

## О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА ФИТОМАССЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ

Н.А. Андреева, Е.Н. Воскресенская, О.В. Марчукова

ФГБНУ "Институт природно-технических систем",  
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28  
E-mail: andreeva.54@list.ru

Показана изменчивость объема массы фитообрастаний в прибрежной зоне Черного моря, в районе Севастополя, под влиянием Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК). Результаты получены по данным биомониторинга, гидрометеорологических параметров и индексам Южного колебания в период с 2017 по 2022 гг. В ходе исследования выявлено согласованное изменение массы микроводорослевого обрастания в бухтах Севастополя с изменением индекса ЭНЮК. При этом обнаружено, что все три максимальных всплеска величины массы обрастания совпадают с максимальными фазами развития Ла-Нинья. Это интересный, многообещающий факт в дальнейшем позволит получить статистически значимые закономерности формирования межгодовых аномалий в Черноморской экосистеме.

**Ключевые слова:** Эль-Ниньо – Южное Колебание, изменчивость, микроводоросли, объем массы обрастания, система океан-атмосфера.

Поступила в редакцию: 02.06.2023. После доработки: 18.06.2023.

**Введение.** Наблюдаемые изменения и колебания климата обуславливают состояние современных глобальных и региональных экосистем и связанных с ними проблем в окружающей среде. При этом реальным механизмом формирования современного климата является совместное действие антропогенного фактора и крупномасштабного взаимодействия в системе океан–атмосфера [1]. Должного внимания заслуживает также значимость различных микроорганизмов, как биологической составляющей климатической системы [2].

В процессах формирования качества вод особое значение имеет перифитон. Наряду с другими литоральными сообществами он способен аккумулировать биогенные элементы и загрязняющие вещества. Перифитонные водоросли вместе с другими организмами, образующими обрастание, играют значительную роль в жизни водоемов. В составе литоральных сообществ они способны аккумулировать биогенные элементы и загрязняющие вещества. Это природный биофильтр водоемов [3]. Кроме того, водоросли и цианобактерии перифитона

являются продуцентами органического вещества и кормом для водных животных. Высокое видовое разнообразие перифитона, как правило, соответствует благополучному состоянию данной экосистемы.

В состав перифитона входят фототрофы из различных систематических групп. Среди микробрастателей, образующих первичную пленку, широко распространены диатомовые водоросли, а также некоторые виды цианобактерий [4]. Однако до настоящего времени перифитон остается одним из наименее изученных компонентов континентальных вод.

Воздействие на морскую микробиоту различных факторов среды может вызывать существенные экологические последствия. Это, в свою очередь, приведёт к серьезным изменениям в морских пищевых цепях, а также к изменениям в экспорте и резервировании углерода на морском дне [5–12].

Факторами, влияющими на развитие популяций гидробионтов, в том числе, водорослей и цианобактерий, являются:

температура, солёность, освещённость, различные органические вещества [13], а также подкисление вод океана, связанное с уровнем содержания углекислого газа в атмосфере. Влияние глобальных межгодовых процессов, таких как Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), на фототрофы, как правило, изучается через призму исследования аномалий изменения климата, режима выпадения осадков и гидрологических циклов в отдельные фазы этого феномена (эпизоды Эль-Ниньо и Ла-Нинья) [14]. Изменения в характере осадков, температурного режима и гидрологических циклов из-за изменений климатических условий, таких как засуха или наводнения, вызванные фазами Эль-Ниньо или Ла-Нинья, могут оказывать глубокое влияние на поток питательных веществ, а также на другие условия морских бухт и водоемов, которые могут играть определяющую роль в формировании структуры сообщества микроводорослей и цианобактерий [15, 16]. Есть данные, показывающие влияние Эль-Ниньо 2015–2016 гг. на структуру сообщества цианобактерий водохранилища Кока (Эфиопия) [16]. Было показано [17], что в годы Ла-Нинья средняя плотность цианобактерий в водохранилище Сальто-Гранде, расположенном на границах стран Уругвая и Аргентины в Южной Америке, может увеличиваться почти до 574%.

Цель настоящей работы – изучить среднемесячные изменения массы фитобрастания на стеклах, установленных в прибрежной зоне Севастополя с 2017 по 2022 гг. в зависимости от влияния изменений разных гидрометеорологических параметров под влиянием воздействия Эль-Ниньо – Южное Колебание.

**Материалы и методы.** Перифитон изучался методом «стекла обростания» в прибрежном мелководье в течение шести лет (с 2017 по 2022 гг.). Для этого три стекла размером 25×75 мм закреплялись в резиновой трубке с прорезями на расстоянии 50 мм друг от друга. Первое

стекло погружалось на глубину 100 мм. Отбор образцов перифитона проводился ежемесячно в указанный период. В ходе исследования на стеклах обрастания определялась воздушно-сухая масса перифитона. Всего было исследовано 195 образцов.

Для изучения морфологии цианобактерий и микроводорослей перифитона в прижизненных препаратах использовался световой микроскоп Levenhuk 740T при увеличении ×400. Фотографирование культур проводилось при помощи цифровой насадки с использованием соответствующей компьютерной программы Levenhuk TourView и дальнейшей обработкой изображений в программе Adobe Photoshop CS3 Extended. Таксономическую принадлежность микроводорослей и цианобактерий устанавливали при помощи определителей [18, 19, 20].

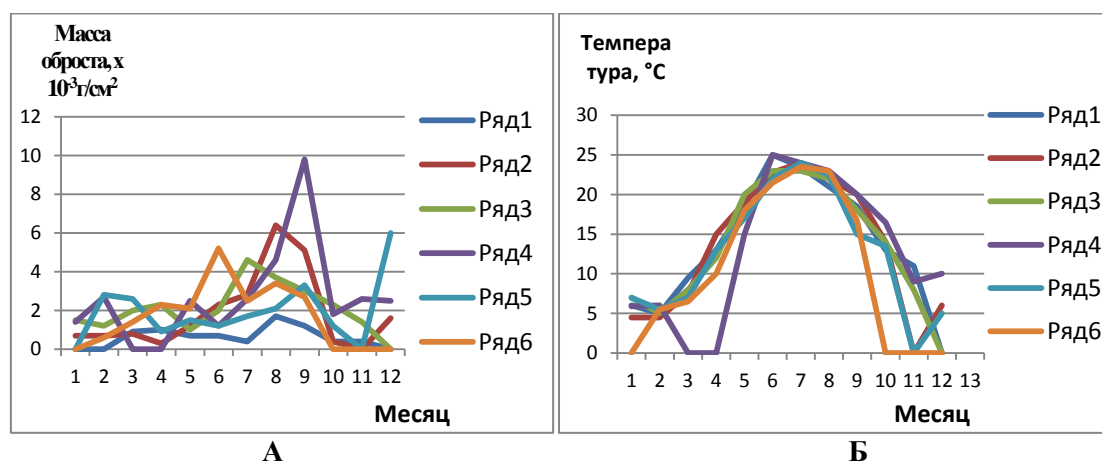
В качестве гидрометеорологических параметров были взяты: среднемесячная температура воды в прибрежной зоне бухт Севастополя (полученная во время отбора проб), среднемесячная температура воздуха и количество выпавших осадков с 2017 по 2022 гг. на метеостанции Севастополь (44,62° с.ш. и 33,53° в.д.).

Дополнительно к исследованию были привлечены индекс Южного Колебания (SOI) и температурный индекс Nino3.4, характеризующие состояние атмосферы и океана в экваториальной зоне Тихоокеанского региона. Индекс SOI представляет собой разность нормированных значений приземного давления между двумя пунктами в Тихом океане: порт Дарвин (Австралия) и о. Таити. Значения SOI для проведения исследования были получены из открытого источника [21, 22]. Индекс Nino3.4 показывает среднемесячные аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в районе с координатами 5° с.ш. – 5° ю.ш. и 170° з.д. и 120° з.д. В работе Nino3.4 рассчитывался самостоятельно по данным массива HadISST [23].

Влияние разных гидрометеорологических параметров и ЭНЮК на массу обрастания цианобактерий в бухте Южная анализировалось с помощью корреляционного и регрессионного анализов. Эпизоды событий Эль-Ниньо и Ланья с 2017 по 2022 гг. выделялись по оптимальному критерию, при котором пороговое значение аномалии ТПО, осредненной в районе Nino3.4, составило  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , а минимальная продолжительность существования этой аномалии – 5 последовательных месяцев [24]. Встречающиеся пропуски в данных заполня-

лись с помощью линейной интерполяции.

**Полученные результаты.** Проведенный анализ накопления массы обраста в течение 6-и лет в зависимости от времени года показал, что биомасса обраста в различные периоды в течение шести лет колебалась в диапазоне  $(0,4–9,8) \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$  поверхности стекла. Наиболее активно масса накапливалась с июня по сентябрь, а максимальное значение показателя было отмечено в сентябре 2020 года (рис. 1). Минимальное накопление биомассы зарегистрировано в зимне-весенний период.

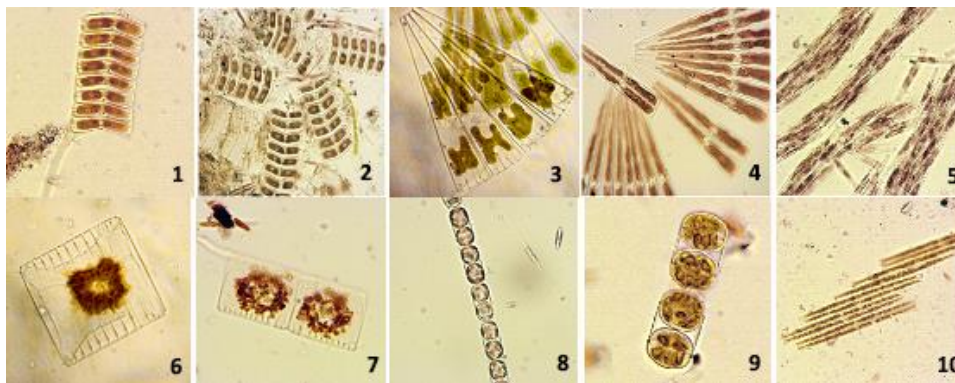


**Рис. 1.** Динамика массы обрастаний на стеклах (А) и температуры воды (Б) в 2017–2022 гг. Ряд 1 – 2017 год; Ряд 2 – 2018 год; Ряд 3 – 2019 год; Ряд 4 – 2020 год; Ряд 5 – 2021 год; Ряд 6 – 2022 год  
**Fig. 1.** Dynamics of fouling mass on glass (А) and water temperature (Б) in 2017–2022. Row 1 – 2017; Row 2 – 2018; Row 3 – 2019; Row 4 – 2020; Row 5 – 2021; Row 6 – 2022

Наши исследования показали, что в холодный период при температуре воды  $4,5–7,5^\circ\text{C}$  в составе перифитона бухты были отмечены крупные формы диатомовых водорослей. В течение шести лет основными доминирующими организмами являлись представители диатомей из рода *Achnanthes*. Кроме того, в различные годы в состав лидирующего комплекса входили и другие диатомовые, относящиеся к родам *Licmophora*, *Striatella*, *Melosira*, а иногда – *Nitzschia* и

*Bacillaria* (рис. 2). В остальные периоды четкой доминанты не выявлено. Цианобактерии обнаруживались в пробах на протяжении всех месяцев исследования с января по октябрь, но особенно активно развивались при более высокой температуре воды.

Было показано, что количество форм, одновременно встречающихся в образцах перифитона в течение шести лет колебалось от 9 до 29 единиц. Результаты представлены в табл. 1.



**Рис. 2.** Диатомовые водоросли, доминирующие в перифитоне в холодный период  
1,2 – *Achnanthes*; 3,4 – *Licmophora*; 5 – *Nitzschia*; 6,7 – *Striatella*; 8,9 – *Melosira*;  
10 – *Bacillaria*

**Fig. 2.** Diatoms dominating the periphyton during the cold period  
1,2 – *Achnanthes*; 3,4 – *Licmophora*; 5 – *Nitzschia*; 6,7 – *Striatella*; 8,9 – *Melosira*;  
10 – *Bacillaria*

**Таблица 1.** Количество форм цианобактерий и микроводорослей, встречающихся ежемесячно в перифитоне бухт Севастополя. Данные 2017–2022 гг.

Год	Январь	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	Окт.
2017	12	15	18	16	9	16	16	15	14	12
2018	19	17	18	22	22	23	20	24	21	25
2019	21	25	23	22	21	17	19	18	19	24
2020	21	22	21	20	22	18	20	23	19	22
2021	27	26	29	25	25	25	26	24	24	26
2022	26	22	24	23	19	24	22	19	23	25

Чтобы оценить влияние выбранных гидрометеорологических параметров (температуры воды ( $T_w$ ), температуры воздуха ( $T$ ), суммы осадков ( $P$ )) и ЭНЮК, выраженное через индексы SOI и Nino3.4, на массу микроводорослевого обрастания на стеклах ( $M_c$ ) в исследуемой акватории, были построены уравнения парных линейных регрессий. В результате получены следующие уравнения:

$$M_c = 0,06T_w + 1,39 + \varepsilon, \quad (1)$$

$$M_c = 0,06T + 1,29 + \varepsilon, \quad (2)$$

$$M_c = 0,01P + 1,95 + \varepsilon, \quad (3)$$

$$M_c = 0,17SOI + 2,15 + \varepsilon, \quad (4)$$

$$M_c = -0,34Nino3.4 + 2,11 + \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – отклонения от прямой.

В уравнении (5) коэффициент регрессии отрицательный, что говорит об обратном процессе, то есть с ростом по модулю отрицательных значений аномалий ТПО в районе Nino3.4, суммарная биомасса микроводорослей и цианобактерий в Черном море будет увеличиваться. Уравнения (1) и (2) сходны по значениям коэффициентов линейной регрессии. Это объясняется тем, что температура воды данной акватории в основном зависит от приземной температуры воздуха, что доказывается тесной связью между этими параметрами ( $r = 0,96$ ). Была проведена оценка коэффициентов детерминации полученных уравнений (табл. 2). Из таблицы видно, что все коэффициенты детерминации имели очень низкие значения. Это значит, что полученных линейных регрессионных моделей для описания изменчивости массы фитооб-

растания с использованием различных гидрометеорологических параметров недостаточно. Например, температура воздуха может описать только 8% изменчивости  $M_c$ , а осадки – всего лишь 1% дисперсии  $M_c$ . Следовательно, для

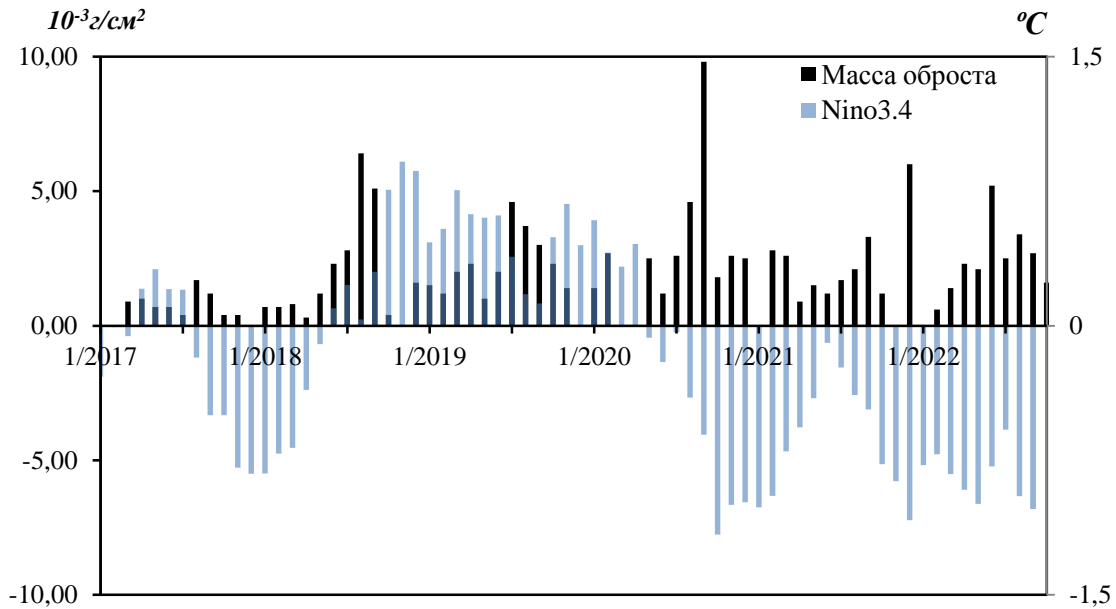
того, чтобы объяснить всю природу формирования фитомассы в бухтах Севастополя, необходимо кроме климатических параметров использовать также гидрохимические показатели воды с учетом антропогенного фактора.

**Таблица 2.** Значения коэффициента детерминации ( $R^2$ )

Параметры	$T_w$	T	P	SOI	Nino3.4
$R^2$	0,05	0,08	0,01	0,01	0,02

Учитывая опыт ранее проведенных исследований [16, 17], рассмотрим изменения массы микроводорослевого обра-

стания на стеклах в исследуемой акватории по эпизодам событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья (рис. 3).



**Рис. 3.** Гистограммы изменения аномалий ТПО в районе Nino3.4 и массы микроводорослевого обрастания на стеклах в прибрежной акватории Севастополя  
**Fig. 3.** Histograms of changes in SST anomalies in the Nino3.4 area and the mass of microalgal fouling on glasses in the coastal water area of Sevastopol

Всего с 2017 по 2022 гг. наблюдались: одно событие Эль-Ниньо Modoki (2018–2019), одно событие Ла-Нинья Восточно-Тихоокеанского типа (2017–2018) и трио из событий Ла-Нинья (2020–2023). Азово-Черноморский регион подвержен климатическим изменениям во время разных фаз ЭНЮК, что показано в работах [25, 26]. Особенно эти изменения приходятся на осенне-зимний

период. При наложении среднемесячных масс фитообрастаний на эпизоды ЭНЮК (рис. 3), заметно, что максимальные пики этих показателей совпадают с максимальными фазами развития Ла-Нинья (конец осени – начало зимы), особенно в годы, когда было зафиксировано трио этих последовательных явлений (с 2020 по 2023 гг.). Однако, исключением является период Ла-Нинья 2017–2018 гг.,

когда суммарная масса за эти два года была почти в два раза меньше, чем за период 2020–2021 ( $29,7 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>2</sup> и  $55,00 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>2</sup>). Полученных результатов, к сожалению, не достаточно, чтобы сделать выводы о закономерностях влияния феномена Эль-Ниньо – Южное Колебание на фито-массу обрастания в бухтах Севастополя. Стоит отметить, что полученные изменения массы фототрофов в годы Ла-Нинья согласуются с результатами, ранее полученными зарубежными исследователями [17].

**Заключение.** Проведенный регрессионный анализ среднемесячных масс микроводорослевого обрастания на стеклах в бухтах Севастополя с гидрометеорологическими параметрами, такими как температура воды, температура воздуха, сумма осадков и индексами ЭНЮК (SOI, Nino3.4), показал, что полученные линейные модели могут описать не больше 8% от общей дисперсионной изменчивости масс фитообрастаний. Из этого следует, что помимо климатических параметров к последующему исследованию необходимо привлечь гидрохимические показатели воды с учетом антропогенного фактора для определения целостной картины формирования фитомассы в исследуемой акватории Черного моря.

При изучении изменения массы микроводорослевого обрастания на стеклах в бухтах Севастополя на фоне изменений индексов ЭНЮК с 2017 по 2022 гг. было обнаружено, что все три максимальных всплеска величины фитомассы совпадают с максимальными фазами развития Ла-Нинья, а наименьшие значения показателя соответствуют Эль-Ниньо. Это интересный, многообещающий факт, который в ходе продолжения данного исследования позволит сделать статистически значимые выводы о закономерностях влияния феномена Эль-Ниньо – Южное Колебание на фитомассу обрастания.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» (№ гос.регистрации 121122300072-3).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* О современных изменениях глобальной температуры воздуха // *Общество. Среда. Развитие.* 2011. № 2 (19). С. 215–221.
2. *Dutta H., Dutta A.* The microbial aspect of climate change // *Energy Ecology and Environment.* 2016. V. 1(4). P. 209–232.
3. *Перифитонные водоросли* // 2015. URL:[https://studopedia.ru/7\\_4979\\_perifitonnie-vodorosli.html](https://studopedia.ru/7_4979_perifitonnie-vodorosli.html).
4. *Сорокин Ю.И.* Экосистемы коралловых рифов / ред. Б.С. Соколов. М.: Наука. 1990. 502 с.
5. *Gao K., Xu J., Gao G., Li Y., Hutchins D.A., Huang B., Wang L., Zheng Y., Jin P., Cai X., Häder D.-P., Li W., Xu K., Liu N., Riebesell U.* Rising CO<sub>2</sub> and increased light exposure synergistically reduce marine primary productivity // *Nat. Clim. Change.* 2012. V. 2. P. 519–523.
6. *Boyd P.W.* Framing biological responses to a changing ocean // *Nat. Clim. Change.* 2013. V. 3. P. 530–533.
7. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC: Australasia Intergovernmental Panel on Climate Change* / (eds Barros V.R., C.B. Field, D.J. Dokken et al.) / A. Reisinger, R.L. Kitching, F. Chiew et al. Cambridge University Press. 2014. P. 411–484.
8. *Brennan G., Collins S.* Growth responses of a green alga to multiple envi-

ronmental drivers // *Nat. Clim. Change*. 2015. V. 5. P. 892–899.

9. *Hutchins D.A., Boyd P.W.* Marine phytoplankton and the changing ocean iron cycle // *Nat. Clim. Change*. 2016. V. 6. P. 1072–1079.

10. *Hutchins D.A., Fu F.X.* Microorganisms and ocean global change. // *Nat. Microbiol.* 2017. V. 2. P. 1–11.

11. *Hurd C.L., Lenton A., Tilbrook B., Boyd P.W.* Current understanding and challenges for oceans in a higher-CO<sub>2</sub> world // *Nat. Clim. Change*. 2018. V. 8. P. 686–694.

12. *Rintoul S.R., Chown S.L., DeConto R.M., England M.H., Fricker H.A., Masson-Delmotte V., Naish T.R., Siebert M.J., Xavier J.C.* Choosing the future of Antarctica // *Nature*. 2018. V. 558. P. 233–241.

13. *Šolić M.* Effect of phytoplankton on the growth of bacteria under experimental conditions // *Acta adriat.* 1988. V. 29. № 1–2. P. 83–104.

14. *Baker T.J., Miller S.N.* Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed // *J Hydrol.* 2013. V. 486. P. 100–111.

15. *Harris G.P., Baxter G.* Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir // *Freshw Biol.* 1996. V. 35(3). P. 545–560.

16. *Tilahun S., Kifle D.* The influence of El Niño-induced drought on cyanobacterial community structure in a shallow tropical reservoir (Koka Reservoir, Ethiopia) // *Aquat. Ecol.* 2019. V. 53. P. 61–77.

17. *Cataldo D., Leites V., Bordet F. et al.* Effects of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on the reproduction of migratory fishes in a large South American reservoir // *Hydrobiologia*. 2022. V. 849. P. 3259–3274.

18. *Гусяков Н.Е., Загордонец О.А., Герасимюк В.П.* Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части

Черного моря и прилегающих водоемов. Киев: Наукова думка. 1992. 110 с.

19. *Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1* / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Jena-StuttgartLübeck-Ulm. 1998. 548 p.

20. *Komárek J., Anagnostidis K.* 2. Oscillatoriales. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2* / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Elsevier/Spektrum, Heidelberg. 2005. 759 p.

21. *Global Climate Observing System / Southern Oscillation Index (SOI)* [Электронный ресурс]. URL: [https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/SOI/](https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/SOI/). (Дата обращения 10.02.2023).

22. *Trenberth K.E.* The Definition of El Niño // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* // 1997. V. 78. P. 2771–2777.

23. *Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A.* Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *Journal of Geophysical Research*. 2003. V. 108(D14), P. 2–29.

24. *Voskresenskaya, E.N., Marchukova O.V.* Spatial classification of La Nina events // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2017. V. 53. Iss. 1. P. 111–119.

25. *Марчукова О.В.* Воскресенская Е.Н. Гидрометеорологические аномалии в Азово-Черноморском регионе в годы явления Ла-Нинья // *Труды Государственного океанографического института*. 2017. № 218. С. 255–264.

26. *Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В., Журавский В.Ю.* Проявление событий Эль-Ниньо в Черноморском регионе // *Системы контроля окружающей среды*. 2018. Вып. 4 (34). С. 94–101.

**ON POSSIBLE INFLUENCE OF THE EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION  
ON THE INTENSITY OF PHYTOMASS GROWTH IN THE COASTAL ZONE  
OF SEVASTOPOL**

**N.A. Andreeva, E.N. Voskresenskaya, O.V. Marchukova**

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The paper focuses on the variability of the phyto-fouling mass volume in the coastal zone of the Black Sea, in the area of Sevastopol, under the influence of El Niño - Southern Oscillation (ENSO). The results were obtained from biomonitoring data, hydrometeorological parameters and Southern Oscillation indices in the period from 2017 to 2022. The study revealed a consistent change in the mass of microalgae fouling in the bays of Sevastopol with a change in the ENSO index. At the same time, it was found that all three maximum rises in the phyto-fouling mass volume coincide with the maximum phases of La Niña development. This is an interesting and promising fact that will allow us to obtain statistically significant patterns in the formation of interannual anomalies in the Black Sea ecosystem in the future.

**Keywords:** El Nino – Southern Oscillation, variability, microalgae, fouling mass volume, ocean-atmosphere system.

**REFERENCES**

1. Malinin V.N. and Gordeeva S.M. O sovremennykh izmenenijah global'noj temperatury vozduha (About modern changes in global air temperature). *Obshhestvo. Sreda. Razvitie*, 2011, No. 2(19), pp. 215–221.
2. Dutta H. and Dutta A. The microbial aspect of climate change. *Energy Ecology and Environment*, 2016, Vol. 1(4), pp. 209–232.
3. Perifitonnye vodorosli (Periphytic algae), 2015, available at: [https://studopedia.ru/7\\_4979\\_perifitonnye-vodorosli.html](https://studopedia.ru/7_4979_perifitonnye-vodorosli.html).
4. Sorokin Ju.I. Jekosistemy korallovykh rifov / red. B.S. Sokolov (Ecosystems of coral reefs / ed. B.S. Sokolov), M.: Izd-vo Nauka, 1990, 502 p.
5. Gao K., Xu J., Gao G., Li Y., Hutchins D.A., Huang B., Wang L., Zheng Y., Jin P., Cai X., Häder D.-P., Li W., Xu K., Liu N., and Riebesell U. Rising CO<sub>2</sub> and increased light exposure synergistically reduce marine primary productivity. *Nat. Clim. Change*, 2012, Vol. 2, pp. 519–523.
6. Boyd P.W. Framing biological responses to a changing ocean. *Nat. Clim. Change*, 2013, Vol. 3, pp. 530–533.
7. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC: Australasia Intergovernmental Panel on Climate Change / (eds Barros V.R., C.B. Field, D.J. Dokken et al.) / A. Reisinger, R.L. Kitching, F. Chiew et al. Izd-vo Cambridge University Press, 2014, pp. 411–484.*
8. Brennan G. and Collins S. Growth responses of a green alga to multiple environmental drivers. *Nat. Clim. Change*, 2015, Vol. 5, pp. 892–899.
9. Hutchins D.A. and Boyd P.W. Marine phytoplankton and the changing ocean iron cycle. *Nat. Clim. Change*, 2016, Vol. 6, pp. 1072–1079.
10. Hutchins D.A. and Fu F.X. Microorganisms and ocean global change. *Nat. Microbiol.*, 2017, Vol. 2, pp. 1–11.
11. Hurd C.L., Lenton A., Tilbrook B., and Boyd P.W. Current understanding and challenges for oceans in a higher-CO<sub>2</sub> world. *Nat. Clim. Change*, 2018, Vol. 8, pp. 686–694.
12. Rintoul S.R., Chown S.L., DeConto R.M., England M.H., Fricker H.A., Masson-Delmotte V., Naish T.R., Siebert M.J., and Xavier J.C. Choosing the future of Antarctica. *Nature*, 2018, Vol. 558, pp. 233–241.
13. Šolić M. Effect of phytoplankton on the growth of bacteria under experimental conditions. *Acta adriat.*, 1988, Vol. 29, No. 1–2, pp. 83–104.
14. Baker T.J. and Miller S.N. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *J Hydrol.*, 2013, Vol. 486, pp. 100–111.



15. Harris G.P. and Baxter G. Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir. *Freshw Biol.*, 1996, Vol. 35(3), pp. 545–560.
16. Tilahun S. and Kifle D. The influence of El Niño-induced drought on cyanobacterial community structure in a shallow tropical reservoir (Koka Reservoir, Ethiopia). *Aquat. Ecol.*, 2019, Vol. 53, pp. 61–77.
17. Cataldo D., Leites V., Bordet F. et al. Effects of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on the reproduction of migratory fishes in a large South American reservoir. *Hydrobiologia*, 2022, Vol. 849, pp. 3259–3274.
18. Gusljakov N.E., Zakordonec O.A., and Gerasimjuk V.P. Atlas diatomovyh vodoroslej bentosa severo-zapadnoj chasti Chernogo morja i priliegajushhijh vodoemov (Atlas of diatoms of the benthos of the northwestern part of the Black Sea and adjacent water bodies), Kiev: Izd-vo Naukova dumka, 1992, 110 p.
19. Komárek J. and Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 1. Chroococcales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Izd-vo Jena-StuttgartLübeck-Ulm., 1998. 548 p.
20. Komárek J. and Anagnostidis K. 2. Oscillatoriales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2 / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Izd-vo Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 2005, 759 p.
21. Global Climate Observing System / Southern Oscillation Index (SOI) available at: [https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/SOI/](https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/SOI/). (October 02, 2023).
22. Trenberth K.E. The Definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, Vol. 78, pp. 2771–2777.
23. Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., and Kaplan A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 2003, Vol. 108(D14), pp. 2–29.
24. Voskresenskaya, E.N. and Marchukova O.V. Spatial classification of La Nina events. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2017, Vol. 53, Iss. 1, pp. 111–119.
25. Marchukova O.V. and Voskresenskaja E.N. Gidrometeorologičeskie anomalii v Azovo-Chernomorskom regione v gody javlenija La-Nin'ja (Hydrometeorological anomalies in the Azov-Black Sea region during the years of the La Niña phenomenon), Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo institute, 2017, No. 218, pp. 255–264.
26. Lubkov A.S., Voskresenskaja E.N., Marchukova O.V., and Zhuravskij V.Ju. Projavlenie sobytij Jel'-Nin'o v Chernomorskom regione (Manifestation of El Niño events in the Black Sea region), *Sistemy kontrolja okružhajushhej sredy*, 2018. Vol. 4 (34), pp. 94–101.