

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОГАЛИННОГО РЕЖИМА НА СТРУКТУРУ ПОЗДНЕЛЕТНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Е. К. Ланге¹, Т. Р. Еремина², А. А. Ершова², А. В. Исаев²

¹Институт Океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Атлантическое отделение, Калининград, РФ,
evlange@gmail.com

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, РФ

Проанализированы многолетние данные по фитопланктону, солености и температуре поверхностного слоя воды, полученные в ходе комплексных исследований РГГУ в восточной части Финского залива. Выявлена статистически значимая связь доминантных видов цианобактерий и α -разнообразия фитопланктона с термогалинными показателями.

Ключевые слова: фитопланктон, цианобактерии, термогалинный режим, Финский залив, Балтийское море

Эвтрофикация Балтийского моря продолжает оставаться важнейшей проблемой балтийского региона, являясь следствием физико-географических, гидрохимических и гидрологических особенностей, природных процессов и антропогенного воздействия [1, 2]. Результатом эвтрофирования стала возросшая за последние полвека интенсивность и частота «цветения» вод цианобактериями в разных районах моря [3, 4]. Финский залив, расположенный на северо-востоке моря, относится к одному из наиболее эвтрофированных районов Балтики. Цианобактерии в структуре летне-осеннего фитопланктона залива ежегодно занимают доминирующее положение [5]. Формирование структуры фитопланктона в Финском заливе зависит от термогалинных условий, для которых свойственна значительная пространственная изменчивость, обусловленная как воздействием стока р. Невы, так и открытой Балтики. Целью работы было определение связи параметров позднелетнего фитопланктона и термогалинного режима в условиях восточной части Финского залива.

Материал и методы. В июле–августе 2002–2015 гг. изучение фитопланктона восточной части Финского залива (ВчФз) проводили на 14–29 станциях по программе ежегодных комплексных исследований РГГУ (Санкт-Петербург). В работе принято районирование восточной части Финского залива согласно Н. Pitkänen (1991): Невская губа – между устьем р. Невы и о. Котлин (I), мелководный район – между о. Котлин и трансектой м. Шепелевский – м. Флотский (II), глубоководный район (III) с двумя подрайонами: внутренним (IIIa), еще находящимся под влиянием речного стока Невы, ограниченного с запада трансектой о-ва Березовые – о. Сескар и внешним (IIIb), простирающимся до о. Гогланд. Отбор количественных проб фитопланктона и их анализ проводился в соответствии с методиками, принятыми в Роскомгидромете, и рекомендациями HELCOM.

Результаты и обсуждение. Во всех районах выявлена статистически значимая обратная связь между числом таксонов в пробе фитопланктона (α -разнообразие) и поверхностной соленостью воды, при этом она наиболее выражена в мелководном районе, где коэффициент корреляции Спирмена (R_C) при $p < 0.05$ составил -0.53 ($n=52$), против -0.40 ($n=79$) и -0.28 ($n=108$) в IIIa и IIIb подрайонах глубоководной части

залива, соответственно. По данным со всей исследованной акватории ВчФЗ за тот же период отрицательная корреляция была выше -0.67 ($p < 0,000$) (рис. 1).

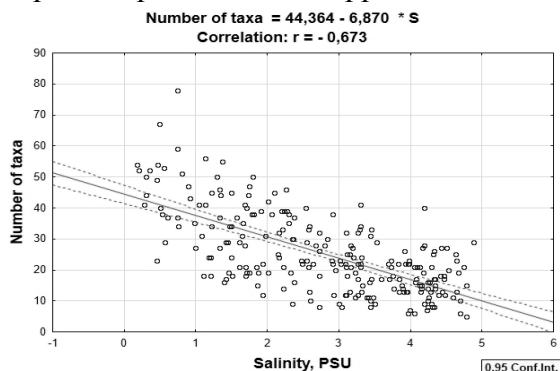


Рис. 1 Обратная корреляция между соленостью и таксономическим разнообразием фитопланктона восточной части Финского залива в июле–августе 2002–2015 гг. ($n=238$)

В мелководном районе при поверхностной солености в среднем до 1.35–2.05‰ в 2003, 2007–2009 гг. α -разнообразие не поднималось выше 20–30 таксонов/проба. Опреснение в среднем до 0.24–1.23‰ в 2002, 2004–2006, 2010–2012 гг. сопровождалось увеличением этого показателя до 40–80 таксонов. Наибольшим α -разнообразием фитопланктона отличался 2011 г. (рис. 2, II+IIIa), когда наряду с низкой соленостью наблюдался прогрев воды до 26°C (рис. 3). В западном направлении с увеличением солености воды в ВчФЗ α -разнообразие фитопланктона за счет сокращения видов зеленых и диатомовых снижалось (рис. 2, IIIb).

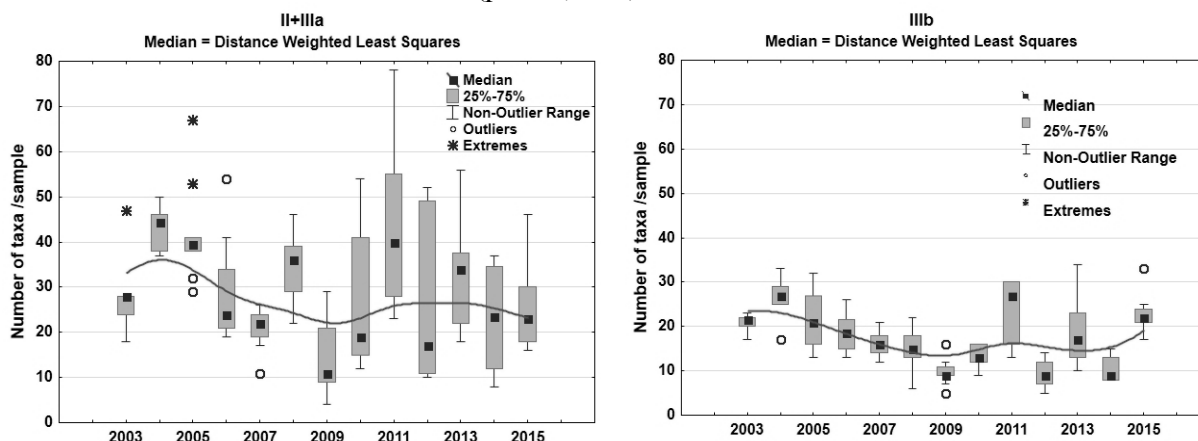


Рис. 2 Таксономическое разнообразие позднелетнего фитопланктона в различных районах восточной части Финского залива в 2000-х гг. (II+IIIa – мелководный и внутренний глубоководный районы; IIIb – внешний глубоководный район)

По данным позднелетнего сезона последних 5 лет наблюдений число таксонов фитопланктона в интегральных пробах, отобранных в мелководном районе, имело положительную связь с температурой поверхностного слоя: $R_C = 0.60$ ($p < 0.05$; $n=19$). За последние 5 лет после экстремально жаркого 2010 г., наиболее холодным оказался 2015 г., когда поверхностная температура, как в мелководном районе (в среднем $18.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$, против 19.4 ± 0.4 – $22.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ в остальные четыре года), так и в целом на исследованной акватории залива в среднем была ниже таковой более ранних лет наблюдений (рис. 3).

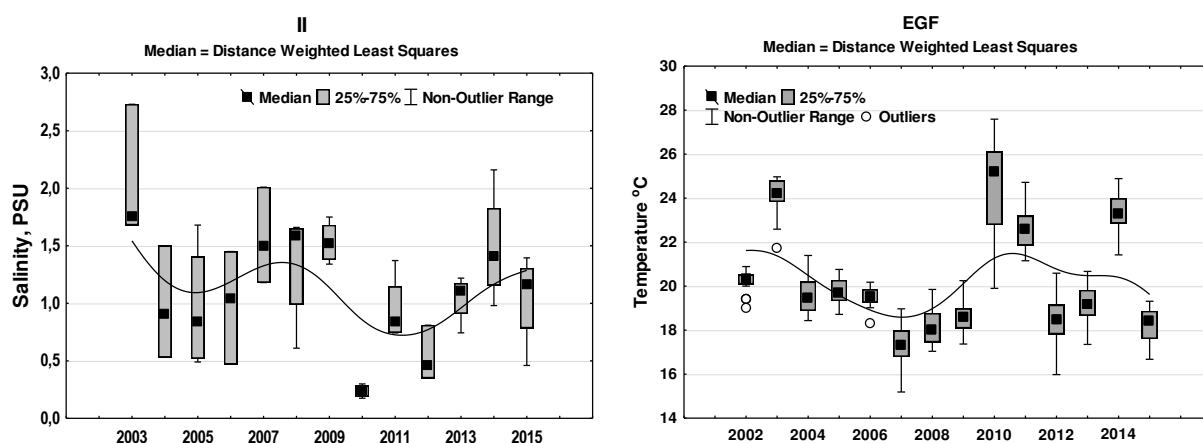


Рис. 3 Изменение поверхностной солености в мелководном районе (II) и температуры воды в восточной части Финского залива (EGF) в июле–августе 2000-х гг.

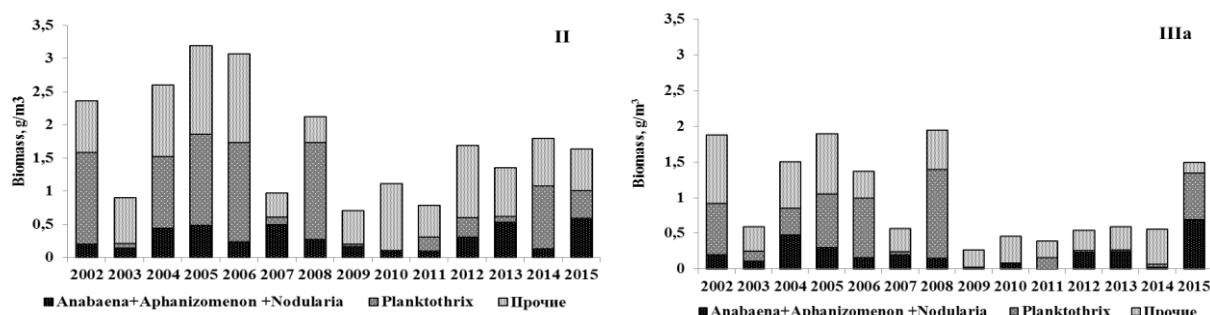


Рис. 4 Средняя биомасса летнего фитопланктона, азотфиксирующих цианобактерий и *Planktothrix agardhii* в мелководном (II) и внутреннем глубоководном районах (IIIa) восточной части Финского залива в 2000-х гг.

В 2002–2015 гг. обилие позднелетнего фитопланктона определяли цианобактерии как в мелководном, так и в глубоководном районе ВчФЗ. Развитие характерных для Балтийского моря цианобактерий (роды *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Anabaena*) [6] не носило массового характера – в среднем по районам их суммарная биомасса варьировала по годам от 0.01 до 0.95 г·м⁻³ (рис. 4). По многолетним данным во всех районах залива чаще других превалировал вид *Aphanizomenon flos-aqua* с наибольшей биомассой в 2012, 2013 и 2015 гг. В 2011–2015 гг. между биомассой *Aphanizomenon* и поверхностной температурой существовала обратная связь: $R_C = -0.56$ ($p < 0.05$; $n = 95$). При прогреве воды в среднем до 23°C в 2011 и 2014 гг. наблюдалось слабое развитие *Aphanizomenon* – биомасса 33 ± 11 мг·м⁻³. Снижение температуры в 2012, 2013 и 2015 гг. до 18–19°C способствовало вегетации данной цианобактерии – биомасса до 309 ± 51 мг·м⁻³. Во внешнем глубоководном районе в отдельные годы в числе доминантов оказывались *Nodularia* и *Anabaena*.

Из цианобактерий в мелководном и внутреннем глубоководном районе периодически доминировала нитчатая *Planktothrix agardhii*, распространение которой в Финском заливе ограничено соленостью 3.5–4‰ [7, 8]. Наименьшие значения максимальной биомассы этого вида (менее 0.3 г·м⁻³) отмечены в годы значительного повышения солености воды: 2003, 2007, 2009 гг.

Выводы. В позднелетний период 2002–2015 гг. восточная часть Финского залива характеризовалась значительным широтным градиентом солености.

Структурно-функциональные характеристики фитопланктона в значительной степени зависели от термогалинного режима поверхностного слоя. Обилие цианобактерии *Planktothrix agardhii* и α -разнообразие фитопланктона были отрицательно связаны с соленостью воды. Повышение температуры воды достоверно угнетало развитие цианобактерии *Aphanizomenon flos-aqua* и способствовало увеличению таксономического разнообразия фитоценозов в мелководном районе.

Благодарность. Работа выполнена в рамках осуществления научной деятельности по базовой части государственного задания №2014/166 Министерства образования и науки РФ.

1. Савчук О. П. Исследования эвтрофикации Балтийского моря // *Труды ГОИН*. 2005. Т. 209. С. 272–285.
2. HELCOM. *Eutrophication status of the Baltic Sea 2007–2011* // A concise thematic assessment. Baltic Sea Environment Proceedings. 2014. No. 143. 41 p.
3. Finni T., Kononen K., Olsonen R., Wallström K. The history of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea // *Ambio*. 2001. Vol. 30, no. 4–5. P. 172–178.
4. Wasmund N., Uhlig S. Phytoplankton trends in the Baltic Sea // *ICES Journal of Marine Science*. 2003. Vol. 60. P. 177–186.
5. Lange E. Plankton algae in ecological mapping of the Gulf of Finland // *Baltic Floating University Research Bulletin/UNESCO*. 2008. No. 10. P. 28–32.
6. Pitkänen H. Nutrient dynamics and conditions in the eastern Gulf of Finland: the regulatory role of the Neva estuary // *Aqua Fennica*. 1991. Vol. 21, no. 2. P. 105–115.
7. Kononen K. Dynamics of the toxic cyanobacterial blooms in the Baltic Sea // *Finnish Marine Research*. 1992. Vol. 261. P. 1–36.
8. Макарова С. В. Видовой состав и количественные характеристики фитопланктона / *Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива*. Ч. 2. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. С. 345–365.
9. Eremina T., Lange E. Estimation of changes in the ecosystem state from observations in the Gulf of Finland // *Baltic Floating University Research Bulletin/UNESCO*. 2003. No. 6. P. 15–19.
10. Eremina T., Ershova A., Lange E. Indicators of eutrophication in the eastern Gulf of Finland: trends and variability in 2001–2014 // *The 10th Baltic Sea Science Congress (15–19 June 2015, Riga, Latvia) : abstract book*. Riga, 2015. P. 215.

INFLUENCE OF THERMOHALINE REGIME AT LATE SUMMER PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN THE EASTERN GULF OF FINLAND (BALTIC SEA)

E. K. Lange¹, T. R. Eremina², A. A. Ershova², A. V. Isaev²

¹Shirshov Institute of Oceanology Atlantic Branch, RAS, Kaliningrad, RF, evlange@gmail.com

²Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, RF

Long-time data of phytoplankton, salinity and temperature of the surface water layer obtained in the course of research RSHU in the eastern part of the Gulf of Finland were analyzed. Statistically significant associations of dominant species of cyanobacteria and α -diversity of phytoplankton with thermohaline indexes were found.

Keywords: phytoplankton, cyanobacteria, thermohaline regime, Gulf of Finland, Baltic Sea