

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2022 ГОДА ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А»



Е. Р. Родионова, студентка магистратуры
высшей школы живых систем
e-mail: janerodionova99@gmail.com
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
им. И. Канта»

С. В. Александров, кандидат биологических наук, доцент
e-mail: hydrobio@mail.ru
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

В работе произведена оценка качества и трофического состояния вод российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в июне 2022 г. с использованием показателей концентрации хлорофилла «а». На большей части акватории наблюдался II класс качества и мезотрофное состояние вод. Наиболее высокие концентрации хлорофилла «а» (III класс качества и эвтрофное состояние) отмечены в районе Гданьской впадины, что может свидетельствовать о поступлении в данный район речного стока, обогащенного биогенными элементами. Величины хлорофилла «а» были близки к ранее установленному уровню для летнего периода, характеризуя интенсивное развитие фитопланктона в переходный весенне-летний период. Полученные данные позволят составить более полное представление о экологическом состоянии акватории и рассмотреть возможный вклад антропогенного влияния.

Ключевые слова: хлорофилл, фитопланктон, качество воды, трофический статус, Балтийское море

ВВЕДЕНИЕ

Балтийское море является полузакрытым водоемом, его также относят к солоноватым водным объектам за счет большого объема речного стока относительно притока соленых вод с Северного моря. В акватории Балтийского моря распространена проблема «цветения» водорослей, к причинам которой относят высокую трофность вод и климатические изменения. Массовое развитие водорослей способно воздействовать на гидрохимические показатели и ухудшать качество вод. Качество вод довольно часто определяется по гидрохимическим и микробиологическим показателям, в данной работе оценка качества воды определялась на основании концентрации хлорофилла «а» в воде, как индикатора уровня развития микроводорослей.

В целом увеличение концентрации хлорофилла «а» в летний период наблюдалось в большинстве суббассейнов Балтийского моря с 1970/80-х годов до конца 1990-х/начала 2000-х годов. Динамика концентрации хлорофилла «а» за период 1990–2016 гг. свидетельствует о неравномерном изменении трофического статуса в разных районах: в центральной и восточной частях Балтийского моря, где летняя концентрация хлорофилла «а» в основном связана с концентрацией фосфора, изменений не происходило, однако значительная тенденция к увеличению хлорофилла «а» обнаружена в Борнхольмском бассейне [1].

Материалы исследования: пробы морской воды, собранные в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) российского сектора юго-восточной части Балтийского моря; для по-

строения карт были использованы данные ресурса Helcom metadata catalogue [2], включая границы ИЭЗ и контуры глубин бассейна Балтийского моря.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является состояние фитопланктона в ИЭЗ российского сектора юго-восточной части Балтийского моря. Основным показателем интенсивности развития фитопланктона и «цветения» воды является хлорофилл «а» [3].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – оценить степень эвтрофированности и качество вод юго-восточной части Балтийского моря по концентрации хлорофилла «а». Задачи исследования: отбор проб воды на гидрологических станциях в 49-м рейсе НИС «Академик Борис Петров»; первичная пробоподготовка в экспедиционных условиях; камеральная обработка проб спектрофотометрическим методом; анализ полученных данных.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб воды и их спектрофотометрический анализ; картографирование; анализ и обобщение данных.

Исследования проводились на 10 гидрологических станциях на акватории Балтийского моря в пределах калининградского сектора ИЭЗ Российской Федерации в период 2–5 июня 2022 г. в ходе 49-го научного рейса НИС «Академик Борис Петров». Отбор проб выполнялся батометрами Нискина, установленными на гидрологическом комплексе с STD-зондом, со следующих горизонтов: поверхностный слой (0–2 м), над термоклином (11–30 м) и над галоклином (55–67 м). Далее была проведена первичная подготовка проб воды для определения содержания хлорофилла «а» по стандартной методике согласно ГОСТ 17.1.4.02-90. Фильтрация через мембранные фильтры «МФАС-МА-6» с диаметром пор 0,3 мкм, после чего фильтр был помещен в 90%-ный раствор ацетона. В камеральных условиях мембранный фильтр с концентрированным на нем фитопланктоном вместе с ацетоновым экстрактом был помещен в пробирку и гомогенизирован, после чего центрифугирован в течение 40 мин. со скоростью 7000 об/мин для удаления светорассеивающей взвеси. Затем ацетоновая вытяжка с пигментами была перенесена в кварцевую кювету, после чего проведена обработка на спектрофотометре. Оптическую плотность измеряли на шести длинах волн: 750, 664, 647, 630, 480, 430. Концентрации хлорофилла «а» рассчитывались по формулам, согласно российским и международным стандартам [3, 4].

Для оценки геоэкологического состояния Балтийского моря были выбраны классификации: 1. Состояние качества вод Балтийского моря [5]; 2. Трофическая классификация вод Балтийского моря (включая прибрежные воды) [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно метеоданным [7], в период, предшествующий исследованиям, который влияет на уровень развития фитопланктона, среднее значение температуры воздуха в Калининградской области весной (март-май) 2022 г. составляла 6,5 °С, что ниже, чем в предыдущие годы. Для сравнения в 2021 г. за аналогичный период средняя температура воздуха была 6,8 °С, а в 2020 г. 7,4 °С. Среднее значение температуры в период экспедиционных работ (1–5 июня 2022 г.) было 12,6 °С, а ранее за тот же период в 2021 г. – 15,6 °С и в 2020 г. – 13,6 °С. В целом весна и начало лето 2022 г. характеризовались более холодными значениями температур по сравнению с климатической нормой.

В период экспедиционных исследований средние показатели температуры и солености воды в *поверхностном* слое были соответственно 11,5 °С и 7,5‰, в слое воды *над термоклином* – 9,1 °С и 7,3‰, а в слое воды *над галоклином* такие показатели соответствовали 4,3 °С и 7,7‰.

Согласно проведенным исследованиям хлорофилла «а» на исследуемой российской акватории Балтийского моря по классификации, принятой для Балтийского моря [5], были выделены два класса качества вод: II (хорошее) и III (удовлетворительное) (рис. 1, а).

На большинстве станций в поверхностном слое концентрация хлорофилла «а» соответствовала II классу качества вод, что характеризует состояние, близкое к исходному фоновому состоянию без значительного антропогенного воздействия [5]. На станциях 1, 2, 8 концентрация хлорофилла «а» была выше 4,0 мкг/л, соответствуя III классу качества воды (удовлетворительное состояние). На станции 1, расположенной в центре Гданьской впадины, была отмечена пониженная соленость. Это может свидетельствовать о поступлении в данный район речного стока р. Висла богатого биогенными элементами, что является благоприятными условиями для развития фитопланктона и «цветения» воды. Эвтрофное состояние вод обычно соответствует III классу качества вод, под влиянием поступления загрязняющих веществ и других видов антропогенного воздействия; концентрация токсичных веществ в воде и биоте может быть выше, чем в исходном природном состоянии [5]. Повышенная концентрация хлорофилла «а» определяется влиянием на данный район речного стока р. Висла, богатого биогенными элементами, что является благоприятными условиями для развития фитопланктона.

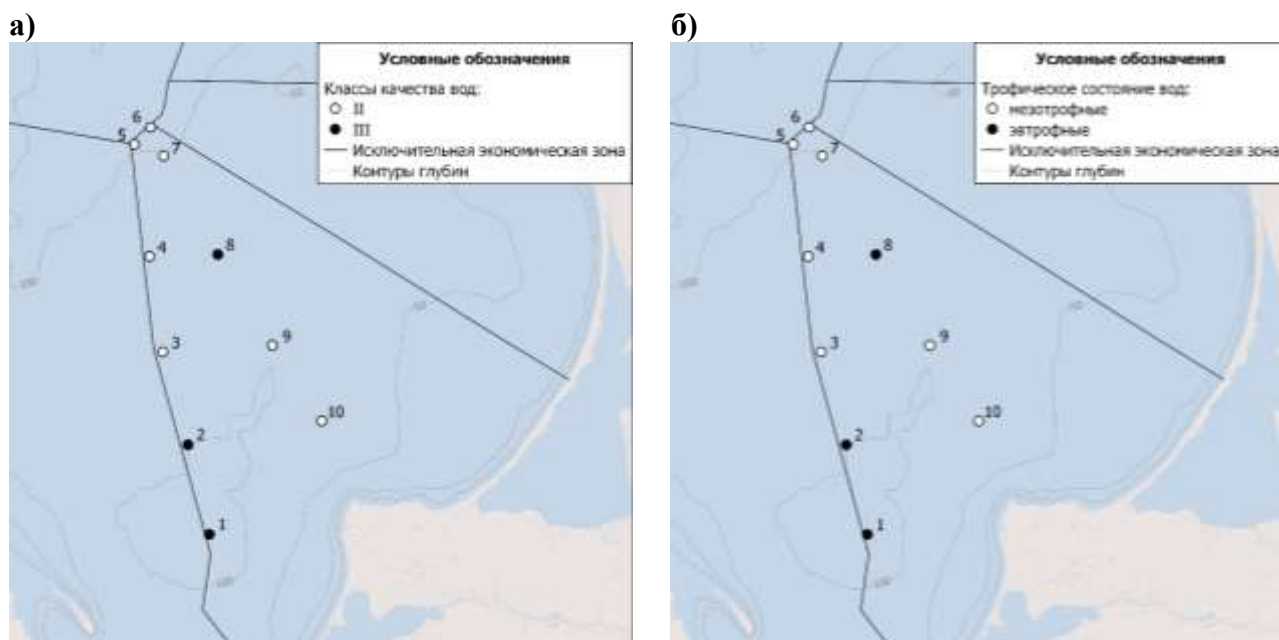


Рисунок 1 – Карта-схема распределения классов качества вод (а) и трофического состояния (б) по концентрации хлорофилла «а» в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря (на основе классификаций [5, 6])

На исследуемой акватории по трофической классификации вод Балтийского моря [6] выделены два трофических состояния: мезотрофное и эвтрофное. На большинстве станций концентрация хлорофилла «а» соответствовала мезотрофным водам (хлорофилла «а» менее 4 мкг/л), а эвтрофное состояние вод отмечено на станциях 1, 2, 8 (рис. 1, б). Пространственное распределение уровня эвтрофированности вод соответствует распределению качества вод (рис. 1).

Согласно результатам предыдущих сезонных исследований в летний период, например, в июле 2019 г. в глубоководной акватории отмечается мезотрофное состояние вод [8]. Эвтрофное состояние вод больше характерно для весеннего периода [3, 9]. Исследования, проведенные в начале июня 2022 г., отражают переходное состояние (присутствие вод как мезотрофного, так и эвтрофного уровня) и позволяют дополнить данными о сезонной динамике фитопланктона в Балтийском море.

Концентрация хлорофилла «а» в столбе воды было проанализировано на двух разрезах (рис. 2): *разрез а* – станции 1–5 (вдоль границы ИЭЗ Польши), *разрез б* – станции 6–10 (центральная часть ИЭЗ РФ). Среднее содержание хлорофилла «а» в поверхностном слое выше по *разрезу а*, вдоль границы с ИЭЗ Польши. Однако концентрация хлорофилла «а» в горизонтах над термоклинном и галоклинном незначительно выше по *разрезу б*, в центральной части ИЭЗ Калининградского сектора Балтийского моря. Для *разреза а* была характерна более выраженная вертикальная изменчивость в столбе воды, что может быть связано с поступлением в поверхностный слой богатых биогенными элементами вод р. Висла, стимулирующих развитие фитопланктона в фотическом слое.

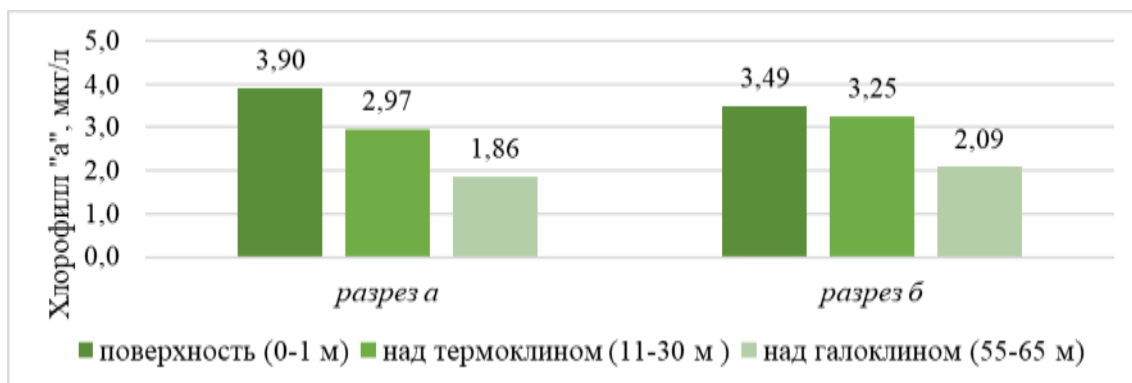


Рисунок 2 – Распределение хлорофилла «а» в столбе воды в российском секторе Юго-Восточной части Балтийского моря по двум разрезам

В исследованной части Балтийского моря с глубинами более 4 м наибольшие концентрации хлорофилла «а» в основном наблюдались в поверхностном слое (2,3–5,4 мкг/л; в среднем $3,7 \pm 1,0$), однако на станциях 1, 7 и 9 наибольшее значение концентрации хлорофилла «а» отмечалось над термоклинном (4,1–5,5 мкг/л).

Согласно предыдущим сезонным исследованиям в российском секторе Гданьского бассейна, выполненным в 2003-2015 гг. для района с глубинами более 40 м [9], концентрации хлорофилла «а» в весенний период (апрель-май) варьировали от 0,3 до 7,1 мкг/л, в среднем 1,0 мкг/л, а в летний период (июль) возрастали, составляя от 1,5 до 9,7 мкг/л, в среднем 3,0 мкг/л. Сходный уровень развития фитопланктона был получен также для июля 2018 и 2020 гг., когда средние значения концентрации хлорофилла «а» для глубин более 40 м были 2,7 и 3,2 мкг/л [10], а также в июле 2019 г., когда у поверхности наблюдались максимальные величины хлорофилла «а» составлявшие от 1,4 до 4,8 мкг/л [8]. Полученные в начале июня 2022 г. данные близки к ранее установленному уровню для летнего периода и характеризуют интенсивное развитие фитопланктона в переходный весенне-летний период.

В слое воды над термоклинном (глубина 11–30 м) содержание хлорофилла «а» менялось в интервале 1,6–5,5 мкг/л, составляя в среднем $3,1 \pm 1,2$ мкг/л, что близко к значениям поверхностного слоя.

В слое воды над галоклинном (глубина 55–65 м) также наблюдались высокие концентрации хлорофилла «а» от 1,2 до 2,9 мкг/л, в среднем $2,0 \pm 0,6$ мкг/л. Полученные данные свидетельствуют о наблюдающемся хорошем вертикальном перемешивании вод с фитопланктоном от поверхности до слоя галоклина в переходный весенне-летний период. Это значительно отличает вертикальное распределение концентрации хлорофилла «а» (обилия фитопланктона) от наблюдаемого в летний период. В частности, в августе 2020 г. в Гданьском бассейне концентрации хлорофилла «а» значительно снижались от поверхности до термоклина (в среднем с 1,8 до 0,7 мкг/л) и были минимальны над галоклинном (0,3 мкг/л), характеризуя стабильность вертикального распределения и интенсивное развитие фитопланктона только у поверхности.

Наблюдаемое в начале июня 2022 г. вертикальное распределение хлорофилла «а» соответствовало гидрологической структуре вод в переходный весенне-летний период, которая

определяла значительную глубину интенсивного развития фитопланктона. Такое вертикальное распределение и высокая концентрация хлорофилла «а» соответствует сезонным особенностям развития фитопланктона в экосистеме Балтийского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного с 2 по 5 июня 2022 г. на 10 гидрологических станциях на акватории Балтийского моря в пределах калининградского сектора ИЭЗ Российской Федерации, получены данные по пространственной и вертикальной (поверхность над термоклином и галоклином) изменчивости концентрации хлорофилла «а». Гидрометеорологические условия характеризовались пониженными температурами воздуха, как в период экспедиционных работ, так и в предшествующий весенний период.

Вертикальная изменчивость характеризовалась наибольшими концентрациями в поверхностном слое (в среднем $3,7 \pm 1,0$) и снижением над термоклином ($3,1 \pm 1,2$ мкг/л) и над галоклином ($2,0 \pm 0,6$ мкг/л). Полученные данные свидетельствуют о хорошем вертикальном перемешивании вод с фитопланктоном от поверхности до слоя галоклина в переходный весенне-летний период, в отличие от вертикального распределения в летний период.

Согласно используемым для Балтийского моря классификациям проведена оценка качества вод и их трофического состояния по концентрации хлорофилла «а». На исследуемой глубоководной акватории Балтийского моря наблюдалось два класса качества вод: II (хорошее) и III (удовлетворительное). На большей части акватории наблюдался II класс. Наиболее высокие концентрации хлорофилла «а» (III класс) отмечены в поверхностном слое в районе Гданьской впадины, что может свидетельствовать о поступлении в данный район речного стока, обогащенного биогенными элементами. По трофической классификации вод Балтийского моря были выделены два трофических состояния: мезотрофное и эвтрофное. Пространственное распределение уровня эвтрофированности вод соответствует распределению их качества. Полученные в начале июня 2022 г. данные близки к ранее установленному уровню для летнего периода, характеризуя интенсивное развитие фитопланктона в переходный весенне-летний период.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают искреннюю благодарность научному составу 49-го научного рейса НИС «Академик Борис Петров» за организацию работ и оказанную помощь в проведении исследования и лично – Д. В. Дорохову, М. А. Герб, И. Ю. Дудкову, Е. С. Бубновой и А. А. Муратовой. Экспедиционные исследования и последующий анализ данных выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012) и реализации программы развития Приоритет 2030.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. HELCOM core indicator report. Baltic Sea trends. Chlorophyll-a. – 2018. [Электронный ресурс]. – URL: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/Chlorophyll-a-HELCOM-core-indicator-2018.pdf> (дата обращения: 02.08.2022).
2. Helcom metadata catalogue: Exclusive Economic Zone, depth contours [Электронный ресурс]. – URL: <https://metadata.helcom.fi/geonetwork/srv/eng/catalog.search> (дата обращения: 25.07.2022).
3. Кудрявцева, Е. А. Первичная продукция и хлорофилл в Юго-Восточной части Балтийского моря в 2003–2007 гг. / Е. А. Кудрявцева, Н. В. Пименов, С. В. Александров, В. Н. Кудрявцев // Океанология. – 2011. – Т. 51, № 1. – С. 33–41.
4. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». ГОСТ 17.1.4.02-90. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 15 с.
5. Vuoristo, H. Water quality classification of Finnish inland waters / H. Vuoristo // European Water Management. – 1998. – № 1 (6). – С. 35-41.

6. Wasmund, N. Trophic status of the south-eastern Baltic Sea: a comparison of coastal and open areas / N. Wasmund, A. Andrushaitis, E. Łysiak-Pastuszak, B. Müller-Karulis, G. Nausch, T. Neumann, H. Ojaveer, I. Olenina, L. Postel, Z. Witek // Estuarine Coastal and Shelf Science. – 2001. – Vol. 53. – P. 849–864.

7. Архив погоды в Калининградской области [Электронный ресурс]. – URL: [https://tp5.ru/Архив_погоды_в_Храброво,_им._императрицы_Елизаветы_Петровны_\(аэропорт\)_METAR](https://tp5.ru/Архив_погоды_в_Храброво,_им._императрицы_Елизаветы_Петровны_(аэропорт)_METAR) (дата обращения: 28.07.2022).

8. Александров, С. В. Планктонные и бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря в летний период 2019 года / С. В. Александров, А. А. Гусев, Е. А. Кудрявцева, А. С. Семенова // Труды АтлантНИРО. – 2021. – Т. 5, № 1(11). – С. 60–79.

9. Кудрявцева, Е. А. Гидролого-гидрохимические основы первичной продуктивности и районирование Российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря / Е. А. Кудрявцева, С. В. Александров // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 56–71.

10. Александров, С. В. Экологическое состояние вод Балтийского моря в летний период 2018–2020 гг. / С. В. Александров, А. С. Семенова // Моря России: Год науки и технологий в РФ – Десятилетие наук об океане ООН: Всероссийская научная конференция, Севастополь, 20–24 октября 2021 года: тезисы докладов. – Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Морской гидрофизический институт РАН", 2021. – С. 344–346.

11. Александров, С. В. Оценка эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по концентрации хлорофилла «а» в августе 2020 г / С. В. Александров, И. Ю. Бочерикова, Е. И. Марченко // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, 22–24 октября 2020 года: сборник тезисов. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. – С. 717–719.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE WATERS OF THE SOUTH-EASTERN BALTIC SEA IN THE SUMMER OF 2022 ACCORDING TO CHLOROPHYLL «A» CONCENTRATION

E. R. Rodionova, student
e-mail: janerodionova99@gmail.com
Immanuel Kant Baltic Federal University

S.V. Aleksandrov, PhD
e-mail: hydrobio@mail.ru
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

In this work, the quality and trophic state of waters in the Russian sector of the south-eastern part of the Baltic Sea in June 2022 has been assessed using the indicators of chlorophyll "a" concentration. Quality class II and mesotrophic state of waters were observed over the most part of the water area. The highest concentrations of chlorophyll "a" (quality class III and eutrophic state) were observed in the area of the Gdansk Deep which can indicate the inflow of river runoff enriched with nutrients into this area. The concentration of chlorophyll "a" were close to the previously established level for the summer, characterizing intensive development of phytoplankton as spring turns to summer. The obtained data will allow making a more complete picture of the ecological state of the water area and considering the possible contribution of anthropogenic influence.

Keywords: *chlorophyll «a», phytoplankton, water quality, trophic status, Baltic Sea*