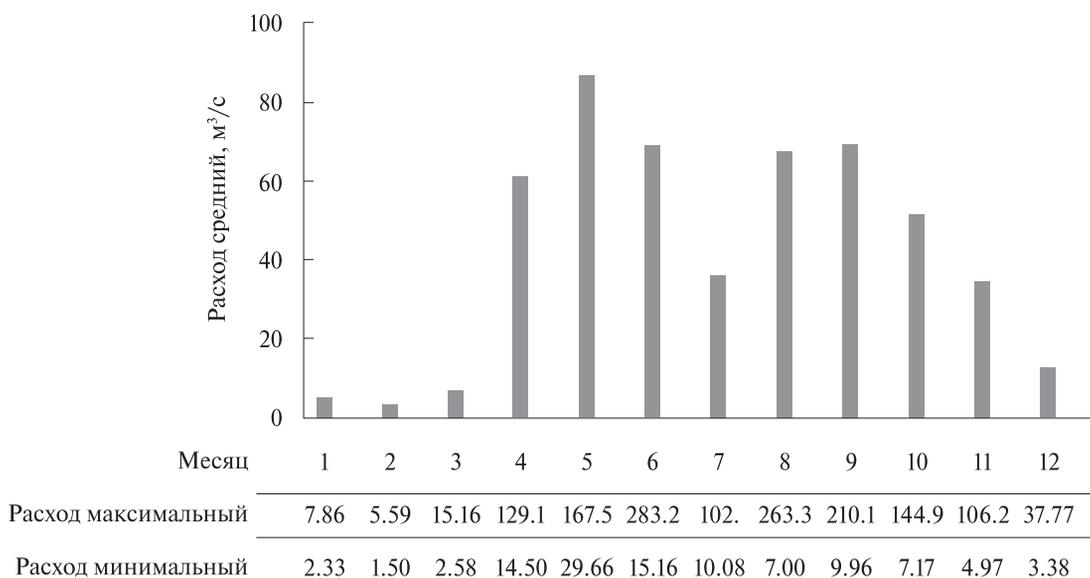


**Рис. 1.** Географическое положение эстуария р. Партизанской (зал. Находка, Японское море) и схема станций наблюдений: май, июль 2012 г. — станции 1–16; февраль 2016 г. — станции 1–12; февраль 2014 г. — станции 1, 2, 4, 6–8, 10, 11; сентябрь 2015 — станции 3–8, 10, 11, 13–16. ВЭ — вершина эстуария. АБС — автономная буйковая станция. УБ — устьевой бар реки. ● — места наблюдений за уровнем воды.

за период с 1958 по 1980 г. равен 31.6 и 41.9 м<sup>3</sup>/с в створе г. Партизанска и в устьевом створе соответственно [11]. Река и ее притоки имеют горный характер в верхнем течении и полугорный — в нижнем.

Приморский край относится к зоне умеренного муссонного климата. Средняя многолетняя температура воздуха в г. Партизанске в январе составляет –13.1°С, самый теплый месяц — август со среднемесячной температурой 20.1°С [12]. Среднемноголетняя норма осадков для района исследований составляет 794 мм/год. С июня по август выпадает 42.7% годовой нормы осадков, в сентябре — 16.8, а в период с апреля по октябрь ~84%. Наиболее интенсивные осадки характерны для августа (159 мм за месяц) и сентября (133 мм) [12].

В водном режиме р. Партизанской выделяется три фазы: зимняя межень, весеннее половодье и летне-осенние паводки (рис. 2). Половодье обычно начинается в марте–апреле, достигает своего пика в апреле — начале мая, а заканчивается в конце мая — начале июня. В устье реки максимальный суточный расход на пике половодья может превышать 450 м<sup>3</sup>/с (здесь и далее расчеты характеристик речного стока ориентировочные). В течение всего теплого периода года возможны дождевые паводки, особенно высокие в августе–сентябре. В большинстве случаев годовые максимумы расходов паводков превышают наибольшие расходы половодья и составляют ~650 м<sup>3</sup>/с, но иногда ≥1500 м<sup>3</sup>/с. Летне-осенняя межень обычно многоводная и прерывистая, а иногда отсутствует. В этот период минимальные расходы воды в устье составляют в среднем ~11.3 м<sup>3</sup>/с, но в отдельные годы они могут пони-



**Рис. 2.** Средние, максимальные и минимальные за многолетний период (1958–1980 гг.) величины среднемесячных расходов воды в устьевом створе р. Партизанской (рассчитано авторами по данным поста в г. Партизанске [11]).

жаться до  $4.3 \text{ м}^3/\text{с}$ . Зимняя межень более устойчива: в период ледостава минимальные расходы воды понижаются в среднем до  $3.0 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в отдельные годы — до  $1.0 \text{ м}^3/\text{с}$  [11]. Величины расходов воды р. Партизанской для периодов настоящих исследований рассчитаны по данным единственного действующего стокового поста в с. Молчановка, расположенного в 106 км от устья реки.

Средняя дата перехода температуры воды весной через  $0.2^\circ\text{C}$  в районе поста в г. Партизанске — 2 апреля. После этого температура воды постепенно растет до августа (среднемесячные значения  $19.3^\circ\text{C}$ ). Максимальная температура воды, зафиксированная на посту в г. Партизанске, —  $27.4^\circ\text{C}$ . Средняя дата перехода температуры воды осенью через  $0.2^\circ\text{C}$  — 2 декабря [11]. Ледостав начинается 7 декабря в с. Молчановка и 12 декабря в г. Партизанске; река освобождается ото льда 5–10 апреля [11].

Залив Находка располагается в районе с сезонной изменчивостью атмосферной циркуляции и подвержен сезонному распресняющему влиянию речного стока. 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 гидрометслужбы (ГМС) — м. Поворотного и г. Находка — в пери-

од с 1918 по 1964 г., средняя дата перехода температуры воды весной через  $0^\circ\text{C}$  — 31 марта. После этого максимальная среднемесячная температура воды на посту м. Поворотный постепенно растет до  $20.54^\circ\text{C}$  в середине августа. Максимальная среднемесячная температура воды в августе на посту в г. Находке —  $26.8^\circ\text{C}$ . При постепенном понижении температуры воды в осенние месяцы переход через  $0^\circ\text{C}$  происходит 1 декабря [11].

В сезонной изменчивости солёности воды в зал. Находка наблюдается минимум летом и максимум зимой, что определяется внутригодовыми колебаниями стока р. Партизанской. По данным наблюдения ГМС в пункте м. Поворотный, минимальное значение солёности в заливе ( $\sim 30\text{‰}$ ) характерно для поверхностных вод в июле–августе, а максимальное значение ( $>34\text{‰}$ ) наблюдается по всей водной толще в ноябре–декабре. Для кутовой части зал. Находка с 15 июня по 30 сентября характерна солёность в диапазоне  $26\text{--}28\text{‰}$ . С апреля по сентябрь солёность с глубиной значительно увеличивается и на горизонте 10 м достигает в сентябре  $33.5\text{‰}$  [17].

Приливные колебания имеют неправильный полусуточный характер. Средняя величина сизигийного прилива в зал. Петра Великого колеблется от 15 до 20 см [13], что позволяет отнести эстуарий р. Партизанской к микроприливному эстуариуму [22]. Скорость течения в зал. Находка в среднем  $\leq 20 \text{ см/с}$ . Вблизи устья р. Партизанской скорость стокового течения в период паводка достигает  $180 \text{ см/с}$  [8].

Особенность гидрологического режима зал. Петра Великого, а также зал. Находка – развитие осенне-зимнего апвеллинга под действием северо-западных ветров в период с сентября по февраль. При этом поверхностные воды из зал. Находка перемещаются в мористую часть зал. Петра Великого, а навстречу им по склону поднимаются холодные и более соленые воды из открытой части акватории [5, 20].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сезонная динамика ЗС в эстуарии р. Партизанской была изучена в трех экспедициях: в мае и июле 2012 г. и в феврале 2016 г. Работы включали в себя зондирование водной толщи вдоль линии наибольших глубин CTD (Conductivity, Temperature, Depth) профилографом “Rinko Profiler” (Япония) или “RBR” (Канада). В феврале зондирование было проведено на 12-ти станциях, в мае и июле – на 16-ти. Для определения характеристик руслового рельефа проводили предварительные промеры эхолотом.

Исследования суточной изменчивости гидрологических характеристик проводили в двух экспедициях: в феврале 2014 и сентябре 2015 гг. В период зимних съемок 2014 и 2016 гг. эстуарий был покрыт льдом толщиной 50–70 см. Внешняя граница ледяного покрова в эстуарии находилась в 0.5 км от устьевого бара. Залив был свободен ото льда.

Суточные исследования включали в себя следующее: наблюдения за уровнем воды в трех точках эстуария с использованием реек (рис. 1), измерения течений на одной станции, CTD-зондирование через каждые 3 ч в течение суток вдоль оси ЗС, наблюдения за метеоусловиями и волнением. Скорость и направление течения измеряли с помощью заякоренной автономной буйковой станции (АБС), которая состояла из четырех электромагнитных измерителей тече-

ний “Infiniti-EM” (Япония), последовательно соединенных между собой. Жесткость постановки АБС обеспечивалась с помощью системы растяжек и буюв. Станция располагалась в наиболее глубоком месте створа, в точке глубиной 4 м. Расстояние от АБС до устьевого бара составляло 1.8 км (координаты станции 42° 50.214' с.ш., 132° 59.941' в.д.). Датчики приборов располагались на горизонтах 0.1 и 0.7 м (поверхностный слой с солоноватыми водами) и 3 и 3.5 м (придонный слой с морскими водами). Измерения с дискретностью 10 мин проводились в течение трех суток. Для CTD-зондирования использовались два зонда “SBE 19 plus”. Зимой протяженность профиля по оси ЗС составляла 13 км (8 станций), в сентябре – 12.5 км (12 станций). По льду передвигались на автомобиле и затрачивали на выполнение всего разреза ~1.5 ч; в сентябре разрез выполняли двумя группами одновременно в верхней и нижней частях эстуария с бортов двух моторных лодок в течение 1 ч. На всех станциях фиксировали направление и скорость ветра, высоту и направление волн. На береговой станции в районе постановки АБС с интервалом 1 ч проводились наблюдения за ветром, волнами и уровнем воды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Сезонная динамика зоны смешения*

Работы в феврале 2016 г. были выполнены в зимнюю межень при расходе реки 7.7 м<sup>3</sup>/с. Весной 2012 г. пик половодья наблюдался 10 мая (расход реки 84.45 м<sup>3</sup>/с), исследования проводились на спаде половодья при расходе 73.67–65.9 м<sup>3</sup>/с (таблица). В июле 2012 г. наблюдения выполнялись в условиях межени при расходе реки 20.1 м<sup>3</sup>/с. Суточные наблюдения в феврале 2014 г. были выполнены при повышенном расходе реки – 11.9 м<sup>3</sup>/с (среднемноголетний расход реки в феврале – 3.6 м<sup>3</sup>/с). Измерения в сентябре 2015 г. проведены при расходе реки

**Таблица.** Расходы воды в замыкающем створе р. Партизанской и дальность проникновения зоны смешения от устьевого бара реки

Период исследований	Расход реки, м <sup>3</sup> /с	Расстояние от устьевого бара до речной границы зоны смешения, км
28.02.2016 (ледостав)	7.77	12.5
18–19 февраля 2014 (ледостав)	11.90	10.5
18–19 июля 2012	20.11	11.0
15–16 сентября 2015	30.00	9.5
18–19 мая 2012	73.67–65.9	5.0

30.0 м<sup>3</sup>/с (среднегодовое количество для сентября – 69.3 м<sup>3</sup>/с).

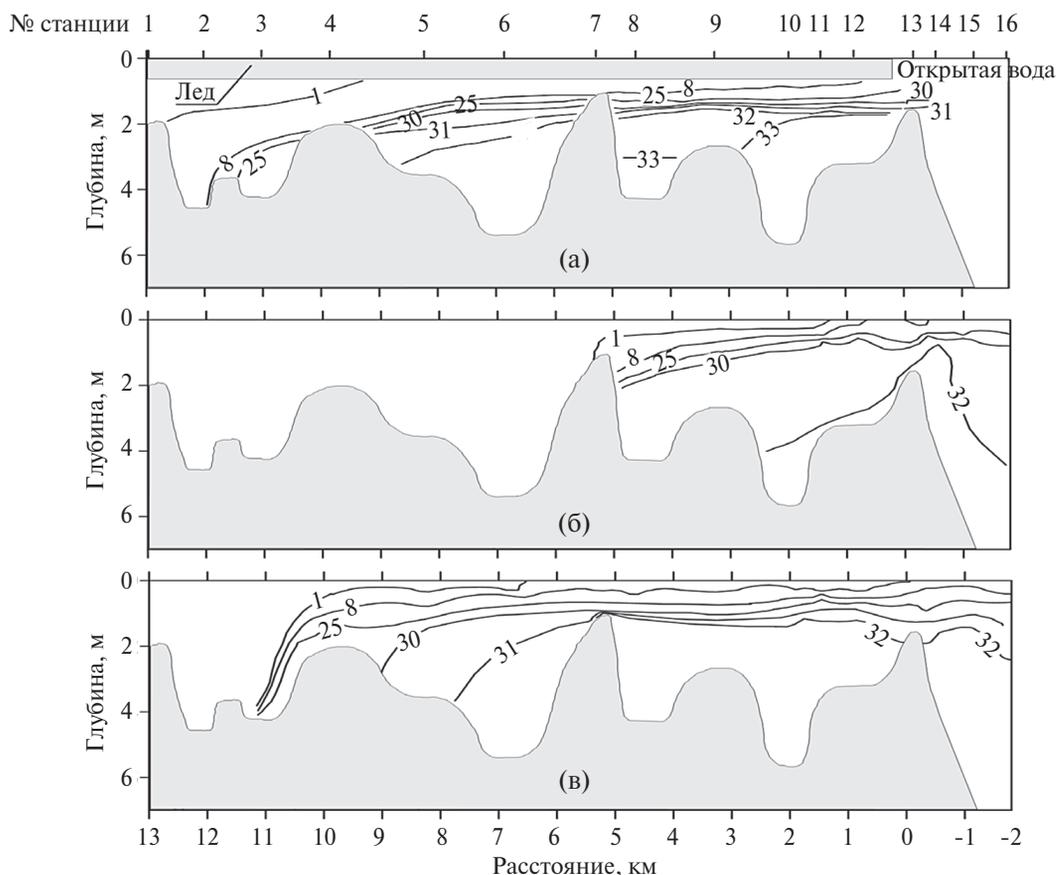
Дальность проникновения ЗС, определяемая по предельному положению изогаляны 1‰ [9], представлена в таблице. Наибольшая дальность (12.5 км) проникновения ЗС от устьевых баров наблюдалась в период зимней межени в 2016 г., наименьшая (5 км) – в период весеннего половодья в 2012 г. В феврале 2016 г. распространение ЗС было ограничено галечным перекатом на расстоянии 12.7 км от устьевых баров (см. рис. 1). Выше этого переката уклон реки значительно больше, чем ниже переката, дно реки галечное, ниже – песчаное или илистое, а скорость течения реки резко снижается. Этот перекат можно считать вершиной эстуария, которая, как показано ниже, является верхней границей приливных колебаний.

Данные таблицы показывают линейную зависимость дальности проникновения ЗС от расхода реки, за исключением периода съемки в феврале 2014 г., когда речная граница ЗС находилась ниже по течению реки, чем в условиях большего

расхода в летнюю межень. Это может объясняться ограничением проникновения осолоненных вод на перекатах в период ледостава.

Структура ЗС в русле эстуария в разные сезоны представлена на рис. 3. Для большей части ЗС вертикальный градиент солености достигал 30‰ на 1 м. Зимой поверхность эстуарного барьера с соленостью 1–8‰ [10] имеет максимальное протяжение и занимает все пространство от устьевых баров до вершины ЗС. При этом речные воды в эстуарии натекают на клин осолоненных вод. Это возможно благодаря малой турбулентности речного потока в период низкой водности и отсутствию ветрового перемешивания в условиях ледостава.

В период открытого русла протяженность эстуарного барьера становится меньше, а наклон изогалян существенно возрастает. Чем больше расход реки, тем меньше размеры эстуарного барьера (см. рис. 3). В период повышенного речного стока смешение речных и морских вод интенсифицируется из-за более высокой



**Рис. 3.** Сезонная изменчивость солености воды, ‰, в продольном профиле эстуария р. Партизанской: а – 28 февраля 2016 г., расход реки – 7.77 м<sup>3</sup>/с; б – 18–19 мая 2012 г., расход реки – 65.9 м<sup>3</sup>/с; в – 18–19 июля 2012 г., расход реки – 20.1 м<sup>3</sup>/с. Слева – река, справа – море. Расстояния от гребня устьевых баров реки.

турбулентности. Этому способствует ветровое перемешивание.

Следует отметить, что в данном исследовании наблюдения проведены при небольшом речном стоке. Однако полученная зависимость дальности проникновения и структуры ЗС от расхода реки хорошо согласуется с модельными и натурными результатами, полученными японскими учеными в аналогичном эстуарии р. Юра (Японское море) со средним годовым расходом речной воды  $51.5 \text{ м}^3/\text{с}$  [24]. Согласно модельным расчетам, для эстуария р. Юра при расходе  $>250 \text{ м}^3/\text{с}$  ЗС будет вытеснена за пределы устьевого бара, что наблюдается в период зимних половодий [26, 28]. Если принять, что связь между расходом реки и дальностью проникновения ЗС линейная, как это представлено в [24], то, согласно данным авторов настоящей статьи, ЗС р. Партизанской будет вытеснена за пределы устьевого бара при расходе  $\sim 120 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расход  $120 \text{ м}^3/\text{с}$  больше его среднемесячных величин (рис. 2), но в несколько раз меньше максимальных за многолетний период расходов половодья и дождевых паводков. Следовательно, ситуация с вытеснением ЗС за пределы устьевого бара встречается ежегодно и, судя по данным рис. 2, возможна в любой месяц с апреля по ноябрь. Продолжается это явление, скорее всего, несколько суток, пока не пройдет пик половодья или паводка.

#### *Приливные колебания уровня и циркуляция вод*

18–19 февраля 2014 г., согласно данным метеостанции г. Находки, температура воздуха в течение суток была отрицательной — в диапазоне от  $-3.6$  до  $-11.8^\circ\text{C}$ . Направление ветра было преимущественно северных румбов со средней скоростью  $2\text{--}6 \text{ м/с}$ , порывами до  $15 \text{ м/с}$  в дневные часы. 15–16 сентября 2015 г. температура воздуха менялась от  $12.0$  до  $25.5^\circ\text{C}$ . Направление ветра менялось с СВ в ночные часы на противоположное — ЮЗ в дневные часы. Средняя скорость ветра в обоих направлениях была в диапазоне  $1\text{--}4 \text{ м/с}$  [30].

Величина прилива в створе постановки АБС (рис. 4) на даты съемок в период ледостава и период открытого русла составляла  $11 \text{ см}$ , а в зал. Петра Великого (по данным портала ЕСИМО) — соответственно  $11$  и  $12 \text{ см}$  [31]. Коэффициент прилива  $K_{\text{пр}}$  для данного места составлял в феврале и сентябре соответственно  $\sim 1.0$  и  $0.9$  ( $K_{\text{пр}} = V_{\text{т}}/V_{\text{м}}$ , где  $V_{\text{т}}$  — величина прилива в данной точке,  $V_{\text{м}}$  — величина прилива в море). Таким образом,

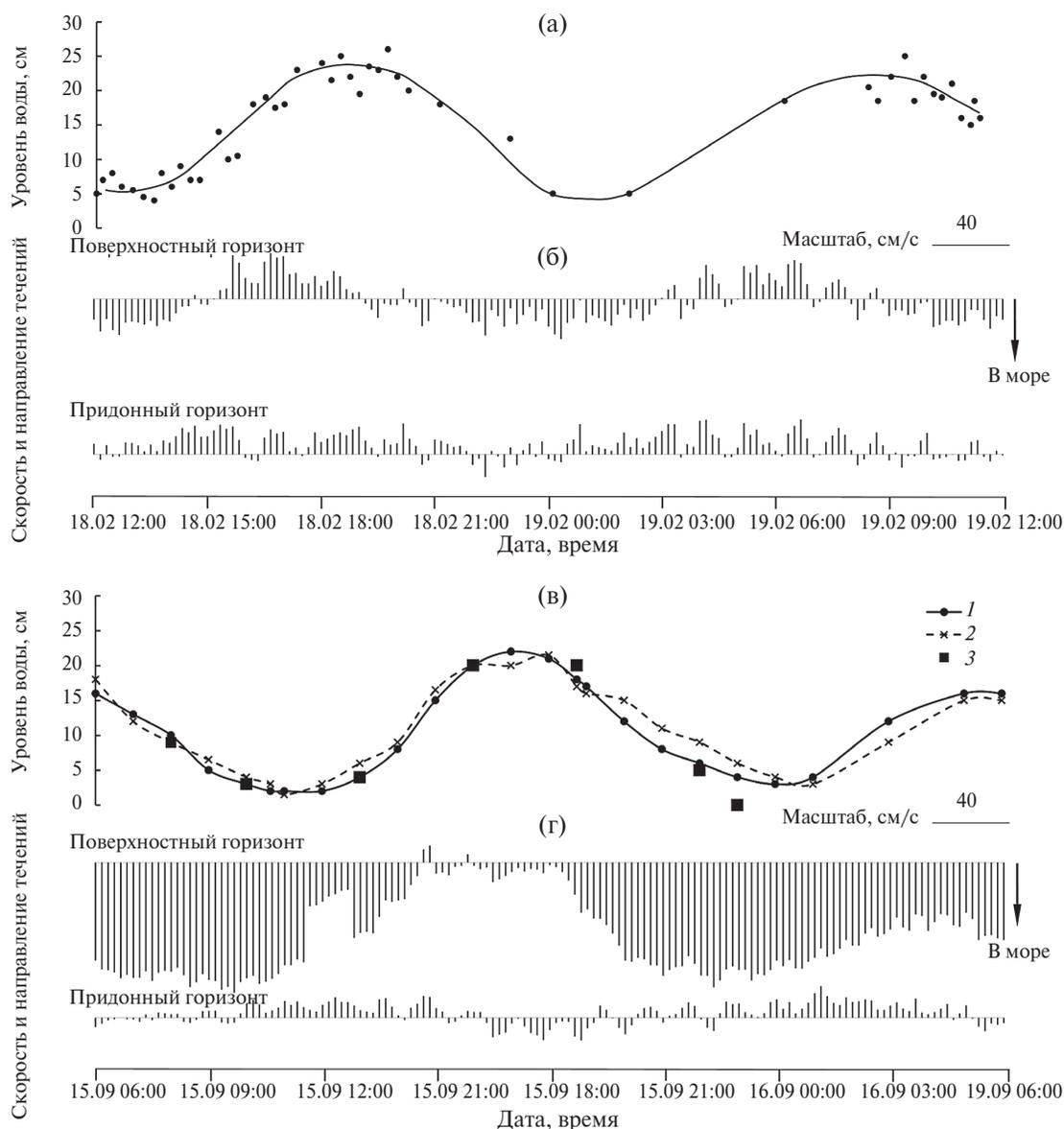
приливная волна распространялась практически без уменьшения ее величины до этого района эстуария в холодный и теплый сезоны. Наблюдения уровня воды в трех точках эстуария в сентябре 2015 г. (рис. 4) показали, что приливные колебания уровня распространяются до галечного переката, расположенного на расстоянии  $12.7 \text{ км}$  от устьевого бара, с небольшим отставанием волны по фазе. Судя по резкому изменению характера руслового рельефа, описанному ранее, выше этого места приливные и нагонные колебания уровня воды не распространяются.

В холодный сезон в условиях межени речного стока в поверхностном горизонте наблюдалась регулярная смена направления течения в зависимости от фазы приливов (рис. 4б). Во время прилива течение в поверхностном слое со скоростью до  $22 \text{ см/с}$  было ориентировано в направлении реки. В отлив и в малые воды течение в поверхностном горизонте со скоростью до  $21 \text{ см/с}$  было направлено в сторону моря. Течение у дна со скоростью до  $18 \text{ см/с}$  вне зависимости от фазы приливов было направлено в сторону реки. Направление течения у дна сменялось на противоположное (в сторону моря) в короткие промежутки времени продолжительностью  $10\text{--}20$  мин, при этом скорость не превышала  $10 \text{ см/с}$ .

В теплый сезон в условиях большего стока реки течение в поверхностном горизонте со скоростью до  $67 \text{ см/с}$  было ориентировано в направлении моря в течение почти всего периода наблюдений (рис. 4г). В полные воды скорость этого течения снижалась до  $2\text{--}3 \text{ см/с}$ . При совпадении нагонного ветра со средней скоростью  $4 \text{ м/с}$  с приливной фазой течение со скоростью до  $10 \text{ см/с}$  в поверхностном горизонте на короткие периоды ( $15:00\text{--}16:00$ ) было направлено в сторону реки. В придонном горизонте в полные воды и в отлив течение было либо прямым со скоростью до  $12 \text{ см/с}$ , либо знакопеременным. В малые воды и в прилив оно было обратным со скоростью до  $18 \text{ см/с}$ .

Из полученных результатов видно, что в период повышенного речного стока при открытом русле скорость течения на поверхности выше в сравнении с зимним сезоном (рис. 4). В теплое время года течение у дна часто меняет свое направление, а скорость течения, направленного в реку, меньше в сравнении с зимним периодом.

Наблюдаемая двухслойная циркуляция вод характерна для русловых эстуариев с небольшими приливами и объясняется эффектом вовлече-



**Рис. 4.** Уровень воды, величина и направление течения в районе АБС в феврале 2014 г. (а, б) и сентябре 2015 г. (в, г). 1, 2, 3 – изменчивость уровня воды в створах, удаленных соответственно на 1.8, 3.3 и 11.1 км от устьевого бара реки (станции 11, 9, 3).

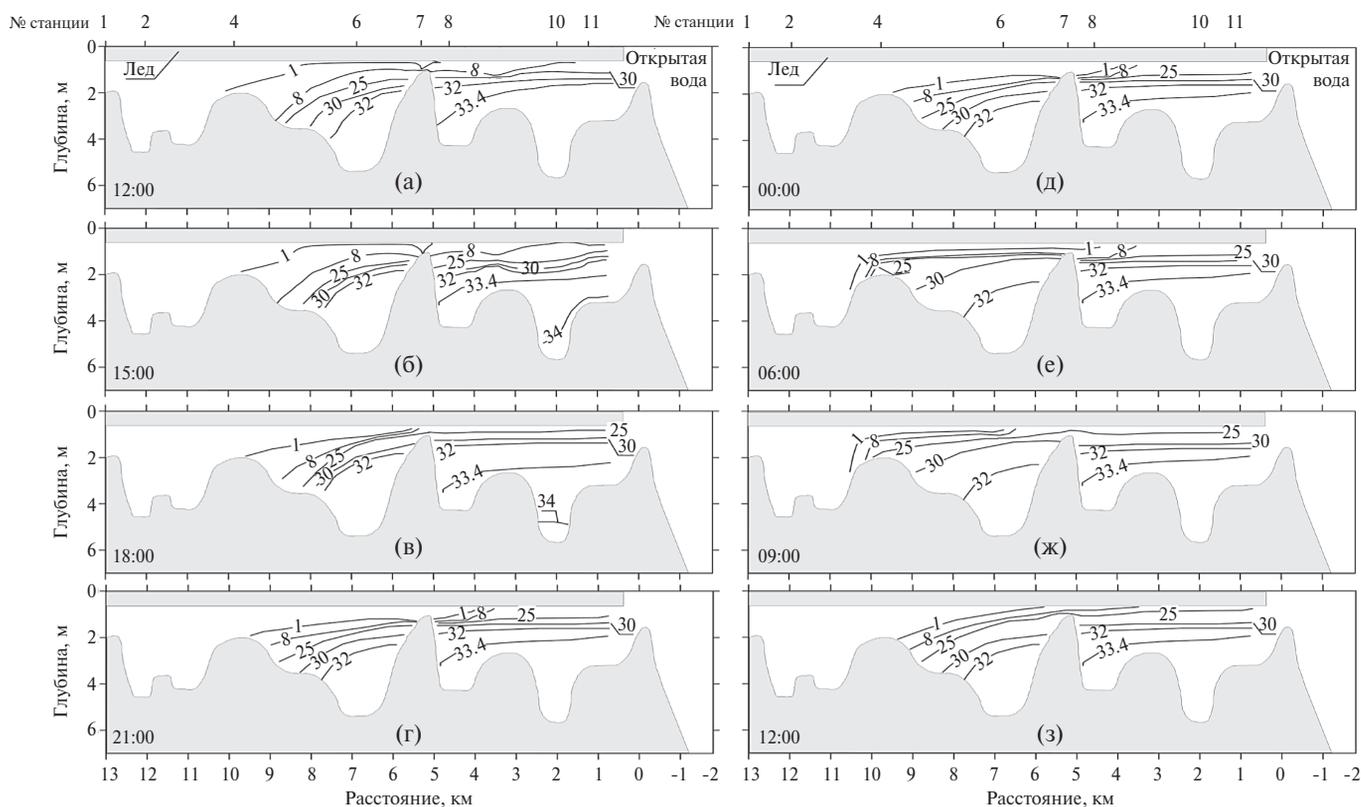
ния морских вод речными [9, 15]. Судя по полученным результатам, в данной точке в периоды ледостава и открытого русла при расходе реки 11.9 и 30.0 м<sup>3</sup>/с соответственно скорость течения у дна одинаковая, однако это течение более устойчиво во времени в период ледостава (рис. 4).

### СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ

#### *Период ледостава*

На рис. 5 представлена суточная изменчивость солёности воды в ЗС по результатам из-

мерений 18–19 февраля 2014 г. В период работ морские воды с солёностью 33.4‰ распространялись на расстояние до 5 км вверх по руслу реки от устьевого бара. Речная (верхняя) граница ЗС, выделяемая по изогалине 1‰, в течение суток меняла свое положение. В отлив граница ЗС находилась ниже песчаного переката, расположенного в 9.5 км от устьевого бара, в районе ст. 4, солёность воды у дна в этом районе снижалась до 0.5‰. В полную воду ЗС поднималась до переката и выше него, при этом солёность воды у дна на перекате повышалась до 23.1‰. Аналогичное увеличение солёности, связанное с приливом, наблюдалось на песчаном перекате



**Рис. 5.** Суточная изменчивость солености воды, ‰, в продольном профиле эстуария р. Партизанской при расходе реки  $11.9 \text{ м}^3/\text{с}$  (18.02.2014–19.02.2014): а – малые воды (МВ), б – МВ + 3 ч, в – МВ + 6 ч, г – полные воды (ПВ) + 2.5 ч, д – ПВ + 5.5 ч, е – МВ + 5 ч, ж – ПВ, з – ПВ + 3 ч. Слева – река, справа – море. Время местное.

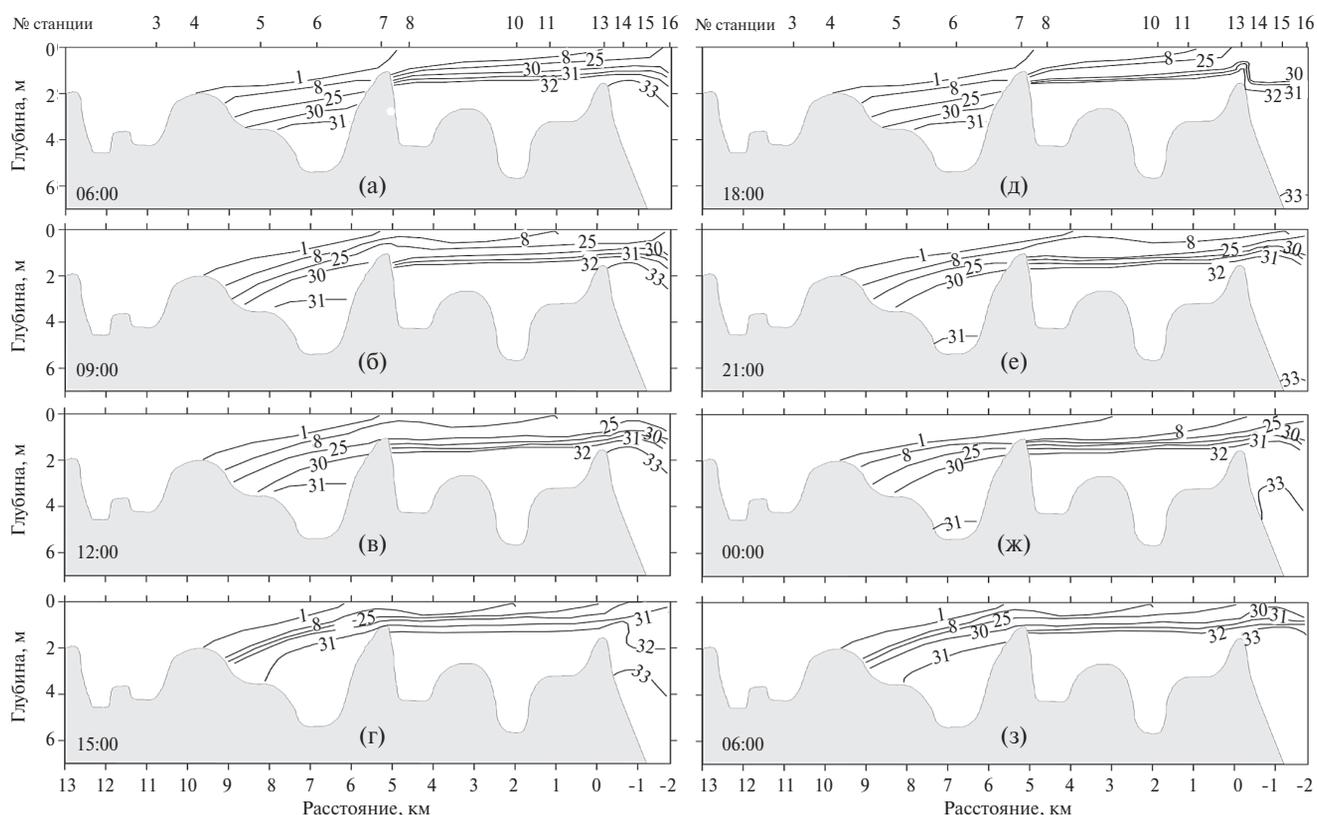
в районе ст. 7. В малую воду соленость воды у дна на ст. 7 снижалась до  $1.8\text{‰}$ , а в полную воду повышалась до  $28.0\text{‰}$ .

Особенность суточной динамики ЗС – появление вод с соленостью  $>34\text{‰}$  в 15:00 в придонном слое на станциях 10, 11. Воды с такой соленостью не фиксировались в прилив, а наблюдались в отлив при наибольшей скорости сгонного ветра со средней скоростью  $6 \text{ м/с}$  и порывами до  $15 \text{ м/с}$  над зал. Находка. Скорость ветра, измеренная непосредственно в месте постановки АБС, достигала  $18 \text{ м/с}$ . При ослаблении ветра и смене его направления приток вод с высокой соленостью прекратился. В 18:00 в районе ст. 10 еще наблюдались воды с соленостью  $>34\text{‰}$ , затем соленость придонной воды снизилась. Таким образом, сгонный ветер может вызывать компенсационный поток вод с соленостью  $>34\text{‰}$  в направлении реки, усиливая эстуарную циркуляцию. Эти воды проникали на расстояние до  $2.5 \text{ км}$  от устьевого бара и достигали плеса в районе ст. 10. При ослаблении ветра соленость придонной воды в этом плесе снижалась до фоновых значений –  $33.4\text{‰}$ .

### Период открытого русла

В период открытого русла – 15–16 сентября 2015 г. морские воды с соленостью  $32\text{‰}$  проникли, как и зимой, на расстояние до  $5 \text{ км}$  вверх по руслу реки от устьевого бара. Речная (верхняя) граница ЗС, выделяемая по изогалине  $1\text{‰}$ , примыкала к перекату в районе ст. 4 на расстоянии  $9.5 \text{ км}$  от устьевого бара (рис. 6). На самом перекате в исследуемый период наблюдались речные воды с соленостью  $0.07\text{‰}$ , поскольку расход реки в период этих исследований был в  $\sim 2.5$  раза больше, чем в период февральской съемки.

Существенное изменение солености, связанное с приливом, как и в период съемки в феврале, наблюдалось на песчаном перекате в районе ст. 7. Минимальная соленость в отлив составляла  $2.2\text{‰}$ , а максимальная соленость –  $30.8$  и  $29.4\text{‰}$  наблюдалась в приливную фазу 15 сентября в 15:00 и в полные воды 16 сентября в 06:00. Повышенная соленость  $22.6$  и  $29.7\text{‰}$  на данном перекате наблюдалась также в отливную фазу 15 сентября в 09:00 и в малые воды спустя 3 ч – в 12:00. Судя по поднятию изогалины  $33.1\text{‰}$  на разрезах в 09:00 и 12:00, в мористой части эстуария усилился компенсационный по-



**Рис. 6.** Изменчивость солености воды, ‰, в эстуарии с интервалом 3 ч при расходе 30.0 м<sup>3</sup>/с в период с 15.09.2015 по 16.09.2015: а – полные воды (ПВ) + 1 ч, б – ПВ + 4 ч, в – малые воды (МВ) + 1 ч, г – МВ + 4 ч, д – ПВ + 1 ч, е – ПВ + 4 ч, ж – МВ, з – ПВ. Слева – река, справа – море. Время местное.

ток над устьевым взморьем, что характерно для эстуариев [4, 16, 21, 25]. В данном случае эстуарная циркуляция проявилась более выражено по сравнению с циркуляцией в период ледостава. Вероятно, компенсационный поток способствовал проникновению ЗС в район переката на ст. 7. В этом случае оба процесса – поднятие галоклина в приливную фазу и развитие компенсационного потока при увеличении стока до определенного предела, пока не будет вытеснена ЗС, – способствуют проникновению осолоненных вод через перекал в ст. 7.

### ВЫВОДЫ

Эстуарий р. Партизанской относится к русловому типу с двухслойной циркуляцией. Расход реки определяет дальность проникновения зоны смешения в эстуарий. В течение года на пике половодья или паводков ЗС вытесняется из эстуария в зал. Находка.

Интенсивность эстуарной циркуляции увеличивается с увеличением расхода реки и развитием сгонного ветра вследствие более интенсив-

ного вовлечения морских вод в придонный слой эстуария.

Приливы в полные воды вызывают обратные течения во всем слое вод эстуария и изменчивость солености на перекатах. Суточная изменчивость дальности проникновения ЗС не наблюдается.

Авторы выражают благодарность Ворониной А.А., Баннову В.А., Горину И.И. (ТОИ ДВО РАН) и Колтунову А.М. (ИБМ ДВО РАН) за помощь в подготовке и обслуживании измерительной техники; Аксентову К. И., Косьяненко А.А., Степановой В.И. (ТОИ ДВО РАН) за помощь в ходе полевых работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биота и сообщества макробентоса лагун северо-восточного Сахалина / Под ред. Кафанова А.И., Лабай В.С., Печенева Н.В. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2003. 176 с.

2. Гидрология морских устьев рек Дальнего Востока / Под ред. Якунина Л.П. // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 38. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 182 с.
3. Горин С.Л. Эстуарии полуострова Камчатка: теоретические подходы к изучению и гидролого-морфологическая типизация. Итоги 10 лет исследований // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2012. № 27. С. 5–12.
4. Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Динамика вод и наносов в устьевой области р. Св. Лаврентия // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 422–438.
5. 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.
6. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация Амурского залива / Отв. ред. Христофорова Н.К. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 77–114.
7. Кравцов В.Д. Некоторые особенности динамики приливных устьев рек северо-западного побережья Охотского моря // Тр. ГОИН. 1980. Вып. 159. С. 71–84.
8. Лоция северо-западного берега Японского моря. СПб.: ГУНИО МО, 1996. 360 с.
9. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997. 176 с.
10. Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // Вод. ресурсы. 2012. Т. 39. № 3. С. 243–257.
11. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1986. Т. 1. Вып. 21. 387 с.
12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 26. Приморский край. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 416 с.
13. Подорванова Н.Ф., Иващенко Т.С., Петренко В.С., Хомичук Л.С. Основные черты гидрохимии залива Петра Великого. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 201 с.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Вып. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 627 с.
15. Симонов А.И. Гидрология и гидрохимия устьевого взморья. М.: Гидрометеиздат, 1969. 230 с.
16. Скриптунов Н.А., Луначев Ю.В. Процессы проникновения осолоненных вод из моря в непривливаемые устья рек // Тр. ГОИН. 1982. Вып. 161. С. 68–86.
17. Супранович Т.И., Якунин Л.П. Гидрология залива Петра Великого // Тр. ДВНИГМИ. Л.: Гидрометеиздат, 1976. Вып. 22. 198 с.
18. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И. и др. Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 165. С.108–129.
19. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 235 с.
20. Юрасов Г.И., Ванин Н.С., Рудых Н.И. Особенности гидрологического режима зал. Петра Великого в осенне-зимний период. // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 148. С. 211–220.
21. Bowden K.F., Hamilton P. Some experiments with a numerical model of circulation and mixing in a tidal estuary // Estuar. Coastal Mar. Sci. 1975. V. 3. № 3. P. 281–301.
22. Davies J.L. A morphogenetic approach to world shorelines // Geomorphol. 1964. V. 8. P. 127–142.
23. Diaz R.J., Rosenberg R. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems // Sci. 2008. V. 321. P. 926–929.
24. Funahashi T., Kasai A., Ueno M., Yamashita Y. Effects of Short Time Variation in the River Discharge on the Salt Wedge Intrusion in the Yura Estuary, a Micro Tidal Estuary, Japan // J. Water Resour. Protection. 2013. V. 5. P. 343–348.
25. Guo X., Valle-Levinson A. Tidal effects on estuarine circulation and outflow plume in the Chesapeake Bay // Continental Shelf Res. 2007. V. 27. № 1. P. 20–42.
26. Kasai A., Kurikawa Y., Ueno M., Robert D., Yamashita Y. Salt-wedge intrusion of seawater and its implication for phytoplankton dynamics in the Yura Estuary, Japan // Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 2010. V. 86. № 3. P. 408–414
27. Levin L.A., Ecau W., Gooday A.J. et al. Effect of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos // Biogeosci. 2009. V. 6. № 10. P. 2063–2098.
28. Watanabe K., Kasai A., Antonio E. et al. Influence of salt-wedge intrusion on ecological processes at lower trophic levels in the Yura Estuary, Japan // Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 2014. V. 139 P. 67–77
29. Werner A.D., Bakker M., Post V., Vandenberghe A. et al. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges // Advances in Water Resour. 2013 V. 51. P. 3–26
30. www.pogodaiklimat.ru
31. www.esimo.oceanography.ru

**DYNAMICS AND WATER STRUCTURES  
IN THE ESTUARY OF THE PARTIZANSKAYA RIVER  
(NAKHODKA BAY, SEA OF JAPAN)**

**P. Yu. Semkin<sup>1,\*</sup>, P. Ya. Tishchenko<sup>1</sup>, V. B. Lobanov<sup>1</sup>, A. F. Sergeev<sup>1</sup>,  
Yu. A. Barabanshchikov<sup>1</sup>, T. A. Mikhailik<sup>1</sup>, G. Yu. Pavlova<sup>1</sup>, A. V. Kostyleva<sup>2</sup>,  
E. M. Shkirknikova<sup>1</sup>, P. P. Tishchenko<sup>1</sup>, T. L. Chizhova<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, 690041 Russia*

*<sup>2</sup> Southern Division, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
Gelendzhik, 353470 Russia*

*\*E-mail: pahno@list.ru*

Received: 19.12.2014

Received: version received 25.04.2017

Accepted: 29.09.2017

Herein, we report field studies of the seasonal and daily dynamics of the mixing zone in the micro-tidal mouth of the Partizanskaya river. The position of the mixing zone was determined according to the volume of river run-off. The upper boundary of the mixing zone was observed at 5 (at a river run-off of 73.67 m<sup>3</sup>/s) to 12.5 km (at 7.7 m<sup>3</sup>/s) from the mouth bar. The estuary is characterized by a two-layer circulation of water, which results in a halocline with a salinity gradient of up to 30‰ per 1 m. Variations of salinity in the rifts caused by tides reaches 27‰ over 3 h.

**Key words:** estuary, river mouth, mixing zone, water circulation, Partizanskaya river, Nakhodka Bay, Primorye.

**DOI:** 10.31857/S0321-059646124-34