

## КРУПНАЯ ФРАКЦИЯ СВЕТЯЩЕГОСЯ ПЛАНКТОНА В ПИКАХ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

© 2022 г. А. В. Темных<sup>1</sup>, \*, М. И. Силаков<sup>1</sup>, А. В. Мельник<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь 299011, Россия

\*e-mail: atemnykh@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.07.2021 г.

После доработки 01.03.2022 г.

Принята к публикации 24.03.2022 г.

В Черном море в вертикальном профиле биолюминесценции летом наблюдали, как правило, один пик, который в ночное время располагался на глубине 5–30 м, а в дневное — на глубине 50–82 м. На двух из 14 станций в утренние и вечерние часы отмечены два пика, соответствующие этим же горизонтам. В верхнем пике зарегистрирована сильная положительная связь суммарной интенсивности биолюминесценции с обилием трех доминирующих видов: коэффициент корреляции  $R$  составил по +0.79 для видов *Noctiluca scintillans* и *Oikopleura dioica*, +0.70 для вида *Oithona similis* и +0.82 для общей численности светящегося планктона. В верхнем пике отмечена значимая отрицательная зависимость численности указанных видов от температуры; у *N. scintillans* выявлена значимая отрицательная связь с изменением солености ( $R = -0.72$ ). Практически на всех станциях по численности доминировала динофлагеллята *N. scintillans*. В нижних пиках значимой корреляции между биолюминесценцией и численностью светящихся видов не обнаружено. Возможно, вклад в поле биолюминесценции вносят и другие зоопланктонные организмы, способность которых к свечению еще не исследована.

**Ключевые слова:** биолюминесценция, крупная фракция светящегося планктона, динофлагеллята *Noctiluca scintillans*, гребневики, светящиеся беспозвоночные, планктонное сообщество, Черное море

**DOI:** 10.31857/S0134347522040118

Биолюминесценция — проявление жизнедеятельности организмов в виде электромагнитного излучения в видимой области спектра. Способность к свечению обнаружена у таких представителей Мирового океана, как бактерии, динофлагелляты, простейшие, кишечнополостные, черви, моллюски, ракообразные, иглокожие и рыбы (Гительзон и др., 1992; Токарев, 2006; Haddock et al., 2010; Martini, Haddock, 2017).

Суммарный световой эффект, создаваемый совокупностью морских биолюминесцентных организмов в толще воды, называется полем биолюминесценции (ПБ) (Токарев и др., 2000). Пространственной структуре этого поля присуща вертикальная стратификация, определяемая параметрами пелагического сообщества (видовым составом, трофической структурой и т.д.). Данные параметры, в свою очередь, зависят от гидрологического режима и гидродинамических характеристик водных масс (Токарев, 2006).

Исследованию мелкой фракции планктонных биолюминесцентных организмов, в первую очередь одноклеточных водорослей, посвящены многие работы (Евстигнеев и др., 1993; Черепанов и др., 2007; Серикова и др., 2010, 2017; Брянцева и др., 2014; По-

лонский и др., 2018, и др.), в которых описаны виды одноклеточных водорослей, вносящие вклад в ПБ, и показана связь их распределения с пространственной структурой ПБ Черного моря. Однако в Черном море способность к свечению выявлена и у более крупных организмов, к ним относятся представители зоопланктона и динофлагеллята *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921 (Dinophyceae: Noctilucales). Судя по энергетическим параметрам биолюминесцентного сигнала отдельных организмов (Токарев, 2006), этот вклад должен быть достаточно большим.

В списках светящихся крупных планктонных видов Черного моря имеются расхождения, так как одни таксоны были включены в список биолюминесцентных на основании собственных экспериментальных данных (Евстигнеев, Битюков, 1990; Евстигнеев и др., 1993), а другие — в результате анализа литературного материала по всему Мировому океану (Токарев, 2006).

В соответствии с данными Токарева (2006), к светящимся организмам мы относили ктенофор *Pleurobrachia pileus* (O.F. Müller, 1776), *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 и *Beroe ovata* Bruguère, 1789,

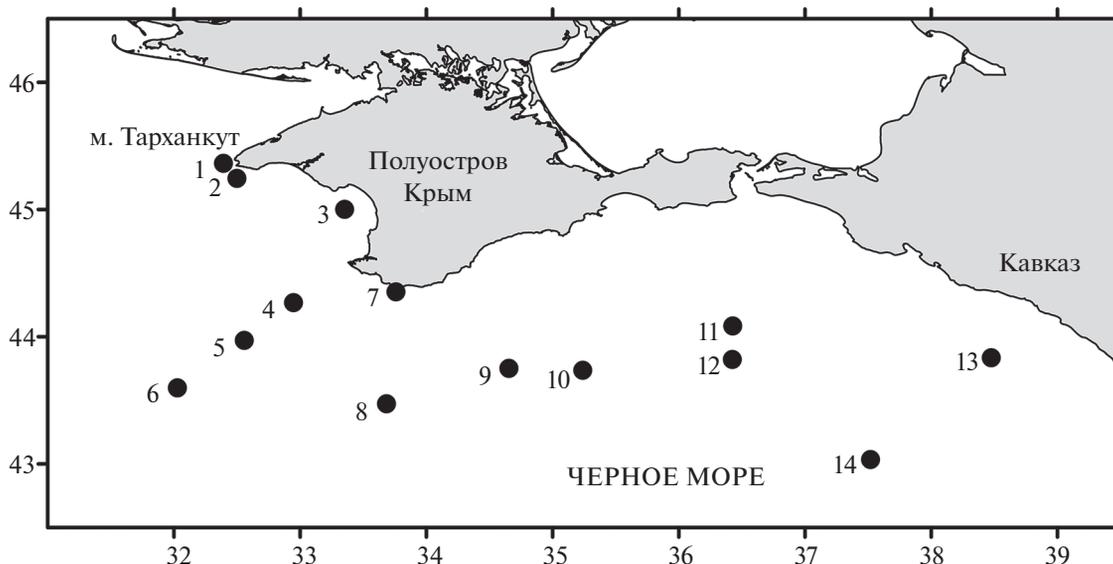


Рис. 1. Карта-схема расположения станций.

динофлагелляту *N. scintillans*, циклопоидную копеподу *Oithona similis* Claus, 1866, кладоцеру *Evadne spinifera* P.E. Müller, 1867 и аппендикулярию *Oikopleura (Vexillaria) dioica* Fol, 1872.

Цель настоящей работы – исследование состава и количественных характеристик крупной фракции планктонных биолюминесцентных организмов в пиках поля биолюминесценции в Черном море в летние месяцы.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собирали в северной части Черного моря на 14 станциях, выполненных в научном рейсе № 108 НИС “Профессор Водяницкий” в июле–начале августа 2019 г. (рис. 1). Для учета крупной фракции светящегося планктона в слоях, соответствующих пикам интенсивности биолюминесценции, использовали ловы сетью Джеди с ячейей сита 115 мкм и входным отверстием 0.1 м<sup>2</sup>. Это позволило исправить недостаток методов учета биолюминесцентных организмов, приведенных в работе Левина с соавторами (1975), когда пробу планктона брали батометром с одного горизонта и соотносили с интенсивностью биолюминесценции в слое определенной толщины, иногда достигающей нескольких десятков метров.

Таксономический состав и количественные характеристики биологического материала определяли по методике Яшнова (1934). К крупной фракции светящегося планктона относили биолюминесцентные организмы размером более 0.2 мм.

Данные о биолюминесценции, температуре и солености получили с помощью гидробиофизического комплекса “Сальпа-М” методом много-

кратного зондирования (Гительзон и др., 1992; Токарев, 2006) от поверхности до глубины 120 м. Для уменьшения влияния астрономического фона в погружной части комплекса была встроена подвижная светоловушка, внутри которой располагалась теневая камера; датчик сигнала находился внутри рабочей камеры. При погружении комплекса поток воды проходил сквозь прибор. При минимальном сопротивлении набегающему потоку водной среды это обеспечивало ослабление астрономического фона в  $2 \times 10^7$  раз и механическую стимуляцию светящихся гидробионтов. Дискретность синхронных измерений комплексом всех параметров при зондировании вниз со скоростью 1.2 м/с составляла 0.25 м, программное обеспечение интегрировало ее до 1 м. В результате обработки сигналов датчиков получены вертикальные профили биолюминесценции, температуры и солености; по этим параметрам была рассчитана условная плотность воды. Методика сбора и обработки информации с использованием комплекса “Сальпа-М” подробно описана ранее (Токарев и др., 2009). Данные по интенсивности биолюминесценции в пиках суммировали по вертикали, и исследовали взаимосвязь суммарного обилия планктонеров в этих пиках с кумулятивной интенсивностью биолюминесценции, а также с показателями температуры и солености в данных слоях.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Слои, в которых отмечены максимальные величины интегральной биолюминесценции, значительно превышающие величины в ниже- или вышележащих слоях, принято называть пиками

Таблица 1. Параметры температуры и солёности в пиках биолюминесценции

№ станции	Расположение слоя	Глубина слоя, м	Температура, °С		Солёность, ‰	
			средняя	максимальная	средняя	максимальная
Ночь						
1	Верхний	12–26	15.72	22.81	17.61	18.10
2	Верхний	5–20	15.49	23.43	17.65	18.09
3	Верхний	20–30	14.90	16.62	17.88	17.99
6	Верхний	5–15	18.29	22.85	17.56	17.80
7	Верхний	8.5–18	16.35	19.06	17.90	18.05
11	Верхний	10–20	20.29	25.15	17.75	18.31
14	Верхний	7–12	22.13	26.33	17.29	18.12
День						
4.1	Верхний	12–18	16.95	23.21	17.38	17.89
4.2	Нижний	76–80	9.14	9.16	20.19	20.27
5	Нижний	72–82	9.04	9.07	19.96	20.10
8.1	Верхний	21–25	14.45	18.21	17.23	17.65
8.2	Нижний	68–75	9.04	9.07	19.83	19.99
9	Нижний	50–60	9.13	9.17	19.71	19.96
10	Нижний	50–55	9.16	9.19	19.71	19.80
12	Нижний	71–80	9.00	9.04	20.12	20.23
13	Нижний	68–75	9.04	9.06	19.99	20.08

биолюминесценции. В ночное время на исследованных станциях зарегистрирован один пик, располагавшийся в слое термоклина на глубине 5–30 м (верхний пик). В дневное время выявлен пик биолюминесценции на глубине 50–82 м (нижний пик). В утреннее и вечернее время на станциях 4 и 8 зарегистрировано по два пика биолюминесценции (верхние, обозначенные как 4.1 и 8.1, и нижние – 4.2 и 8.2). Толщина пиков по вертикали варьировала от 5 до 15 м. Значения температуры и солёности в пиках биолюминесценции на станциях представлены в табл. 1.

На основании построенной по данным температуры и солёности дендрограммы сходства (мера расстояния – Эвклидово расстояние) в слое пика биолюминесценции выявлено несколько групп станций с высокой степенью сходства (рис. 2). В первой группе станций разброс значений температуры и солёности был крайне мал: средняя температура составляла 9.00–9.16°C, солёность – 19.71–20.19‰ (табл. 1). В эту группу попали станции с нижним пиком биолюминесценции. Вторая группа – это станции, между которыми в слоях пиков биолюминесценции наблюдался гораздо больший размах данных по средней температуре и солёности: температура изменялась от 16.62 до 26.33°C, солёность – от 17.23 до 17.90‰. В эту группу объединились станции с верхним пиком биолюминесценции (рис. 2); станции 3, 7 и верхний пик станции 8 образовали подгруппу, кото-

рая характеризовалась максимальными значениями суммарной биолюминесценции по слою. Отмечено, что на этих трех станциях максимальная температура в слое пика биолюминесценции не превышала 19.06°C, в то время как на глубоководных станциях в восточной части Черного моря (станции 11 и 14) вода прогревалась до 25.15–26.33°C, солёность достигала 18.12–18.31‰ (табл. 1).

Суммарная численность светящегося планктона в пиках биолюминесценции колебалась от 45 экз./м<sup>3</sup>, что соответствовало кумулятивной интенсивности биолюминесценции 1251/10<sup>12</sup> Вт/(см<sup>2</sup> × л), до 10457 экз./м<sup>3</sup> для максимального зарегистрированного пика, кумулятивная интенсивность свечения в котором достигала 53146/10<sup>12</sup> Вт/(см<sup>2</sup> × л). Биолюминесцентные виды составляли от 8 до 75% общей численности планктона. Основной крупной фракции светящегося планктона Черного моря в порядке убывания численности являлись *Noctiluca scintillans*, *Oithona similis* и *Oikopleura dioica*; остальные организмы были малочисленны (рис. 3).

Значения зарегистрированных ночью пиков интенсивности биолюминесценции были существенно выше показателей, полученных в дневное время. Это обычное явление, как и значительное различие в количестве светящихся планктонных организмов в слоях биолюминесценции в разное время суток. Максимальное оби-

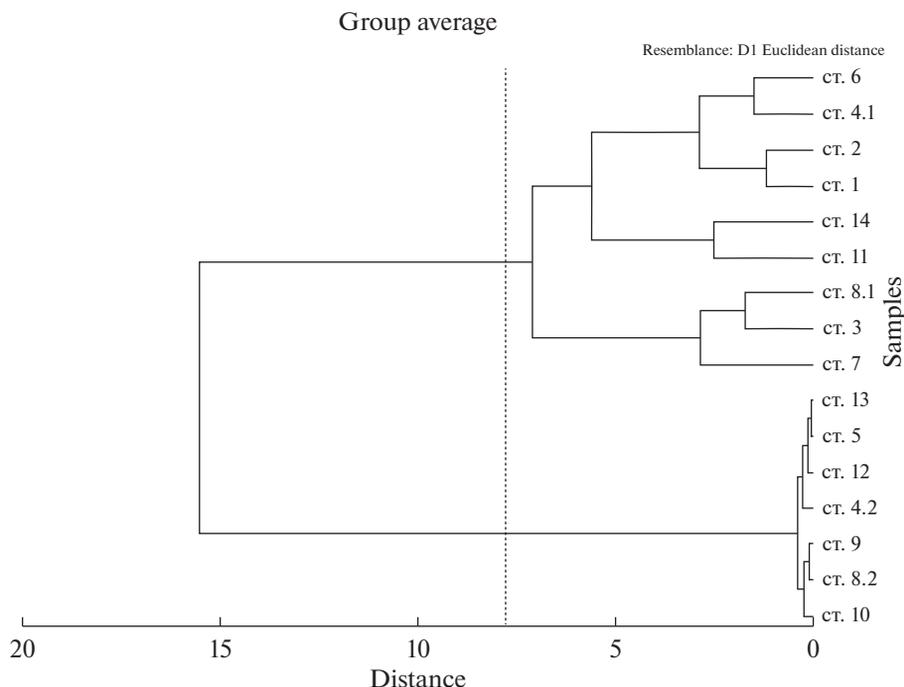


Рис. 2. Дендрограмма сходства станций по Эвклидову расстоянию на основании данных по температуре и солености.

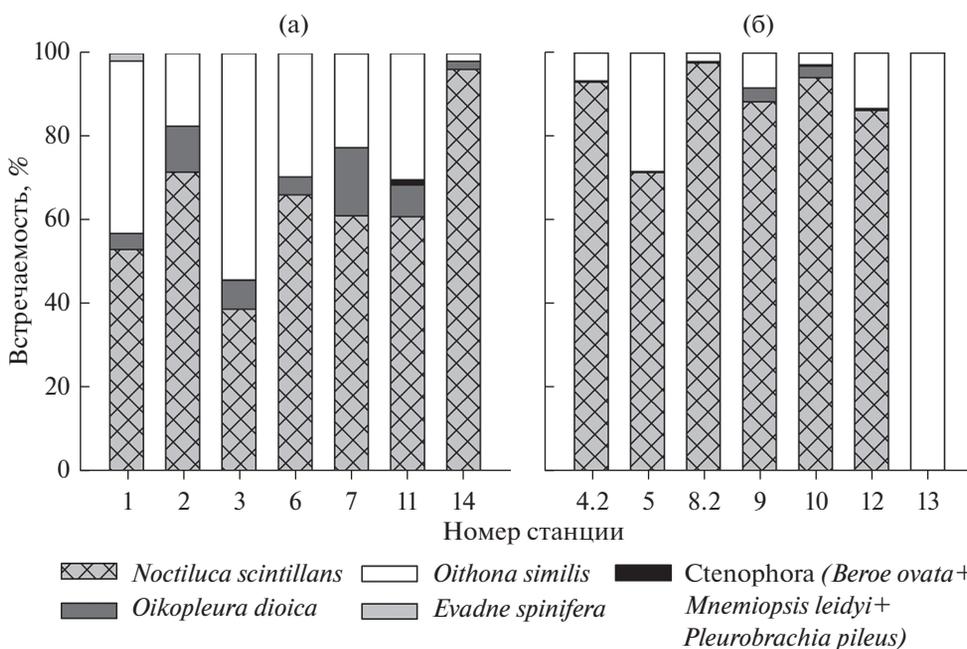


Рис. 3. Вклад отдельных видов в численность крупной фракции светящегося планктона Черного моря в верхнем ночном (а) и нижнем дневном (б) пиках биолюминесценции.

лие светящихся планктонных организмов было отмечено в ночное время, когда пики биолюминесценции наблюдались в верхних слоях воды на глубине 5–30 м. Максимальный пик интенсивности биолюминесценции  $53\,146/10^{12}$  Вт/(см<sup>2</sup> × л) отмечен на станции 3 в слое толщиной 10 м на

глубине 20–30 м. На этой станции были зарегистрированы максимумы численности *O. similis*, *N. scintillans*, *O. dioica* и *Pleurobrachia pileus*.

Для верхнего пика была характерна сильная положительная связь суммарной интенсивности биолюминесценции с обилием трех доминирую-

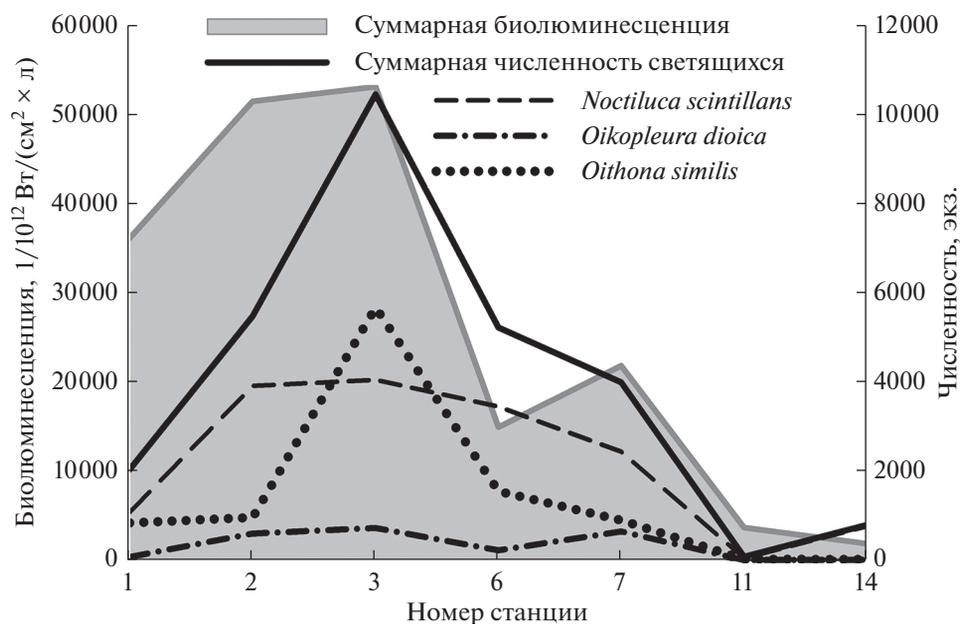


Рис. 4. Суммарное значение биоломинесцентного сигнала и численность светящихся видов в верхнем пике биоломинесценции.

щих видов: для *N. scintillans* и *O. dioica*  $R = +0.79$ , для *O. similis*  $R = +0.70$  и для общей численности светящихся  $R = +0.82$ . По численности доминировала динофлагеллята *N. scintillans*, за исключением станции 3 в Каламитском заливе, где преобладала копепода *O. similis* (рис. 3а). Количество *N. scintillans* в верхних пиках достигало 4 тыс. экз./м<sup>3</sup>; в нижних пиках численность составляла 200–300 экз./м<sup>3</sup>, а зарегистрированный максимум не превышал 900 экз./м<sup>3</sup> (рис. 4). Значимая отрицательная зависимость численности *N. scintillans* от средней температуры воды и максимальных значений солености отмечена в ночном верхнем пике, она составляла  $-0.68$  и  $-0.72$  соответственно.

Копепода *O. similis* была наиболее многочисленной в верхних пиках с максимумом 5675 экз./м<sup>3</sup> на станции 3 у западного побережья Крыма напротив мыса Тарханкут; средняя по станциям численность *O. similis* в слое пика биоломинесценции составляла 676 экз./м<sup>3</sup>. В популяции преобладали самки, их доля на некоторых станциях достигала 60%, и пятые копеподитные стадии (до 48%). Заметная, но не тесная, степень положительной связи численности с интенсивностью биоломинесценции ( $+0.66$ ) может свидетельствовать о наличии биоломинесцентной реакции не у всех стадий копеподы, однако для однозначного вывода необходимы дальнейшие лабораторные исследования. Отмечена высокая степень отрицательной связи численности вида с максимальной температурой в пиках ( $R = -0.83$ ).

Средняя по станциям численность *O. dioica* в слое пика биоломинесценции составляла 145 экз./м<sup>3</sup>. В верхнем пике обилие аппендикулярии было на 2 порядка выше, чем в нижнем. Как и для копеподы *O. similis*, для *O. dioica* отмечена высокая степень отрицательной связи численности с максимальной температурой в пиках ( $R = -0.83$ ).

Только 6 экз. гребневика *P. pileus* зарегистрированы на станции 3, на остальных станциях этот вид был обнаружен в единичных экземплярах или отсутствовал. Из других представителей ктенофор однажды встречен *Mnemiopsis leidyi*, гребневик *B. ovata* в пробах отсутствовал. Кладоцера *E. spinifera* в небольшом количестве обнаружена на трех станциях.

На всех станциях в нижнем и верхнем пиках с долей 72–97% в общей численности светящихся доминировала *N. scintillans*. Исключением была станция 13 у кавказского побережья, где светящиеся виды были представлены только *O. similis* (рис. 3б).

Выявлена сильная отрицательная зависимость между максимальными значениями амплитуды биоломинесценции в верхних пиках и средними значениями температуры в соответствующих слоях ( $R = -0.91$ ). С повышением температуры величина максимальной интенсивности биоломинесценции уменьшалась. Для слоя нижнего пика выявлена высокая положительная связь амплитуды биоломинесценции с абиотическими параметрами; коэффициент корреляции интенсивности биоломинесценции с максимальными температурой и соленостью в этом пике составил соответ-

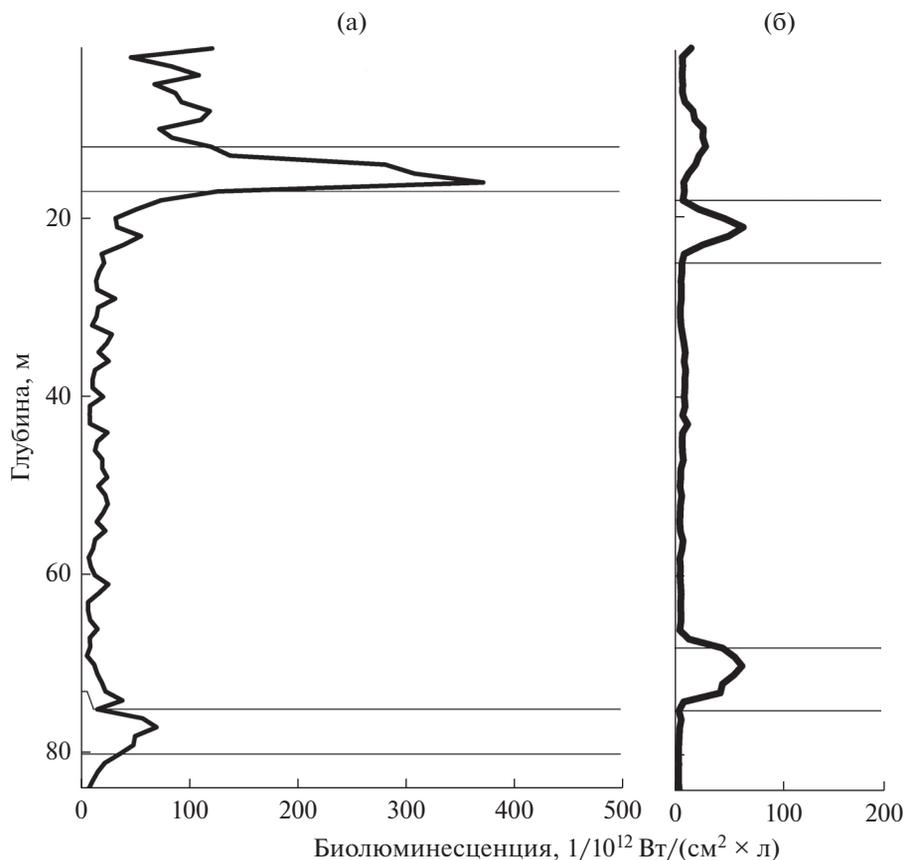


Рис. 5. Вертикальные профили биолюминесценции на станциях 4 (а) и 8 (б) с двумя пиками поля биолюминесценции.

ственно +0.81 и +0.83. Значимой корреляции в нижних пиках между биолюминесценцией и численностью биолюминесцентных видов не обнаружено.

На станциях 4 и 8 в вечернее и утреннее время отмечено два биолюминесцентных пика (рис. 5). Интенсивность биолюминесценции в верхнем пике была значительно выше, чем на горизонтах, расположенных ниже. Вертикальный профиль нижнего пика более пологий в отличие от островершинного верхнего пика, поэтому кумулятивная интенсивность биолюминесценции нижнего пика может превосходить таковую верхнего пика и вносить больший вклад в общую интенсивность биолюминесценции по всему столбу воды, как это наблюдалось на станции 8.

На станциях с двумя пиками интенсивности биолюминесценции сохранялось доминирование *N. scintillans*. Вклад *O. similis* по численности в верхнем пике был на порядок больше, чем в нижнем, и составлял 21%. Численность *O. dioica* не превышала 2% (рис. 6).

### ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальные величины кумулятивной биолюминесценции наблюдались в ночное время в верхних пиках биолюминесценции на мелководных (глубина 30–90 м) станциях 1–3 и 7, расположенных вдоль юго-западного побережья п-ва Крым (рис. 1, 4). Данные величины на два порядка превышали значения, отмеченные для глубоководных районов в нижних пиках биолюминесценции в дневное время. Существенных значений кумулятивная биолюминесценция достигала также на станции 6, находившейся в западной халистазе. На исследуемых горизонтах на этих станциях наблюдалось наибольшее обилие представителей крупной фракции биолюминесцентного планктона (рис. 7).

На большинстве станций в течение суток по численности доминировала динофлагеллята *Noctiluca scintillans* (рис. 3), уровень биолюминесцентного сигнала которой может достигать  $1/10^3$  мкВт/см<sup>2</sup> (Токарев и др., 2016). Очевидно, этот вид вносил значительный вклад в поле биолюминесценции крупной фракции планктонных видов. На доминирующую роль *N. scintillans* в свечении морской воды указывали и ранее (Токарев и др., 2000; Заворуев, 2002).

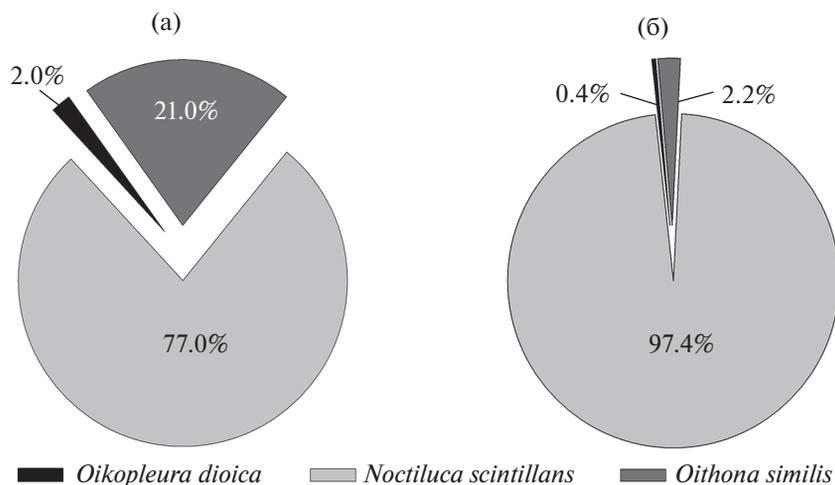


Рис. 6. Вклад трех массовых видов крупной фракции светящегося планктона в численность светящихся организмов на станции 8: а – верхний пик; б – нижний пик.

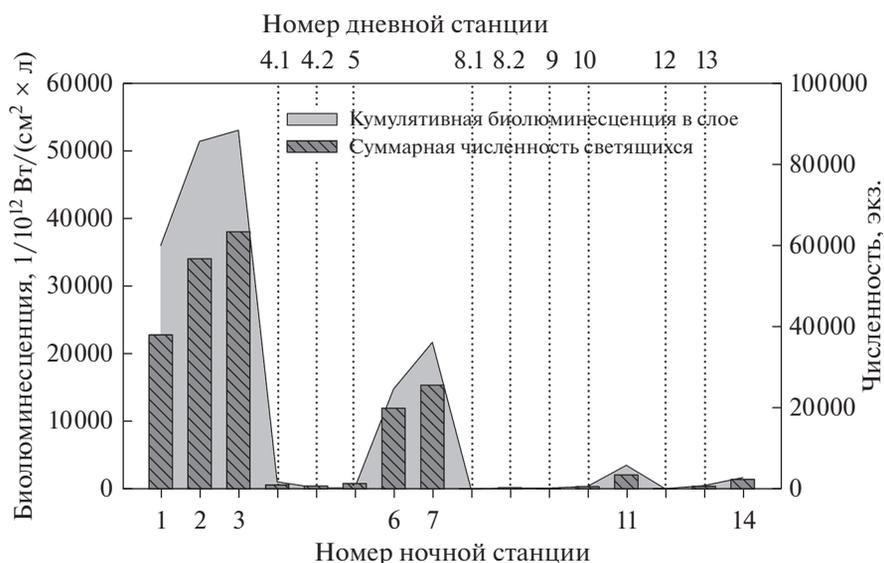
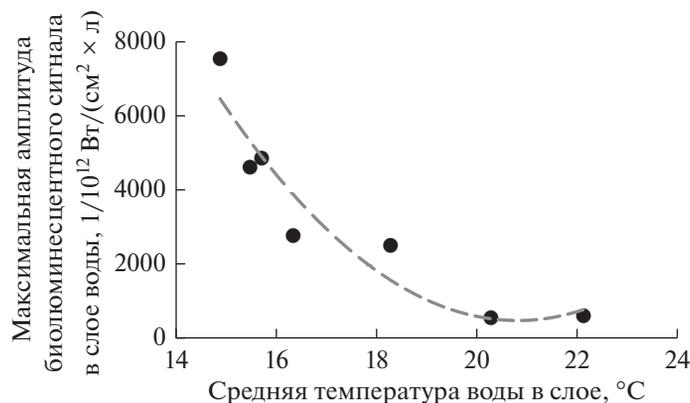


Рис. 7. Кумулятивный биолуминесцентный сигнал и численность светящихся видов крупной фракции биолуминесцентных в дневное и ночное время.

Биолуминесценция копеподы *Oithona similis* оценена в  $4.6/10^2$  мкВт/см<sup>2</sup> (Евстигнеев, Битюков, 1990; Токарев и др., 2016), что на порядок больше, чем у *N. scintillans*. Следовательно, вклад *O. similis* в кумулятивную биолуминесценцию также может достигать больших величин. Согласно нашим данным, свечение зарегистрировано на станции 13, где крупная фракция светящегося планктона была представлена только *O. similis*. Однако на станциях 2 и 3, на которых величина кумулятивной биолуминесценции была высокой и почти одинаковой (рис. 7), численность этой копеподы различалась в 7 раз (839 и 5675 экз./м<sup>3</sup> соответственно). Прогрев воды на исследуемых

горизонтах значительно различался (табл. 1), что также могло иметь значение для параметров свечения.

Аппендикулярия *Oikopleura dioica* в массовом количестве присутствовала в верхних пиках биолуминесценции ночью на прибрежных станциях 2, 3 и 7, где ее численность достигала 600–725 экз./м<sup>3</sup>; на глубоководной станции 6 обилие этого вида составляло 225 экз./м<sup>3</sup>, в остальных районах не превышало 15 экз./м<sup>3</sup>. В литературе значения биолуминесцентного сигнала для *O. dioica* не приводятся, поэтому сложно судить о ее вкладе в кумулятивный биолуминесцентный сигнал.



**Рис. 8.** Зависимость максимальных значений интенсивности поля биолюминесценции в верхнем пике от средней температуры воды в этом слое.

Ктенофоры, индивидуальная интенсивность биолюминесценции которых превышает таковую у других планктонных организмов и должна существенно влиять на суммарный сигнал, встречались лишь в единичных экземплярах; они отмечены на станциях с максимальной интенсивностью биолюминесценции и на станциях, где свечение было крайне мало.

Значимой корреляции кумулятивной биолюминесценции с температурой и соленостью воды не обнаружено, однако выявлена сильная обратная зависимость между максимальными значениями амплитуды интенсивности поля биолюминесценции в верхних пиках в ночное время и средними значениями температуры в соответствующем слое. Максимум амплитуды биолюминесцентного сигнала приходится на слой с температурой воды 15°C; при прогреве свыше 20°C значения амплитуды минимальны (рис. 8).

В настоящее время отсутствуют сведения о влиянии глубины, на которой были выловлены гидробионты, на долю высветившихся (т.е. проявивших реакцию в виде вспышки) в эксперименте особей разных видов. Однако не исключено, что этот параметр также может влиять на энергию свечения. Возможно, свой вклад в поле биолюминесценции вносят и другие зоопланктонные виды, способность к свечению которых еще не изучена. На современном этапе исследований сложно определить, какой вид вносит наибольший вклад в общую интенсивность биолюминесценции.

На основании полученных нами данных можно сделать следующие выводы:

1. В летнее время в Черном море крупная фракция биолюминесцентных планктонных организмов в пиках биолюминесценции чаще всего представлена динофлагеллятой *N. scintillans* и копеподой *O. similis*, причем в большинстве случаев доминировала *N. scintillans*, в остальных — *O. similis*.

2. Наибольшая численность светящихся видов обнаружена в прибрежных районах Крыма.

3. Доля крупной фракции планктонных биолюминесцентных составляла 8–75% от общей численности планктонных видов.

4. В верхнем пике биолюминесценции в ночное время отмечено большое количество светящихся видов и зарегистрированы высокие значения кумулятивной биолюминесценции. Обнаружена сильная корреляционная связь максимальной амплитуды биолюминесценции с температурой.

5. Для верхних пиков биолюминесценции в ночное время найдена значимая связь между температурой в слое пика и численностью трех видов крупной фракции биолюминесцентных: *N. scintillans*, *O. similis* и *O. dioica*.

6. Различие между величинами биолюминесценции в пиках обусловлено не только таксономическим составом светящихся видов, но и циркадным ритмом свечения.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания РАН № 121040600178-6 “Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем” и № 121041400077-1 “Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брянцева Ю.В., Серикова И.М., Суслин В.В. Межгодовая изменчивость разнообразия динофлагеллят и поля биолюминесценции у берегов Севастополя // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 11. С. 158–164.
- Гительзон И.И., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. и др. Биолюминесценция океана. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 283 с.
- Евстигнеев П.В., Битюков Э.П. Биолюминесценция морских копепод. Киев: Наукова думка. 1990. 144 с.
- Евстигнеев П.В., Битюков Э.П., Околотков Ж.Е. Видовой состав и специфичность биолюминесценции водорослей Дупорхусеа // Ботан. журн. 1993. Т. 78. С. 1–15.
- Заворуев В.В. Суточные изменения биолюминесценции планктона Черного и Эгейского морей и корреляция свечения с концентрацией хлорофилла // Исследовано в России (электронный ресурс). МФТИ. <http://zhurnal.mipt.rssi.ru>. 2002. С. 2204–2214.
- Левин Л.А., Утюшев Р.Н., Артемкин А.С. Распределение интенсивности биолюминесцентного поля в экваториальной части Тихого океана // Тр. Ин-та океанол. им. П.П. Ширшова. 1975. Т. 102. С. 94–101.
- Полонский А.Б., Мельникова Е.Б., Серебренников А.Н. и др. Региональные особенности интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* в водах Черного моря // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. Вып. 4. С. 275–281.
- Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Токарев Ю.Н. и др. Особенности сезонной динамики поля биолюминесценции и биомассы светящихся динофлагеллят у Севастополя (2008–2009 гг.) // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. 2010. № 3(44). С. 230–234.
- Серикова И.М., Токарев Ю.Н., Евстигнеев В.П., Суслин В.В. Поле биолюминесценции как показатель агрегированности динофитовых водорослей в Черном море и его сезонная и межгодовая динамика // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. Материалы XXIII Международ. симпози. Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/proceedings>. 2017. С. С455–С458.
- Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2006. 342 с.
- Токарев Ю.Н., Битюков Э.П., Василенко В.И. и др. Поле биолюминесценции – характерный показатель структуры планктонного сообщества Черного моря // Экол. моря. 2000. Вып. 53. С. 20–25.
- Токарев Ю.Н., Василенко В.И., Жук В.Ф. Новый гидробиофизический комплекс для экспрессной оценки состояния прибрежных экосистем // Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы XI Международ. научно-техн. конф. Ч. 3. 25–27 ноября 2009. М.: Изд-во РАН. 2009. С. 23–27.
- Токарев Ю.Н., Евстигнеев П.В., Машукова О.В. Планктонные биолюминесцентные Мирового океана: видовое разнообразие, характеристики светового излучения в норме и при антропогенном воздействии. Симферополь: Нижняя Орианда. 2016. 340 с.
- Черепанов О.А., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. Связь биолюминесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. 2. Черное море // Мор. экол. журн. 2007. Т. 6. Вып. 3. С. 84–89.
- Яшнов В.А. Инструкция по сбору и обработке планктона. М.: ВНИРО. 1934. 40 с.
- Haddock S.H.D., Moline M.A., Case J.F. Bioluminescence in the sea // Annu. Rev. Mar. Sci. 2010 V. 2. № 1. P. 443–493.
- Martini S., Haddock S.H.D. Quantification of bioluminescence from the surface to the deep sea demonstrates its predominance as an ecological trait // Sci. Rep. 2017. V. 7. 45750. <https://doi.org/10.1038/srep45750>

## Large Luminous Plankton in Bioluminescence Peaks in the Black Sea

A. V. Temnykh<sup>a</sup>, M. I. Silakov<sup>a</sup>, and A. V. Melnik<sup>a</sup><sup>a</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol 299011, Russia

In the Black Sea, one peak was usually observed in the vertical profile of bioluminescence: in summer, this peak was recorded at a depth of 5–30 m at night and at a depth of 50–82 m in the daytime. Two peaks corresponding to the same horizons were detected in the morning and in the evening at two of the fourteen studied stations. In the upper peak, a strong positive relationship was observed between the total intensity of bioluminescence and the abundance of the three dominant species: the correlation coefficient  $R$  was +0.79 for the plankton species *Noctiluca scintillans* and *Oikopleura dioica*, +0.70 for *Oithona similis*, and +0.82 for the total abundance of luminous plankton. In the upper peak, the abundance of these species showed a significant inverse dependence on temperature, while *N. scintillans* revealed a significant inverse relationship with changes in salinity ( $R = -0.72$ ). The dinoflagellate *N. scintillans* dominated in abundance at almost all stations. No significant correlation between bioluminescence and abundance of luminous species was found in lower peaks. We suppose that other zooplankton organisms also contribute to the bioluminescence field, the ability of which to glow has not yet been studied.

**Keywords:** Bioluminescence, large luminous zooplankton, dinoflagellate *Noctiluca scintillans*, ctenophores, luminous invertebrates, plankton community, the Black Sea