



СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОТЕНЦИАЛЬНО-ТОКСИЧНЫХ
ТАКСОНОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ
КУРШСКОГО ЗАЛИВА В 2020 ГОДУ

Е. Ю. Казакова, студентка 4 курса бакалавриата,
e-mail: ekkazur@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет».

О. А. Дмитриева, старший научный сотрудник, кандидат
биологических наук,
e-mail: phytob@yandex.ru
Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),
Калининград;
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва.

В работе приведены результаты исследования изменения численности и биомассы потенциально-токсичных таксонов цианобактерий в открытой и прибрежной частях Куршского залива с января по декабрь 2020 г. Показано, что динамика развития токсичных цианобактерий зависит от совокупности факторов окружающей среды, главным образом, от температуры воды, а также от экологических особенностей отдельных представителей микроводорослей.

Ключевые слова: потенциально-токсичные цианобактерии, Куршский залив, факторы среды.

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив – прибрежная лагуна Балтийского моря. Он отделен от моря узкой песчаной пересыпью, на которой расположен национальный парк «Куршская коса». Залив имеет высокую рекреационную значимость для Калининградского региона, а также важное рыбохозяйственное значение и в современный период оценивается как высокопродуктивный водоем [7, 11]. Ежегодно в Куршском заливе регистрируют «цветение» воды цианобактериями [1, 2, 5, 6, 9, 12, 15]. Этому способствуют гидрологические особенности водоема и повышенная антропогенная нагрузка на его экосистему [1]. «Цветение» воды потенциально-токсичными (ПТ) видами цианобактерий может оказывать отрицательное воздействие на состоянии всего водоема, особенно в его прибрежной зоне, где регистрируют гибель гидробионтов и локальные заморы рыб [6, 8, 14, 16, 17, 21].

К потенциально-токсичным таксонам, распространённым в Куршском заливе, относятся представители цианобактерий родов *Dolichospermum* (*Anabaena*) и *Microcystis*, а также вид *Planktothrix agardhii* [21]. Данные таксоны имеют ген, кодирующий синтез микроцистина [2,3,4,21]. Микроцистины – циклические пептиды, относящиеся к

гепатотоксинам, растворимы в воде и способны проникать через липидные мембраны живых организмов. Микроцистины попадают в воду в период массового развития токсикогенных цианобактерий в результате лизиса их клеток. В период токсичных «цветений» негативное воздействие цианотоксинов оказывает влияние на всех обитателей водоема, вызывая их угнетение, отравление и даже гибель при высоких концентрациях токсина [4, 6, 13, 16, 21]. Накапливаясь в водной среде и тканях рыб и других гидробионтов, токсины цианобактерий могут быть опасными для человека [4, 17].

Многолетний ежемесячный мониторинг состояния фитопланктона Куршского залива позволяет оценить масштабы и интенсивность «цветения» воды, межгодовую изменчивость доли потенциально-токсичных цианобактерий в водоеме. Несмотря на изученность фитопланктона Куршского залива, одновременные исследования фитопланктона и потенциально-токсичных таксонов цианобактерий мелководной прибрежной зоны и открытой части залива ранее не были описаны.

Целью данного исследования было изучение особенностей сезонной изменчивости фитопланктона, включая потенциально-токсичные таксоны цианобактерий, в открытой и прибрежной частях Куршского залива в 2020 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положена обработка и анализ 32 проб фитопланктона Куршского залива, отобранных ежемесячно (с января по декабрь) в 2020 году на двух станциях в районе научно-экспериментальной базы (НЭБ) «АтлантНИРО» (пос. Лесное). Станция № 1 расположена на удалении от берега в открытой части залива в районе свала глубин (глубина – 3 м). Станция № 2 расположена в прибрежной мелководной зоне (глубина – 0,5 м) в зарослях макрофитов (рисунок 1).

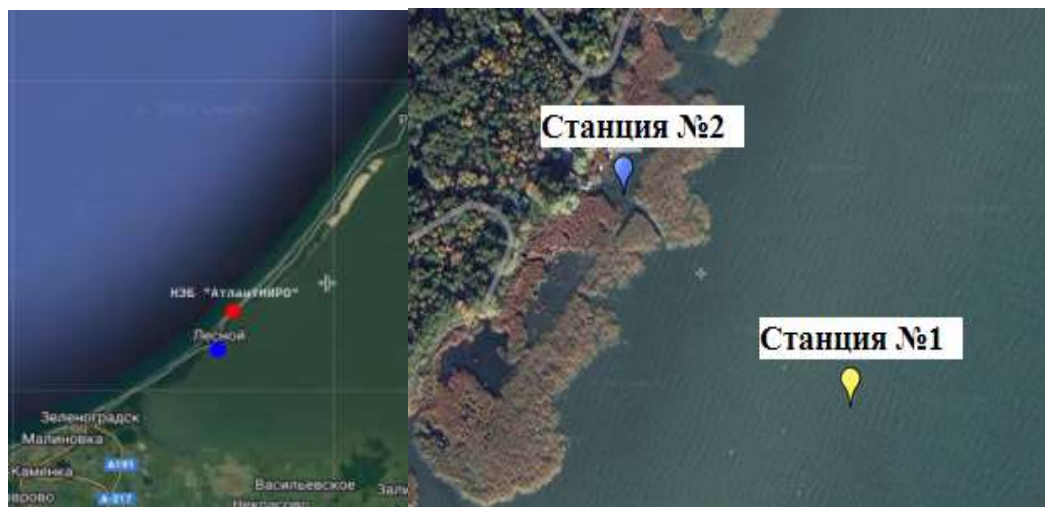


Рисунок 1 – Станции изучения фитопланктона в Куршском заливе в 2020 году

Отбор проб на станциях № 1 и № 2 осуществляли с поверхности воды. Пробы объемом 500 мл фиксировали раствором Кузьмина. Сгущение проб выполняли методом отстаивания. Обработка проб осуществлялась при помощи камеры «Нажотта» объемом 0,01 мл. Численность и биомассу фитопланктона оценивали стандартным методом, включающим в себя: расчет количества клеток и организмов в 1 л воды, определение объема клетки при помощи метода геометрического подобия и вычисление индивидуальной биомассы каждой таксономической единицы фитопланктона с последующим суммированием [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2020 г. всего было выявлено 68 таксонов цианобактерий, среди которых 11 – потенциально-токсичных: *Anabaena aequalis* O. Borge 1906, *Anabaena cylindrica* Lemmermann 1896, *Dolichospermum mendotae* (W. Trelease) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek 2009, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing 1846, *Microcystis flosaquae* (Wittrock) Kirchner 1898, *Microcystis ichthyoblabe* (G. Kunze) Kützing 1843, *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère 1974, *Microcystis smithii* Komárek & Anagnostidis 1995, *Microcystis viridis* (A. Braun) Lemmermann 1903, *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek ex Komárek 2006 и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988. Выявленные таксоны характерны для Куршского залива и отмечались ранее в разные месяцы вегетационного периода [2, 5, 8, 9].

Цианобактерии являются одной из доминирующих групп в сезонной динамике фитопланктона Куршского залива. В 2020 г. сезонная динамика биомассы фитопланктона характеризовалась одновершинным максимумом развития в августе. Суммарная биомасса фитопланктона в январе–ноябре на станции № 1 изменялась от 8,3 до 31,8 г/м³ и в среднем за вегетационный сезон составила 14,11 г/м³. Биомасса фитопланктона в январе–декабре на станции № 2 изменялась от 4,9 до 17,5 г/м³ и в среднем за вегетационный период составила 9,78 г/м³. В 2020 г. на исследуемых станциях доля цианобактерий в среднем за год составляла 33 % от суммарной биомассы фитопланктона. Доля потенциально-токсичных таксонов *Planktothrix agardhii*, *Anabaena* sp. и *Microcystis* sp. составляла 54 % от среднегодовой биомассы цианобактерий (рисунок 2).



Рисунок 2 – Доля ПТ таксонов в суммарной биомассе цианобактерий Куршского залива

В составе сообществ как на станции № 1, так и на станции № 2 среди цианобактерий наибольшим уровнем количественного развития характеризовался вид *Planktothrix agardhii*. Доля этого вида составляла 63 %, от суммарной биомассы ПТ цианобактерий. Его биомасса в течение года варьировала от 0,05 до 4,9 г/м³ и в среднем за сезон составила 1,5 г/м³. Ранее в Куршском заливе отмечалось массовое развитие и «цветение» воды преимущественно цианобактерией *Aphanizomenon flosaquae*. *Planktothrix agardhii* регистрировался в фитопланктоне в основном в конце вегетационного периода в сентябре–октябре [1, 5, 8, 9, 12]. В 2020 г. биомасса *Aphanizomenon flosaquae* была низкой, варьировала в течение года от 0,03 до 0,7 г/м³ и в среднем за вегетационный сезон составила 0,19 г/м³. Выявленные в 2020 г. особенности свидетельствуют о структурных перестройках

доминирующего комплекса видов фитопланктона, причины которых необходимо исследовать дополнительно.

Сезонная динамика ПТ таксонов цианобактерий на станции № 1 в январе–мае характеризовалась невысокими значениями: 0,4–2,3 г/м³. От мая к августу происходил постепенный рост биомассы до 7,7 г/м³. К ноябрю биомасса снижалась до 1,9 г/м³ (рисунок 3).

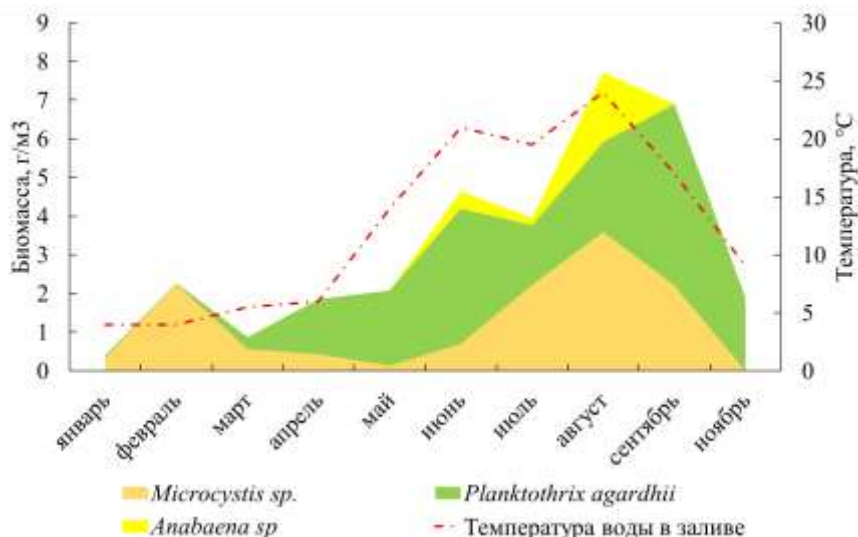


Рисунок 3 – Сезонная динамика потенциально-токсичных таксонов цианобактерий и температуры воды на станции № 1

Сезонная динамика ПТ таксонов цианобактерий на станции № 2 в январе–июле характеризовалась невысокими значениями: 0,2–2,8 г/м³. От июля к августу происходил рост биомассы до 8,1 г/м³. От сентября к декабрю биомасса постепенно снижалась от 2,7 до 0,6 г/м³ (рисунок 4).

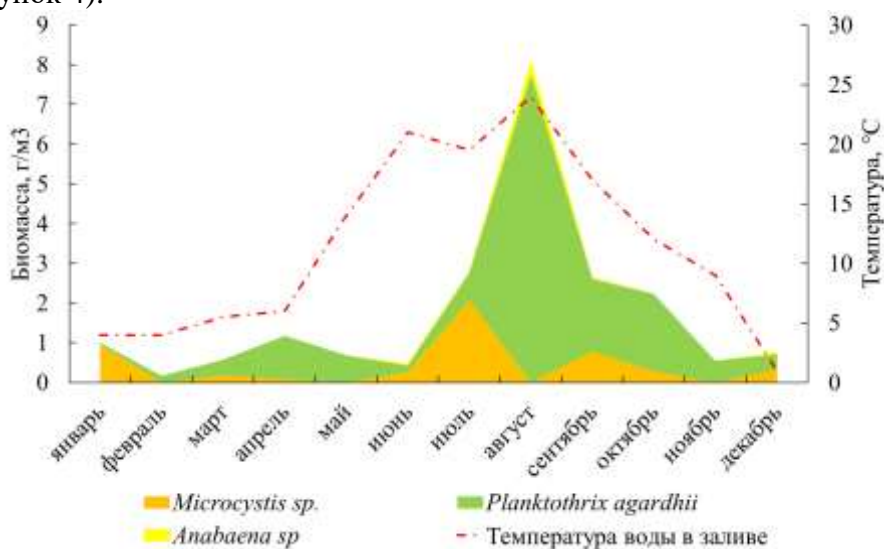


Рисунок 4 – Сезонная динамика потенциально-токсичных таксонов цианобактерий и температуры воды на станции № 2

Возможно, что одним из факторов, вызывающих массовое развитие цианобактерий в Куршском заливе, был рост температуры воды до оптимальных значений, необходимых для массового развития потенциально-токсичных видов фитопланктона. Для *Planktothrix*

agardhii оптимальной температурой для роста считается диапазон от 12 до 19 °С, для представителей рода *Microcystis* – от 15 до 22 °С, для представителей рода *Anabaena* – от 20 до 26 °С [5, 8, 12]. С мая по август среднее значение температуры воды в Куршском заливе было благоприятным для роста представителей этих таксонов [18]. Таким образом, динамика биомассы ПТ таксонов на станциях № 1 и № 2 была сходной. «Отставание» в росте биомассы и более низкие ее значения с января по июнь на станции № 2, по-видимому, связаны с ингибирующим влиянием макрофитов на фитопланктон в мелководной прибрежной зоне залива [14].

Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по рекреационному использованию водоемов численность клеток потенциально-токсичных цианобактерий в водоеме не должна превышать 20 млн. кл./л [19]. В 2020 г. в августе на двух станциях этот показатель значительно превышал установленный норматив: в 6 раз на станции № 1 и в 4,5 раза – на станции № 2. На станции № 1 численность клеток потенциально-токсичных водорослей соответствовала нормативным показателям ВОЗ лишь в марте и в январе (рисунок 5).

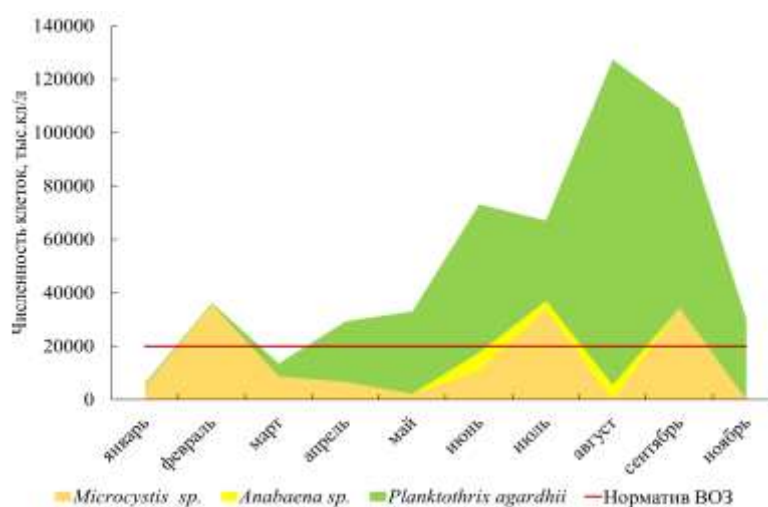


Рисунок 5 – Динамика численности клеток ПТ цианобактерий и уровень численности ПТ таксонов цианобактерий (согласно нормативу ВОЗ) на станции № 1

На станции № 2 качество воды отвечало стандартам уровня количества цианобактериальных клеток ВОЗ в январе, феврале, мае, июне, ноябре и декабре (рисунок 6).

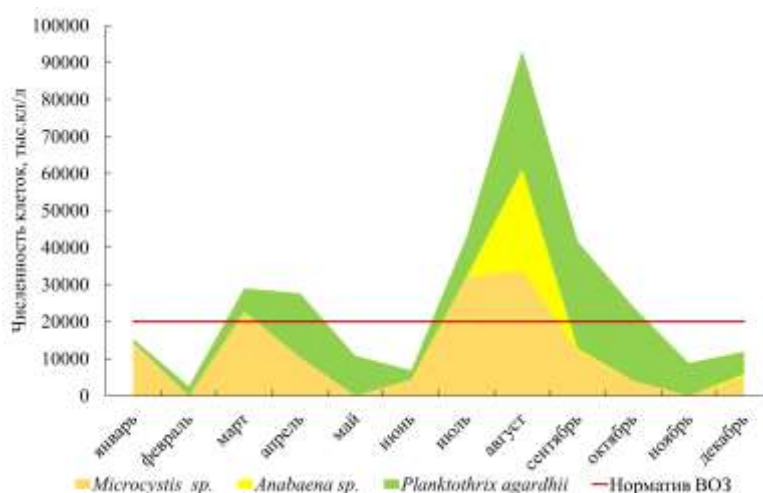


Рисунок 6 – Динамика численности клеток ПТ цианобактерий и уровень численности ПТ таксонов цианобактерий (согласно нормативу ВОЗ) на станции № 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2020 году с января по декабрь было выявлено 68 таксонов цианобактерий, из которых 11 потенциально-токсичных: *Anabaena aequalis*, *Anabaena cylindrica*, *Dolichospermum mendotae*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flosaquae*, *Microcystis ichthyoblabe*, *Microcystis novacekii*, *Microcystis smithii*, *Microcystis viridis*, *Microcystis wesenbergii* и *Planktothrix agardhii*. Наибольшую долю в биомассе потенциально-токсичных цианобактерий имел вид *Planktothrix agardhii*, который в 2020 г. в течение вегетационного сезона имел более высокие показатели биомассы, чем обычный для Куршского залива вид – возбудитель «цветения» воды *Aphanizomenon flosaquae*, отмечавшийся в водоеме на протяжении многих лет, но не являющийся ПТ. Полученные результаты свидетельствуют о структурных перестройках доминирующего комплекса видов фитопланктона Куршского залива в 2020 г.

Сезонная динамика биомассы потенциально-токсичных цианобактерий на станциях характеризовалась односторонним максимумом в августе. На более глубоководной станции № 1 отмечали постепенное увеличение биомассы потенциально-токсичных таксонов от мая к августу одновременно с ростом температуры воды. На мелководной станции № 2 от июня к августу наблюдали резкое увеличение биомассы ПТ таксонов цианобактерий. Повышенная биомасса цианобактерий на этой станции формировалась в результате сезонного увеличения температуры воды, наличия барьера из макрофитной растительности, который позволял удерживать скапливающуюся в результате ветрового нагона биомассу цианобактерий в прибрежной зоне.

Согласно рекомендациям ВОЗ численность клеток потенциально-токсичных таксонов на исследуемых станциях не превышала нормативный показатель для возможности рекреационного использования воды залива на глубоководной станции № 1 только в марте и январе, тогда как на станции № 2 – в январе, феврале, мае, июне, ноябре и декабре. Более низкая биомасса на станции № 2 могла быть связана с ингибирующим влиянием макрофитной растительности на развитие ПТ цианобактерий. Превышение норматива ВОЗ на станции № 1 свидетельствует об увеличении риска использования воды из залива в период массового развития ПТ таксонов цианобактерий практически во все месяцы вегетационного периода в рекреационных и хозяйственно-бытовых целях без применения специальных методов очистки.

Авторы выражают благодарность доктору биологических наук, профессору **Науменко Елене Николаевне** (Калининградский государственный технический университет) за помощь в выборе объекта исследования, а также **сотрудникам лаборатории гидробиологии «АтлантНИРО»** за помощь в проведении экспедиционных работ и предоставлении дополнительной информации по теме исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Александров С. В., Дмитриева О. А. Первичная продукция и показатели фитопланктона как критерии эвтрофирования Куршского залива Балтийского моря // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. №. 1. С. 104–110.
2. Белых О. И., Дмитриева О. А., Гладких А. С., Сороковикова Е. Г. Идентификация токсиногенных цианобактерий рода *Microcystis* в Куршском заливе Балтийского моря // Океанология. 2013. Вып. 53(1). С. 78–87.
3. Белых О. И. Микроцистин-продуцирующие цианобактерии в водоемах России, Беларуси и Украины / О. И. Белых, О. А. Дмитриева, А. С. Гладких [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. 21(4). С. 363–378.

4. Волошко Л. Н., Плющ А. В., Титова Н. Н. Токсины цианобактерий (Cyanobacteria, Cyanophyta) // Альгология. 2008. № 18, № 1. С. 3–20.
5. Дмитриева О. А. Исследование закономерностей пространственно-временных изменений структурных и количественных показателей фитопланктона в различных районах Балтийского моря: автореф. дисс. канд. биол. наук. Калининград, 2017. 25 с.
6. Ежова Е. Е., Смирнова М. М., Романь Н. М. Токсичность природных вод Куршского залива в период цианобактериальных «цветений» для беспозвоночных и позвоночных организмов // Проблемы природопользования, сохранения биоразнообразия и культурного наследия на особо охраняемых природных территориях России. 2017. №1 С. 48–57.
7. Ежова Е. Е. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008–2011 гг. / Е. Е. Ежова, Е. К. Ланге, Я. В. Русских [и др.] // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. – (8). С. 53–63.
8. Ланге Е. К. Фитопланктонный комплекс российской части Куршского залива (2001–2007 гг.) // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 28. С. 87–94.
9. Ланге Е. К. Изменение структуры фитопланктона Куршского залива в начале XXI века // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». 2011. №7. С. 59–78.
10. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, 1975. С. 73-91
11. Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А. Вынос минеральных форм азота и фосфора водотоками в Куршский залив // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». 2013. № 9. С. 147–159.
12. Оленина И. А. Результаты многолетних исследований фитопланктона юго-восточной Балтики и Куршского залива // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2007. Т. 149, № 3. С. 237–241.
13. Семенова А. С., Сиделев С. И., Дмитриева О. А. Экспериментальное изучение питания природных популяций *Daphnia galeata* GO Sars из Куршского залива потенциально токсигенными цианобактериями // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2017. – №. 5. – С. 557–566.
14. Семенченко В. П. Влияние высшей водной растительности на планктонное сообщество в литоральной зоне озер // [Электронный ресурс] URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/105528/1/Pages%20from%20Eco-12.pdf> (дата обращения 20.02.2022)
15. Смирнова М. М., Ежова Е. Е. Присутствие токсичных метаболитов цианобактерий из группы микроцистинов в Куршском заливе Балтийского моря в 2011–2014 гг. // Pontus Euxinus. 2015. – С. 161–163.
16. Смирнова М. М. Динамика бактериопланктона прибрежной части Куршского залива в связи с присутствием в воде токсических метаболитов цианобактерий // Процессы в геосредах. 2018. № 3. С. 40–41.
17. Сухаревич В. И., Поляк Ю. М. Глобальное распространение цианобактерий: причины и последствия (Обзор) // Биология внутренних вод. 2020. № 6. С. 562–572.
18. Температура воды // Температура воды в Куршском заливе // [Электронный ресурс] URL: <https://travel.org.ua/water/maj/litva/kurshskij-zaliv-temperatura-vody> (дата обращения 28.03.2022).
19. Chorus I., Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health significance, monitoring and management. Published on behalf of WHO by E & FN Spon. London: Chapman & Hall, 1999. 416 p.

20. Overlingė D. et al. Characterization and diversity of microcystins produced by cyanobacteria from the Curonian Lagoon (SE Baltic Sea) // *Toxins*. 2021. T. 13. No. 12. P. 838.

21. Bukaveckas P. A., Lesutienė J., Gasiūnaitė Z. R. et al. Algal toxins in the food chain—a comparative study of Chesapeake Bay and Baltic coastal food webs // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2017. Vol. 191. P. 50–59.

SEASONAL DYNAMICS OF POTENTIALLY TOXIC PHYTOPLANKTON TAXONS IN THE COASTAL ZONE OF THE CURONIAN LAGOON IN 2020

Kazakova K. Y. 4th year undergraduate student,
e-mail: ekkazur@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

Dmitrieva.O. A., PhD, Senior Scientist
e-mail: phytob@yandex.ru
Atlantic branch of “VNIRO”(“AtlantNIRO”)
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

The results of a study of changes in the abundance and biomass of potentially toxic taxa of Cyanobacteria in the open and coastal parts of the Curonian Lagoon from January to December 2020 are presents in the paper. It is shown that the dynamics of the development of toxic Cyanobacteria depended on a combination of environmental factors, mainly on water temperature, and also on the ecological characteristics of microalgae.

Keywords: potentially toxic Cyanobacteria, Curonian Lagoon, environmental factors.