

УДК 551.35,551.46

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 51-м РЕЙСЕ ПС “АКАДЕМИК СЕРГЕЙ ВАВИЛОВ” (ИЮНЬ–ИЮЛЬ 2021 г.)

© 2022 г. М. О. Ульянова^{1, 2, *}, В. В. Сивков^{1, 2}, Л. Д. Баширова^{1, 2}, М. В. Капустина¹,
Е. С. Бубнова^{1, 2}, А. Р. Данченков¹, Е. Е. Ежова¹, В. А. Кречик^{1, 2}, Т. Р. Еремина³

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

²Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

³Российский гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: marioches@mail.ru

Поступила в редакцию 25.11.2021 г.

После доработки 07.12.2021 г.

Принята к публикации 16.12.2021 г.

В 51-м рейсе ПС “Академик Сергей Вавилов” (30 июня–14 июля 2021 г.) продолжилось изучение окислительно-восстановительных условий во впадинах Балтийского моря. Вследствие аномально жаркой погоды температура воды в верхнем квазиоднородном слое существенно превышала средние климатические значения для июля, особенно в Финском заливе (на 7–7.5°C). Наблюдался более ранний подъем агрегатов цианобактерий из подповерхностного слоя к поверхности моря. Совместно с Балтийским федеральным университетом им. И. Канта выполнены комплексные исследования на морской площадке Калининградского карбонового полигона и проведена IV Международная летняя школа “Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы”.

Ключевые слова: Балтийское море, Готландская впадина, Гданьская впадина, Финский залив, аноксия, гипоксия, карбоновый полигон

DOI: 10.31857/S003015742204013X

В 51-м рейсе ПС “Академик Сергей Вавилов” (30.06–14.07.2021 г.) были выполнены комплексные исследования экологического состояния Балтийского моря (рис. 1). В рамках пилотного проекта Минобрнауки РФ по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса была выполнена комплексная океанологическая съемка на морской площадке Калининградского карбонового полигона. Оператором полигона является Балтийский федеральный университет им. И. Канта (БФУ им. И. Канта), участником программы исследований – Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (АО ИО РАН). Отдельные разделы программы экспедиции выполнялись совместно с Атлантическим филиалом Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Всероссийским геологическим институтом им. А.П. Карпинского и Российским государственным гидрометеорологическим университетом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гидрофизические измерения проводились на станциях и на ходу судна с использованием мно-

гоканальных зондов Sea&Sun Tech CTD 90M и Idronaut Ocean Seven 316 Plus в режиме свободного падения. Пробы воды для гидрохимических анализов отбирались на станциях гидрологическим комплексом Hydrobios MWS12 Slimline, оснащенным батометрами Нискина. На борту судна определялось содержание кислорода и углекислого газа, восстановленных соединений серы, хлоридов, сульфатов, рН. Пробы воды для определения биогенных элементов, нефтепродуктов, взвеси, железа переданы для анализа в береговых лабораториях.

Попутные исследования акустической структуры донных осадков выполнялись судовым эхолотом Kongsberg EA 600 (12 кГц). Отбор донных осадков проводился ударными геологическими трубками, в том числе герметичной, для получения ненарушенной верхней части осадка вместе с придонной водой, а также дночерпателем Ван-Вина. На борту судна проводилось литологическое описание осадков, измерение в них рН и Eh, распределение по видам анализов (на определение компонентного состава растворенных газов, геохимического и гранулометрического составов). Пробы осадков отбирались также для после-

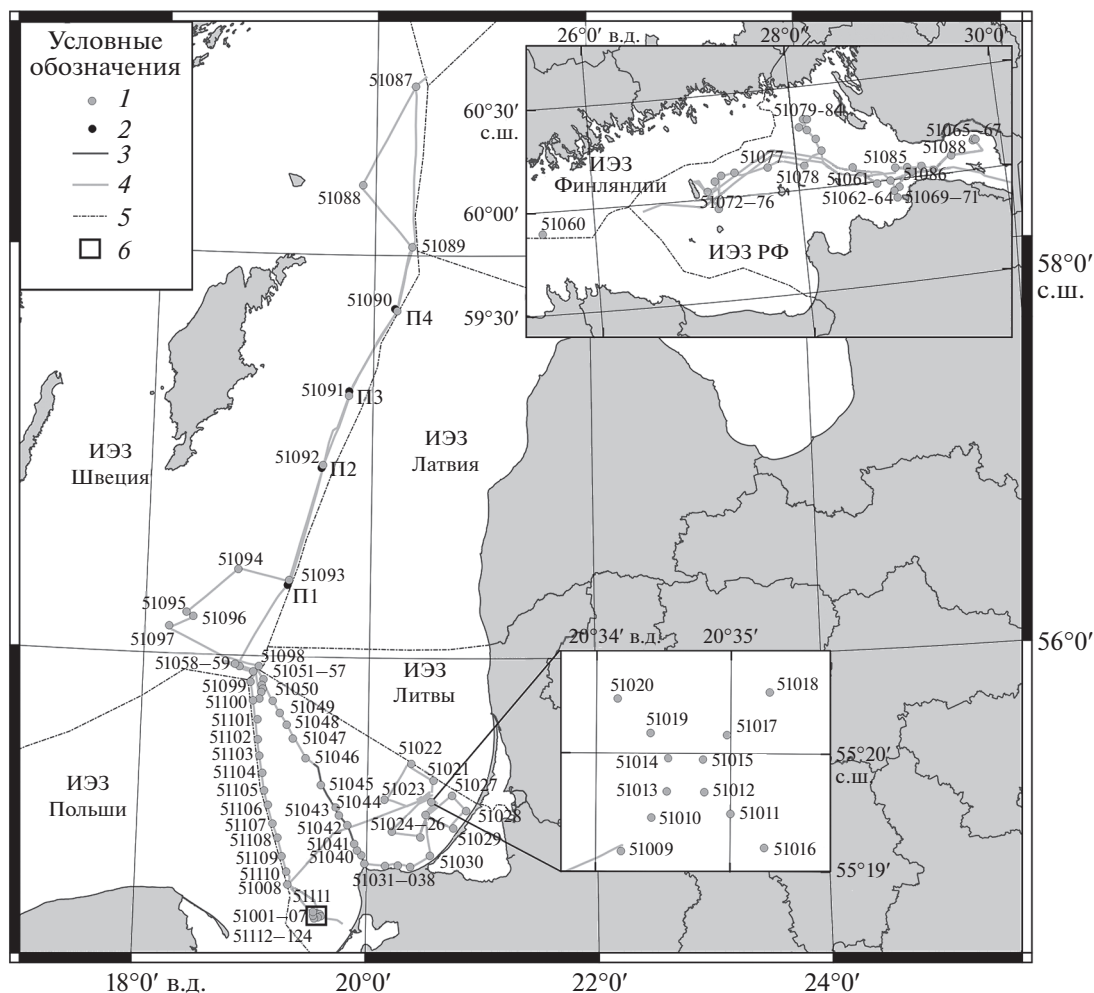


Рис. 1. Район и виды экспедиционных работ в 51-м рейсе ПС «Академик Сергей Вавилов»: 1 – океанологические станции (АСВ), 2 – точки попутный измерений, 3 – непрерывные гидрофизические профили, 4 – попутное геоакустическое профилирование, 5 – границы исключительных экономических зон, 6 – Калининградский карбоновый полигон.

дующего выделения ДНК, амплификации гена 16S рРНК и секвенирования на платформе Illumina MiSeq, а также фиксации и выделения тотальной ДНК железомарганцевых конкреций и подстилающего осадка.

Гидробиологические исследования включали определение в морской воде содержания хлорофилла *a*, первичной продукции, отбор проб бактериопланктона, фитопланктона, зоопланктона, ихтиопланктона, мейо- и макрозообентоса. Для пробоотбора использовались сети Джели (Ø50 см, 100 мкм), ИКС-80 (Ø80 см, 500 и 330 мкм) и WP-2 (Ø60 см, 100 мкм) с замыкателем, дночерпатель Ван-Вина (0.1 м²).

На морской площадке Калининградского карбонового полигона получен комплекс данных для оценки потоков углерода в морской среде. Испытана дрейфующая седиментационная ловушка для изучения вертикальных потоков органического углерода.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В июне–июле 2021 г. вода в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики прогрелась до 21–22°C, что типично для середины августа. Таким образом, экспедиция проводилась в аномально теплых для июля условиях. Температура верхнего квазиоднородного слоя превышала средние климатические значения для июля (за 1955–2018 гг.): в Юго-Восточной Балтике на 5–6°C, в Центральной Балтике на 3.5–4°C и в Финском заливе на 7–7.5°C.

В первой части экспедиции на всем протяжении маршрута от Калининграда до Санкт-Петербурга над сезонным термоклином (глубины ~ 0–10 м) наблюдалась подповерхностная фаза цианобактериального цветения моря. В открытом море доминировали потенциально токсичные *Aphanizomenon flosaquae* и *Nodularia spumigena*. В Финском заливе отмечались также *Dolichospermum* sp., *Microcystis* sp. Агрегаты из цианобактери-

альных клеток наблюдались на поверхности моря локально и только на прибрежном мелководье Юго-Восточной Балтики и Финского залива. В 2020 г. в те же сроки (июль) на той же акватории наблюдалось поверхностное цветение [1]. Через семь–десять суток, на обратном маршруте судна, цветение из подповерхностной фазы перешло в поверхностную фазу с преимущественным доминированием *Nodularia spumigena*.

Из-за отсутствия больших затоков североморских вод продолжается снижение солёности придонного слоя во впадинах центральной части Балтийского моря. По сравнению с августом 2020 г. оно составило 0.4–0.6 епс в Гданьской впадине и 0.1–0.2 епс на склоне Восточно-Готландской впадины и над Гданьско-Готландским порогом. В Готландской впадине аноксидные условия были отмечены в 30–40 м от дна, в Гданьской впадине – в 10 м от дна.

В эрозионной долине на Гданьско-Готландском пороге вновь, как и в 2020 г. [2], отмечен двустворчатый моллюск *Astarte borealis*, что свидетельствует, по крайней мере, о периодическом отсутствии аноksии.

В восточной части Финского залива на мелководье содержание растворенного кислорода плавно уменьшалось с глубиной, подповерхностный максимум отсутствовал, насыщение вод кислородом резко уменьшалось в термоклине. В глубоководной части залива проявился подповерхностный максимум содержания кислорода (слой 5–20 м), под ним – выраженный оксиклин (25–30 м) и еще глубже – придонный слой низких значений, вплоть до гипоксии.

На острове Большой Тютерс определено, что ряд вытянутых валлообразных форм рельефа ме-

ридионального простирания сформирован эоловыми процессами в ходе изменений уровня моря в голоцене. Так, обширная и мощная дюнная гряда (до 20–30 м) могла быть сформирована в условиях быстрого снижения уровня моря и обнажения большой площади дна с песчаными осадками для последующего эолового переноса и переотложения.

В соответствии с концепцией “Плавающего университета” была проведена IV Международная летняя школа “Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы”, организованная БФУ им. И. Канта при содействии АО ИО РАН.

Источники финансирования: работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (темы № 0128-2021-0012, 0128-2021-0008). Публикация подготовлена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках пилотного проекта по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (Приказ Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74). Участие в подготовке публикации Т.Р. Ереминой (РГГМУ), как исполнителя государственного задания № FSZU-2020-0009, было поддержано Министерством науки и высшего образования РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крек А.В., Крек Е.В., Ежова Е.Е. и др. Экспедиционные исследования в Балтийском море в 55-м рейсе П/С “Академик Иоффе” // Океанология. 2021. Т. 61. № 4. С. 662–665.
2. 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.

Oceanological Research of the Baltic Sea in the 51 Cruise of the P/V *Academik Sergey Vavilov* (June–July 2021)

M. O. Ulyanova^{a, b, #}, V. V. Sivkov^{a, b}, L. D. Bashyrova^{a, b}, M. V. Kapustina^a, E. S. Bubnova^{a, b}, A. R. Danchenkov^a, E. E. Ezhova^a, V. A. Krechik^{a, b}, T. R. Eremina^c

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

^b*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

^c*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: marioches@mail.ru*

During the 51st cruise of the P/V *Akademik Sergei Vavilov* (June 30–July 14, 2021), the study of redox conditions in the deeps of the Baltic Sea was continued. Due to the abnormally hot weather, the water temperature in the upper quasi-homogeneous layer significantly exceeded the average climatic values for July, especially in the Gulf of Finland (by 7–7.5°C). An earlier rise of aggregates of cyanobacteria from the subsurface layer to the sea surface was observed. Together with the Immanuel Kant Baltic Federal University, the comprehensive study was carried out at the offshore site of the Kaliningrad carbon polygon and the IV International Summer School “Coastal Zone of the Sea: Research, Management, and Perspectives” was held.

Keywords: Baltic Sea, Gotland Deep, Gdansk Deep, Gulf of Finland, hypoxia, Kaliningrad carbon polygon