

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОССИЙСКИХ СЕКТОРОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2023 Г.

© 2024 г. Е. С. Бубнова^{1, 2, *}, В. В. Сивков¹, А. А. Муратова^{1, 2},
С. А. Мошаров^{1, 2}, К. Д. Коробченкова^{1, 2}, И. Ю. Дудков^{1, 2},
И. В. Мошарова¹, А. А. Полухин¹, С. В. Александров¹, А. Ю. Артамонов³

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

³ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

* e-mail: bubnova.kat@gmail.com

Поступила в редакцию 29.03.2024 г.

После доработки 03.04.2024 г.

Принята к публикации 18.04.2024 г.

Экологический мониторинг российских секторов Балтийского моря в экспедициях ИО РАН 2023 г. позволил получить новые сезонные количественные оценки гидролого-гидрохимических и гидро-биологических параметров, потоков углекислого газа на границе вода–воздух, а также уточнить геолого-геоморфологические условия. В восточной части Финского залива отмечено стабильное во все сезоны влияние р. Невы, которое прослеживалось на расстоянии до 30 морских миль от Невской губы. В Юго-Восточной Балтике обнаружена обширная гипоксия и мозаичное распределение сероводорода в глубинных водах. Для обоих районов получены высокие значения интегральной первичной продукции в апреле, которые на два порядка превышали декабрьские значения. Финский залив был эмитентом углекислого газа в атмосферу, особенно в апреле, тогда как Юго-Восточная Балтика в апреле поглощала углекислый газ, а в ноябре и декабре была областью слабой эмиссии.

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, Финский залив, аноксия, гипоксия, первичная продукция, бактериальная продукция, хлорофилл “а”, потоки углекислого газа

DOI: 10.31857/S0030157424050129, EDN: OFIDJJ

В 2023 г. летние данные экологического мониторинга российских секторов Балтийского моря [2–4] были дополнены данными для других сезонов: апрель (55-й рейс ПС “Академик Сергей Вавилов” – АСВ-55), ноябрь (54-й рейс НИС “Академик Борис Петров” – АБП-54) и декабрь (55-й рейс НИС “Академик Борис Петров” – АБП-55) (рис. 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гидрофизические измерения проводили на станциях многоканальным зондом Sea&Sun Tech STD48Mc. Пробы воды отбирали батометрами Нискина. На борту судна в пробах стандартными методами определяли концентрации кислорода и восстановленных соединений серы, рН, общую щелочность, первичную продукцию, бактериальную продукцию и деструкцию, а также концентрацию хлорофилла “а”. Отбор проб зоопланктона проводили сетью Джеди, ихтиопланктона – ИКС-80. Парциальное

давление атмосферных газов измеряли с помощью комплекса LI-7810 (LiCore, США) и SVA-5 (PPSystems, США) (АСВ-55) и автоматическим газоанализатором Testo 315–3 CO/CO₂ (АБП-54 и АБП-55). Величины потоков CO₂ на границе вода–воздух были рассчитаны с использованием значений параметров карбонатной системы [1]. Для геоакустических исследований использовалось штатное судовое оборудование: параметрический профилограф Kongsberg EA600 (АСВ55), многолучевой эхолот ReasonSeaBat T50 Extended Range и высокоразрешающий параметрический профилограф Atlas Parasound P70 (АБП-54 и АБП-55). Герметичной геологической трубкой отбирали колонки донных осадков на газо-геохимические исследования, а дночерпателем Ван Вина – пробы поверхностных осадков для исследования макрозообентоса и литологического картирования. Вертикальные потоки взвешенного вещества были получены с помощью экспериментальной дрейфующей седиментационной

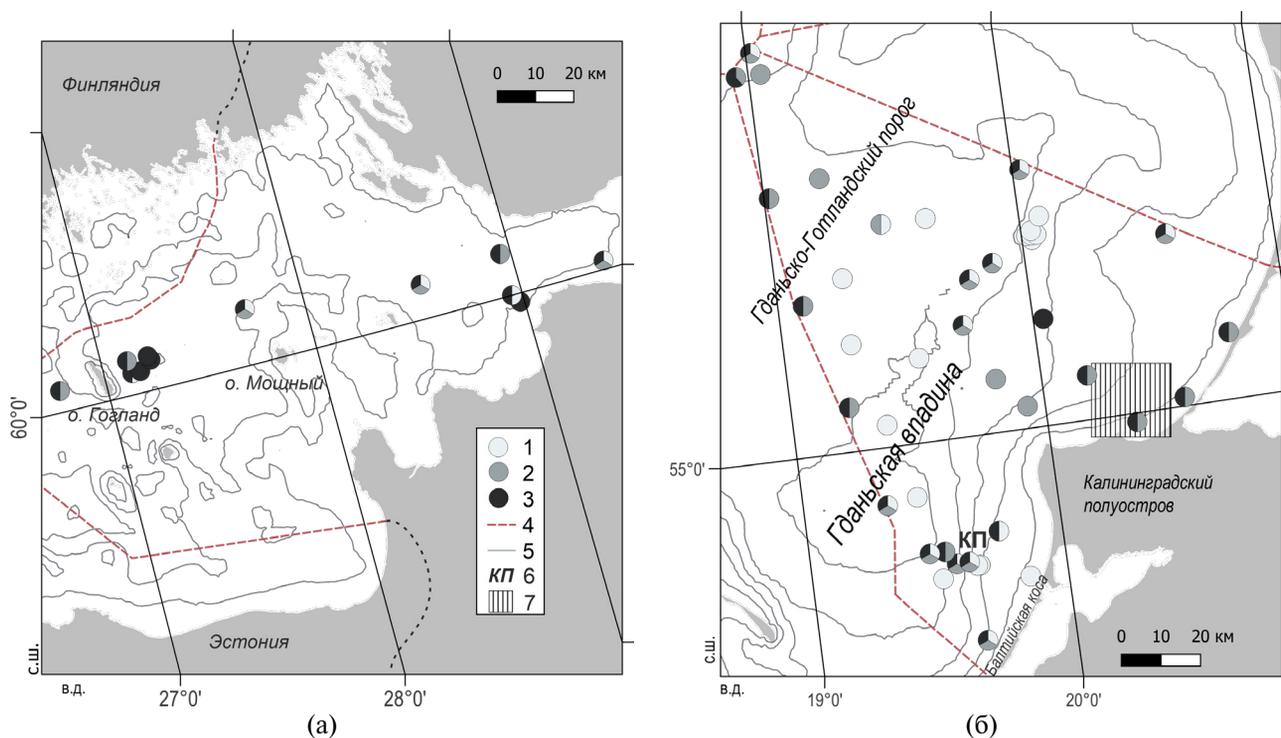


Рис. 1. Районы работ (а – Финский залив, б – Юго-Восточная Балтика) и расположение станций в рейсах: 1 – АСВ-55, 2 – АБП-54, 3 – АБП-55, 4 – границы российских секторов Балтийского моря, 5 – изобаты через 20 м, 6 – площадка карбонового полигона, 7 – литологический полигон.

ловушки, разработанной АО ИО РАН совместно с БФУ им. И. Канта.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Гидролого-гидрохимические условия. В Финском заливе (ФЗ) во все сезоны влияние р. Невы прослеживалось в слое 0–10 м на расстоянии до 30 морских миль от Невской губы. В ноябре над юго-восточным склоном Гданьской впадины был зафиксирован апвеллинг, вызвавший подъем галоклина (глубина 60–80 м) на 10 м. В декабре, напротив, при даунвеллинге, вызванном сгонными штормовыми ветрами, галоклин заглубился на эту же величину относительно среднегогодового положения. Экстремально высокие концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое обеих акваторий были отмечены в апреле, когда наблюдалась низкая температура воды и весенний пик биологической продуктивности. В придонном слое ФЗ гипоксия была зафиксирована только в декабре. Гданьская впадина характеризовалась гипоксическими условиями во время всех трех съемок, однако в декабре над юго-восточным склоном Гданьской впадины (район карбонового полигона) было отмечено обогащение глубинных вод кислородом (до 5 мг/л), вызванное даунвеллингом в сочетании с сезонным конвективным перемешиванием.

Биопродуцирование. В ФЗ интегральная первичная продукция фитопланктона ($PP_{\text{инт}}$) в апреле была максимальной – $460\text{--}1750 \text{ мгС/м}^2 \times \text{сут}$, а в декабре уменьшилась на два порядка ($2\text{--}3 \text{ мгС/м}^2 \times \text{сут}$). В ЮВБ $PP_{\text{инт}}$ в апреле варьировала в более широких пределах – $135\text{--}1830 \text{ мгС/м}^2 \times \text{сут}$. В декабре величина $PP_{\text{инт}}$ в ЮВБ снизилась на порядок и составляла $3\text{--}20 \text{ мгС/м}^2 \times \text{сут}$. Доля продукции бактериопланктона в общей продукции для обеих акваторий в апреле составляла 10–40%, а к декабрю выросла до 70–90%. Концентрации хлорофилла “а” в апреле соответствовала эвтрофному статусу в обеих акваториях (3.4–14.8 мкг/л и 1.5–12.5 мкг/л для ФЗ и ЮВБ соответственно), а в декабре – в основном, мезотрофному (0.45–1.0 мкг/л для ФЗ и 0.6–1.6 мкг/л для ЮВБ). В декабре поток взвешенного органического углерода в ЮВБ ($14 \text{ мгС/м}^2 \times \text{сут}$) на горизонте 50 м был сопоставим с величинами $PP_{\text{инт}}$, при этом общий поток взвешенного вещества был выше на порядок ($115 \text{ мг/м}^2 \times \text{сут}$).

Потоки углекислого газа. Акватория ФЗ во все периоды исследований была эмитентом углекислого газа в атмосферу, максимальный рассчитанный поток отмечен в апреле ($0.6 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$), кратно уменьшаясь к ноябрю ($0.12 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$) и декабрю ($0.07 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$). Сокращение эмиссии может

быть вызвано сокращением речного стока в холодный период из-за ледостава. ЮБВ в апреле, наоборот, была областью стока атмосферного CO_2 ($0.6 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$), а в ноябре и декабре акватория стала слабым эмитентом (0.04 и $0.06 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$ соответственно). На морской площадке калининградского карбонового полигона сток углекислого газа в апреле оказался несколько выше среднего значения по акватории $-0.8 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$, а эмиссия в ноябре и декабре ниже, чем в среднем (0.01 и $0.03 \text{ гС/м}^2 \times \text{сут}$).

Геолого-геоморфологические исследования. В береговой зоне Калининградского полуострова были уточнены границы распространения денудационных уступов, моренных гряд и палеорезов. На подводном береговом склоне Балтийской косы зафиксированы песчаные тела с выраженными ложбинами стока (до $100\text{--}400$ м в ширину и $5\text{--}10$ м в глубину). В северной части Гданьско-Готландского порога уточнена морфология и простиране крупной палеодолины, которая играет значительную роль в переносе придонных североморских вод из южной в центральную Балтику.

Источники финансирования: гидрологические и гидрохимические исследования выполнены

по теме государственного задания ИО РАН № FMWE-2024–0025, расчеты величин первичной продукции и бактериальной продукции – по теме № FZWM-2023–0004 государственного задания БФУ им. И. Канта, исследования взвешенного вещества и его вертикальных потоков были выполнены за счет проекта РНФ № 22-77-00069.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полухин А.А., Казакова У.А., Гусак Г.В., и др. Структура вод и поток углекислого газа над континентальным склоном моря Лаптевых и в проливе Вилькицкого в осенний сезон // *Океанология*. 2023. Т. 63. № 5. С. 733–744.
2. Ульянова М.О., Сивков В.В., Александров С.В. и др. Исследования Балтийского моря в 61-м рейсе НИС “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2023. Т. 63. № 5. С. 862–864.
3. Ульянова М.О., Сивков В.В., Баширова Л.Д. и др. Океанологические исследования Балтийского моря в 56-м рейсе ПС “Академик Иоффе” // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 1. С. 162–164.
4. Ульянова М.О., Сивков В.В., Баширова Л.Д. и др. Океанологические исследования Балтийского моря в 51-м рейсе ПС “Академик Сергей Вавилов” // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 4. С. 667–669.

OCEANOLOGICAL STUDIES OF THE RUSSIAN SECTORS OF THE BALTIC SEA IN THE YEAR 2023

E. S. Bubnova^{a, b, *}, V. V. Sivkov^a, A. A. Muratova^{a, b}, S. A. Mosharov^{a, b},
K. D. Korobchenkova^{a, b}, I. Yu. Dudkov^{a, b}, I. V. Mosharova^a, A. A. Polukhin^a,
S. V. Aleksandrov^a, A. Yu. Artamonov^c

^a Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^b Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

^c A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

* e-mail: bubnova.kat@gmail.com

The environmental monitoring of the Russian sectors of the Baltic Sea was continued through three expeditions in 2023: the 55th cruise of the P/V “Akademik Sergei Vavilov” (April), the 54th and 55th cruises of the R/V “Akademik Boris Petrov” (November and December, respectively). Seasonal quantitative estimates of hydrological-hydrochemical and hydrobiological parameters, carbon dioxide fluxes at the water-air interface were obtained, and the geological and geomorphological conditions of the study areas were clarified. Influence of the Neva River to the eastern part of the Gulf of Finland was stable in all seasons and could be traced at a distance of up to 30 nautical miles from the Neva Bay. The South-Eastern Baltic bottom layer experienced extensive hypoxia and mosaic euxinia. Significant aeration of bottom waters occurred in December due to the combined influence of seasonal convection and downwelling resulting from a series of storms. In both study areas, high values of integral primary production were obtained in April, which were two orders of magnitude higher than the December values. The concentration of chlorophyll “a”, accordingly, differed by an order of one magnitude. The Gulf of Finland was an emitter of carbon dioxide into the atmosphere, especially in April, while the South-Eastern Baltic absorbed carbon dioxide in April and was an area of weak emissions in November and December.

Keywords: South-Eastern Baltics, Gulf of Finland, hypoxia, anoxia, primary production, bacterial production, carbon dioxide flux, chlorophyll “a”