

Научная статья

УДК 574.51

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23

Экологические условия в прибрежной зоне Куршского залива в отсутствие "гиперцветения" вод

Сергей Валерьевич Александров¹, Мария Максимовна Смирнова²,
Андрей Владимирович Сташко³

^{1,3} Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия

^{1,2} Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

¹hydrobio@mail.ru

Аннотация. Куршский залив Балтийского моря относится к самым высокоэвтрофным водоемам (гипертрофного типа) и имеет большое рыбохозяйственное и рекреационное значение. Прибрежная зона выполняет важные функции в экосистеме залива, включая воспроизводство рыб. Ежемесячные исследования в январе–октябре 2022 г. показали отсутствие "гиперцветения" воды. По результатам детального пространственного изучения в августе 2022 г. вдоль Куршской косы на четырех разрезах были получены биологические и гидрохимические характеристики "фоновое" состояния прибрежной зоны без неблагоприятного воздействия на окружающую среду массового развития синезеленых водорослей ("цветения" воды). Содержание кислорода (80–160 % насыщения) было благоприятным для гидробионтов, а величины БПК₅ и аммонийного азота свидетельствовали о небольшом накоплении и разложении органического вещества (в том числе биомассы водорослей). Концентрации хлорофилла "а" составляли 15–43 мкг/л, а численность сапрофитных бактерий – 9–35 тыс. КОЕ/мл. Повышенные концентрации фосфатов и хлорофилла в районе пос. Лесного, возможно, свидетельствуют о локальном антропогенном загрязнении. В прибрежной зоне в 2022 г. показатели экологического состояния по концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий были характерны для преимущественно эвтрофных, α-мезосапробных, слабо или умеренно загрязненных вод. Качество их было значительно выше, чем наблюдалось в отдельные годы при "гиперцветении" залива, когда эти показатели соответствовали максимальным гипертрофному и гиперсапробному уровням, неблагоприятно воздействующим на экосистему (заболевание и гибель гидробионтов). Следовательно, в годы отсутствия летнего массового развития синезеленых водорослей и "гиперцветения" вод прибрежная зона характеризуется благоприятными условиями для рыбохозяйственного и рекреационного использования в районе национального парка (НП) "Куршская коса".

Ключевые слова: Куршский залив, прибрежная зона, качество вод, хлорофилл, бактерии, биогенные элементы, БПК₅, растворенный кислород

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам Атланти-НИРО С. Н. Архиповскому, Н. П. Дюшкову, Ю. В. Приставко за сбор проб.

Финансирование: экспедиционные исследования и гидрохимические работы выполнены в рамках госзадания ФГБНУ "ВНИРО" №076-00007-22-00, микробиологические работы – в рамках госзадания ИО РАН (тема FMWE-2021-0007).

Для цитирования: Александров С. В., Смирнова М. М., Сташко А. В. Экологические условия в прибрежной зоне Куршского залива в отсутствие "гиперцветения" вод // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 11–23. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23.

Original article

Environmental conditions in the coastal zone of the Curonian Lagoon in the absence of water hyperbloom

Sergey V. Aleksandrov¹, Maria M. Smirnova², Andrey V. Stashko³

^{1,3} Atlantic branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

^{1,2} Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences

¹hydrobio@mail.ru

The Curonian Lagoon of the Baltic Sea is one of the most highly eutrophic water bodies (hypertrophic type) and is of great fishery and recreational importance. The coastal zone has the most important function in the ecosystem of the lagoon. Monthly studies in January–October 2022 showed the absence of algal “hyperbloomings”. Based on the results of a detailed spatial study in August 2022 along the Curonian Spit in 4 sections, hydrobiological and hydrochemical characteristics of the “background” state of the coastal zone were obtained without the adverse effects of Cyanobacteria blooming. The oxygen content (80–160 % saturation) was favorable for hydrobionts, while the values of BOD₅ and ammonium nitrogen indicated a slight accumulation and decomposition of organic matter (including algae biomass). The concentration of chlorophyll "a" was 15–43 µg/l, and abundance of saprophytic bacteria was 9–35 thousand CFU/ml. Increased values of phosphates and chlorophyll in the area of the set. Lesnoy, possibly indicate local anthropogenic pollution. In the coastal zone in 2022, the indicators of the ecological state corresponded mainly to eutrophic, α -mesosaprobity, low or moderately polluted waters in terms of the concentration of chlorophyll “a” and the abundance of saprophytic bacteria. The water quality was significantly higher than was observed in some years during the “hyperbloomings” of the lagoon, when these indicators corresponded to the maximum hypertrophic and hypersaprobic levels that adversely affect the ecosystem (disease and death of aquatic organisms). Consequently, in the years of absence of summer algal “hyperbloomings”, the coastal zone is characterized by favorable conditions for fishery and recreational use in the area of the Curonian Spit National Park.

Keywords: Curonian Lagoon, coastal zone, water quality, chlorophyll, bacteria, nutrients, BOD₅, dissolved oxygen

Acknowledgments: The authors are grateful to specialists of the AtlantNIRO S.N. Arkhipovsky, N.P. Dyushkov, Yu.V. Pristavko for collecting the samples.

Funding: Expedition surveys and hydrochemical research have been carried out within the framework of the government assignment of the "VNIRO" No. 076-00007-

22-00, microbiological research – within the framework of the government assignments of the IO RAS (FMWE-2021-0007).

For citation: Aleksandrov S. V., Smirnova M. M., Stashko A. V. Environmental conditions in the coastal zone of the Curonian Lagoon in the absence of water hyperbloom. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 11–23. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23.

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив Балтийского моря представляет собой крупнейшую в Европе лагуну и относится к самым высокоэвтрофным водоемам (гипертрофного типа) [1]. Он имеет важное рыбохозяйственное и рекреационное значение, в частности, на Куршской косе, отделяющей залив от моря, расположен национальный парк "Куршская коса" (список Всемирного наследия ЮНЕСКО). Прибрежная зона несет важнейшую функцию в поддержании экологического состояния Куршского залива. Малые глубины, хорошая прогреваемость и эвтрофное состояние вод создают благоприятные условия для развития прибрежно-водной растительности. Сообщества тростника обыкновенного и камыша озерного могут распространяться на расстояние от 20 до 150 м вглубь залива, формируя своеобразные прибрежные экосистемы. Заросли прибрежной зоны – место икрометания и нагула молоди и взрослых рыб, где летом концентрация ихтиопланктона в десятки–сотни раз выше, чем в открытой части [2].

В высокоэвтрофном Куршском заливе ежегодно наблюдается "цветение" воды при летнем массовом развитии синезеленых водорослей. По данным круглогодичного исследования прибрежной зоны у Куршской косы, потенциально-токсичные виды (*Planktothrix agardhii*, *Anabaena* sp. и *Microcystis* sp.) составляют значительную долю фитопланктона, особенно в июле–сентябре, превышая рекомендованный ВОЗ уровень для рекреационного использования [3]. При их разложении выделяются альготоксины (микроцистины), которые регулярно отмечаются в прибрежной зоне летом и осенью [4, 5]. "Цветение" синезеленых водорослей, включая токсичные виды, вызывает комплекс неблагоприятных последствий в экосистеме Куршского залива, в том числе заболевания в зоопланктоне и ихтиофауне [4, 6]. В отдельные годы развитие фитопланктона достигает максимального уровня "гиперцветения" вод, при котором наблюдается сгон водорослей и в район Куршской косы. На участках, покрытых зарослями макрофитов, и в небольших бухтах в этот период биомасса фитопланктона за счет накопления может достигать десятков–сотен кг/м³. В воде резко возрастают процессы разложения, формируются локальные анаэробные зоны и происходит замор рыб и других гидробионтов. Такие явления для прибрежной зоны были описаны ранее [7].

В последние годы уровень "цветений" залива снижается, в частности, в 2022 г. не наблюдалось "гиперцветения" воды и видимого скопления фитопланктона в прибрежной зоне, что может быть признаком улучшения качества вод. Целью работы были комплексное исследование Куршского залива и характеристика "фоновое" состояния прибрежной экосистемы (в том числе условий среды для развития молоди рыб) в отсутствие летнего "гиперцветения" вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для получения данных об изменениях гидрологических и гидробиологических показателей в прибрежной зоне Куршского залива проводились ежемесячные исследования с января по октябрь 2022 г. в районе научно-экспериментальной базы (НЭБ) "АтлантНИРО" (13-й км Куршской косы). Отбор проб выполнялся на двух стандартных точках: у берега в небольшой бухте, отделенной от залива зарослями макрофитов (глубина 0,8 м), и на свале глубин в 200 м от берега (глубина 3,0 м).

Детальное пространственное исследование прибрежной зоны было проведено в летний период (11 августа 2022 г.) в юго-западной части российской акватории вдоль Куршской косы на четырех разрезах: I) от пос. Лесного, II) от научно-экспериментальной базы "АтлантНИРО", III) от музея НП "Куршская коса", IV) от пос. Рыбачьего. На каждом разрезе исследования выполнялись на трех точках, расположенных соответственно у берега (глубина 0,5–0,8 м), на свале глубин в 150–200 м от берега (глубина 1,4–3,0 м) и в открытой акватории залива в 500–600 м от берега (глубина 3,6–5,4 м).

Перед данными работами (3 августа 2022 г.) была исследована вся российская акватория Куршского залива. Для получения пространственной изменчивости показателей отбор выполнен на 11 точках.

Проводились натурные измерения и отбор проб в подповерхностном слое для определения гидрологических (температура, соленость, прозрачность), гидрохимических (рН, растворенный кислород, БПК₅, минеральные формы азота и фосфора) и гидробиологических (хлорофилл) показателей. Также в прибрежной зоне на четырех разрезах 11 августа 2022 г. отобраны пробы для определения микробиологических показателей.

Пробы воды на хлорофилл "а" фильтровали через фильтры МФАС-МА-6 и определяли оптические плотности ацетоновой вытяжки спектрофотометрическим методом на спектрофотометре LEKI SS 2109 UV согласно ГОСТ 17.1.04.02-90. Колониеобразующие единицы (КОЕ) сапрофитных бактерий подсчитывали после инкубации посевов при 37 °С согласно МУК 4.2.1884-04. Учет численности бактерий проводили по первому разведению. Содержание в воде растворенного кислорода, величины БПК₅, аммонийного азота, азота нитратов, фосфора фосфатов определяли стандартными методами [8].

Оценку загрязнения вод проводили в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения, указанных в приказе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Куршский залив представляет собой мелководную лагуну (средняя глубина 3,8 м, максимальная – 5,8 м), для которой характерна выраженная сезонная динамика гидрологических и гидрохимических показателей, определяющих развитие планктонных сообществ.

Активная вегетация фитопланктона в Куршском заливе начинается после таяния и очищения водоема ото льда, в этот период может происходить интен-

сивное развитие холодноводных диатомовых водорослей, и содержание хлорофилла "а" как показатель обилия фитопланктона может превышать 100 мкг/л [9]. Зимний период 2022 г. характеризовался отсутствием полного замерзания, и пик концентраций хлорофилла "а" (70 мкг/л в открытой части и 91 мкг/л у берега) наблюдался в конце февраля, когда температура воды была 2–3 °С (рис. 1а). Развитию фитопланктона благоприятствовало высокое содержание биогенных элементов за счет зимней аккумуляции (концентрация нитратов достигала максимума – 1007 мкгN/л) (рис. 1б). Пик развития водорослей был достаточно кратковременным, и уже в марте–апреле 2022 г. концентрации хлорофилла "а" были на низком уровне, несмотря на высокое содержание минерального азота в воде. В мае концентрация хлорофилла "а" вновь увеличивалась, особенно на свале глубин до 31 мкг/л, что, вероятно, связано со сменой состава фитопланктона из-за прогрева воды до 14–15 °С. У берега концентрации хлорофилла "а" были в 2–3 раза ниже, возможно, из-за конкурентных взаимодействий с быстро растущими макрофитами (рис. 1а). Весеннее развитие фитопланктона обусловило исчерпание биогенных элементов, накопленных в зимний период, в частности, концентрация нитратов к началу июня снизилась до минимума – 3 мкгN/л, после чего оставалась в пределах 4–25 мкгN/л до конца вегетационного периода. Как следствие, в июне наблюдалось характерное сезонное уменьшение обилия фитопланктона до минимального уровня (хлорофилл "а" 5–7 мкг/л) (рис. 1).

Согласно многолетним исследованиям при прогреве воды выше 20 °С в июле в Куршском заливе начинается массовое развитие синезеленых водорослей, приводящее к длительному "цветению" воды с июня по октябрь. В отдельные годы интенсивного прогрева вод содержание хлорофилла "а" достигает величин, характерных для "гипертрофных" водоемов (более 100 мкг/л), что может приводить к скоплению и разложению фитопланктона в прибрежной зоне и замору рыб [4, 7, 9]. Лето 2022 г. характеризовалось постепенным прогревом воды до 22–23 °С в начале июля, однако особенностью было резкое последующее охлаждение вод ниже 20 °С с 10 июня по 2 августа [10], что, возможно, стало ингибирующим фактором в ключевой сезонный период, когда по многолетним данным может начинаться массовое развитие синезеленых водорослей, ведущее к "гиперцветению" вод Куршского залива.

В июле 2022 г. в прибрежной зоне Куршского залива развитие фитопланктона было низким, и концентрации хлорофилла "а" составляли 27 мкг/л на свале глубин и всего 12 мкг/л – у берега среди зарослей макрофитов. Более интенсивное развитие фитопланктона, соответствующее достаточно низкому уровню "цветения" воды, наблюдалось только в августе 2022 г., когда концентрации хлорофилла "а" на свале глубин превысили 50 мкг/л. В осенний период отмечалось постепенное снижение концентрации хлорофилла "а" до 43 мкг/л в сентябре и 28 мкг/л – в октябре, одновременно с охлаждением воды. Такое сезонное снижение соответствует ранее установленным закономерностям снижения продукции и биомассы фитопланктона, в том числе в прибрежной зоне [9]. Скопления водорослей в прибрежной зоне не наблюдалось. У берега в бухте, отделенной от залива поясом макрофитов, концентрации хлорофилла "а" в июле–сентябре 2022 г. были в 2–3 раза ниже (рис. 1а), вероятно, заросли тростника и камыша выполняли барьерную функцию, задерживающую поступление водорослей. Аналогичное более низкое обилие фитопланктона у берега, включая потенциально-токсичные синезеленые водоросли, отмечалось в районе НЭБ "АтлантНИРО" при круглогодичном мониторинге в 2020 г. [3].

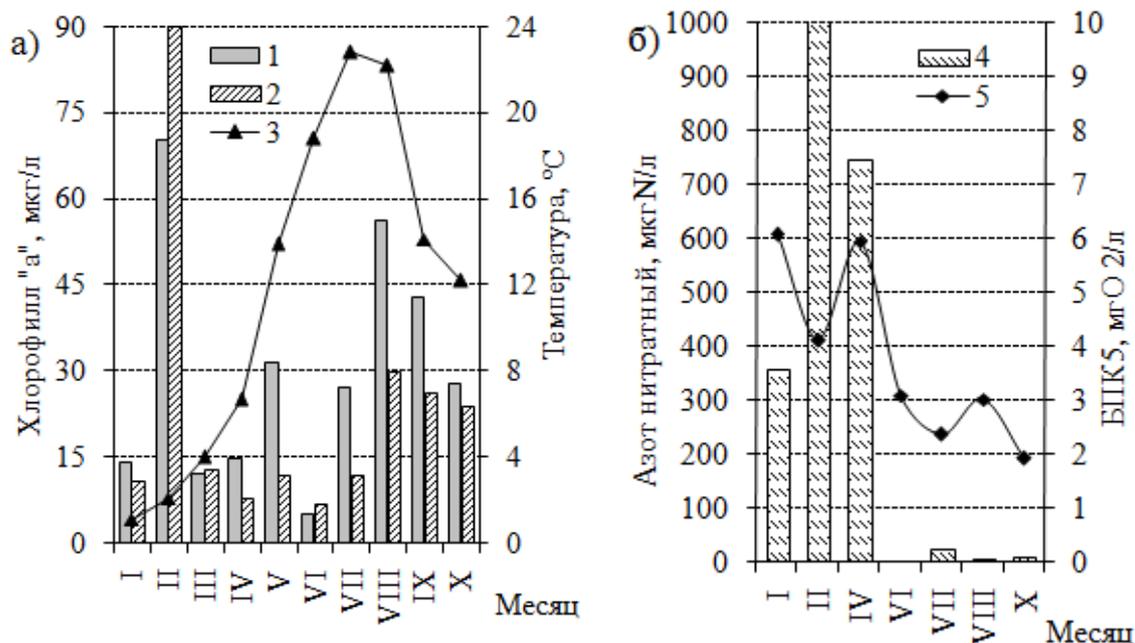


Рис. 1. Сезонная динамика хлорофилла "а" на свале глубин (а) и у берега (2), температуры воды (3), нитратного азота (4), БПК₅ (5) в прибрежной зоне в 2022 г.
 Fig. 1. Seasonal dynamics of chlorophyll "a" at the depth slope (a) and near the coast (2), water temperature (3), nitrate nitrogen (4), BOD₅ (5) in coastal zone in 2022

Изучение всей российской акватории Куршского залива 3 августа 2022 г. также показало отсутствие "гиперцветения" вод. Концентрации хлорофилла "а" в поверхностном слое не превышали 65 мкг/л с максимумом в восточной части залива (рис. 2а). Средняя концентрация хлорофилла "а" была всего 47 мкг/л, что в 3 раза ниже среднегодовой величины за 2000–2021 гг. и многократно ниже, чем в годы "гиперцветения" воды. Вдоль Куршской косы концентрация хлорофилла "а" характеризовалась средним по заливу уровнем, а в корне косы была минимальной (25 мкг/л). На всей акватории залива в фитопланктоне шел активный фотосинтез, и насыщение воды кислородом составляло 121–182 %. Концентрации нитратов, нитритов и фосфатов были на минимальном уровне (1–5 мкгN/л и 1–3 мкгP/л). Показателем низкого уровня "цветения" вод и небольшой биомассы водорослей были относительно невысокие величины БПК₅ (4,4–8,1, в среднем для акватории 6,1 мгO/л) для данного периода в Куршском заливе (рис. 2б), тогда как в период "гиперцветения" вод в предыдущие годы величины БПК₅ составляли 14–26, в среднем 15–21 мгO/л. Содержание аммонийного азота также было относительно невысоким (10–77, в среднем – 39 мкгN/л), что значительно ниже, чем наблюдается в период "гиперцветения" и последующего разложения водорослей, когда могли наблюдаться концентрации, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоемов (400 мкг/л).

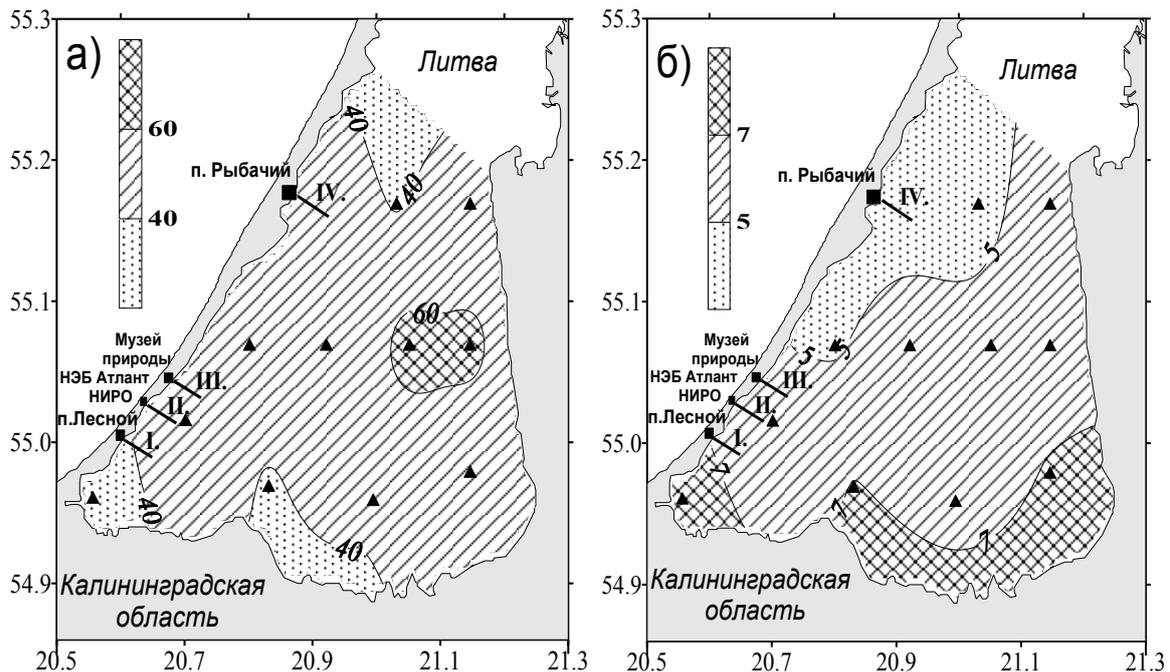


Рис. 2. Пространственное распределение хлорофилла "а" (а) и БПК₅ (б) в российской части Куршского залива в августе 2022 г. (▲ – точки мониторинга, I–IV – разрезы в прибрежной зоне)

Fig. 2. Spatial distribution of chlorophyll "a" (a) and BOD₅ (б) in the Russian part of the Curonian Lagoon in August 2022 (▲ – monitoring points, I–IV – sections in the coastal zone)

Отсутствие "гиперцветения" вод из-за относительно слабого развития фитопланктона летом 2022 г. позволило провести детальные исследования прибрежной зоны вдоль Куршской косы для характеристики ее "фоновое" состояние без неблагоприятного воздействия массового развития потенциально-токсичных синезеленых водорослей.

В период экспедиционных работ 11 августа 2022 г. наблюдался максимальный летний прогрев вод (22,0–23,6 °С), при этом разница между отдельными точками определялась динамикой суточного прогрева вод в заливе.

Концентрации хлорофилла "а" в районе исследования варьировали от 15 до 43, в среднем 26 мкг/л, что соответствует низкому уровню развития летнего фитопланктона Куршского залива (рис. 3). Наибольшие концентрации (40–43 мкг/л) отмечены у открытого берега (без зарослей макрофитов) в районе пос. Лесного и Рыбачьего, которые активно используются для рекреационных целей относительно другой прибрежной территории НП "Куршская коса". Повышенный уровень фитопланктона в этих точках, возможно, обусловлен поступлением биогенных элементов с загрязненными водами с берега. В открытой акватории были близкие значения хлорофилла "а" (21–30 мкг/л), а на свале глубин обычно отмечался промежуточный уровень между берегом и открытой акваторией. Полученный на большинстве точек диапазон хлорофилла "а" был характерен для эвтрофных вод, имеющих слабозагрязненное качество (21–40 мкг/л), а в районе пос. Лесного и Рыбачьего состояние вод

ухудшалось до эвполитрофного уровня с умеренно загрязненными водами (хлорофилл "а" 41–75 мкг/л) [11].

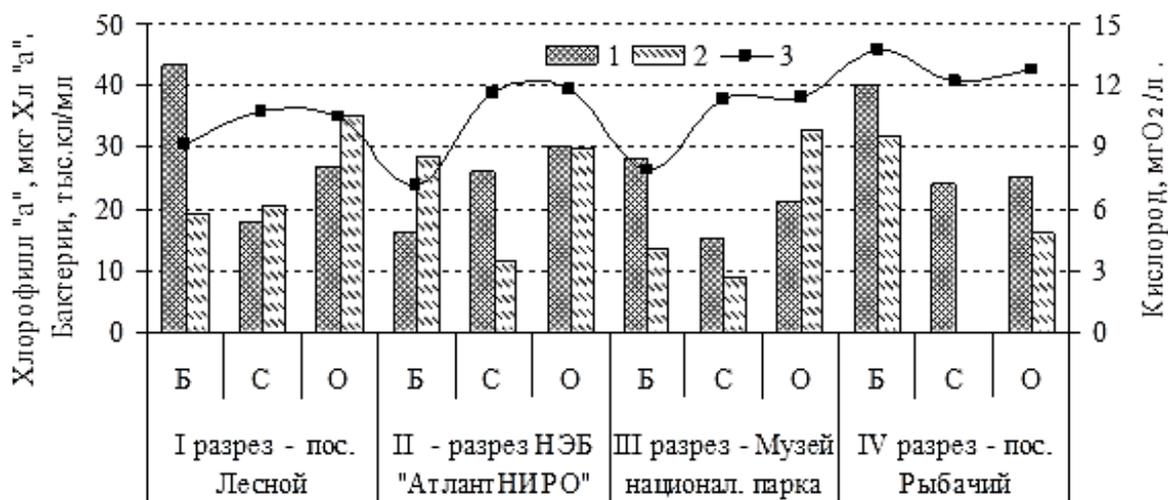


Рис. 3. Распределение хлорофилла "а" (1), сапрофитных бактерий (2) и растворенного кислорода (3) на разрезах в Куршском заливе в августе 2022 г. (Б – у берега, С – свал глубин, О – открытая акватория)

Fig. 3. Distribution of chlorophyll "a" (1), saprophytic bacteria (2) and dissolved oxygen (3) in sections in the Curonian Lagoon in August 2022 (B – near the coast, C – depth slope, O – open water area)

О возможном загрязнении свидетельствуют повышенные концентрации у берега фосфатов, которые часто поступают с бытовыми стоками. В частности, в районе пос. Лесного у берега их содержание (15 мкгР/л) было значительно выше, чем на свале глубин и в открытой акватории (1–3 мкгР/л). В то же время концентрации нитратов (1–16 мкгN/л), нитритов (1–3 мкгN/л) были низкими на всех станциях.

Результатом слабого развития фитопланктона стала достаточно высокая прозрачность воды для Куршского залива: до дна (0,6–0,8 м) в прибрежных бухтах в зарослях макрофитов и 0,8–1,0 м в открытой акватории. Величины БПК₅ составляли 3,6–7,4 мгО₂/л, при этом у берега они были не выше, чем в открытой акватории (рис. 4). Полученные величины БПК₅ превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2,1 мгО₂/л), что постоянно отмечается в высокоэвтрофном Куршском заливе, но были многократно ниже, чем у берега в период "гиперцветения". В результате отсутствия скопления и разложения водорослей в прибрежной зоне не формировались анаэробные условия и не было признаков гибели рыб, локально наблюдаемых ранее [4, 7, 9]. Содержание растворенного кислорода (9,11–13,73 мгО₂/л) в воде на большинстве станций превышало 100 % насыщения (104–162 %), что свидетельствовало об активном фотосинтезе водорослей. Лишь на двух станциях, расположенных в небольших бухтах, закрытых зарослями камыша и тростника, отмечался небольшой дефицит кислорода (81–91 %), но концентрации (7,15–7,85 мгО₂/л) были выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов (6 мгО₂/л) (рис. 3). Как следствие, на всей прибрежной акватории были благоприятные кислородные условия для рыб и других гидробионтов.

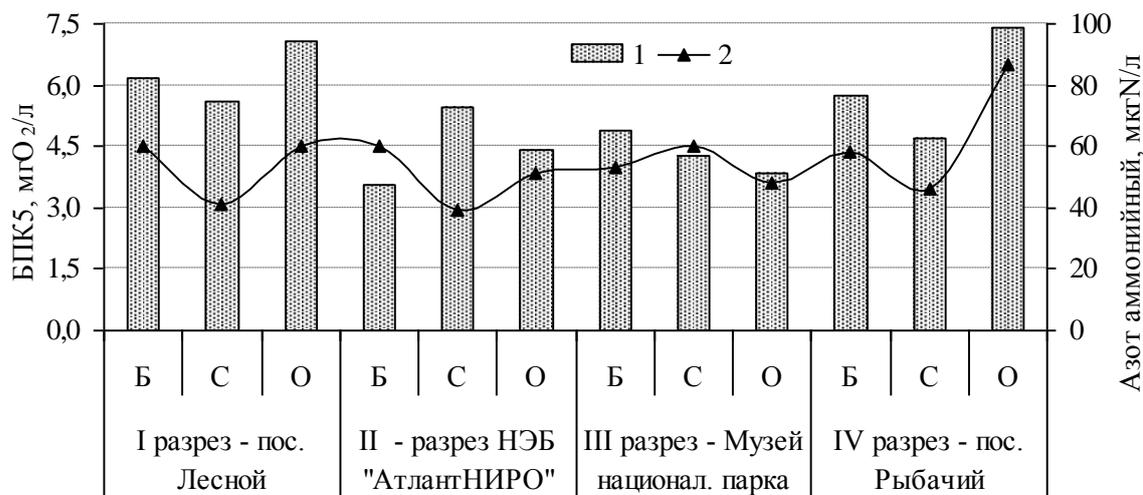


Рис. 4. Распределение БПК₅ (1) и аммонийного азота (2) на разрезах в Куршском заливе в августе 2022 г. (Б – у берега, С – свал глубин, О – открытая акватория)
Fig. 4. Distribution of BOD₅ (1) and ammonium nitrogen (2) in sections in the Curonian Lagoon in August 2022 (B – near the coast, C – depth slope, O – open water area)

Концентрации аммонийного азота как результат первого этапа разложения органического вещества были относительно низкими (39–87, в среднем 55 мкгN/л). У берега они были не выше, чем в открытой акватории, и в целом соответствовали распределению БПК₅ ($r = 0,48$) (рис. 4). Их величины были близки к среднему уровню в прибрежной зоне за 2022 г. и многократно ниже, чем в период "гиперцветения", скопления и разложения водорослей у берега (более 800 мкгN/л).

Численность сапрофитных бактерий варьировала от 8,8 до 35,3, в среднем 22,5 тыс. КОЕ/мл (рис. 3). Наибольшая их численность (более 30 тыс. КОЕ/мл) была в открытой части, возможно, как результат разложения органического вещества синезеленых водорослей, образующегося при "цветении" залива. Как исключение, на разрезе у пос. Рыбачьего численность сапрофитных бактерий была максимальной у берега без макрофитов наряду с высоким содержанием в воде хлорофилла "а". Наименьшая численность сапрофитных бактерий (менее 13 тыс. КОЕ/мл) отмечена у берега и на свале глубин напротив музея НП. Данный район удален от населенных пунктов и находится в зоне макрофитов, которые, возможно, оказывают деэвтрофирующее влияние. Полученные в прибрежной зоне Куршского залива величины численности сапрофитных бактерий соответствуют α -мезосапробным "загрязненным" водам (10–50 тыс. КОЕ/мл), и только на одной станции у Музея отмечено более высокое качество воды (β -мезосапробность) согласно ГОСТ 17.1.2.04-77. Отмеченный уровень сапробности по численности бактерий соответствует эвтрофному типу вод по хлорофиллу "а" (обилию фитопланктона) в августе 2022 г.

Предыдущие исследования микроорганизмов в прибрежной зоне Куршского залива показали, что летом, когда начинается "цветение" воды, могут наблюдаться их максимальные численности, сохраняющиеся на высоком уровне до осени. Одновременно отмечается значительная межгодовая изменчивость. В частности, в июне–июле 2014 г. численность бактерий составляла 510–1300 тыс. КОЕ/мл,

снижаясь в октябре до 100–410 тыс. КОЕ/мл [12, 13]. Характерно, что в этот период в заливе наблюдалось "гиперцветение" воды (хлорофилла "а" более 100 мкг/л). В июне–июле 2016 г., когда оно не отмечалось, численность бактерий составляла 0,14–2,8 тыс. КОЕ/мл [12], а в 2022 г. была многократно ниже уровня, наблюдаемого при "гиперцветении" в 2014 г., но на порядок выше, чем в июне 2016 г. Возможно, более высокая численность в августе 2022 г., даже в отсутствие "гиперцветения" воды, отражала постепенное накопление органических веществ и влияние гидрометеорологических условий на развитие бактерий в летний период.

В целом при отсутствии интенсивного "цветения" в открытой акватории Куршского залива в прибрежной зоне в августе 2022 г. концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий, величины БПК₅ и аммонийного азота были многократно ниже, чем отмечалось ранее при "гиперцветении" воды. В частности, в отдельные годы эти показатели (до 500–800 мкгХл/л в августе 2002 г., до 1300 тыс. КОЕ/мл в июле 2014 г.) соответствовали максимальному гипертрофному и гиперсапробному уровню, неблагоприятно воздействующему на водные экосистемы, а в воде периодически формировались анаэробные условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные ежемесячные исследования в 2022 г. показали отсутствие "гиперцветения" воды в Куршском заливе и скопление фитопланктона в прибрежной зоне, что позволило получить характеристики ее "фоновое" состояния без неблагоприятного воздействия массового развития потенциально-токсичных синезеленых водорослей. В прибрежной зоне в августе 2022 г. показатели экологического состояния соответствовали преимущественно эвтрофным, α-мезосапробным, слабо или умеренно загрязненным водам по концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий. Содержание кислорода было благоприятным для гидробионтов, а величины БПК₅ и аммонийного азота свидетельствовали о небольшом накоплении и разложении органического вещества (в том числе биомассы фитопланктона) в прибрежной зоне. Качество вод было значительно лучше, чем наблюдалось ранее при "гиперцветении" залива, когда в отдельные годы эти показатели (в 10–20 раз выше) соответствовали максимальному гипертрофному и гиперсапробному уровням, неблагоприятно воздействующим на экосистему (заболевание и гибель гидробионтов).

Таким образом, в годы отсутствия летнего массового развития синезеленых водорослей и "гиперцветения" вод Куршского залива прибрежная зона характеризуется благоприятными условиями для рыбохозяйственного (нерест рыб и развитие молоди) и рекреационного использования в районе НП "Куршская коса".

Список источников

1. Александров С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2009. № 4. С. 27–34.
2. Минкявичус А., Пипинис И. Обзор флоры и растительности залива Куршю Марес // Куршю Марес. Вильнюс: АН Лит. ССР, 1959. С. 109–133.
3. Казакова Е. Ю., Дмитриева О.А. Сезонная динамика потенциально-токсичных таксонов фитопланктона прибрежной зоны Куршского залива в 2020 году // Вестник молодежной науки. 2022. № 2 (34). С. 1–8.
4. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008–2011 гг. / Е. Е. Ежова [и др.] // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". Вып. 8. Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2012. С. 81–95.
5. Смирнова М. М. Микроцистины в литорали Куршского залива в 2017 г. по данным иммунохроматографического анализа // Морской биологический журнал. 2019. Т. 4. № 1. С. 109–111.
6. Александров С. В. Влияние "цветения" синезеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива // Вода: химия и экология. 2009. № 4. С. 2–6.
7. Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit / S. Aleksandrov, A. Krek, E. Bubnova, A. Danchenkov // Baltica. 2018. V. 31. No 1. P. 1–12.
8. Сапожников В. В. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. Москва: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
9. Александров С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО, 2010. 227 с.
10. Температура воды в Куршском заливе. URL: <https://travel.org.ua/water/maj/litva/kurshskij-zaliv-temperatura-vody> (дата обращения: 25.10.2022).
11. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Москва: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.
12. Цыбалева Г. А., Кузьмин С. Ю., Авдеева Е. В. Характеристика зоопланктона западного побережья Куршской косы в районах антропогенного воздействия // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". Вып. 14. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 49–58.
13. Смирнова М. М. Осенний бактериопланктон прибрежной части Куршского залива в районе музейного комплекса национального парка "Куршская коса" // Проблемы природопользования, сохранения биоразнообразия и культурного наследия на особо охраняемых природных территориях России: Всерос. научно-практич. конф: материалы. Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2017. С. 98–105.

References

1. Aleksandrov S. V. Mnogoletnie izmeneniya troficheskogo statusa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltiyskogo morya [Long-term changes in the trophic status of the Curonian and Vistula Gulfs of the Baltic Sea]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2009, no. 4, pp. 27–34. (In Russ.).
2. Minkyavichus A., Pipinis I. *Obzor flory i rastitel'nosti zaliva Kurshyu Mares* [Overview of the flora and vegetation of the Curs-Mares Bay]. Vilnius, USSR Academy of Sciences Publ., 1959, 549 p.
3. Kazakova E. Y., Dmitrieva O. A. Sezonnaya dinamika potentsial'no-toksichnykh taksonov fitoplanktona pribrezhnoy zony Kurshskogo zaliva v 2020 godu [Seasonal dynamics of potentially toxic phytoplankton taxons in the coastal zone of the Curonian Lagoon in 2020]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2022, no. 34, pp. 1–8. (In Russ.).
4. Ezhova E. E. [et al.] Vredonosnye tsveteniya mikrovdorosley v Kurshskom zalive Baltiyskogo morya v 2008–2011 gg. [Harmful blooms of microalgae in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea in 2008–2011]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"* [Problems of nature management, conservation of biodiversity and cultural heritage in specially protected natural areas of Russia]. Kaliningrad, IKBFU Publ., 2012, no. 8, pp. 81–95. (In Russ.).
5. Smirnova M. M. Mikrotsistiny v litorali Kurshskogo zaliva v 2017 g. po dannym immunokhromatograficheskogo analiza [Presence of microcystins in the littoral zone of the Curonian Lagoon by the data of immunochromatographic analysis in 2017]. *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 109–111. (In Russ.).
6. Aleksandrov S. V. Vliyanie "tsveteniya" sinezelenykh vdorosley na ekologicheskoe sostoyanie Kurshskogo zaliva [Impact of blue-green algae "blooming" on the ecological status of the Curonian Lagoon]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2009, no. 4, pp. 2–6. (In Russ.).
7. Aleksandrov S., Krek A., Bubnova E., Danchenkov A. Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit. *Baltica*, 2018, vol. 31, no. 1, pp. 1–12. (In Russ.).
8. Sapozhnikov V. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyomov i perspektivnykh dlya promysla rayonov Mirovogo okeana* [Guidelines for the chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fishery bodies of water and areas of the World Ocean promising for fishing]. Moscow, 2003, 202 p. (In Russ.).
9. Aleksandrov S. V. *Pervichnaya produktsiya planktona v lagunakh Baltiyskogo morya (Vislinskiy i Kurshskiy zalivy)* [Primary plankton production in the Baltic Sea lagoons (the Vistula and Curonian Lagoons)]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2010, 228 p. (In Russ.).
10. *Temperatura vody v Kurshskom zalive* [Curonian Lagoon water temperature]. Available at: <https://travel.org.ua/water/maj/litva/kurshskij-zaliv-temperatura-vody> (Accessed 25 October 2022). (In Russ.).

11. Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya* [Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions]. Moscow, Nauka Publ., 2005, vol. 1, 281 p. (In Russ).

12. Tsybaleva G. A., Kuzmin S. Y., Avdeeva E. V. *Kharakteristika zooplanktona zapadnogo poberezh'ya Kurshskoy kosy v rayonakh antropogennogo vozdeystviya* [Characteristics of zooplankton on the western coast of the Curonian Spit in areas of anthropogenic impact]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"*. [Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the Curonian Spit National Park]. Kaliningrad, BFU im. I. Kanta Publ., 2018, no. 14, pp. 49–58. (In Russ.).

13. Smirnova M. M. *Osenniye bakterio plankton pribrezhnoy chasti Kurshskogo zaliva v rayone muzeynogo kompleksa natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"* [Autumn bacterioplankton of the coastal part of the Curonian Lagoon in the area of the museum complex of the National Park "Curonian Spit"]. *Materialy vseros. nauchno-praktich. konf. "Problemy prirodopol'zovaniya, sokhraneniya bioraznoobraziya i kul'turnogo naslediya na osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriyakh Rossii"* [Proc. All-Russian scientific and practical conference "Problems of nature management, conservation of biodiversity and cultural heritage in specially protected natural areas of Russia"]. Kaliningrad, BFU im. I. Kanta Publ., 2017, pp. 98–105. (In Russ.).

Информация об авторах

С. В. Александров – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией гидробиологии

М. М. Смирнова – младший научный сотрудник

А. В. Сташко – старший инженер

Information about the authors

S. V. Aleksandrov – PhD in Biology, Associate Professor, Head of the Laboratory of Hydrobiology

M. M. Smirnova – scientific researcher

A. V. Stashko – senior engineer

Статья поступила в редакцию 08.11.2022; одобрена после рецензирования 18.11.2022; принята к публикации 25.11.2022.

The article was submitted 08.11.2022; approved after reviewing 18.11.2022; accepted for publication 25.11.2022.