

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ РЕКИ ПРЕГОЛИ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ ИЗУЧЕНИЮ

Б. В. Чубаренко¹, Н. В. Двоглазова¹, Р. В. Боскачев², А. В. Шушарин³

¹ *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36;*

² *Калининградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды –
филиал ФГБУ «Северо-Западное управление УГМС»,
Россия, 236022, Калининград, ул. Пугачева, д. 16,
e-mail: combat.130@mail.ru;*

³ *Северо-Западный бассейновый филиал ФГУП «Росморпорт», Калининградское отделение,
Россия, 236022, Калининград, наб. Петра Великого, д. 7*

По данным ежемесячных гидрологических съемок (1994–2015 гг.) и на историческом примере экстремального нагона в устьевой области реки Преголи (периодичная приливно-отливная динамика отсутствует) обсуждаются принципы пространственно-временного мониторинга формирования барьерной зоны физической природы. Подход к анализу гидрологических условий в зоне смешения морских и заливных вод на основе вертикальных STD-зондирований водной толщи по сети фиксированных в пространстве станций мониторинга расширен проведением длительных серий (с 10.09.2019 по 27.03.2020 – чуть более 6 месяцев, с 21.10.2022 по 27.12.2023 – один год и два месяца) ежедневных вертикальных зондирований в «контрольной точке» в середине зоны смешения, что дало возможность выявить изменения синоптического масштаба. Наличие кратковременной изменчивости гидрологических характеристик (температура и соленость) в барьерной зоне смешения реки Преголи показало необходимость применения автоматизированных методов измерений для фиксации отклика гидрологических условий на штормовые события. Оценка погрешности при определении солености и температуры, связанной с естественной пятнистостью вод и колебаниями на слое скачка плотности, показала, что измерения солености и температуры должны анализироваться с точностью до десятых и сотых соответственно. Было определено, что вертикальное конвективное перемешивание при зимнем выхолаживании не может проявляться внутри устьевой зоны смешения, так как этому препятствует наличие более тяжелых солоноватых вод в придонных горизонтах.

Ключевые слова: эстуарии, интрузии солоноватых вод, барьерные зоны, инструментальные измерения, Юго-Восточная Балтика, река Преголя

Авторы посвящают настоящую статью ушедшему от нас В. И. Шкуренко, сотруднику Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, кто своим упорным трудом и исключительной аккуратностью обеспечил сбор массива качественных натурных данных для Калининградского (Вислинского) залива и устьевого участка реки Преголи, служащих сейчас основой научных обобщений.

Введение

Взаимодействие морских вод с речными происходит в пределах устьевых областей и характерно для рек в различных регионах России и Мира (Михайлов и др., 1997, 2009; Михайлова, 2013; Демиденко, 2016; Алабян и др., 2023; Чикин и др., 2023). Основы методов изучения структуры и типизации устьевых зон смешения рек приведены еще в ранних работах (Schijf, Schönfeld, 1953; Pritchard, 1952, 1955, 1967; Guidelines, 1991; Михайлов, 1998; Михайлова, 2013). При изучении зон смешения пресных речных вод с солоноватыми морскими водами традиционно используются два классических подхода (их совмещение удается редко по причине ограниченности возможностей) – вертикальные гидрологические зондирования на фиксированной сетке станций и регулярные измерения характеристик в одной точке с таким шагом по времени, который возможен при имеющихся у исследователей ресурсах и приборной базе (Hanawa, Sugimoto, 1980; *Physical Processes in Estuaries*, 1986). Использование автоматизированных зондов позволяет покрывать сеткой станций достаточно большие пространства, а при установке такой аппаратуры в одной точке получают записи длиной в недели и месяцы.

Такие подходы применяются в том числе и для реки Преголи, расположенной в юго-восточной части Балтийского моря (Чубаренко, Шкуренок, 1999, 2001; Чубаренко, 2007; Домнин и др., 2013; Домнин, Соколов, 2014; Chubarenko et al., 2017). Результаты анализа данных, полученных при многолетнем применении описанных подходов, достаточно обширны и в настоящий момент готовятся к отдельной публикации, где будет показано многообразие связей между изменчивостью исследуемых характеристик и воздействием режимобразующих факторов. Некоторые из этих связей уже обсуждались и в процитированных выше статьях, и в работах (Лукашин и др., 2018; Korobchenkova et al., 2023), охватывающих только часть единой гидрологической системы, которую образуют Калининградский / Вислинский залив – Калининградский морской канал – устьевой участок Нижней Преголи (рисунок 1).

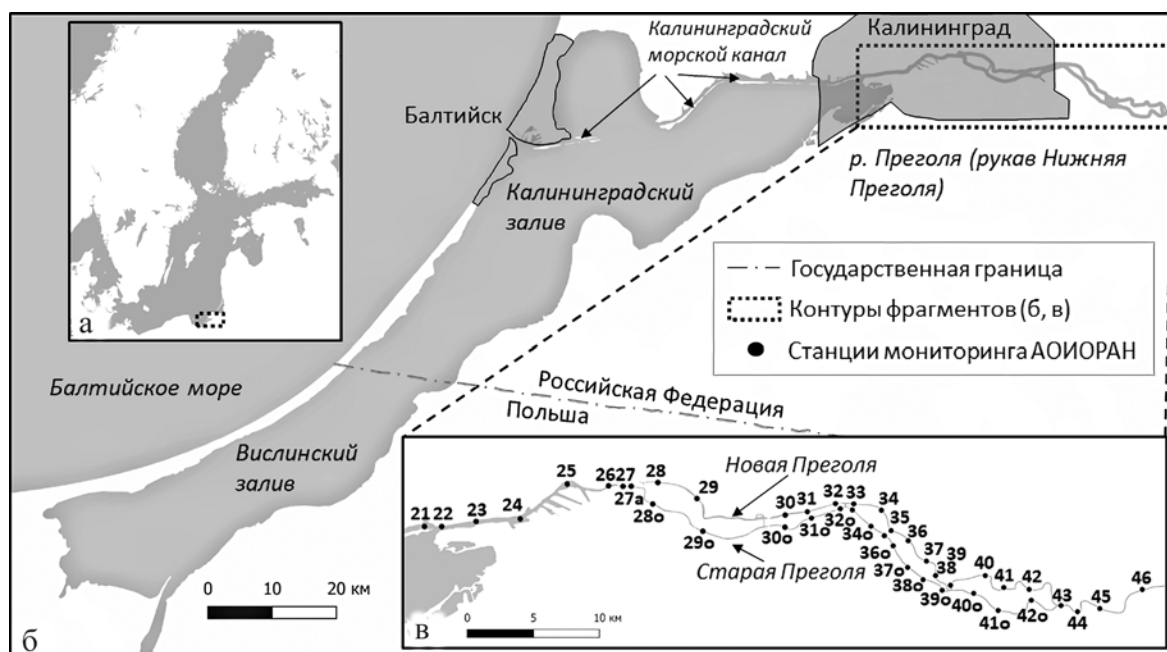
Цель настоящей работы – представить методику многолетних гидрологических исследований устьевой барьерной зоны смешения реки Преголи. На примере полученных данных в статье уделено внимание таким отдельным методическим вопросам, как пространственно-временной охват и необходимость учета естественной пятнистости гидрологических характеристик. Изучение зоны смешения в первую очередь связано с анализом градиента солености как индикатора положения барьерной зоны физической природы и процессов перемешивания. Поскольку всегда существуют и другие процессы, которые приводят к образованию гомогенных по вертикали условий – в статье также проанализировано проявление вертикального перемешивания в связи с зимним выхолаживанием.

Объект исследования

Река Преголя, основной речной водоток Калининградской области, имеет два устьевых рукава – Нижняя Преголя, которая впадает в Калининградский залив, и рукав Дейма, который впадает в Куршский залив (Маркова, Нечай, 1960). Калининградский залив – это северная часть единого водоема – типичной эстуарной лагуны (Chubarenko, Margonski, 2008), называемой в английской литературе Vistula Lagoon (рисунок 1). Воды залива имеют промежуточную соленость между солоноватыми водами Юго-Восточной Балтики (6–7 ‰) и пресными речными водами (Chubarenko et al., 2017; Сташко, Александров, 2023). Зоной смешения морских и речных вод является, прежде всего, сам Калининградский залив вместе с проходящим по его северному берегу Калининградским морским каналом (средняя глубина залива – 2.7 м, максимальная – 5.2 м; глубины в канале поддерживаются искусственно в пределах 9–12 м (Гидрометеорологический режим..., 1971)), а также устьевым участком Нижней Преголи, простирающимся на десятки километров вверх по реке от точки впадения водотока Нижняя Преголя в Калининградский залив (рисунок 1). Дальность простираения зоны смешения вверх по речному руслу зависит от сезона и текущего баланса между стоком речных вод и подпором со стороны вод залива, приливно-отливные движения отсутствуют, основным фактором является сезонный ход и нерегулярные ветровые нагоны (Chubarenko et al., 2017).

Ранее были выделены (Чубаренко, Шкуренко, 2001) два механизма затока солоноватых вод в русло рукава Нижней Преголи. В случае слабого или умеренного поверхностного стока может реализовываться интрузионно-адвективный механизм, обеспечивающий проникновение солоноватых вод только в придонные слои и приводящий к формированию соленостной (и плотностной) стратификации в зоне смешения (рисунок 2а), что соответствует эстуариям с хорошо выраженным соленостным клином (salt-wedge estuary, Pritchard, 1955).

Нагонно-адвективный механизм обеспечивает полнообъемное заполнение всего речного русла водой практически одинаковой солености (рисунок 2б), которая хорошо вертикально перемешана, разница в величинах солености между придонным и поверхностным горизонтом составляет менее 1 ‰. Этот механизм реализуется при активном воздействии нагонного ветра (с запада или юго-запада), когда уровень воды в зоне устья Нижней Преголи значительно повышается, и вода Калининградского залива поступает в речное русло. В этом случае на устьевом участке реки образуется структура вод, свойственная эстуарию вертикально-перемешенного типа (vertically-mixed or well-mixed estuary, Pritchard, 1955) – фактически отсутствие вертикальных градиентов солености, наличие горизонтального градиента солености с почти линейным падением солености вверх по речному руслу на нескольких десятках километров (рисунок 4).



г

Рис. 1 – Расположение станций гидрологических зондирований в пределах устьевое участка рукава Нижняя Преголя: **а** – локализация района исследований в юго-восточной части Балтийского моря; **б** – область смешения морских и пресных вод р. Преголи (Калининградский залив, Калининградский морской канал, устьевой участок Нижней Преголи); **в** – точки гидрологических зондирований в пределах рукава Нижняя Преголя; **г** – место ежедневных гидрологических зондирований в центральной части городского участка зоны смешения (между точками 26 и 27)

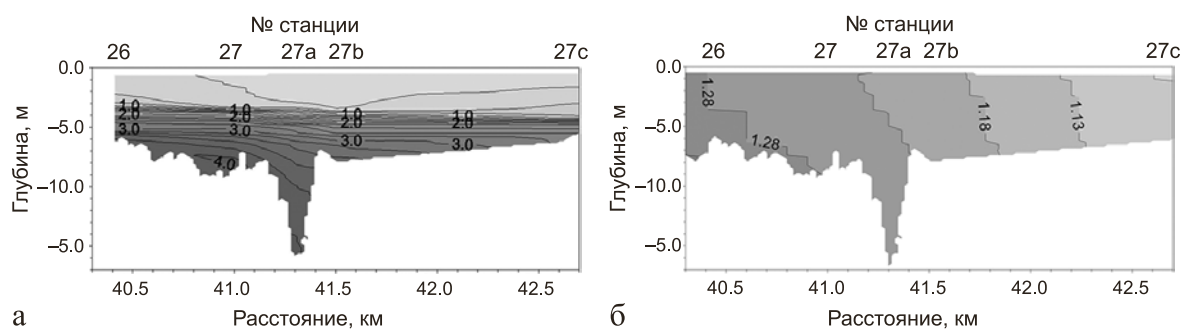


Рис. 2 – Фрагменты поля солёности в центральной части г. Калининграда между точками 26 и 28о (положение точек зондирования – см. рисунки 1 и 3), иллюстрирующие интрузионный (а), 09.10.1998, и нагонный (б), 16.10.1998, механизмы проникновения солоноватых на устьевом участке реки Преголи (Чубаренко, Шкуренко, 2001)

Методика

Активный период изучения гидрологического режима Калининградского залива и устьевом участке реки Преголи пришелся на 1994–2014 гг. (Chubarenko et al., 2017). После длительного перерыва (2015–2019 гг.) были возобновлены работы по аналогичным регулярным исследованиям (в 2019–2021 гг. – эпизодически, а с октября 2022 г. по декабрь 2023 г. с периодичностью один раз в месяц). Вертикальные гидрологические зондирования на сети станций мониторинга (рисунок 1в) проводились с использованием гидрологического зонда Ocean Seven 316 Plus.

Поскольку для Балтийского моря, для Калининградского залива и устьевом участке реки Преголи реализуется бесприливный режим, то регулярные ежемесячные съемки, задачей которых является выявление сезонных изменений, также по возможности сопровождались ситуационными съемками во время событий ветровых нагонов.

В дополнение к программе сбора данных на фиксированной сетке станций, в 2019 г. начались работы по регулярным (ежедневным) измерениям гидрологических характеристик в одной точке, которые выполнялись с причала ФГУП «Росморпорт» (между ст. 26 и 27 на рисунке 1в), выступающего в сторону фарватера (рисунок 1г). Точка измерений, которая является своеобразной «контрольной» точкой, расположена в центральной части устьевой зоны смешения реки Преголи (8 км от устья). Вертикальные зондирования выполнялись от поверхности до глубины 7 м (дно). Период работ – с 10.09.2019 по 27.03.2020 (чуть более 6 месяцев, CTD-зонд Valeport SWIFT-SVP) и с 21.10.2022 по 27.12.2023 (один год и два месяца, зонд Ocean Seven 316 Plus).

Для определения погрешности измерений в связи с естественной пятнистостью (Коршенко, 1991; Соколов и др., 2016) гидрологических характеристик были проведены последовательные повторные вертикальные зондирования с интервалом примерно 1 мин. В качестве оценки пятнистости были взяты измерения 18.06.2023 и осреднены

по горизонтам толщиной 0.1 м. В дополнение был проведен эксперимент с выдерживанием прибора при каждом зондировании на горизонтах 1 м, 3 м и 5 м по 2 минуты (рисунок 5).

Результаты и обсуждение

Изучение зоны смешения путем проведения регулярных ежемесячных съемок (вертикальные зондирования на фиксированной сетке станций, рисунок 1) в период 1996–2002 гг. позволило построить (Чубаренко, 2007) принципиальную схему расположения вод различной солености накануне периода нагонов (рисунок 3). В придонном слое вода с соленостью 3–4 ‰ захватывает все портовые акватории (ст. 20–26), а с соленостью 2–3 ‰ – всю центральную часть городского участка русла Новой Преголи (ст. 26–28). Граница воды с соленостью 1–2 ‰ находится в нескольких километрах ниже по течению от водозаборов (ЮВС-1 и ЮВС-2) городской системы водоснабжения (рисунок 3). На поверхности эти границы сдвинуты ниже по реке на 5–8 км (рисунок 3а), что и соответствует эстуарию с клином солоноватых вод.

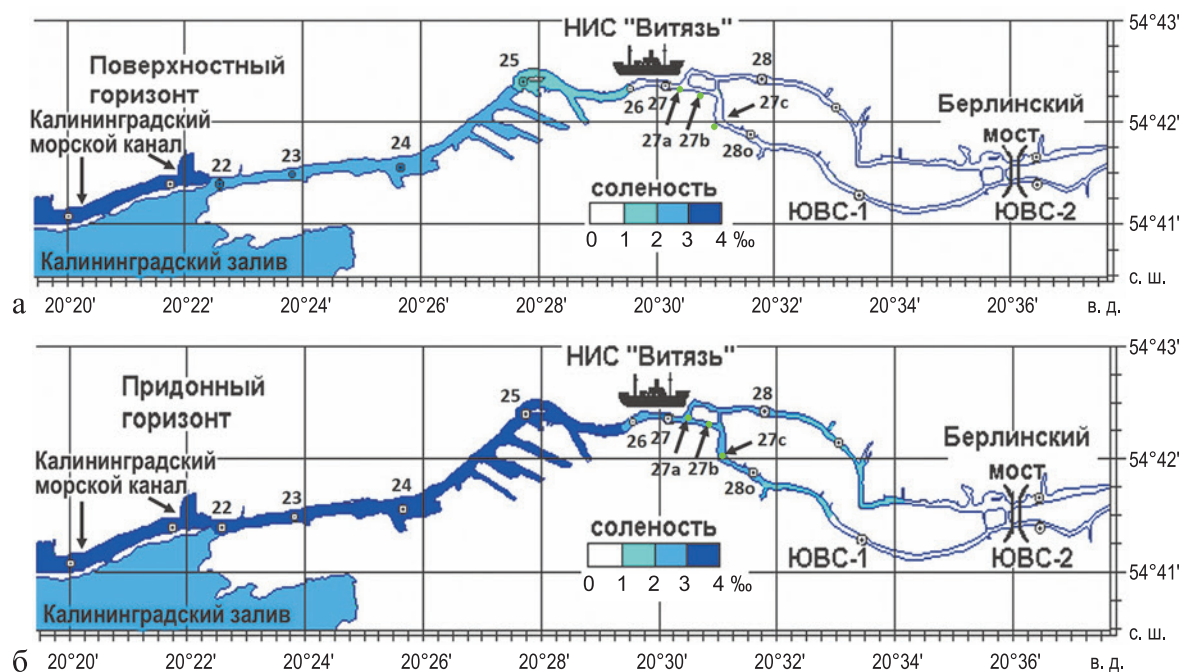


Рис. 3 – Пространственное распределение солоноватых вод в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах на городском (г. Калининград) участке рукава Нижняя Преголя накануне периода осенних нагонов (в среднем по данным 1996–2002 гг.) (Чубаренко, 2007).
Указаны положения водозаборов системы городского водоснабжения (ЮВС-1 и ЮВС-2) на период сбора данных

Метод вертикальных зондирований на фиксированной сетке станций применялся и при ситуационном изучении экстремально глубокого проникновения солоноватой воды вверх по руслу реки (рисунок 4) – архивные данные лаборатории прибрежных систем АО ИО РАН, которые ранее не публиковались. Это позволило оценить дальность проникновения солоноватой воды вверх по реке, а также структуру полей солености в зоне смешения, и сделать вывод о реализации механизма затока заливной воды в речное русло.

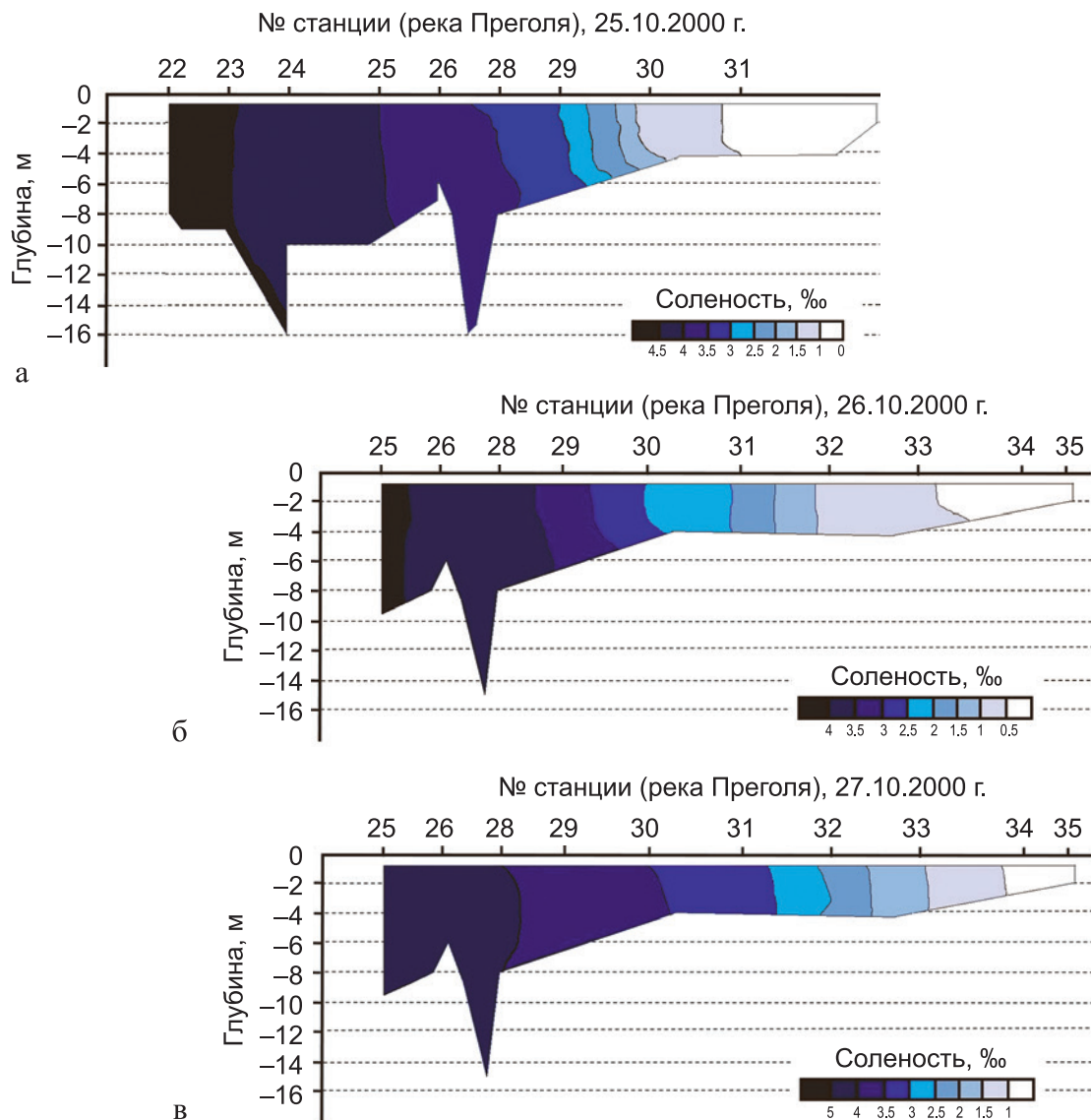


Рис. 4 – Последовательные срезы в поле солености для трех дней развития затока солоноватых вод в русло рукава Нижняя Преголя в период 25.10.2000–27.10.2000 (а, б, в), развивающегося по нагонному механизму. Фрагменты сдвинуты относительно друг друга, чтобы сохранить визуальное соответствие между расположением станций. Зоны переуглубления (до глубин 15–16 м) в районе точки 24 и между станциями 26 и 28 обусловлены технологическими нуждами и слиянием рукавов Новой и Старой Преголи соответственно

Измерения проводились на сетке станций (рисунок 1в), расширенной вверх по реке по сравнению с (Чубаренко, Шкуренко, 2001). За переднюю границу фронта затока солоноватой воды была принята изогалина 1 ‰, за тыльную границу – изогалина 4 ‰. В среднем смещение обеих границ вверх по руслу рукава Нижняя Преголя для двухсуточного периода наблюдений составило 3.6 км (3 и 4.2 км для изогалин 1 ‰ и 4 ‰ соответственно) и было одинаковым для поверхностного и придонного горизонтов. Скорость смещения этих границ вверх по руслу составила для рассматриваемого периода 1.5 и 2.1 км/сутки, соответственно. В даты измерений было зафиксировано, что положение этих границ в момент наиболее глубокого проникновения вверх по руслу было в среднем на 11.6 км (13 и 10.2 км для изогалин 1 ‰ и 4 ‰) дальше, чем среднемноголетнее положение границ в поверхностном слое (рисунок 3а) и в среднем на 4.8 км (6.8 км и 2.8 км для изогалин для 1 ‰ и 4 ‰) дальше, чем среднемноголетнее положение границ в придонном слое (рисунок 3б) для периода 1996–2002 гг. (Чубаренко, 2007). Передняя граница фронта затока солоноватой воды в период 25.10.2000–27.10.2000 продвинулась выше отметки в 21 км от места впадения рукава Нижняя Преголя в Калининградский залив. Гидрометеобстановка в рассматриваемый период способствовала реализации нагонного механизма: существенные нагонные ветра юго-западных и западных направлений (средняя скорость – порядка 6 м/с, а максимальная – до 10 м/с), рост уровня воды составил до 40 см, атмосферные осадки отсутствовали.

С 2019 г. параллельно подходу, когда вертикальные зондирования выполняются на фиксированной пространственной сетке станций, применялся аналог эйлерового подхода – вертикальные зондирования в одной точке пространства (рисунок 1г), но в течение длительного периода времени (10.09.2019–27.03.2020, ежедневные вертикальные зондирования).

Повторные зондирования позволили оценить погрешность получаемых результатов в связи с естественной пятнистостью гидрологических характеристик (рисунок 5). По результатам трех зондирований для каждого слоя 0.1 м выбирались максимальное и среднее по трем величинам значения разностей температуры и солёности. Наибольшие расхождения между измерениями, как и в (Соколов и др., 2016), были сконцентрированы локально в местах расположения максимальных градиентов характеристик (на глубине от 1.5 до 2.1 м): для солёности – 0.1–0.4 ‰, для температуры – 0.09–0.42 °С. Средние по всей глубине значения расхождений между измеренными величинами составляли 0.04 ‰ (от 0.001 до 0.28 ‰) и 0.042 °С (от 0.004 до 0.277 °С).

В результате дополнительного эксперимента, 3 зондирования с выдерживанием зонда на горизонтах с шагом 2 м, получено, что минимальные вариации присущи слабоградиентной зоне на глубине 5 м. Вариации вокруг средних значений солёности и температуры (для каждой выдержки) характеризовались для глубин 1, 3, 5 м среднеквадратичными отклонениями в пределах: 0.01–0.06 ‰ и 0.010–0.059 °С; 0.03–0.08 ‰ и 0.036–0.075 °С; 0.007–0.008 ‰ и 0.010–0.015 °С. Максимальные вариации значений солёности и температуры были сосредоточены в поверхностном слое (на глубине 1 м), т. к. разбросы значений каждой выдержки для глубин 1, 3, 5 м находились

в пределах: 0.048–0.347 ‰ и 0.056–0.416 °C; 0.111–0.280 ‰ и 0.161–0.264 °C; 0.031–0.032 ‰ и 0.059–0.068 °C.

При повторных зондированиях с кратковременным перерывом максимальные расхождения имелись в слое скачка плотности (солености), что, вероятно, связано с внутриволновой динамикой. В результате выдерживания прибора на одном горизонте в течение двух минут максимальные вариации были обнаружены не в высокоградиентной зоне, а в поверхностном горизонте, что наиболее ярко иллюстрирует проявление естественной пятнистости вод в самом динамически активном слое.

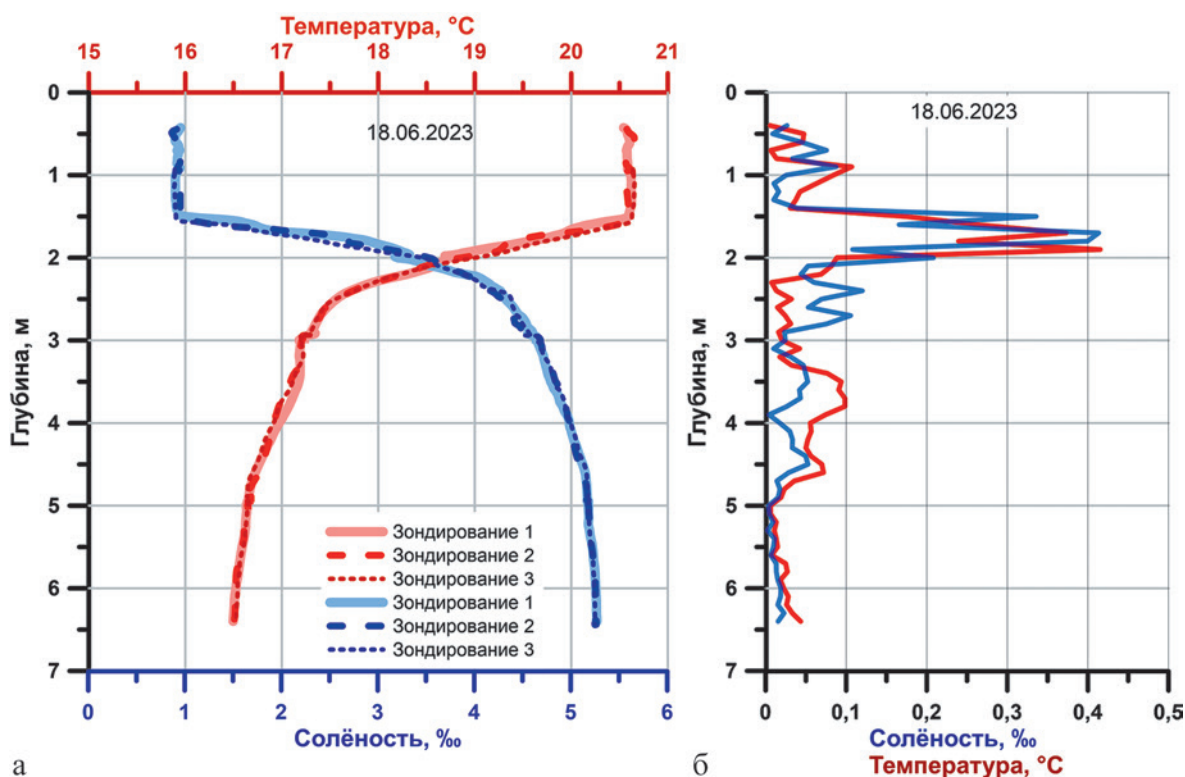


Рис. 5 – Пример результатов повторных зондирований, 18.06.2023 г. (а), вариации максимальных разниц (разбросов) значений между этими зондированиями (б)

Временной ход ветра (направление и скорость, 10.09.2019–27.03.2020) и температуры воздуха представлен на рисунках ба, б. В течение всего рассматриваемого периода преобладали юго-западные ветра, наиболее сильные из которых пришлось на период с начала декабря 2019 г. до середины марта 2020 г.

Временная изменчивость полей солености и температуры в исследуемой точке представляется в виде диаграмм (рисунок б) временной развертки данных вертикальных зондирований, на которых наглядно выделяются периоды вертикальной стратификации (более светлый цвет сверху, а более темный – внизу, ближе к дну). Осолонение городского участка и условия стратификации стабильно существовало в течение сентября–декабря 2019 г. После января 2020 г. и почти до конца марта 2020 г. вся толща воды была захвачена пресной водой с соленостью менее 1 ‰, стратификация по температуре в изучаемый период не наблюдалась (рисунок бб).

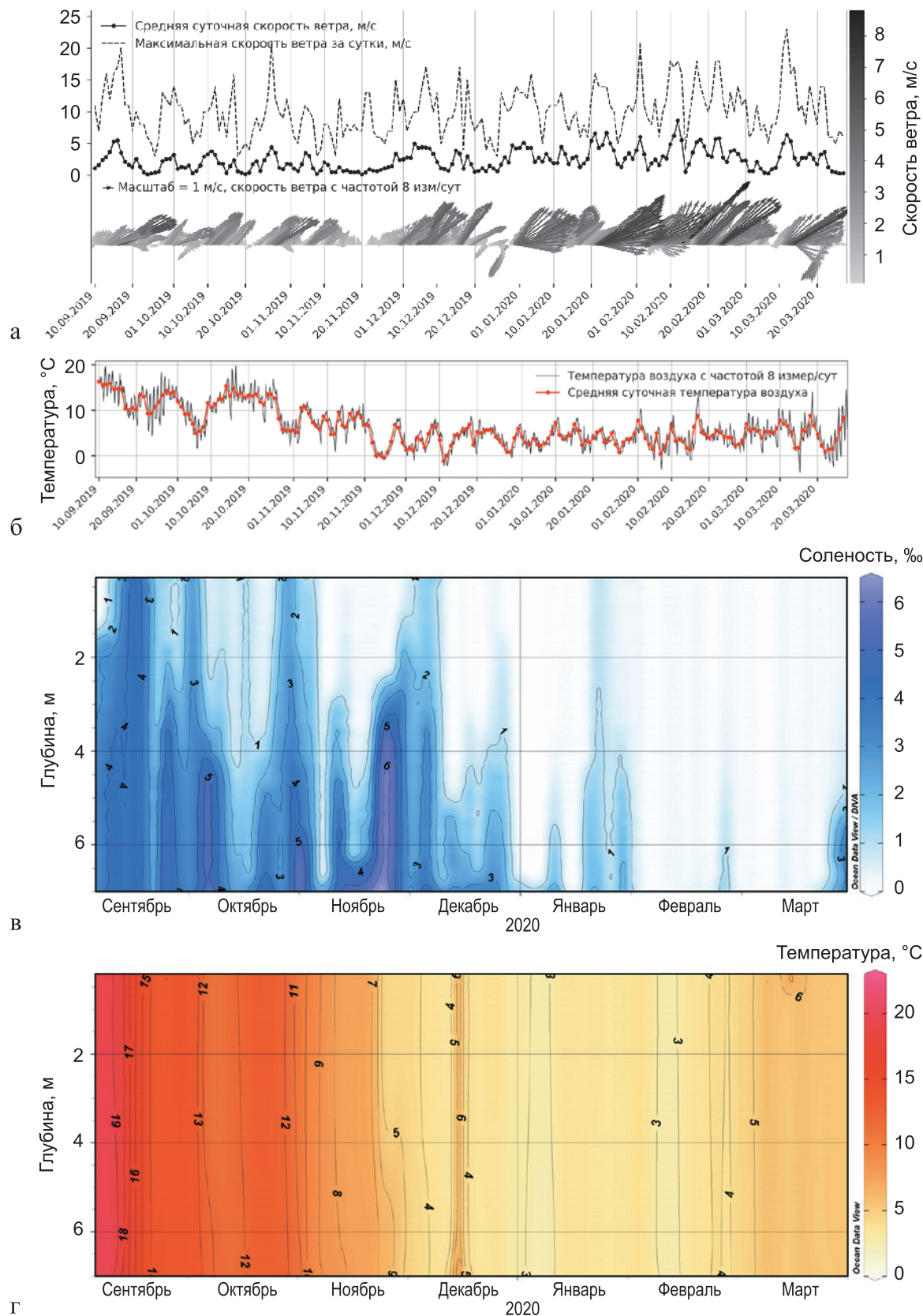


Рис. 6 – Временная диаграмма изменчивости приземного ветра (а), приземной температуры воздуха (б), солёности (в) и температуры воды (г) по глубине в рукаве Нижняя Преголя в центральной части г. Калининграда (10.09.2019–27.03.2020)

В период осолонения (до декабря 2019 г.) выделялся интервал почти полного вертикального перемешивания (в первой половине сентября 2019 г.), когда вся толща воды имела соленость чуть более 4 ‰. Это был момент активного нагона вод Калининградского залива, соленость восточной части которого и составляет в среднем 4 ‰. Аналогичного случая в период измерений больше не наблюдалось, но он не является уникальным, т. к. такие интенсивные нагоны происходят каждый год, и именно они создают угрозу перекрытию водозаборов г. Калининграда (Беликов, Милитев, 1993; Чубаренко, Шкуренко, 1999, 2001; Маркова, Наумов, 2016; Двоеглазова, 2023; Двоеглазова, Чубаренко, 2024; ГПКО «Водоканал», 2024).

Совместное представление (рисунок 7) изменений во времени солености, температуры и плотности (которая полностью определяется соленостью), позволяет с большей наглядностью выделить периоды устойчивой стратификации и, соответственно, отсутствие вертикального перемешивания. Краткосрочные (1–3 дня) периоды хорошего вертикального перемешивания (для этих периодов все линии графика почти сливаются) были обеспечены оттеснением солоноватых вод под влиянием пресного речного стока, соленость всей водной толщи в такие моменты не превышала 0.5 ‰

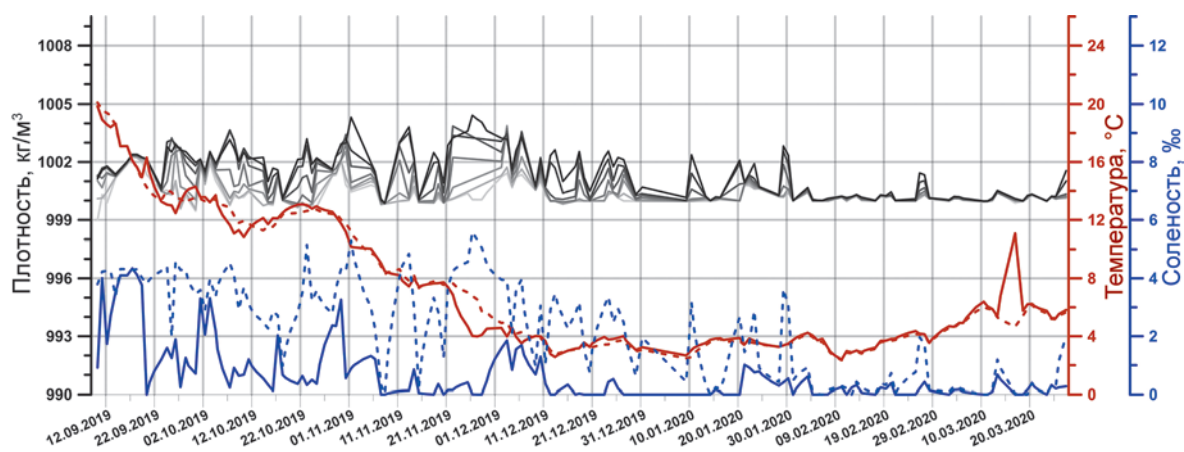
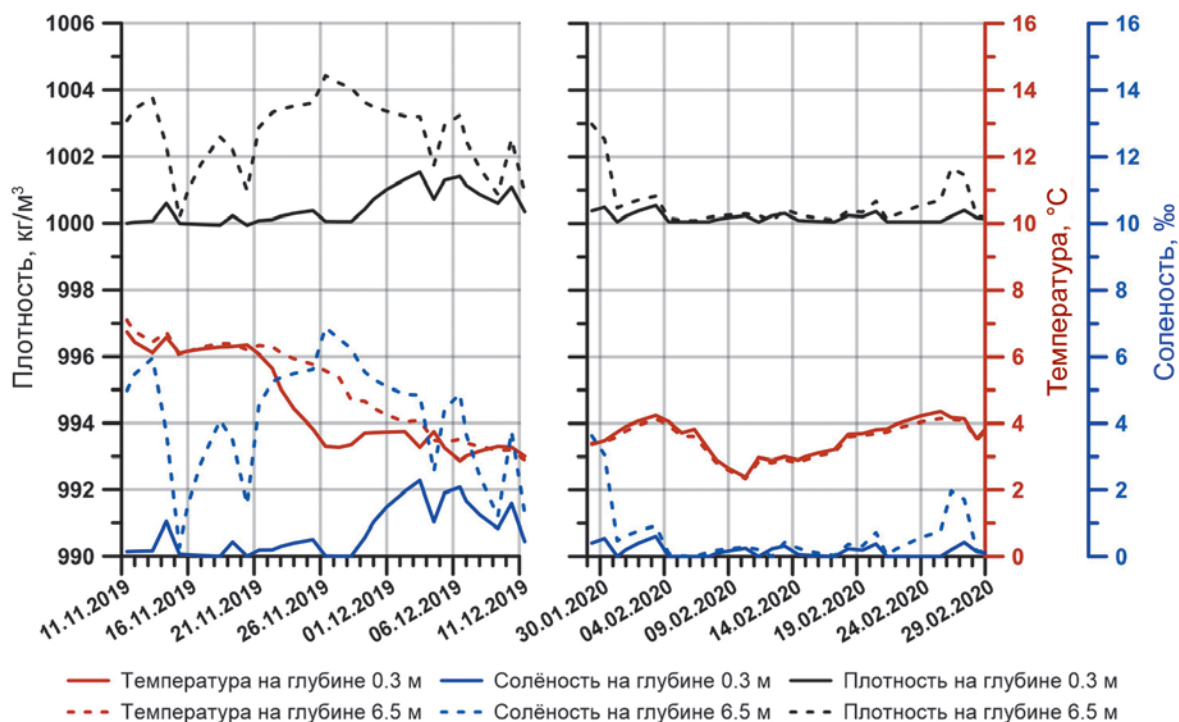
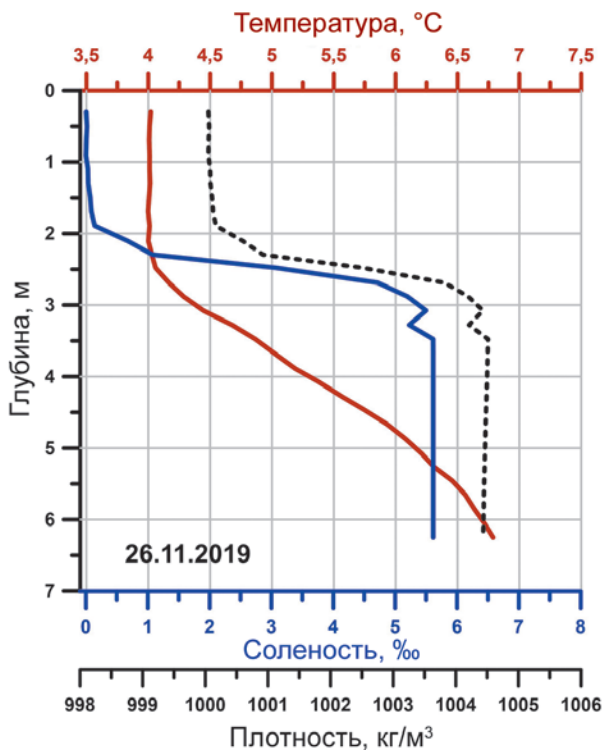


Рис. 7 – Временной ход температуры (коричневый цвет) и солености (синий цвет) воды в верхнем (сплошная линия) и придонном (пунктирная линия) слоях, а также плотность в слоях 1 м (черный цвет) в устьевой части рукава Нижняя Преголя г. Калининграда в период 10.09.2019–27.03.2020 гг.

Выхолаживание верхнего слоя пресной воды до температур порядка 4 °C в принципе могло бы приводить к формированию максимальной плотности воды на поверхности и образованию вертикальной конвекции, обеспечивающей вертикальное перемешивание вод. Но в зоне смешения этому препятствует устойчивая вертикальная стратификация вод, поддерживаемая соленостью. Именно так и было в период активного поверхностного выхолаживания (конец ноября – начало декабря 2019 г., рисунок 8а). Наиболее сильная стратификация наблюдалась 26.11.2019 (рисунок 8б), плотность поверхностного слоя была около 1000 кг/м³, а придонного – до 1004.5 кг/м³.



а



б

Рис. 8 – Временной ход температуры, солёности и плотности (а) в поверхностных слоях (сплошные линии) и придонных (пунктирные линии) для двух периодов: с сильной (11.11.2019–11.12.2019) и слабой (29.01.2020–29.02.2020) стратификацией; (б) – вертикальные профили температуры, солёности и плотности на 26.11.2019 г.

В качестве примера, когда вертикальное перемешивание могло бы реализоваться в ходе приближения температуры верхнего слоя воды к температуре максимальной плотности, можно выделить только периоды 25.11.2020–26.11.2020 и 21.02.2020 (понижение температуры воздуха до отрицательных значений, рисунок 6б). Вода на исследуемом участке была фактически пресной (рисунок 8а), а ее температура понижалась и повышалась, приближаясь к значению температуры максимальной плотности, соответственно, сверху и снизу. Одновременный рост температуры во всей водной толще в период с 11.02.2020 по 24.02.2020 (рисунок 8а) говорит о наличии вертикального перемешивания, но его причина не установлена однозначно. Это может быть и термически обусловленная вертикальная конвекция (температура в поверхностном слое растет до 4 °С, а значит, ее плотность повышается), и механическое перемешивание из-за повторяющихся в это время штормов с порывами ветра до 18–25 м/с.

Связь между ветровыми условиями и стратификацией не всегда однозначна. При одном и том же ветре могут возникать разные ситуации по стратификации. Например (рисунок 6а), периоды 09.10.2019–16.10.2019, 22.10.2019–30.10.2019, 30.11.2019–01.12.2019 гг. характеризовались одинаковыми ветровыми условиями, но разными типами стратификации (рисунок 6в).

Наличие стратификации, помимо направления и скорости ветра, зависит также и от таких факторов, как баланс между стоком реки и затоком морских вод (Chubarenko et al., 2017), колебания уровня воды в приемном водоеме (Калининградский залив), которые тоже требуется учитывать при анализе (который в настоящее время еще проводится). Например, перемешивание воды во всей толще (значения солености 1 ‰ и более) возникает при нагонах, т. е. сильных ветрах с запада, а перемешивание водной толщи со значениями солености менее 0.5 ‰ (пресная вода) – признак очень сильного стока пресных вод реки.

По данным предшествующих исследований известно, что стратификация всегда должна возникать при умеренном и слабом речном стоке, т. е. при слабом встречном ветре (с западных румбов) (Двоглазова, Чубаренко, 2024) (например, 23.09.2019, 18.10.2019, 08.11.2019) или сильном ветре с восточных румбов, который способствует стоку реки (например, 04.10.2019 и 29.10.2019), при этом величина стока еще не настолько сильна, чтобы отжать клин солоноватых вод в сторону устья (Двоглазова, Чубаренко, 2024).

По представленным в статье данным невозможно более подробно оценить влияние всех перечисленных факторов на формирование той или иной структуры, для этого необходимо выполнение более углубленной работы с данными.

Заключение

Для реки Преголи (Юго-Восточная Балтика, бесприливные условия) опробованы различные подходы для изучения барьерных условий смешения морских и речных вод. Регулярные съемки (вертикальные зондирования с использованием STD-зонда)

по сетке фиксированных в пространстве станций проводятся ежемесячно с целью выявления сезонных изменений. При возможности проведения работ по погодным условиям осуществляются и ситуационные съемки во время событий ветровых нагонов. Активный период таких работ пришелся на 1994–2014 гг., в настоящее время (2022–2023 гг.) они возобновлены после длительного перерыва.

В расширение используемых подходов удалось провести две длительные серии (с 10.09.2019 по 27.03.2020 – чуть более 6 месяцев, с 21.10.2022 по 27.12.2023 – один год и два месяца) ежедневных вертикальных зондирований в «контрольной точке» в середине зоны смешения. При этом использовался шаг по времени в одни сутки, что позволило выявить изменения в вертикальной структуре поля солености в зоне смешения в пределах синоптического масштаба. Полученный результат показал не только то, что эти изменения очень активны, но и выявил необходимость проведения более частых измерений (например, с помощью автоматической аппаратуры) в том случае, если стоит задача получить связь отклика в структуре зоны смешения на измерения внешних условий – ветра, уровня воды и речного стока.

Выхолаживание пресного верхнего слоя может приводить к усилению вертикального перемешивания только в условиях безветренной погоды и отсутствия стратификации по солености, что фактически не наблюдалось для устьевоего участка реки Преголи.

Ветровые условия определяют возникновение стратификации (и притока солоноватых вод в придонном слое) только опосредовано, через усиление речного стока (при сопутствующих восточных ветрах) или подъеме уровня в заливе (при западных ветрах). Однородное вертикальное распределение солоноватых вод возникает при усилении западных ветров, а пресных – под влиянием сильного речного стока.

При повторных зондированиях в одной точке с кратковременным перерывом максимальные расхождения имелись в слое скачка плотности (солености). В результате выдерживания прибора на одном горизонте в течение двух минут максимальные вариации были обнаружены не в высокоградиентной зоне, а в поверхностном горизонте, что наиболее ярко иллюстрирует проявление естественной пятнистости вод в верхнем квазиоднородном, самом динамически активном слое. Результат измерений солености и температуры должен анализироваться с точностью до десятых и сотых соответственно, в связи с естественной пятнистостью вод и внутриволновыми движениями на слое скачка плотности.

Благодарности. Данные были собраны в рамках тем № 0149-2018-0012, № 0149-2019-0013, № FMWE-2021-0012 государственного задания ИО РАН, обобщение проведено и статья подготовлена за счет гранта РФФИ № 24-44-20027. Данные гидрологической съемки в период затока 25.10.2000–27.10.2000 получены В. И. Шкуренко (лаборатория прибрежных систем АО ИО РАН). Авторы признательны своему коллеге – А. В. Килесо за предоставление программного обеспечения для визуализации метеоданных. Авторы благодарят двух анонимных рецензентов за высказанные замечания и предложения, которые помогли улучшить представление материала.

Список литературы

1. Алабян А. М., Демиденко Н. А., Крыленко И. Н., Лебедева С. В., Панченко Е. Д., Попрядухин А. А., Федорова Т. А. Исследование гидродинамики приливных устьев Европейского сектора Российской Арктики // Пермские гидродинамические научные чтения: Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции, посвященной памяти профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь: ОКТЯБРЬ, 2023. С. 56–60.
2. Беликов В. В., Милитеев А. Н. Численная модель морских нагонов в приустьевых участках рек // Сб. науч. тр. КаГУ. Калининград, 1993. С. 15–23.
3. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н. Н. Лазаренко, А. В. Маевский. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. 279 с.
4. ГП КО «Водоканал». Государственное предприятие Калининградской области «Водоканал». <https://www.vk39.ru/o-vodokanale/vodosnabzhenie/> (дата обращения: 04.02.2024).
5. Двоеглазова Н. В. Возможное блокирование водозаборов г. Калининграда на реке Преголе интрузиями вод с повышенной соленостью // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VII Всероссийской научной конференции молодых ученых. Свое издательство. Санкт-Петербург: МАЙ, 2023. С. 430–432. ISBN 978-5-4386-2269-7.
6. Двоеглазова Н. В., Чубаренко Б. В. Изменения в структуре гидрологических характеристик устьевой зоны смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) в период осеннего осолонения // Гидрометеорология и экология. 2024. № 74. С. 87–104. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2024-74-87-104>.
7. Демиденко Н. А. Современные особенности гидрологического режима устьевых областей рек бассейна Белого моря. В кн.: Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. Москва: Лига-Вент, 2016. Т. 2. С. 95–145.
8. Домнин Д. А., Пилипчук В. А., Карманов К. В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные и технические науки. 2013. № 6. С. 206–211.
9. Домнин Д. А., Соколов А. Н. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстуарной системе Калининградский залив – Преголя – Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования // Известия КГТУ. 2014. № 35. С. 11–20.
10. Лукашин В. Н., Кречик В. А., Ключиткин А. А., Стародымова Д. П. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) // Океанология. 2018. Т. 58. № 6. С. 933–947. <https://doi.org/10.1134/S0030157418060102>.
11. Маркова Л. В., Наумов В. А. Качество воды, поступающей из реки Преголи на Южную водопроводную станцию города Калининграда. В кн.: Водохозяйственные проблемы региона: Сборник научных трудов / Ответственный редактор В. А. Наумов. Калининград: Калининградский государственный технический университет. 2016. С. 60–67.
12. Маркова Л. Л., Нечай И. Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи // Труды ГОИН. М., 1960. № 49. С. 118–157.
13. Михайлов В. Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 176 с.
14. Михайлов В. Н., Горин С. Л., Михайлова М. В. Новый подход к определению и типизации эстуариев // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. № 5. С. 3–11.

15. Михайлов В. Н., Косарев А. Н., Повалишеникова Е. С., Савенко В. С. Процессы смешения речных и морских вод в устьевых областях рек // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 1997. № 5. С. 15–21.
16. Михайлова М. В. Процессы проникновения морских вод в устья рек // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 5. С. 439–455.
17. Соколов Д. И., Ерина О. Н., Эдельштейн К. К. Изменчивость гидрологогидрохимических показателей в стратифицированном водохранилище // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 5. С. 61–68.
18. Сташко А. В., Александров С. В. Пространственное распределение и сезонная динамика гидрохимических условий в Вислинском заливе Балтийского моря в 2020–2022 гг. // Океанологические исследования. 2023. Т. 51. № 1. С. 71–90. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).4](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).4).
19. Чикин А. Л., Клеценков А. В., Чикина Л. Г. Моделирование проникновения соленых вод в основные рукава дельты Дона в зависимости от ветровой ситуации // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 56–72.
20. Чубаренко Б. В., Шкуренко В. И. Особенности гидрологической структуры вод в эстуарии реки Преголи и в точке стоянки НИС «Витязь» // Экологические проблемы Калининградской области и юго-восточной Балтики. Калининград: Изд-во КГУ, 1999. С. 41–47.
21. Чубаренко Б. В., Шкуренко В. И. Физические механизмы проникновения соленых вод вверх по реке Преголе с учетом влияния рельефа дна // Физические проблемы экологии (экологическая физика). М.: Изд-во МГУ, 2001. № 7. С. 80–88.
22. Чубаренко Б. В. Зонирование Калининградского залива и устьевого участка реки Преголи по показателям гидролого-экологического состояния и в целях оптимизации мониторинга // Комплексное исследование процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2007. № 2. С. 591–602.
23. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K., Domnina A., Bukanova T., Topchaya V., Kilesa A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). [In] R. Kosyan (Ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Switzerland: Springer, 2017. P. 149–191. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43392-9_6.
24. Chubarenko B., Margoński P. The Vistula lagoon. [In] U. Schiewer (Ed.) Ecology of Baltic coastal waters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. P. 167–195. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73524-3_8.
25. Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers [In] H. van der Tuin (Ed.) Studies and reports in hydrology. Prepared for the International Hydrological Programme by the Working Group of Project 4.4b (IHP-III). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, 1991. 138 p.
26. Hanawa K., Sugimoto T. Effect of the variation of River Discharge on Flushing and Recovery of Salt Wedge // Tohoku Geophysical Journal. 1980. Vol. 27. No. 1. P. 1–17.
27. Korobchenkova K. D., Aleksandrov S. V., Semenovac A. S., Stont Zh. I. and Ulyanova M. O. Influence of Hydrometeorological Conditions on the Plankton Distribution in the Estuary of the Pregolya River and the Coastal Part of the Baltic Sea // Oceanology. 2023. Vol. 63. No. 1. P. 188–201. <https://doi.org/10.1134/S0001437023070068>.
28. Physical Processes in Estuaries. Proc. Int. Symp. Physical Processes in Estuaries, 09–12 Sept. 1986. Rijkswaterstat. Netherlands. DELT, 1986. 161 p.
29. Pritchard D. W. Estuarine hydrography // Adv. Eco-phys. 1952. No. 1. P. 243–280.

30. *Pritchard D. W.* Estuarine circulation patterns // *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs.* 1955. Vol. 81. No. 717. P. 1–11.
31. *Pritchard D. W.* What is an estuary: a physical viewpoint // *Estuaries.* Washington: Am. Ass. Adv. Sci. 1967. No. 83. P. 3–5.
32. *Schiff J. B., Schönfeld J. C.* Theoretical considerations on the motion of salt and fresh water // *Proceedings of the 5th I.A.H.R. Congress.* 1953. P. 321–333.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024, одобрена к печати 29.03.2024.

Для цитирования: Чубаренко Б. В., Двоеглазова Н. В., Боскачев Р. В., Шушарин А. В. Пространственно-временная изменчивость гидрологических характеристик в зоне смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) и методические подходы к ее изучению // *Океанологические исследования.* 2024. № 52 (1). С. 157–176. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(1\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(1).8).

SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE MIXING ZONE OF THE PREGOLYA RIVER (SOUTH-EASTERN BALTIC) AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ITS STUDY

B. V. Chubarenko¹, N. V. Dvoeglazova¹, R. V. Boskachev², A. V. Shusharin³

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia;*

² *Kaliningrad Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring,
branch of the Northwest Administration on Hydrometeorology and Environment Monitoring,
16, Pugacheva Street, Kaliningrad, 236022, Russia,
e-mail: combat.130@mail.ru;*

³ *Kaliningrad Department of the FSUE “Rosmorport” North-Western Basin Branch,
7, Pyetra Vyelikogo Quay, Kaliningrad, 236006, Russia*

Based on data from monthly hydrological surveys (1994–2015) and on the historical example of an extreme surge in the mouth area of the Pregolya River (tidal dynamics is absent), the principles of spatio-temporal monitoring of the formation of physical barrier zone are discussed. The approach to the analysis of hydrological conditions in the mixing zone of sea and bay waters based on vertical CTD soundings of the water column through a network of spatially fixed monitoring stations has been expanded by conducting long-term series (from September 10, 2019 to March 27, 2020 – just over 6 months, from October 21, 2022 to December 27, 2023 – one year and two months) of daily vertical soundings at the “control point” in the middle of the mixing zone, which made it possible to identify changes within the synoptic scale. The presence of short-term variability in hydrological characteristics (temperature and salinity) in the barrier mixing zone of the Pregolya River showed the need to use automated measurement methods to record the response of hydrological conditions to storm events. An assessment of the error in determining salinity and temperature associated with the natural spottiness of water and fluctuations in the density jump layer showed that measurements of salinity and temperature should be analyzed with an accuracy of tenths and hundredths, respectively. It was determined that vertical convective mixing during winter cooling cannot occur inside the mouth mixing zone, because this is prevented by the presence of heavier brackish waters.

Keywords: estuaries, brackish water intrusions, barrier zones, instrumental measurements, CTD sounding, South-Eastern Baltic, Pregolya River

Acknowledgements: The data was collected within the framework of topics No. 0149-2018-0012, No. 0149-2019-0013, No. FMWE-2021-0012 of the government assignment of the IO RAS, a generalization was carried out and the article was prepared through the Russian Science Foundation grant 24-44-20027. Data from hydrological surveys during the flood period October 25–27, 2000, were obtained by V. I. Shkurenko (Laboratory of Coastal Systems, AB IO RAS). The authors are grateful to their colleague A. V. Kileso for providing software for visualizing meteorological data. The authors thank two anonymous reviewers for their comments and suggestions that helped improve the presentation of the material.

References

1. Alabyan, A. M., N. A. Demidenko, I. N. Krylenko, S. V. Lebedeva, E. D. Panchenko, A. A. Popryadukhin, and T. A. Fedorova, 2023: *Issledovanie gidrodinamiki prilivnyh ust'ev Evropejskogo sektora Rossijskoj Arktiki (Research of hydrodynamics in tidal estuaries of Russian Arctic European sector)*. *Permskie gidrodinamicheskie nauchnye chteniya*: Collection of articles based on the materials of the IX All-Russian Conference dedicated to the memory of Professors G. Z. Gershuni, E. M. Zhukhovitsky and D. V. Lyubimova. Perm, 56–60.
2. Belikov, V. V. and A. N. Militeev, 1993: Chislennaya model' morskikh nagonov v priust'evykh uchastkah rek (Numerical model of sea surges in river mouth areas). *Sb. nauch. tr. KaGU*, 15–23.
3. Chikin, A. L., A. V. Kleshchenkov, and L. G. Chikina, 2023: Modelirovanie proniknoveniya solenyh vod v osnovnye rukava del'ty Dona v zavisimosti ot vetrovoj situacii (Modelling Salt Water Intrusion into Main Branches of the Don Delta depending on Wind Situation). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon moray*, **4**, 2023.
4. Chubarenko, B. V., 2007: Zonirovanie Kaliningradskogo zaliva i ust'evogo uchastka reki Pregoli po pokazatelyam gidrologo-ekologicheskogo sostoyaniya i v celyah optimizacii monitoringa. (Zoning of the Kaliningrad Bay and the mouth of the Pregolya River according to indicators of hydrological and ecological condition and in order to optimize monitoring). *Kompleksnoe issledovanie processov, harakteristik i resursov rossijskih morej Severo-Evropejskogo bassejna*, **2**, 591–602.
5. Chubarenko, B., D. Domnin, S. Navrotskaya, Zh. Stont, V. Chechko, V. Bobykina, V. Pilipchuk, K. Karmanov, A. Domnina, T. Bukanova, V. Topchaya, and A. Kileso, 2017: Transboundary Lagoons of the Baltic Sea [In] R. Kosyan (ed.) *The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World*. Switzerland, Springer, **6**, 149–191, https://doi.org/10.1007/978-3-319-43392-9_6.
6. Chubarenko, B. and P. Margoński, 2008: *The Vistula lagoon. Ecology of Baltic coastal waters*. U. Schiewer (Ed.), Heidelberg, Springer, Berlin, 167–195, https://doi.org/10.1007/978-3-540-73524-3_8.
7. Chubarenko, B. V. and V. I. Shkurenko, 1999: Osobennosti gidrologicheskoy struktury vod v estuarii reki Pregoli i v tochke stoyanki NIS “Vityaz” (Features of the hydrological structure of waters in the estuary of the Pregol River and at the anchorage point of the R/V “Vityaz”) *Ekologicheskie problemy Kaliningradskoj oblasti i Yugo-Vostochnoj Baltiki*, 41–47.

8. Chubarenko, B. V. and V. I. Shkurenko, 2001: Fizicheskie mekhanizmy proniknoveniya solyonyh vod vverh po reke Pregole s uchyotom vliyaniya rel'efa dna (Physical mechanisms of salt water penetration up the Pregole River taking into account the influence of the bottom relief). *Fizicheskie problemy ekologii (ekologicheskaya fizika)*, **7**, 80–88.
9. Demidenko, N. A., 2016: Sovremennye osobennosti gidrologicheskogo rezhima ust'evykh oblastej rek bassejna Belogo morya (Modern features of the hydrological regime of the White Sea river mouths). *Menyayushchisya klimat i social'no-ekonomicheskij potencial rossijskoj Arktiki*, Moscow, Liga-Vent, **2**, 95–145.
10. Domnin, D. A., V. A. Pilipchuk, and K. V. Karmanov, 2013: Formation of inflow of saltish water in the lagoon-estuarine system of Vistula Lagoon catchment and Pregolya River as a result of wind surges. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, **6**, 206–211.
11. Domnin, D. A. and A. N. Sokolov, 2014: Osobennosti i zakonomernosti zatoka solonovatyh mass v lagunno-estuarnoj sisteme Kaliningradskij zaliv – Pregolya – Kurshskij zaliv posredstvom dannyh kontaktnyh izmerenij i modelirovaniya (Features and regularities of the inflow of brackish masses in the lagoon-estuarine system of the Vitsula Lagoon-Pregolya-Curonian Lagoon by means of contact measurement data and modeling). *Izvestija KGTU*, **35**, 11–20.
12. Dvoeglazova, N. V., 2023: Vozmozhnoe blokirovanie vodozaborov g. Kaliningrada na reke Pregole intruziyami vod s povyshennoj solyonost'yu (Possible blocking of water intakes in Kaliningrad on the Pregola River by intrusions of water with high salinity). *Kompleksnye issledovaniya Mirovogo okeana*. Materials of the VII All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Saint Petersburg, 430–432.
13. Dvoeglazova, N. V. and B. V. Chubarenko, 2024: Izmeneniya v strukture gidrologicheskikh harakteristik ust'evoj zony smesheniya reki Pregoli (Yugo-Vostochnaya Baltika) v period osennego osoloneniya (Changes in the structure of the hydrological characteristics of the estuary mixing zone of the Pregolya River (South-East Baltic) during saline water inflow period in autumn). *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, **74**, 87–104, <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2024-74-87-104>.
14. GP KO “Vodokanal”. Gosudarstvennoe predpriyatie Kaliningradskoj oblasti “Vodokanal” (SE KR “Vodokanal”. State enterprise of the Kaliningrad region “Vodokanal”), <https://www.vk39.ru/o-vodokanale/vodosnabzhenie/> (last accessed: 04.02.2024).
15. *Gidrometeorologicheskij rezhim Vislinskogo zaliva (Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon)*. Ed. N. N. Lazarenko, A. V. Mayevsky. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 279.
16. *Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers. Studies and reports in hydrology*. 1991, Ed. H. van der Tuin, Prepared for the International Hydrological Programme by the Working Group of Project 4.4b (IHP-III), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 138.
17. Hanawa, K. and T. Sugimoto, 1980: Effect of the variation of River Discharge on Flushing and Recovery of Salt Wedge. *Tohoku Geophysical Journal*, **27** (1), 1–17.
18. Korobchenkova, K. D., S. V. Aleksandrov, A. S. Semenovac, Zh. I. Stont, and M. O. Ulyanova, 2023: Influence of Hydrometeorological Conditions on the Plankton Distribution in the Estuary of the Pregolya River and the Coastal Part of the Baltic Sea. *Oceanology*, **63** (1), 188–201, <https://doi.org/10.1134/S0001437023070068>.
19. Lukashin, V. N., V. A. Krechik, A. A. Klyuvitkin, and D. P. Starodymova, 2018: Geohimiya vzveshennogo veshchestva v marginal'nom fil'tre reki Pregoli (Baltijskoe more) (Geochemistry of suspended particulate matter in the marginal filter of the Pregolya River (Baltic Sea)). *Oceanology*, **58** (6), 856–869, <https://doi.org/10.1134/S0030157418060102>.
20. Markova, L. V. and V. A. Naumov, 2016: Kachestvo vody, postupayushchej iz reki Pregoli na YUzhnyu vodoprovodnyu stanciyu goroda Kaliningrada (The quality of water flowing from

- the Pregolya River to the Southern Waterworks of the city of Kaliningrad), *Vodohozyajstvennyye problemy regiona*, Collection of scientific papers, 60–67.
21. Markova, L. L. and I. Ya. Nechay, 1960: Gidrologicheskij ocherk ust'evykh oblastej rek Nemana i Pregoli (Hydrological outline of the mouth areas of the Neman and Pregolya river). *Trudy GOIN*, **49**, 118–187.
 22. Mikhailov, V. N., 1998: *Gidrologiya ust'ev rek (Hydrology of estuaries)*. Moscow, Izd-vo MGU, 176.
 23. Mikhailov, V. N., S. L. Gorin, and M. V. Mikhailova, 2009: Novyj podhod k opredeleniyu i tipizacii estuarijev (New approach to the definition of estuaries and to their typology). *Vestnik Moskovskogo universiteta*, **5**, 3–11.
 24. Mikhailov, V. N., A. N. Kosarev, E. S. Povalishnikova, and V. S. Savenko, 1997: Processy smesheniya rechnyh i morskikh vod v ust'evykh oblastyakh rek (Processes of mixing river and sea waters in river mouth areas). *Vestnik Moskovskogo universiteta*, **5**, 15–21.
 25. Mikhailova, M. V., 2013: Processes of seawater intrusion into river mouths. *Vodnye resursy*, **40** (5), 439–455, <https://doi.org/10.7868/S0321059613050052>.
 26. *Physical Processes in Estuaries*. 1986, Proc. Int. Symp. Physical Processes in Estuaries, 09–12 Sep 1986, Rijkswaterstat. Netherlands, DELT, 161.
 27. Pritchard, D. W., 1952: Estuarine hydrography. *Adv. Eco-phys.*, **1**, 243–280.
 28. Pritchard, D. W. 1955: Estuarine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs.*, **81** (717), 1–11.
 29. Pritchard, D. W., 1967: What is an estuary: a physical viewpoint. *Estuaries, Am. Ass. Adv. Sci.*, Washington, **83**, 3–5.
 30. Schijf, J. B. and J. C. Schönfeld, 1953: Theoretical considerations on the motion of salt and fresh water. *Proceedings of the 5th I.A.H.R. Congress*, 321–333.
 31. Sokolov, D. I., O. N. Erina, and K. K. Edel'shtejn, 2016: Izmenchivost' gidrologogidrohimi-cheskikh pokazatelej v stratificirovannom vodohranilishche (Variability of hydrological and hydrochemical characteristics in a stratified reservoir). *Vestnik Moskovskogo universiteta*, Series 5: (5) 61–68.
 32. Stashko, A. V. and S. V. Aleksandrov, 2023: Prostranstvennoe raspredelenie i sezonnaya dinamika gidrohimicheskikh uslovij v Vislinskom zalive Baltijskogo morya v 2020–2022 gg. (Spatial distribution and seasonal dynamics of hydrochemical conditions in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea in 2020–2022). *Journal of Oceanological Research*, **51** (1), 71–90, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).4](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).4).

Submitted 19.02.2024, accepted 29.03.2024.

For citation: Chubarenko, B. V., N. V. Dvoeglazova, R. V. Boskachev, and A. V. Shusharin, 2024: Spatiotemporal variability of hydrological characteristics in the mixing zone of the Pregolya River (South-Eastern Baltic) and methodological approaches to its study. *Journal of Oceanological Research*, **52** (1), 157–176, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(1\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(1).8).