



УДК 574.52

DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-1-36-49

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕЧЕНИЯ ГИДРОБИОНТОВ НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ КРЫМА

Е. Б. Мельникова

Институт природно-технических систем ФГБУН
ул. Ленина, 28, Севастополь, Крым, Россия, 299011

Показаны различия в процессах сезонных изменений интенсивности биолюминесценции в глубоководной акватории моря на юго-западном шельфе Крыма, а также в акватории Севастопольской бухты (Черное море). Рассмотрено влияние температурных режимов гидрологического сезона на характер изменений интенсивности свечения гидробионтов в течение года. Рассчитаны коэффициенты корреляции межгодовых изменений интенсивности биолюминесценции в годы с разными температурными режимами для глубоководной акватории моря и мелководной Севастопольской бухты. Выявлена важная роль термохалинной структуры вод в сезонной изменчивости интенсивности биолюминесценции.

Ключевые слова: интенсивность свечения гидробионтов, Черное море, гидрологические сезоны, межгодовые изменения, Севастопольская бухта, относительно открытая акватория

Введение

Фоновая оценка экологической ситуации и следующие за ней мониторинговые наблюдения имеют важное значение для своевременного обнаружения тенденций ее изменений и принятия мер рационального использования и сохранения водных биоресурсов.

Свечение морских гидробионтов и создаваемый ими в толще воды суммарный световой эффект (биолюминесценция), подверженные сезонным изменениям, являются важными элементами функционирования пелагического сообщества [1; 2; 5; 13; 14; 16; 20; 21]. Известно, что интенсивность свечения планктонных организмов позволяет выявить пространственное распределение планктонного сообщества и является важным показателем экологического состояния экосистемы [5; 7; 8; 11; 13; 16–19]. Мониторинговые исследования являются информационной базой для оценки влияния абиотических факторов на состояние водных биоресурсов Черного моря. В первую очередь это относится к прибрежным участкам шельфа, испытывающим наибольшую антропогенную нагрузку [6; 9]. Особое место среди абиотических факторов принадлежит такому важному физическому параметру водной среды, как температура. Ее влияние на гидробионтов может быть как непосредственным (перегрев или переохлаждение организмов), так и косвенным (изменение поведенческих реакций, темпов роста, развития, пространственного распределения, кормовой базы, условий питания и т.д.).

Актуальность данных работ подтверждается возможностью дистанционного (спутникового) мониторинга изменений абиотических факторов водной среды и на основе их анализа проводить оценку экологической обстановки как прибрежных вод, подверженных повышенному антропогенному стрессу, так и Азово-Черноморского бассейна в целом.

Целью работы является исследование закономерностей сезонной изменчивости интенсивности свечения организмов под воздействием абиотических факторов среды в глубоководной и мелководной акваториях на юго-западном шельфе Крыма.

Материал и методы

Исследования сезонной вариабельности вертикального распределения интенсивности свечения гидробионтов проводили в относительно глубоководной ($h \geq 60$ м) имеющей водообмен с открытой частью моря акватории на траверзе б. Круглая (ст. 1), а также в мелководной Севастопольской бухты в районе б. Константиновская (ст. 2) и б. Голландия (ст. 3), глубина которых не превышает 19 м (рис. 1).

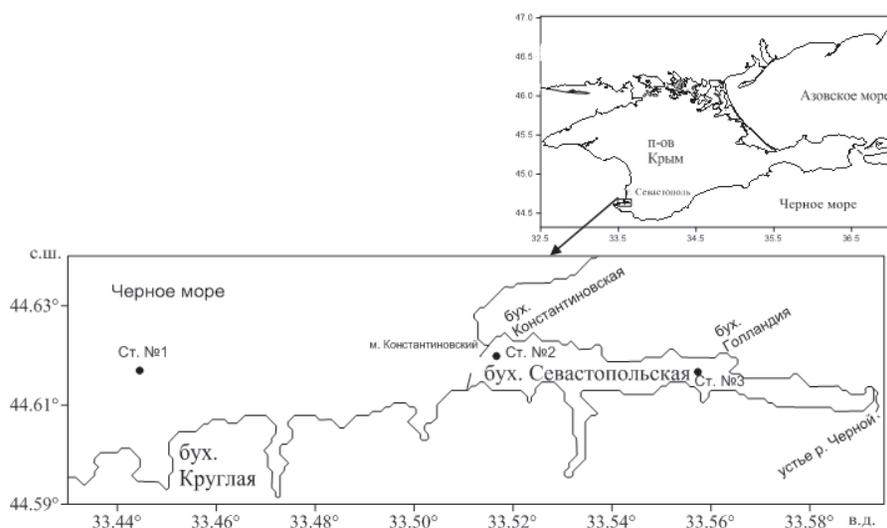


Рис. 1. Схема района исследования
(Scheme of the study area)

Севастопольская бухта относится к водоемам эстуарного типа и имеет ограниченный водообмен с открытым морем. Кроме того, Севастопольская бухта включает устьевое взморье реки Черная, которая является стоком пресных вод в бухту, в результате чего происходит смешение речных и морских вод [4; 6; 9].

Для анализа межгодовой изменчивости интенсивности биолюминесценции были использованы данные за шестилетний период (2009—2014 гг.).

Вертикальное распределение интенсивности биолюминесценции, а также фоновые характеристики пелагиали исследовали методом батифотометрического зондирования, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [12], с помощью которого измеряли интенсивность биолюминесцентного излучения, тем-

пературу, соленость. Съемки проводили в ночное время через 2 часа после наступления темноты. На каждой станции выполнялось по 10 зондирований с интервалом 2 минуты. Измерения на всех станциях проводили от поверхности до придонных глубин. Дискретность измерений в режиме вертикального зондирования составляла 1 м. Для глубоководной акватории выделяли слой, в котором наблюдался высокий уровень интенсивности свечения гидробионтов. Этот слой находили как диапазон глубин, в котором интенсивность биолюминесценции превышала уровень 0,5 от максимального для всей глубины зондирования. В дальнейшем анализе использовали усредненные значения всех измеренных параметров по этому слою. В Севастопольской бухте усреднение измеренных параметров проводили по всей глубине зондирования. Одновременно с регистрацией интенсивности свечения гидробионтов производили отбор планктонных проб пятилитровым батометром с горизонтов, соответствующих максимальному свечению организмов [3].

Для оценки тесноты связи сезонной и межгодовой изменчивости интенсивности биолюминесценции в открытой и закрытой акваториях моря использовали линейный коэффициент корреляции Пирсона:

$$r_{XY} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где r_{XY} — коэффициент парной корреляции; X — годовые значения интенсивности биолюминесценции на первой из двух сравниваемых станций; \bar{X} — среднегодовое значение интенсивности биолюминесценции на первой станции; Y — годовые значения интенсивности биолюминесценции на второй из двух сравниваемых станций; \bar{Y} — среднегодовое значение интенсивности биолюминесценции на второй станции.

Статистическую обработку результатов проводили на персональном компьютере с использованием программ Microsoft Excel 7.0, Sigma Plot 11.0, Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Как показали проведенные исследования, характер годовых изменений интенсивности свечения гидробионтов в значительной степени определяется температурным режимом зимнего периода года (январь, февраль, март). Поэтому для подробного сравнения особенностей межгодовой сезонной динамики изменений интенсивности суммарного свечения организмов использовали данные 2011, 2012 и 2014 гг. В эти годы наблюдались существенные сезонные отличия по температурному режиму водной среды в зимний период года. В таблице 1 приведены среднемесячные температуры морской воды в относительно открытой глубоководной акватории моря (ст. 1) (числитель) и в мелководной Севастопольской бухте (знаменатель). Для Севастопольской бухты приведены усредненные температуры по станциям 2 и 3.

Многолетние мониторинговые исследования показали, что температурный режим зимнего периода в 2011 г. характеризуется как типичный для среднесезонных наблюдений данного района исследования, в то время как температур-

ный режим зимнего периода 2012 г. можно характеризовать как суровый, с температурами ниже среднеголетних, а зимний период 2014 г. — как мягкий, с температурами выше среднеголетних.

Таблица 1

Среднемесячные температуры морской воды в зимний период в глубоководной акватории моря (числитель) и Севастопольской мелководной бухте (знаменатель) (°C)
(Average sea temperature in winter in the deep water area (numerator) and the shallow bay of Sevastopol (the denominator))

| Год | Среднемесячные температуры | | | Средняя сезонная температура | Обобщенная характеристика зимнего периода |
|------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|---|
| | январь | февраль | март | | |
| 2011 | 10,1/9,0 | 8,8/6,5 | 8,1/8,6 | 9,0/8,0 | Типичный |
| 2012 | 8,4/6,6 | 7,5/4,5 | 8,0/7,2 | 8,0/6,1 | Холодный |
| 2014 | 10,0/8,9 | 8,9/7,8 | 9,0/8,8 | 9,3/8,5 | Теплый |

На рисунке 2 изображены графики изменений интенсивности биолюминесценции и их среднеквадратические отклонения для 2011, 2012, и 2014 гг., которые пунктирными линиями разделены на пять условных гидрологических сезонов: зимний (январь, февраль, март), весенний (апрель, май), летний (июнь, июль, август), раннеосенний (сентябрь, октябрь) и позднеосенний (ноябрь, декабрь), для которых характерны свои особенности развития гидробионтов и термохалинной структуры вод в глубоководной акватории.

В таблице 2 приведены результаты проведенного расчета коэффициентов парной корреляции (r) и уровней значимости (α) между изменениями суммарного свечения организмов в глубоководной акватории моря (ст. 1) и в Севастопольской бухте (ст. 2 и ст. 3), а также между станциями в Севастопольской бухте. Из полученных результатов следует, что для всех рассматриваемых годов сезонные процессы в глубоководной несколько отличаются от мелководной акватории моря (коэффициенты парной корреляции изменяются в пределах $r_{x-y} = 0,39-0,59$, средний коэффициент корреляции $r_{\text{сред}} = 0,50$). Это свидетельствует о том, что сезонные процессы в глубоководной акватории необходимо рассматривать отдельно от Севастопольской бухты. В то же время изменения на станциях внутри Севастопольской бухты имеют достаточно высокую корреляцию связь (средний межгодовой коэффициент корреляции $r_{\text{сред}} = 0,92$). Это дает основание в дальнейшем рассматривать процессы, происходящие на ст. 2 и ст. 3, совместно.

Таблица 2

Внутригодовые коэффициенты парной корреляции (r) и уровни значимости (α) в глубоководной (ст. 1) и мелководной (ст. 2 и ст. 3) акваториях моря
(Within-pair correlation coefficients (r) and significance level (α) in the deep (v. 1) and shallow (Art. 2 and Art. 3) The waters of the sea)

| Год | Номера пар станций | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|----------|------|----------|------|----------|
| | 1-2 | | 1-3 | | 2-3 | |
| | r | α | r | α | r | α |
| 2011 | 0,55 | 0,06 | 0,48 | 0,11 | 0,82 | < 0,01 |
| 2012 | 0,43 | 0,15 | 0,39 | 0,20 | 0,98 | < 0,01 |
| 2014 | 0,56 | 0,06 | 0,59 | 0,04 | 0,97 | < 0,01 |
| Среднее значение коэф. корреляции | 0,50 | | | | 0,92 | |

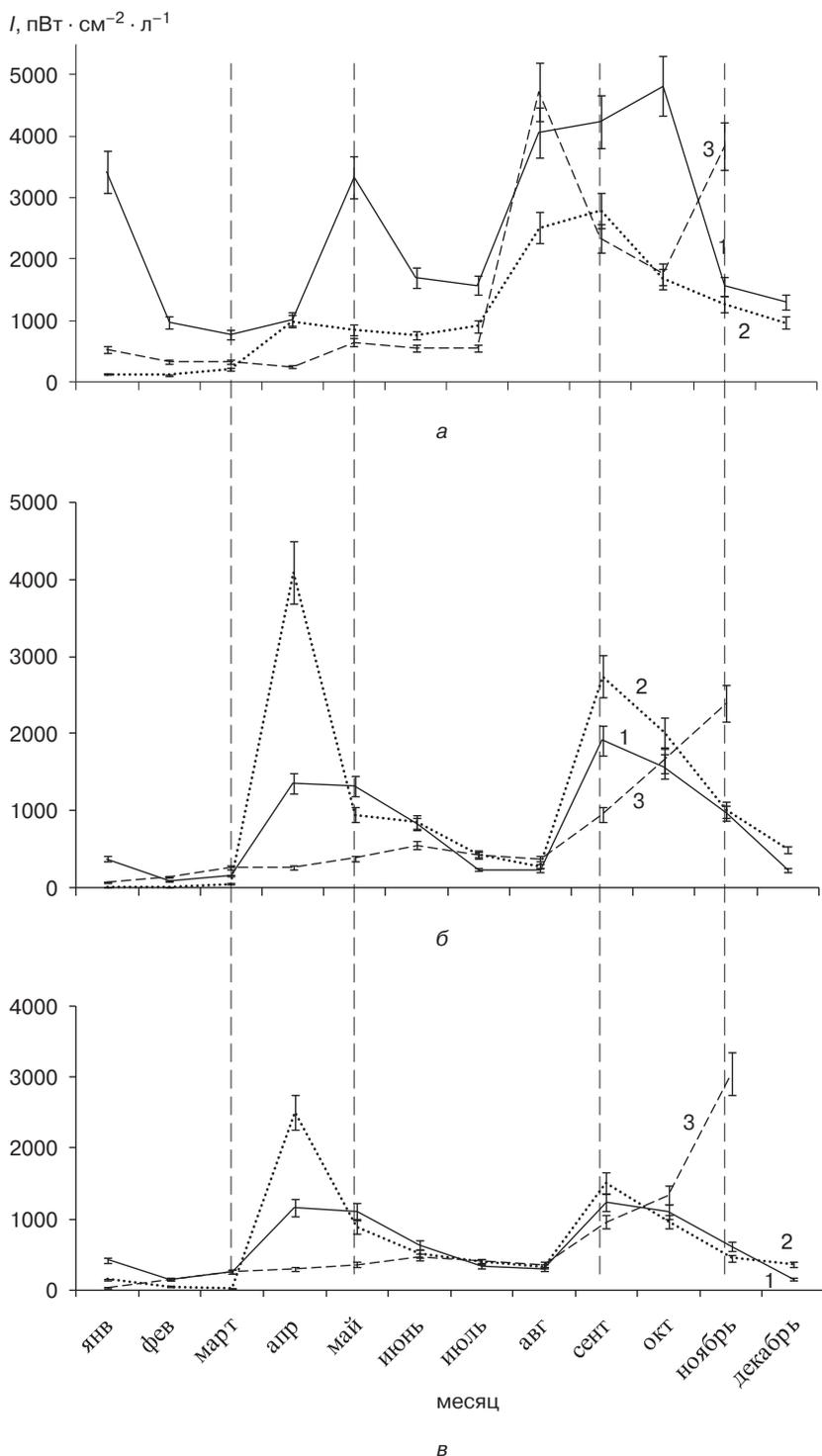


Рис. 2. Изменения интенсивности свечения организмов в глубоководной акватории на ст. 1 (а), в мелководной Севастопольской бухте на ст. 2 (б) и ст. 3 (в) для 2011 (1); 2012 (2); 2014 (3) годов (Organisms luminescence intensity changes in the deep waters in the art. 1 (a) and in the shallow bay of Sevastopol in the art. 2 (b) and Art. 3 (c) to 2011 (1); 2012 (2); 2014 (3) years)

Расчет межгодовых коэффициентов парной корреляции для изменения интенсивности свечения организмов в глубоководной и мелководной акваториях моря для годов с суровой, средней и мягкой зимами показал, что на глубоководной станции межгодовой коэффициент парной корреляции изменяется в пределах $r = 0,45-0,74$ (табл. 3).

Таблица 3

Межгодовые коэффициенты парной корреляции (r) и уровни значимости (α) в глубоководной акватории моря и мелководной Севастопольской бухте (The interannual pair correlation coefficients (r) and significance levels (α) in the deep waters of the sea and the shallow bay of Sevastopol)

| Район исследования | Сравниваемые годы | | | | | |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 2011–2012 | | 2011–2014 | | 2012–2014 | |
| | r | α | r | α | r | α |
| Глубоководная акватория моря | 0,65 | 0,02 | 0,45 | 0,14 | 0,74 | < 0,01 |
| Севастопольская бухта | 0,82 | < 0,01 | 0,23 | 0,47 | 0,23 | 0,47 |

Между изменениями интенсивности свечения организмов в годы с холодной, мягкой и средней по температурным показателям зимами на глубоководной станции имеется средняя корреляционная связь.

Это связано с тем, что температурные характеристики глубинных водных слоев со слабо меняющимися от года к году гидрофизическими параметрами в значительной степени сглаживают влияние температурных особенностей года.

Анализ изменений интенсивности свечения организмов в Севастопольской бухте (см. рис. 2) показывает, что особенностями года с теплой зимой являются низкие уровни интенсивности биолюминесценции в зимний, весенний и летний периоды (по сравнению со средними многолетними значениями) и значительное повышение интенсивности биолюминесценции в позднеосенний период, превышающие среднемноголетние для этого периода в 3–5 раз, в то время как в годы с типичной и холодной зимой характер годовых изменений интенсивности биолюминесценции имеет близкий характер.

Это подтверждается межгодовыми коэффициентами парной корреляции. Так, имеется попарная корреляционная связь между изменениями интенсивности свечения организмов в год со средними многолетними температурными показателями зимнего периода и теплым зимним периодом, а между холодным и теплым зимним периодами — невысокая корреляционная связь ($r = 0,23$).

В то же время изменения интенсивности свечения организмов в годы со средним многолетним и холодным зимними периодами характеризуются близким характером годовых изменений интенсивности свечения организмов (коэффициент корреляции $r = 0,82$). Иными словами, повышение среднесезонной температуры в зимний период по сравнению со среднесезонными приводит к изменению характера интенсивности свечения организмов в течение года.

Расчеты коэффициентов парной корреляции показали, что мелководная Севастопольская бухта, для которой характерен прогрев и охлаждение вод по всей толще воды, отсутствие сезонной термохалинной структуры и с учетом влияния стока реки Черная, более подвержена межгодовым климатическим изменениям. Ход сезонных изменений интенсивности суммарного свечения организмов в Се-

вастопольской бухте в исследуемые годы в большей степени чем в глубоководной акватории зависел от температурных особенностей года.

Обсуждение результатов проведем последовательно для годов с типичным, холодным и теплым зимними периодами.

Зимний период 2011 г. характеризовался в открытой глубоководной акватории (ст. 1) среднемесячными температурами близкими к $9,0^{\circ}\text{C}$ и соленостью $18,01\text{‰}$, которые по многолетним наблюдениям типичны для данного района.

Суммарный вклад в интенсивность свечения организмов в этот период вносят крупноклеточные холодолюбивые виды светящихся гидробионтов представители рода *Neoceratium* — *N. furca*, *N. fusus*, *N. tripes* и рода *Protoperidinium* — *P. divergens*, *P. pallidum*, *P. steinii*, *P. crassipes*, которые преобладают в открытой глубоководной акватории моря [2; 3; 10; 11; 13]. Наибольшая интенсивность свечения организмов в зимний период (первый годовой пик) наблюдалась в январе и она в 8 раз была выше по сравнению с интенсивностью свечения организмов в январе в мелководной акватории моря — Севастопольской бухте. Такая большая разница в интенсивности свечения указывает на то, что в Севастопольской бухте в зимний период не наблюдалось интенсивного развития светящихся гидробионтов. В Севастопольской бухте в зимний период 2011 г. среднемесячные температуры и соленость были ниже, чем в глубоководной акватории ($8,0^{\circ}\text{C}$ и $17,80\text{‰}$ соответственно).

В весенний период (апрель—май) в глубоководной акватории начинается перестройка вертикальной термической структуры. Начинается прогрев водной толщи. Температура воды в весенний период 2011 г. в среднем повысилась до $13,0^{\circ}\text{C}$, а соленость немного снизилась до $17,82\text{‰}$ по сравнению с зимним периодом.

Весенний период характеризуется увеличением численности и биомассы теплолюбивых светящихся видов динофлагеллят рода *Goniaulax* — *G. apiculata*, *G. digitale*, рода *Scrippsiella* — *S. trochoidea* и рода *Protoperidinium* — *P. depressum*, *P. granii*, *P. pentagonum*, *P. diabolum* [2; 3; 10; 11; 13].

Весной 2011 г. в глубоководной акватории массовое развитие мелкоклеточных светящихся динофитовых водорослей наблюдалось в мае. В весенний период интенсивность свечения организмов возросла в среднем в 1,3 раза по сравнению с зимним периодом. Второй годовой пик интенсивности свечения организмов наблюдался в мае.

В Севастопольской бухте за счет ее мелководья весенний прогрев по всей толще воды происходил быстрее, чем в глубоководном районе. Интенсивное весеннее развитие светящихся гидробионтов в 2011 г. в Севастопольской бухте привело к повышению интенсивности свечения организмов в этот период почти в 4 раза по сравнению с зимним периодом.

В глубоководной акватории постепенный прогрев водной толщи при переходе от весеннего к летнему периоду вследствие возникающей температурной стратификации вод затрудняет процессы вертикального обмена и вынос к поверхности биогенных веществ. Светящиеся организмы уходят в нижележащие водные слои с оптимальной для них температурой, расположенные в зоне тем-

пературного скачка (для большинства светящихся гидробионтов оптимальная температура близка к 14,0—20,0 °С).

В Севастопольской бухте в летний период 2011 г. продолжался интенсивный прогрев всей толщи воды. Отсутствие температурной стратификации вод, повышение температуры выше 20,0 °С и понижение солености до 17,55‰ за счет стоков реки Черная привели к снижению интенсивности свечения организмов по сравнению с весенним периодом в 3 раза, хотя и наблюдалось в этот период развитие мелкоклеточных весенне-летних теплолюбивых видов (*G. apiculata*, *G. polygramma*, *L. Poliedrum*, *S. trochoidea*, *P. claudicans*, *P. conicum*, *P. globules*, *P. pellucidum*, *P. solidicorne*) [2; 3; 10; 11; 13].

В начале осени (сентябрь—октябрь) в глубоководной открытой акватории моря еще сохраняется теплая устойчивая погода со слабыми ветрами и небольшими волнениями. В этот период начинается осеннее интенсивное развитие светящихся гидробионтов представителей рода *Neoceratium* — *N. inflatum*, рода *Goniaulax* — *G. digitale*, *G. polygramma*, *G. Spinifera*, рода *Lingulodinium* — *L. poliedrum*, рода *Protoperidinium* — *P. claudicans*, *P. conicum*, *P. globules*, *P. oceanicum*, *P. pellucidum*, *P. sinaicum*, *P. solidicorne* [2; 3; 10; 11; 13].

При средней температуре 16,0 °С на ст. 1 в 2011 г. интенсивность свечения увеличилась в среднем в 2 раза по сравнению с летним периодом. Массовое осеннее развитие светящихся гидробионтов привело к тому, что осенний пик свечения наблюдался в октябре, который в 1,5 раза превосходил весенний (май).

В Севастопольской бухте в начале осени 2011 г. температура воды снизилась всего на 2,0 °С, а соленость увеличилась на 0,23‰ по сравнению с летним периодом, интенсивность свечения за счет развития осенних видов увеличилась в 3,0—3,5 раза.

В глубоководной акватории в позднеосенний период (ноябрь—декабрь) 2011 г. наблюдалось дальнейшее охлаждение водных масс. Температура снизилась до 10,5 °С, интенсивность свечения организмов уменьшилась в 3 раза по сравнению с раннеосенним периодом.

В Севастопольской бухте в конце осени наблюдалось резкое охлаждение водной толщи до 9,0 °С, показатели солености почти не изменились по сравнению с началом осени, интенсивность свечения гидробионтов уменьшилась по сравнению с раннеосенним периодом в 3 раза.

Рассмотрим особенности сезонной изменчивости свечения гидробионтов в год с холодным зимним периодом (2012 г.).

В зимний период 2012 г. средняя за сезон температура морской воды в районе глубоководной станции была крайне низкой (8,0 °С), в Севастопольской бухте температура снизилась до 6,0 °С. В этот период на ст. 1 не наблюдалось зимнего пика свечения. Интенсивность суммарного свечения планктона в глубоководной акватории была в 11 раз, а в Севастопольской бухте в 8 раз ниже, чем в зимний период 2011 г. Анализ показал, что снижение температуры до столь низких значений отрицательно сказывается на жизнедеятельность гидробионтов и они фактически перестают светиться.

В районе глубоководной станции в весенний период 2012 г. после холодной зимы наблюдался незначительный прогрев водной тощи. Средняя температура

весеннего периода была на $0,9^{\circ}\text{C}$ выше зимнего. Интенсивность свечения гидробионтов, пик которой наблюдался в апреле, была в 3 раза меньше майского 2011 г.

В Севастопольской бухте, в отличие от глубоководной ст. 1, весной 2012 г. после холодной зимы, наоборот, наблюдался быстрый весенний прогрев водной толщи до $14,0\text{—}14,5^{\circ}\text{C}$, среднесезонная соленость была достаточно высокой — $18,16\text{‰}$. С началом быстрого прогрева всей толщи воды в обогащенных биогенными веществами водах наблюдалось интенсивное развитие светящихся гидробионтов. Суммарная интенсивность свечения гидробионтов в Севастопольской бухте была в 2—3 раза выше, чем на глубоководной ст. 1 и в 1,5—2 раза выше интенсивности свечения в весенний период 2011 года.

В глубоководной акватории летний период 2012 г. характеризовался дальнейшим медленным прогревом водных слоев. Вследствие возникающей температурной стратификации вод светящиеся организмы уходят в водные слои с оптимальной для них температурой, расположенные в зоне температурного скачка. В 2012 году температура в слое температурного скачка была на $2,0^{\circ}\text{C}$ ниже температуры в этом слое летом 2011 г. Интенсивность свечения организмов была почти в 2 раза меньше летней 2011 г.

В Севастопольской бухте после теплой весны в летний период продолжался прогрев водной толщи. Отсутствие температурной стратификации вод и повышение температуры в среднем до $23,0\text{—}23,5^{\circ}\text{C}$ привели к снижению интенсивности свечения организмов.

В раннеосенний период наблюдалось интенсивное развитие гидробионтов. В 2012 году в районе глубоководной ст. 1 пик интенсивности свечения наблюдался в сентябре и был почти в 1,7 раза меньше осеннего 2011 г.

В Севастопольской бухте в сентябре—октябре 2012 г. температурные показатели почти не отличались от осенних 2011 г. Осенний пик интенсивности свечения гидробионтов в 2012 г. наблюдался, как и в 2011 г., в сентябре. Несмотря на это, интенсивность свечения организмов в раннеосенний период 2012 г. была в 1,1—1,3 раза выше, чем в этот же период 2011 г.

В позднеосенний период в глубоководной акватории и в Севастопольской бухте наблюдалось дальнейшее уменьшение интенсивности свечения морских организмов.

Мониторинговые исследования показали, что в 2014 г. была самая теплая зима за период проведения исследований.

В глубоководной акватории в 2014 г. в зимний период среднемесячная температура воды составила $9,3^{\circ}\text{C}$. Свечение холодолюбивых видов, которые являются основными представителями в этот период, было незначительным. Интенсивность свечения организмов в зимний период 2014 г. в глубоководной открытой акватории была в 4 раза ниже чем в 2011 г., но почти в 3 раза выше, чем в зимний (холодный) период 2012 г.

Слабое зимнее перемешивание водных слоев, незначительный весенний прогрев водной толщи повлияли на интенсивность развития светящихся гидробионтов в весенний период 2014 г. Анализ показал, что повышение температуры в весенний период на $1,0^{\circ}\text{C}$ по сравнению с зимним периодом привело к тому, что интенсивность свечения организмов в глубоководной акватории в весенний период почти не отличалась от зимнего периода — 400 и $451 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$ соответ-

ственно. В весенний период 2014 г. в районе глубоководной станции наблюдалась самая низкая интенсивность свечения организмов. Интенсивность свечения в этот период была в 5 раз ниже, чем в 2011 г. и в 2 раза ниже, чем в 2012 г. В зимний и весенний периоды в 2014 г. в глубоководной акватории не наблюдалось зимних и весенних пиков интенсивности свечения.

Летний период 2014 г. на глубоководной станции характеризовался дальнейшим медленным прогревом водных слоев. Вследствие возникающей температурной стратификации вод, светящиеся организмы в летний период находились над зоной и в зоне температурного скачка. В 2014 году температура в слое температурного скачка была на $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем летом 2011 г. В глубоководной акватории в конце августа и в ноябре 2014 г., когда температура в среднем была $14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, наблюдалось два пика интенсивности свечения гидробионтов.

В Севастопольской бухте, так же как и в глубоководной акватории, в зимний период 2014 г. наблюдалась самая высокая за шесть лет проведения исследований температура воды — $8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. На ст. 2 и ст. 3 в зимний период 2014 г. суммарная интенсивность свечения организмов была невысокой (в среднем $150\text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$), что было в 2 раза ниже, чем в зимний период 2011 г., и несколько выше, чем в 2012 г.

В отличие от глубоководной акватории Севастопольская бухта в весенний период характеризовалась быстрым прогревом водных слоев до температуры $15,5\text{—}16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Хотя интенсивность свечения организмов в 2014 г. в Севастопольской бухте в весенний период увеличилась в 2 раза по сравнению с зимним периодом, интенсивность свечения организмов оставалась самой низкой по сравнению с весенними периодами 2011 и 2012 гг.

Слабое зимнее перемешивание водных слоев и, как следствие, слабое обогащение водных слоев биогенными веществами, высокие зимние и весенние температуры воды, нехарактерные для этих гидрологических сезонов, повлияли на интенсивность свечения организмов. В Севастопольской бухте в зимний и весенний периоды 2014 г. наблюдался монотонный ход сезонных изменений интенсивности суммарного свечения организмов без ярко выраженных пиков в эти периоды.

В Севастопольской бухте в летний период 2014 г. продолжался прогрев водных слоев и в самые жаркие месяцы (июль—август). Температура воды поднялась до $24,5\text{—}25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Незначительное увеличение интенсивности свечения организмов на ст. 2 и ст. 3 наблюдалось в июне в основном за счет летних видов. Интенсивность свечения гидробионтов почти не отличалась от 2011 и 2012 гг. и в среднем составила $430\text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$.

В раннеосенний период 2014 г. температура воды в Севастопольской бухте начала снижаться, а интенсивность свечения организмов повышаться. В позднеосенний период (в ноябре), когда температура воды опустилась до $15,0\text{—}14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в Севастопольской бухте наблюдалась самая высокая интенсивность свечения организмов за весь ход сезонных изменений интенсивности свечения 2014 г.

Таким образом, в годы с теплым зимним периодом в глубоководной открытой акватории моря наблюдалось три пика интенсивности биолюминесценции. Один слабовыраженный в мае, второй — наибольший — в конце августа, третий — в ноябре.

В Севастопольской бухте в годы с теплым зимним периодом и интенсивным прогревом водных масс до высоких аномальных температур первый незначительный пик интенсивности биолюминесценции смещен на начало лета, второй — хорошо выраженный — наблюдался в ноябре. При этом в зимний, весенний и летний периоды наблюдалось достаточно низкая интенсивность биолюминесценции, а в позднеосенний период интенсивность свечения организмов значительно возрастала и превышала многолетние среднесезонные значения в 3—5 раз.

Выводы

Характер сезонной изменчивости интенсивности свечения гидробионтов в глубоководной и мелководной акваториях определяются в основном абиотическими факторами зимнего периода. Показаны различия в процессах изменения интенсивности свечения гидробионтов в глубоководной и относительно закрытой мелководной акваториях Черного моря (средний коэффициент корреляции $r_{cp} = 0,5$).

В глубоководной акватории Черного моря в годы с характерными сезонными изменениями наблюдалось три пика интенсивности свечения организмов. В годы с холодными зимами, медленным прогревом водных слоев в весенний период наблюдалось два пика интенсивности свечения организмов. В годы с теплым зимним периодом наблюдалось три пика интенсивности свечения организмов. Выявлена важная роль термохалинной структуры вод в глубоководной акватории моря.

В Севастопольской бухте в годы с типичным, холодным и теплым зимним периодами наблюдалось два пика увеличения интенсивности биолюминесценции, однако в зависимости от типа зимы первый пик располагался весной или в начале лета, а второй — в ранне- или позднеосенний периоды.

Севастопольская бухта вследствие отсутствия сезонной термохалинной структуры более подвержена межгодовым климатическим изменениям, чем открытая акватория моря. При этом в годы с теплыми зимами наблюдался другой характер годовых изменений интенсивности биолюминесценции по сравнению с годами, характеризующимися типичными и холодными зимами. Это подтверждается низкими значениями межгодового коэффициента корреляции ($r = 0,2$) полученными для годов с теплыми зимами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Битюков Э.П. Биолюминесценция *Noctiluca miliaris* в разных температурных условиях // Биология моря. 1971. Т. 24. С. 70—77.
- [2] Битюков Э.П., Рыбасов В.П., Шайда В.Г. Годовые изменения интенсивности биолюминесцентного поля в неритической зоне Черного моря // Океанология. 1967. Т. 7. № 6. С. 1089—1099.
- [3] Брянцева Ю.В., Крахмальный А.Ф., Великова В.Н., Сергеева А.В. Динофлагелляты прибрежья г. Севастополя (Черное море, Крым) // Альгология. 2016. Т. 26. Вып. 1. С. 74—89.
- [4] Геворгиз Н.С., Кондратьев С.И., Ляшенко С.В., Овсяный Е.И., Романов А.С. Результаты мониторинга гидрохимической структуры Севастопольской бухты в теплый период года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2002. Вып. 1(6). С. 139—156.

- [5] Гительзон И.И., Чумакова Р.И., Филимонов В.С., Левин Л.А., Дегтярёв В.И., Утюшев Р.Н., Шевырногов А.П. Биолуминесценция в море. М.: Наука, 1969.
- [6] Долотов В.В., Кондратьев С.И., Ляшенко С.В. Внутригодовые (сезонные) изменения общего содержания биогенных элементов и кислорода в различных районах Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2005. Вып. 12. С. 167—176.
- [7] Евстигнеев П.В., Евстигнеев В.П. Спонтанная биолуминесценция *Noctiluca scintillans* sur. (Dinophyta) // Альгология. 2005. Т. 15. № 3. С. 271—279.
- [8] Мельникова Е.Б. Пространственная изменчивость вертикальной структуры интенсивности поля биолуминесценции в прибрежных водах Крыма в весенний период // Биология внутренних вод журнал. 2016. № 2. С. 30—36. Doi: 10.7868/S0321059616020085
- [9] Репетин Л.Н., Гордина А.Д., Павлова Е.В., Романов А.С., Овсяный Е.И. Влияние океанографических факторов на экосистему полузамкнутой антропогенно нагруженной Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2003. Т. 2. С. 66—80.
- [10] Сеничева М.И. Годичные изменения фитопланктонного сообщества в районе Севастопольского океанариума // Экология моря. 2000. Вып. 53. С. 15—19.
- [11] Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.
- [12] 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 Международная научно-техническая конференция, «МСОИ-2009»: в 3 ч. М., ноябрь, 2009. Ч. 3. С. 23—27.
- [13] Черепанов О.А., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. Связь биолуминесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. 2. Черное море // Морской экологический журнал. 2007. Т. 6. Вып. 3. С. 84—89.
- [14] Haddock S.H.D., Moline M.A., Case J.F. Bioluminescence in the Sea // Annu. Rev. Marine Sci. 2010. Vol. 2. P. 443—493.
- [15] Herren C.M., Haddock S.H.D., Johnson C., Orrico C.M., Moline M.A., Case J.F. A multi-platform bathyphotometer for fine-scale, coastal bioluminescence research // Limnol Oceanogr Methods. 2005. Vol. 3. P. 247—262.
- [16] Mel'nikova E.B., Lyamina N.V. Factors affecting change in bioluminescence field intensity at night // Inland Water Biology. 2014. Vol. 7. № 4. P. 307—312. doi: 10.1134/S1995082914040105
- [17] Mel'nikova Ye.B., Lyamina N.V. Vertical Distribution of Bioluminescence Field Intensity in Water of the Black Sea in Autumn // Hydrobiological Journal. 2015. Vol. 51. № 4. P. 3—11.
- [18] Mel'nikova Ye.B., Tokarev Yu.N., Burmistrova N.V. Regularities of Changes of the Bioluminescence Field in the Black Sea Coastal Waters // Hydrobiological Journal. 2013. Vol. 49. № 3. P. 105—111.
- [19] Tokarev Yu.N., Mel'nikova Ye.B. On the issue of Effect of Hydrophysical Parameters on Intensity of Bioluminescence Field in the Black Sea // Hydrobiological Journal. 2012. Vol. 48. № 4. P. 93—99.
- [20] Ward W.W., Seliger H.H. Properties of mnemiopsin and berovin, calciumactivated photoproteins from the ctenophores *Mnemiopsis* sp. and *Beroeovata* // Biochemistry. 1974. Vol. 13. P. 1500—1509.
- [21] Widder E.A. Bioluminescence in the ocean: Origins of biological, chemical and ecological diversity // Science. 2010. Vol. 328. P. 704—708.

© Мельникова Е.Б., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 15 июнь 2016

Дата принятия к печати: 20 октября 2016

Для цитирования:

Мельникова Е.Б. Сезонная изменчивость интенсивности свечения гидробионтов на юго-западном шельфе Крыма // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 1. С. 36—49.

Сведения об авторе:

Мельникова Елена Борисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института природно-технических систем ФГБУН. Контактная информация: e-mail: helena_melnikova@mail.ru

SEASONAL VARIABILITY OF HYDROBIONTS LUMINESCENCE INTENSITY IN THE SOUTH-WESTERN SHELF OF CRIMEA

E.B. Melnikova

Institut prirodno-tehnicheskikh sistem FGBUN
ul. Lenina, 28, Sevastopol, Kryim, Russia, 299011

Differences in the processes of seasonal changes in bioluminescence intensity in relatively open waters of the sea on the south-western shelf of the Crimea and in the waters of the Sevastopol Bay (the Black Sea) are shown. The influence of hydrological seasons temperature conditions on the pattern of light intensity changes of hydrobionts within a year. The correlation coefficients of interannual changes in bioluminescence intensity during the different seasonal temperature for deep water area of the sea and shallow waret bay of Sevastopol calculated. The important role of the thermohaline structure of waters in the seasonal variability of the bioluminescence intensity found.

Key words: luminous intensity of hydrobionts, the Black Sea, hydrological seasons, interannual change, Sevastopol bay, relatively open area

REFERENCES

- [1] Bityukov E.P. Biolyuminescentsiya Noctiluca miliaris v raznyih temperaturnyih usloviyah. *Russian Journal of Marine Biology*. 1971. T 24: 70–77.
- [2] Bityukov E.P., Ryibasov V.P., Shayda V.G. Godovye izmeneniya intensivnosti biolyuminescentnogo polya v neriticheskoy zone Chyornogo moray. *Oceanology*. 1967. 7 (6): 1089–1099.
- [3] Bryantseva Yu.V., Krahmalnyiy A.F., Velikova V.N., Sergeeva A.V. Dinoflagellates in the coastal zone of Sevastopol (Black sea, Crimea). *Algologiya*. 2016. 26. (1): 74–89.
- [4] Gevorgiz N.S., Kondratev S.I., Lyashenko S.V., Ovsyanyiy E.I., Romanov A.S. The results of monitoring of hydrochemical structure of the Sevastopol bay in the warm season. *Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources*. Sevastopol: ECOS-Hydrophysics. 2002. 1 (6): 139–156.
- [5] Gitelzon I.I., Chumakova R.I., Filimonov V.S., Levin L.A., Degtyaryov V.I., Utyushev R.N., Shevyrnogov A.P. *Bioluminescence in the sea*. M.: Nauka, 1969.
- [6] Dolotov V.V., Kondratev S.I., Lyashenko S.V. Intra (seasonal) changes in the total content of nutrients and oxygen to various parts of the Sevastopol bay. *Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources*. Sevastopol: ECOS-Hydrophysics. 2005. 12: 167–176.
- [7] Evstigneev P.V., Evstigneev V.P. Spontaneous bioluminescence Noctiluca scintillans sur. (Dinophyta). *Algology*. 2005. 15 (3): 271–279.
- [8] Melnikova E.B. Spatial variability of the vertical structure of the bioluminescence field intensity in the coastal waters of Crimea in spring. *Biology of Inland Waters magazine*. 2016. 2: 30–36. Doi: 10.7868 / S0321059616020085

- [9] Repetin L.N., Gordina A.D., Pavlova E.V., Romanov A.S., Ovsyanyiy E.I. Influence of oceanographic factors on a semi-closed ecosystem anthropogenically loaded Sevastopol bay. *Marine Hydrophysical Journal*. 2003. 2: 66–80.
- [10] Senicheva M.I. Annual changes in phytoplankton community in the area of the Sevastopol oceanarium sea. *Ecology*. 2000. 53: 15–19.
- [11] Tokarev Yu. *Fundamentals of biophysical ecology of aquatic organisms*. Sevastopol: ECOS-Hydrophysics, 2006.
- [12] Tokarev Yu., Vasilenko V.I., Zhuk V.F. New gidrobiotfizichesky complex for express assessment of coastal ecosystems. Modern methods and means of oceanographic research: Proceedings XI International scientific-technical conference «ISOD 2009»: 3 hours MA, November 2009. 3: 23–27.
- [13] Cherepanov O.A., Levin L.A., Utyushev R.N. Contact bioluminescence with biomass and number of luminous and total plankton. 2. Black Sea. *Marine Ecological Journal*. 2007. 6 (3): 84–89.
- [14] Haddock S.H.D., Moline M.A., Case J.F. Bioluminescence in the Sea. *Annual Review Marine Science*. 2010. 2: 443–493.
- [15] Herren C.M., Haddock S.H.D., Johnson C., Orrico C.M., Moline M.A., Case J.F. A multi-platform bathyphotometer for fine-scale, coastal bioluminescence research. *Limnol Oceanogr Methods*. 2005. 3: 247–262.
- [16] Mel'nikova E.B., Lyamina N.V. Factors affecting change in bioluminescence field intensity at night. *Inland Water Biology*. 2014. 7(4): 307–312. doi: 10.1134/S1995082914040105
- [17] Mel'nikova Ye.B., Lyamina N.V. Vertical Distribution of Bioluminescence Field Intensity in Water of the Black Sea in Autumn. *Hydrobiological Journal*. 2015. 51(4): 3–11.
- [18] Mel'nikova Ye.B., Tokarev Yu.N., Burmistrova N.V. Regularities of Changes of the Bioluminescence Field in the Black Sea Coastal Waters. *Hydrobiological Journal*. 2013. 49(3): 105–111.
- [19] Tokarev Yu.N., Mel'nikova Ye.B. On the issue of Effect of Hydrophysical Parameters on Intensity of Bioluminescence Field in the Black Sea. *Hydrobiological Journal*. 2012. 48(4): 93–99.
- [20] Ward W.W., Seliger H.H. Properties of mnemiopsin and berovin, calciumactivated photoproteins from the ctenophores *Mnemiopsis* sp. and *Beroeovata*. *Biochemistry*. 1974. 13: 1500–1509.
- [21] Widder E.A. Bioluminescence in the ocean: Origins of biological, chemical and ecological diversity. *Science*. 2010. 328: 704–708.

Article history:

Received: 15 June 2016

Revised: 20 November 2016

Accepted: 10 January 2016

For citation:

Melnikova E.B. (2017) Seasonal variability of hydrobionts luminescence intensity in the south-western shelf of Crimea. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (1), 36–49.

Bio Note:

Melnikova E.B., Senior Researcher, Institute of Natural and Technical Systems FGBUN. *Contact information:* e-mail: helena_melnikova@mail.ru