

УДК 591.148:574.52:582.276(262.5)

И.М. СЕРИКОВА, Ю.В. БРЯНЦЕВА, Ю.Н. ТОКАРЕВ, В.Ф. ЖУК, В.М. ВАСИЛЕНКО,
Е.Ю. ГЕОРГИЕВА, М.И. СИЛАКОВ

Институт биологии южных морей НАН Украины
пр-т Нахимова, 2, Севастополь 99011

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И БИОМАССЫ СВЕТАЩИХСЯ ДИНОФЛАГЕЛЯТ У СЕВАСТОПОЛЯ (2008-2009 гг.).

Исследована сезонная динамика биомассы светящихся динофлагеллят, а также изменчивость вертикальной структуры поля биолюминесценции в течение годового цикла (2008–2009 гг.) у Севастополя. Выявлены два выраженных пика в холодный (февраль) и теплый (июль–август) периоды года, что связано с отличиями в уровне развития и вертикальном распределении фитопланктона, которые, в свою очередь, определялись особенностями гидроструктуры вод в слоях естественной стратификации. “Зимний” максимум биолюминесценции располагался в поверхностном слое и был обусловлен развитием преимущественно *S. fusus*; *P. divergens*; *P. oblongum* с максимальным в году объемом клеток. Второй, располагающийся в слое термоклина и ниже, формировался, главным образом, за счет увеличения количества клеток *S. fusus*, которые имели объемы значительно меньшие, чем в зимний период.

Ключевые слова: биолюминесценция, светящийся фитопланктон, мониторинг

Прибрежные экосистемы, испытывающие наибольшую антропогенную нагрузку, в первую очередь, нуждаются в регулярных наблюдениях за их состоянием с целью оценки, прогноза и предотвращения негативных последствий хозяйственной деятельности. Наиболее важными показателями экологического состояния среды являются структурно-функциональные характеристики сообществ микроводорослей – первичного звена трофических цепей.

Многолетние исследования отдела биофизической экологии в области биолюминесценции планктонных полей показали возможность их использования для экспрессной оценки функционального состояния сообществ, а также получения достоверных характеристик их количественного развития [3].

Сочетание биофизических методов с традиционными методами исследования фитопланктона позволяет проследить сезонную динамику светящихся динофлагеллят и изменчивость вертикальной структуры поля биолюминесценции в течение годового цикла на примере одной станции у берегов Севастополя.

Материал и методы исследований

Исследования проведены с ноября 2008 г. по ноябрь 2009 г. в рамках экологического мониторинга за состоянием Севастопольской бухты, который осуществляет отдел биофизической экологии ИнБИОМ НАН Украины. Съемки были выполнены по единой схеме в двух милях от Севастополя (напротив бухты Круглая) в ночное время суток.

Пробы отбирали батометром (5 дм³) одновременно с приповерхностного горизонта (приблизительно 0,2 м) и в слое максимума биолюминесценции, значения которой определяли предварительным зондированием водной толщи с помощью гидробиофизического комплекса «Сальпа-М» по методике, описанной ранее [2]. Для каждого месяца построены вертикальные профили биолюминесценции, температуры, солености и условной плотности по слоям.

Обработка проб фитопланктона выполнена по общепринятой методике с дополнениями, принятыми в отделе биофизической экологии ИнБИОМ НАН Украины [1].

Результаты исследований и их обсуждение

За период исследований в пробах фитопланктона из 38 светящихся видов, известных для Черного моря [3], было определено 19 видов. Из них только 8 вносили значимый вклад в формирование суммарного потенциала поля биолюминесценции, остальные встречались в пробах эпизодически.

Изменчивость структуры и средней интенсивности поля биолюминесценции в разных слоях была сопряжена с сезонной динамикой биомассы светящегося фитопланктона, которая, в свою очередь, определялась особенностями температурного режима на поверхности, а также градиентов температуры и плотности воды в сезонном термоклине (рис.1 а,б). Кривые средней интенсивности

биоломнесценции в толще 0–60 м (рис. 1б), как и осредненной биомассы светящегося фитопланктона (рис. 1а), имеют два выраженных максимума, приходящихся на февраль и июль–август. При этом характер распределения поля биоломнесценции по глубине значительно изменялся, что связано с отличиями в вертикальном распределении характеристик светящихся видов фитопланктона в холодный и теплый период года (рис. 2).

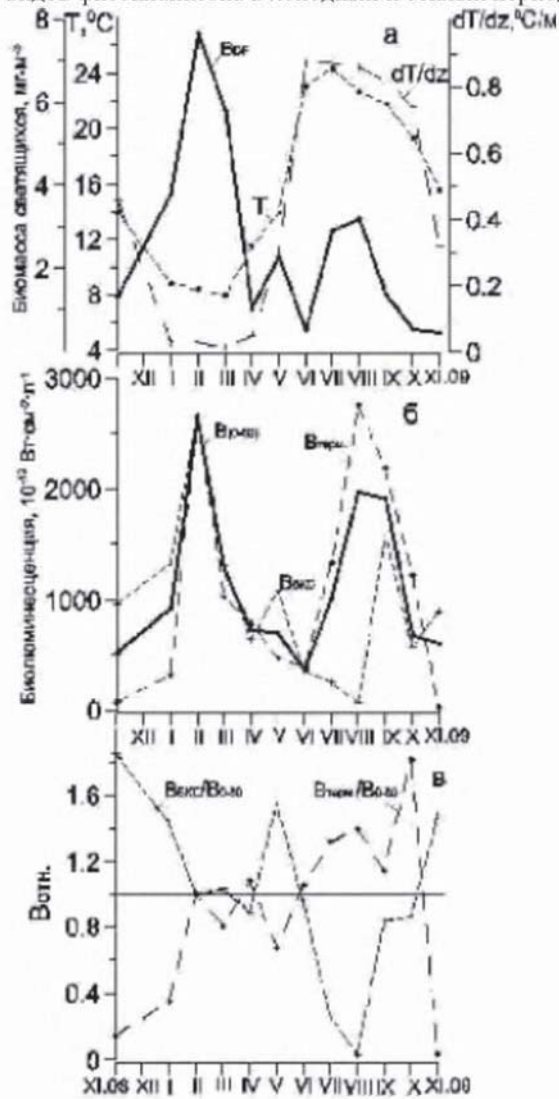


Рис. 1. Сезонная динамика средних значений: биомассы светящихся динофлагеллят (B_{DF}), средней в слое 0–60м; биоломнесценции B_{0-60} , и её относительных величин в слоях естественной стратификации, $B_{ВКС}$, $B_{терм}$, а также температура на поверхности (T_0) и её градиенты в термоклин (dT/dz)

В холодный период, когда термоклин размыт, распределение биомассы светящихся динофлагеллят и, соответственно, интенсивности биоломнесценции по глубине относительно равномерное (рис. 2). Относительные средние величины интенсивности биоломнесценции в верхнем квазиоднородном слое $B_{ВКС}/B_{(0-60)}$ и в слое термоклина $B_{терм}/B_{(0-60)}$ примерно одинаковы и приближаются к единице (рис. 1в). Следует отметить, что, несмотря на размытость термоклина, на глубинах ниже 40 м обнаруживался слой, протяженностью примерно 10 м, в котором относительно вышележащего слоя градиенты температуры были на порядок выше. Вместе с тем, почти всегда проявляется узкий приповерхностный слой биоломнесценции, шириной 5–7 м, интенсивность свечения которого в 2–3 раза превосходит среднюю интенсивность верхнего 60–ти метрового слоя.

С началом формирования термоклина происходит перестройка структуры поля биоломнесценции. В мае наиболее интенсивные слои формируются в верхнем квазиоднородном слое (ВКС), затем по мере роста градиентов температуры и плотности в термоклине происходит перераспределение светящихся видов преимущественно в этот и нижележащие слои, что формирует соответствующую структуру поля биоломнесценции (рис. 2). Истощение биогенных элементов в ВКС и образование блокирующего слоя, препятствующего их поступлению из

нижележащих слоев, а также неблагоприятные условия для плавучести (высокая температура и низкая плотность воды) подавляют развитие светящихся динофлагеллят у поверхности.

Осенне–зимнее размывание термоклина вновь приводит к развитию их преимущественно в ВКС. К ноябрю сообщество возвращается к исходному состоянию, которое наблюдалось в ноябре прошлого года.

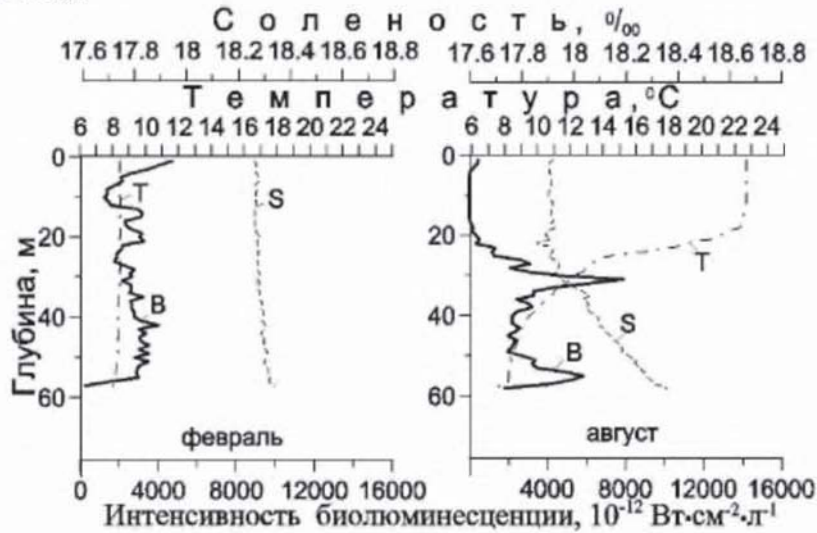


Рис. 2. Примеры вертикальной структуры поля биоломинесценции в холодный (февраль) и теплый (август) периоды года

Биомасса в периоды максимумов определялась динамикой численности клеток, которые имели разные значения среднего объема в холодный и теплый периоды года (рис. 3).

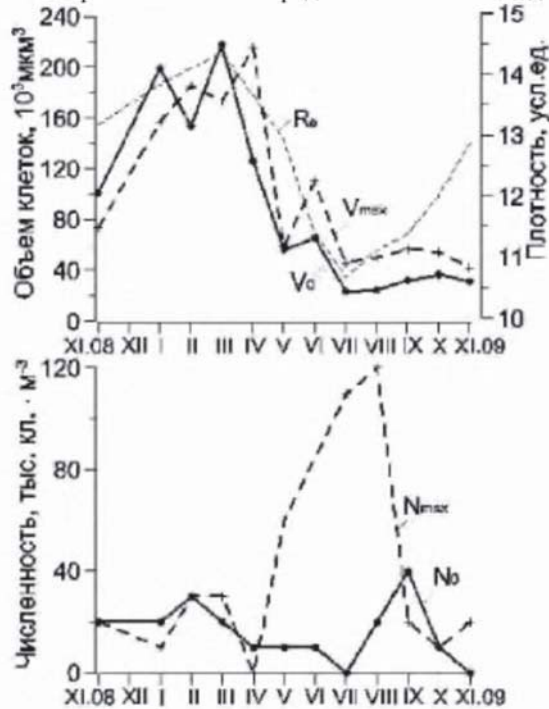


Рис. 3. Сезонная динамика среднего объема клеток светящихся динофлагеллят (V_0 – у поверхности, V_{max} – в слое максимума биоломинесценции) и плотности воды у поверхности (R_0)

Средний объем клеток с января по апрель был в 2 раза больше, чем в теплый период (с мая по ноябрь). В теплый период клетки были крупнее в термокline, чем у поверхности (рис. 3). При этом, их численность мало отличалась по слоям в холодный период и существенно (до 100 раз) была выше в слое термоклина в теплый период. В этом слое условия летом более благоприятные

для розвитку динофлагеллят благодаря тому, что градиент плотности создает эффект «жидкого дна», поддерживающий относительно более крупные клетки.

Между суммарной биомассой светящихся видов (8) и интенсивностью биолюминесценции в верхнем 1-но метровом слое получен индекс корреляции, равный 0,87 (при $n=12$, уровень значимости 0,01), это значит, что 75 % дисперсии поля биолюминесценции в приповерхностном слое было обусловлено биомассой светящихся водорослей (рис. 4.).

Из них, регулярно встречающимися в пробах и вносящими основной вклад в суммарную биомассу, были 4 вида: *Ceratium fusus*; *Protoperidinium divergens*; *P. oblongum* и *P. steinii*. Остальные доминировали только в один из месяцев года. При этом, *P. oblongum* отнесен нами к светящимся условно, т.к. раньше его, вероятно, определяли под другим названием (например, *P. oceanicum* или *P. claudicans*), на которые он похож. Необходимы дополнительные исследования для решения данного вопроса.

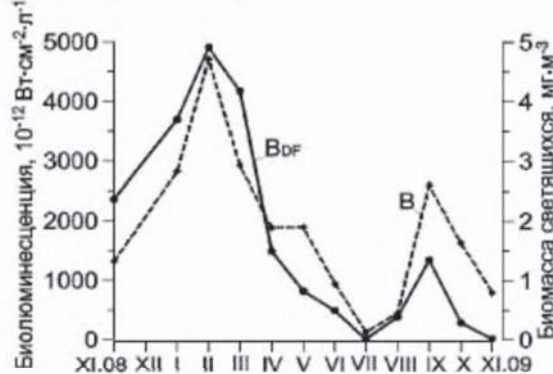


Рис. 4. Сезонная динамика интенсивности биолюминесценции (B) в слое 0–1 м и биомассы светящихся динофлагеллят (B_{DF}) в приповерхностном горизонте

Максимум биолюминесценции, приходящийся на февраль, был обусловлен, преимущественно видами: *C. fusus*; *P. divergens*; *P. oblongum*, с максимальными за год значениями объема клеток. Второй максимум развития поля биолюминесценции, приходящийся на июль–август был обусловлен интенсивным развитием светящихся видов в слое термоклина и нижележащих слоях, главным образом, за счет увеличения количества клеток *C. fusus*, которые, однако, имели значительно меньшие, чем в зимний период объемы.

Выводы

1. Сезонная динамика биолюминесценции в среднем для исследуемого слоя у Севастополя в 2008–2009 гг. была сопряжена с динамикой суммарной биомассы светящихся динофлагеллят и имела два пика – в холодный (февраль) и теплый (июль–август) периоды года.
2. Различия в вертикальной структуре поля биолюминесценции обусловлены гидрологической структурой вод. В холодный период развитие светящихся динофлагеллят локализовано в большей степени в ВКС, а летом они «перемещаются» в слой термоклина и ниже, где сохраняются условия, благоприятные для их развития.
3. Средний объем клеток светящихся видов в период с января по апрель был в 2 раза больше, чем в теплый период (с мая по ноябрь). Высокие значения биомассы светящихся динофлагеллят в холодный период года обусловлены невысокой численностью, но большим объемом клеток, в то время, как летом, – более интенсивным количественным развитием клеток с меньшим объемом в слое термоклина.
4. Наибольший вклад в суммарный пул биолюминесценции вносили: *Ceratium fusus*; *Protoperidinium divergens*; *P. oblongum*, *P. pellucidum* и *P. steinii*. Значимая связь, полученная между биомассой светящихся динофлагеллят и биолюминесценцией в поверхностном слое свидетельствует о том, что 75 % дисперсии биолюминесценции в 2008–2009 гг. обусловлено именно светящимися водорослями.

Авторы приносят благодарность сотрудникам отдела биофизической экологии Мельникову В.В., Темных А.В. за помощь в сборе первичного материала, Лях А.М. за разработку методики и сотруднику отдела физиологии животных и биохимии ИнБИОМ Никольскому В.Н. за консультацию по методам статистической обработки.

1. *Брянцева Ю.В.* Использование новых методик обработки данных по фитопланктону при проведении биофизического мониторинга / Ю.В. Брянцева, А.М. Лях, М.И. Силаков // Рыбное хозяйство Украины. – № 4 (63). – 2009. – С. 26–27.
2. *Новый гидробиофизический комплекс для экспрессной оценки состояния прибрежных экосистем* // Мат. XI Межд. научн.-техн. конф. “Современные методы и средства океанологических исследований, Москва, 25–27 ноября 2009. – М.: Изд-во РАН, 2009. – Ч. 3—С. 23–27.
3. *Токарев Ю. Н.* Основы биофизической экологии гидробионтов / Ю.Н. Токарев. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.

І.М. Сєрікова, Ю.В. Брянцева, Ю.М. Токарев, В.Ф. Жук, В.М. Василенко, О.Ю. Георгієва, М.І. Сілаков

Інститут біології південних морів НАН України, Севастополь

ОСОБЛИВОСТІ СЕЗОННОЇ ДИНАМІКИ ПОЛЯ БІОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ ТА БІОМАСИ СВІТНИХ ДІНОФЛАГЕЛЯТ БІЛЯ СЕВАСТОПОЛЯ (2008–2009 рр.)

Досліджено сезонну динаміку біомаси світних дінофлагелят, а також мінливість вертикальної структури поля біолюмінесценції протягом року (2008–2009 рр.) біля м. Севастополь. Виявлено два виражених піки в холодний (лютий) і теплий (липень–серпень) періоди року, що пов'язано з відмінностями в рівні розвитку і вертикальному розподілі фітопланктону, які визначалися особливостями гідроструктури вод в шарах природної стратифікації. “Зимовий” максимум біолюмінесценції розміщався в поверхневому шарі і був обумовлений розвитком переважно *C. fusus*; *P. divergens*; *P. oblongum* з максимальним об'ємом клітин. Другий, що розмістився в шарі термокліну й нижче, формувався, головню, за рахунок збільшення кількості клітин *C. fusus*, які мали значно менші, ніж в зимовий період, об'єми.

Ключові слова: біолюмінесценція, світний фітопланктон, моніторинг

Y.M. Serikova, Yu.V. Bryantseva, Yu.M. Tokarev, V.F. Juk, V.M. Vasilenko, E.Yu. Georgieva, M.Y. Silakov

Institute of Biology of the Southern Seas of NAS of Ukraine, Sevastopol

PECULIARITIES OF BIOLUMINESCENCE FIELD SEASONAL DYNAMICS AND LUMINOUS DINOFLAGELLATES BIOMASS NEAR THE SEVASTOPOL

Luminous dinoflagellates biomass seasonal dynamics as well as bioluminescence field vertical structure changeability during the year cycle (2008–2009) near the Sevastopol was studied. Two evident peaks during the cold (February) and warm (July–August) periods were revealed, which was connected with differences in development level and phytoplankton vertical distribution, which were stipulated in turn, by water hydrostructure peculiarities in the natural stratification layers. “Winter” bioluminescence maximum in the surface layer was stipulated by the development of *C. fusus*; *P. divergens*; *P. oblongum* mainly, with the cells volume, maximal in the year. The second one, located in the thermocline layer and lower, was formed, mainly, at the expense of *C. fusus* cells quantity growth, which volumes were considerably smaller, than in the winter period.

Key words: bioluminescence, luminous phytoplankton, monitoring

УДК [591.9:551.463.2(262.5)]

Е.Н. СИБИРЦОВА

Інститут біології южних морей НАН України
пр-т Нахимова, 2, Севастополь 99011

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАУНЫ ЗВУКОРАССЕИВАЮЩИХ СЛОЕВ В ЧЁРНОМ МОРЕ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Исследованы особенности распределения фауны ЗРС Чёрного моря в осенний период. Выявлены основные закономерности взаимосвязи качественных и количественных характеристик