



УДК 591.148:574.52(262.5)

Е. Б. Мельникова, к. б. н., м. н. с., **Ю. Н. Токарев**, д. б. н., зав. отд., **Н. В. Лямина**, вед. инж

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ г. СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Исследованы сезонные изменения вертикальной структуры поля биолюминесценции в прибрежных водах Севастополя – в открытой, относительно глубоководной акватории моря на траверсе б. Круглая и на двух станциях в Севастопольской бухте. Получены существенные отличия сезонных изменений интенсивности биолюминесценции в поверхностном и глубоководном слоях в исследованных акваториях и приведены вероятные причины, обуславливающие это явление. Сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном слое разных районов внутри мелководной Севастопольской бухты характеризуются достаточно высокой корреляционной связью ($r = 0.83$), тогда как корреляция сезонной вариабельности биолюминесценции в поверхностном слое открытой и закрытой акваторий побережья имеет существенно меньшие значения ($r = 0.56 - 0.63$). Обоснован вывод об определяющем влиянии термохалинных параметров пелагиали на сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном и глубоководном слоях неритической зоны исследованных акваторий.

Ключевые слова: Чёрное море, поле биолюминесценции, температура, солёность

Изучение интенсивности поля биолюминесценции, создаваемого в Чёрном море, прежде всего, планктонными организмами, является эффективным методом определения их концентрации и функционального состояния [13,14]. Исследование пространственного распределения интенсивности поля биолюминесценции проводили многие исследователи [2, 13 – 15]. В результате выявлены основные планктонные биолюминесцентные этого региона и определены важные черты сезонной динамики биолюминесценции. Однако исследования региональных особенностей сезонной изменчивости вертикальной структуры поля биолюминесценции в неритической зоне Крыма на протяжении последних 45 лет проводилось только эпизодически. Между тем, последовавшие за этот период климатические и

экономические катаклизмы вызвали ряд существенных, зачастую драматических изменений в экологической ситуации и видовом составе планктонного сообщества Чёрного моря, продолжающихся до настоящего времени.

Целью данной работы явилось изучение особенностей сезонной динамики интенсивности поля биолюминесценции в открытой части прибрежных вод и бухте г. Севастополя (Чёрное море) в современных условиях.

Материал и методы. Исследования вертикальной структуры поля биолюминесценции проводили в течение года в открытой акватории моря на траверсе бухты Круглая (ст. № 1), а также в акватории Севастопольской бухты в районе б. Константиновская (ст. № 2) и б. Голландия (ст. № 3) (рис. 1).

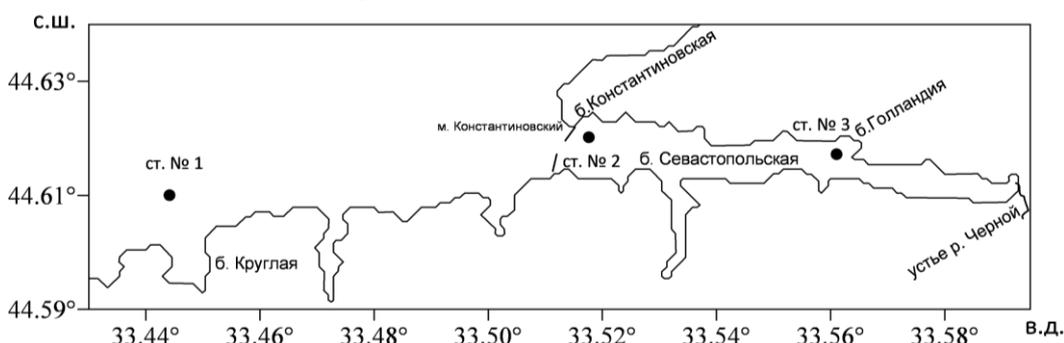


Рис. 1 Схема района исследования
Fig. 1 The investigated region scheme

Для анализа сезонной изменчивости вертикальных профилей интенсивности поля биоллюминесценции использованы данные 2009 г. Съёмки проводились в ночное время через 2 ч после наступления темноты.

Акватория на траверсе б. Круглая относительно глубоководная ($h \geq 60$ м), имеет водообмен с открытой частью моря, характеризуется достаточно устойчивой стратификацией водной толщи, определяющей вертикальную структуру температуры и солёности. Севастопольская бухта относится к водоёмам эстуарного типа, водообмен с открытым морем ограничен. Кроме того, Севастопольская бухта включает устьевое взморье реки Чёрной, которая является стоком пресных вод в бухту, в результате чего происходит смешение речных и морских вод [8 – 10]. В зависимости от величины стока реки воздействие пресных вод распространяется на акваторию бухты в различной степени, что существенно влияет на экологические условия региона.

Константиновская бухта (ст. № 2), глубина которой не превышает 19 м, относится к относительно чистым районам [9, 10], в отличие от бухты Голландия (ст. № 3), которая находится в центральной части Севастопольской бухты и имеет глубину 18 м. На состояние последней оказывает существенное влияние тот факт, что это зона активного смешивания речных и морских вод [5, 7, 8] (рис. 1).

Поле биоллюминесценции исследовали методом батифотометрического зондирования, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [3]. С его помощью измеряли также температуру и солёность на глубине измерения. Статистическую обработку результатов исследований производили стандартными методами [11].

Результаты и обсуждение. Интенсивность поля биоллюминесценции регистрировали, начиная от поверхности до придонных глубин. На рис. 2 изображены вертикальные профили средних значений интенсивности поля биоллюминесценции для холодного (январь, февраль, март), весеннего (апрель, май), летнего (июнь, июль, август) и осеннего (сентябрь, октябрь, ноябрь) сезонов.

В вертикальном профиле интенсивности поля биоллюминесценции в зимний и летний периоды наблюдается один или два локальных максимума свечения биоллюминесцентом, а в переходный (весенний) период в от-

дельные месяцы может образовываться неустойчивый по глубине третий локальный максимум. Один из максимумов расположен в поверхностном слое на глубине до 5 м, второй – на глубине 30 – 50 м или в придонном слое на глубине 10 – 17 м.

Для более подробного изучения сезонной динамики интенсивности поля биоллюминесценции всю толщу воды условно разбили на две части, в которых расположены локальные максимумы интенсивности поля биоллюминесценции: поверхностный (0 – 5 м) и глубинный (придонный) слои. Глубинный слой на траверсе б. Круглая расположен на глубине 30 – 50 м, а в Севастопольской бухте (ст. 2 и 3) – на 10 – 17 м. Интенсивность поля биоллюминесценции в этих слоях усреднялась, и нормировалась на максимальное годовое значение в данном слое. Полученные результаты сезонной динамики интенсивности поля биоллюминесценции для поверхностного и глубинного слоёв изображены соответственно на рис. 3 и 4.

В открытой акватории моря (ст. 1) в холодное время года (январь – март) происходит интенсивное ветровое и волновое перемешивание [6, 7, 13]. При такой ситуации возникает однородное вертикальное распределение гидрологических характеристик. Температура воды и солёности в верхнем (соответственно 8.4°C и 18.28 ‰) и нижнем (8.3°C и 18.27 ‰) слоях изменялись незначительно.

Обработка серий вертикальных зондов, взятых через каждый метр, показала, что, несмотря на активную вертикальную конвекцию, максимумы концентрации биоллюминесцентом в тёмное время суток находятся в верхнем 10-метровом слое. Увеличение интенсивности поля биоллюминесценции в исследованных водах в январе – марте было обусловлено, по всей вероятности, улучшением снабжения биогенными элементами поверхностных вод и значительному повышению содержания усвояемого органического вещества. В поверхностном слое в соответствии с жизненным циклом происходит более интенсивное питание, размножение гидробионтов [1, 6, 8, 12, 14, 15].

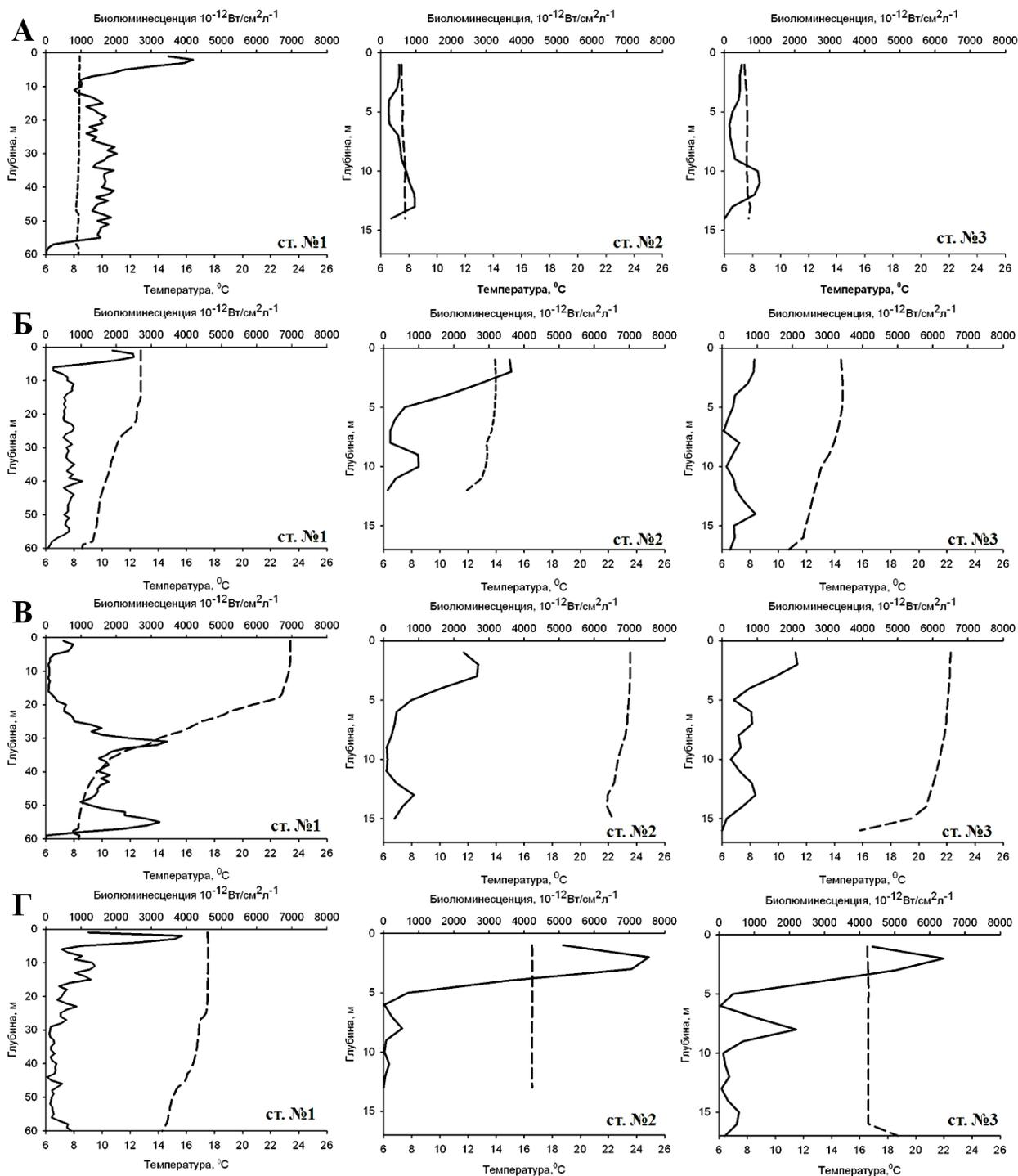


Рис. 2 Сезонная изменчивость вертикальных профилей средних значений интенсивности поля биоломинесценции и температуры в прибрежных водах Севастополя. А – январь – март; Б – апрель, май, В – июнь – август; Г – октябрь – ноябрь 2009 г.

Fig. 2 Seasonal changeability of the vertical profiles of the temperature and bioluminescence fields intensity average values in the Sevastopol coastal waters. A – January, February, March; B – April, May; C – June, July, August; D – October, November, 2009

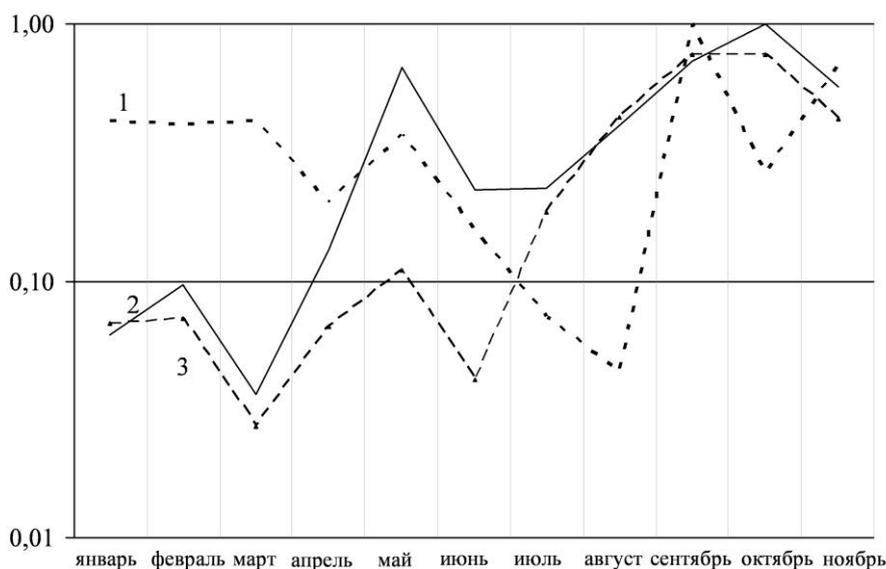


Рис. 3 Сезонные изменения интенсивности поля биолуминесценции в поверхностном слое: 1 – на ст. № 1; 2 – на ст. № 2; 3 – на ст. № 3
 Fig. 3 Seasonal changes of the bioluminescence field intensity in the surface layer: 1 – station № 1; 2 – station № 2; 3 – station № 3

ния интенсивности поля биолуминесценции в придонном (глубинном) слое: 1 – на ст. № 1; 2 – на ст. № 2; 3 – на ст. № 3

Рис. 4 Сезонные изменения интенсивности поля биолуминесценции в придонном (глубинном) слое: 1 – на ст. № 1; 2 – на ст. № 2; 3 – на ст. № 3

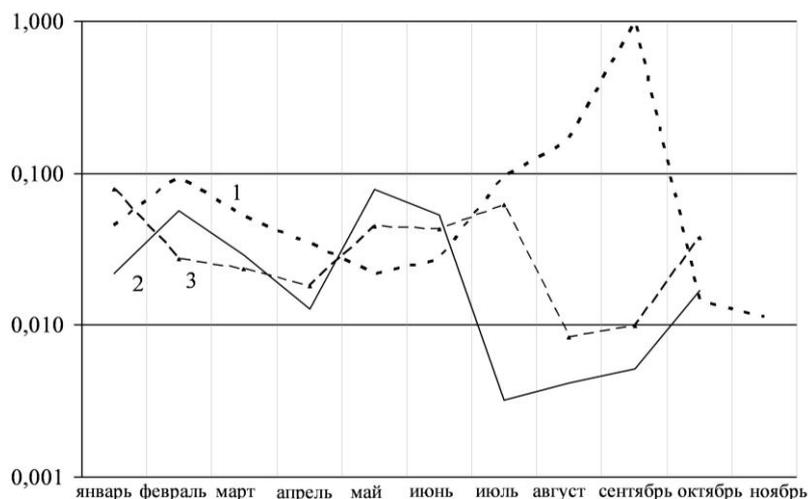


Fig. 4 Seasonal changes of the bioluminescence field intensity in the near-bottom (deep) layer: 1 – station № 1; 2 – station № 2; 3 – station № 3

ственно 505 и 817 пВт·см⁻²·л⁻¹ в верхнем (0 – 5 м) и придонном (10 – 17 м) слоях.

Вследствие этого их концентрация возрастает, и интенсивность свечения достигает максимума (рис. 2). При этом средняя интенсивность поля биолуминесценции в верхнем слое в холодный период составила 3252 пВт·см⁻²·л⁻¹, тогда как в нижнем слое на глубине 30 – 50 м – только 1474.

В мелководной Севастопольской бухте на ст. 2 в холодный период наблюдалось однородное распределение температуры (от 7.5 в верхнем до 7.7°C в придонном слое) и солёности (от 18.0 в верхнем до 18.1 ‰ в придонном слое), при близких средних величинах интенсивности поля биолуминесценции – соответ-

В центральной части бухты на ст. 3 (б. Голландия) прослеживалась та же картина: наблюдалось однородное распределение температуры (от 7.5 в верхнем до 7.6°C в придонном слое) и солёности (от 17.9 в верхнем до 18.20 ‰ в придонном слое), тогда как средние значения интенсивности поля биолуминесценции в поверхностном слое составила 415, а в придон-

ном – $984 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$, т.е. в 2 раза выше.

Температура по всей толще воды в холодный период на траверсе б. Круглая на 0.9°C и солёность на 0.22 ‰ оказались выше, чем в Севастопольской бухте на станциях 2 и 3. Из-за слабого зимнего конвективного перемешивания вод в Севастопольской бухте слои, обогащённые биогенными элементами, являющимися питательной средой для фитопланктона, располагаются в придонном слое [6, 8, 9, 12]. Именно поэтому максимальная интенсивность поля биолюминесценции в Севастопольской бухте, в отличие от акватории б. Круглая, наблюдалась в придонном слое.

В Севастопольской бухте на ст. 2, так же как и на траверсе б. Круглая, максимальная интенсивность поля биолюминесценции в холодное время года, как в верхнем, так и в нижнем слоях, зафиксирована в феврале, а на ст. 3 – в январе (рис. 3 и 4). Возможно, это связано с тем, что ст. 3 находится в закрытой части бухты, где водообмен с открытой акваторией моря ограничен и в значительно большей степени подвержен влиянию стока реки Чёрная. Увеличение интенсивности поля биолюминесценции в исследованных водах связано с воздействием речных стоков, способствующих седиментации клеток фитопланктона [8, 12, 16].

В весенний период (апрель, май) в открытой части моря начинается перестройка вертикальной термической структуры, прекращается охлаждение поверхностных вод и конвективное перемешивание, начинается образование температурного и плотностного расслоения [6, 9, 13]. Незначительное повышение температуры на ст. 1 (от 10.2 в придонном до 14.0°C в поверхностном слое) и понижение солёности в среднем до 18.14 ‰ не оказывает существенного влияния на вертикальное распределение светящихся организмов планктона, хотя в отличие от зимы это распределение стало менее равномерным.

Количество светящихся видов планктона в верхнем слое повысилось за счёт эпипланктонных форм [13], в результате увеличилась интенсивность свечения, которая

возросла до значения, равного 0.37 от максимальной сезонной величины (рис. 3). С увеличением глубины численность светящегося планктона понижалась и на глубине $30 - 40$ м интенсивность свечения уменьшилась в весенний период в 3 раза по сравнению с февральскими значениями (рис. 4). К концу мая в результате прогрева верхнего слоя на глубине $22 - 27$ м наблюдаются признаки формирования термоклины, толщина которого составляет 5 м. Изменение температуры в намечающемся термоклине незначительное от 13.6 до 11.6°C , а её градиент составлял $0.4^\circ\text{C} \cdot \text{м}^{-1}$. В Севастопольской бухте на станциях 2 и 3 в весенний период прогрев по всей толще воды проходит интенсивнее (от 11.0 в придонном до 16.0°C в поверхностном слое). Средняя температура в Севастопольской бухте на 2.2°C выше, чем в открытой части моря. Солёность в среднем составляла 17.80 ‰ , что на 0.3 ‰ меньше, чем на ст. 1. При нарастании поступления пресных вод в весенний период происходит ускоренное распреснение бухты, при этом средняя солёность уменьшается до $17.0 - 17.5 \text{ ‰}$ [7, 8, 10].

Интенсивность поля биолюминесценции в поверхностном слое на ст. 2 (б. Константиновская) увеличивается, достигая к концу мая значения, близкого к максимальному сезонному (рис. 3). В поверхностном слое на ст. 3 (б. Голландия) интенсивность в мае возрастает не так значительно, как на ст. 2, достигая лишь уровня 0.1 от сезонного максимума. За счёт незначительной глубины и относительно чистой акватории [6, 7] интенсивность поля биолюминесценции в верхнем слое б. Константиновская в 1.6 раз выше, чем в открытой части моря, и в 4.6 раз выше, чем в б. Голландия. В придонном слое акватории на траверсе б. Круглая интенсивность поля биолюминесценции к маю уменьшается, а в Севастопольской бухте – увеличивается.

В акватории на траверсе б. Круглая постепенный прогрев водной толщи при переходе к летнему периоду вследствие возникающей температурной стратификации затрудняет вынос к поверхности биогенных веществ и

процессы вертикального обмена. Благодаря этому происходит разделение приповерхностного и глубоководного планктонных комплексов, условно называемых нами эпи- и батипланктонными. В июне начинает формироваться верхний квазиоднородный слой и в процессе его развития температурные неоднородности в верхнем слое сглаживаются [5, 7, 17].

При дальнейшем прогреве поверхностного слоя светящиеся организмы уходят в ниже лежащие слои с оптимальной для них температурой, расположенной в зоне температурного скачка (для большинства светящихся видов оптимальная температура близка к $14.0 - 22.0^{\circ}\text{C}$) [1, 4, 12, 13]. В июне в верхнем 5-метровом слое температура составила в среднем 23.1°C , а нижняя граница температурного скачка опустилась до глубины 28 м, его толщина колебалась от 7 до 9 м, с градиентом температуры $1.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$. Это затруднило вертикальное перемещение планктона, и интенсивность свечения организмов на глубине 29 м и в поверхностном слое стала практически одинаковой. В поверхностном слое интенсивность поля биолюминесценции составила $1228 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$, в слое температурного скачка на глубине 29 м была немного выше – 1310 ($t = 15.7^{\circ}\text{C}$). Под температурным скачком на глубине 38 м интенсивность поля биолюминесценции была в 2.75 раза ниже, чем в поверхностном слое.

В июле – августе продолжался прогрев поверхностных слоёв воды. Средняя температура поднялась до 23.4°C , и пик интенсивности свечения сместился под слой термоклина. В это время наблюдались два пика интенсивности поля биолюминесценции, один из которых расположен ниже, причем его значение в 4 – 6 раз больше, чем в поверхностном слое, а другой – в слое температурного скачка. Температура воды в нижнем слое (30 – 50 м) в эти месяцы составляла $10.0 - 11.0^{\circ}\text{C}$, сезонный термоклин располагался ближе к поверхности ($h = 18 \text{ м}$) и был сильно растянут по вертикали. Его толщина составляла 10 м при градиенте $1.55^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$. Столь значимый градиент температуры в слое термо-

клина был непроходимой преградой для большинства светящихся организмов [12, 13].

В Севастопольской бухте с июня по август наблюдались типично летние вертикальные профили температуры. Интенсивный прогрев всей толщи воды (средняя температура 23.0°C , солёность 17.8 ‰) привёл к тому, что слой температурного скачка отсутствовал. Интенсивность поля биолюминесценции в поверхностном слое на ст. 2 составила в среднем 2226, на ст. 3 – 1704 $\text{пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$, а на траверсе б. Круглая – в 2 – 3 раза ниже; в придонном слое (7 – 10 м) на ст. 2 и 3 она была незначительной – в среднем $663 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$, тогда как на траверсе б. Круглая увеличилась, достигнув к августу на глубине 30 – 50 м $3815 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$.

В начале осени (сентябре) на траверсе бухта Круглая ещё сохраняется тёплая устойчивая погода со слабыми ветрами и небольшим волнением. Значительный прогрев верхнего слоя ($t = 22.0^{\circ}\text{C}$), период безветрия, отсутствие штормов приводят к дальнейшему повышению вертикальной устойчивости вод – стагнации. Характер вертикального изменения интенсивности поля биолюминесценции практически такой же, как и в летние месяцы. Максимальное значение интенсивности поля биолюминесценции наблюдалось в сентябре на глубине 32 м при температуре 17.8°C в слое максимального градиента температуры – $12642 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$.

Для позднего осеннего периода характерно постепенное охлаждение поверхностных вод, что приводит к возникновению конвективного перемешивания, вследствие чего температурный скачок фиксируется уже на глубине 28 – 30 м, он несколько размыт и планктонные комплексы начинают смешиваться. С октября происходит уменьшение градиента температуры от 0.81 до $0.43^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$ к ноябрю. К ноябрю устанавливается слабая неустойчивая вертикальная температурная стратификация, которая легко разрушается волновым перемешиванием, и сменяется гомотермией [7, 9]. В октябре – ноябре в верхнем слое интенсивность поля биолюминесценции в среднем составляла

3677 пВт·см²·л⁻¹. На глубинах 30 – 40 м уровень интенсивности поля биоломинесценции в эти месяцы был меньше в сравнении с поверхностным 5-метровым слоем в среднем 5 – 6 раз и составлял в среднем 300 пВт·см²·л⁻¹. Поверхностная температура изменялась от 19.5 в октябре до 16.1°C в ноябре, а в слое 30 – 40 м – до 14.1°C, тогда как солёность практически не изменялась и составляла 18.1‰.

На ст. 2 и 3 в октябре – ноябре наблюдалось уже практически однородное распределение температуры по вертикали с постепенным её снижением к ноябрю до 14.3°C. Солёность во всей толще воды составляла 17.9 ‰. Наибольшие значения интенсивности поля биоломинесценции регистрировались в этот период в поверхностном слое. Максимальная интенсивность поля биоломинесценции наблюдалась в октябре и составила в среднем по станциям 2 и 3 — 7000 пВт·см²·л⁻¹. К ноябрю она уменьшилась почти в 1.5 раза, не превышая в среднем 5000 пВт·см²·л⁻¹ (рис. 2).

Чтобы численно охарактеризовать отличия в сезонной изменчивости интенсивности поля биоломинесценции в поверхностном и глубинном слоях открытой и закрытой акваторий моря г. Севастополя, использован коэффициент парной корреляции [11]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где r – коэффициент парной корреляции; i – текущий номер месяца, для которого сравнивается интенсивность поля биоломинесценции; n – количество месяцев, для которых измерены интенсивность поля биоломинесценции; x_i – интенсивность поля биоломинесценции на первой из двух сравниваемых станций в i -ом месяце; \bar{x} – среднегодовое значение интенсивности поля биоломинесценции на первой станции; y_i – интенсивности поля биоломинесценции на второй из двух сравниваемых станций в i -ом месяце; \bar{y} – среднегодовое значение интен-

сивности поля биоломинесценции на второй станции.

При расчёте парных коэффициентов корреляции для станций 1, 2 и 3 получены следующие результаты:

Поверхностный слой:

Ст. 1 – 2, $r_{1-2} = 0.63$;

Ст. 1 – 3, $r_{1-3} = 0.56$;

Ст. 2 – 3, $r_{2-3} = 0.83$.

Глубинный (придонный) слой:

Ст. 1 – 2, $r_{1-2} = 0.37$;

Ст. 1 – 3, $r_{1-3} = 0.44$;

Ст. 2 – 3, $r_{2-3} = 0.74$.

Из полученных результатов следует, что сезонные изменения интенсивности поля биоломинесценции в поверхностном слое на разных станциях в Севастопольской бухте имеют близкий характер: коэффициент корреляции $r_{2-3} = 0.83$. В то же время сравнение сезонных изменений интенсивности поля биоломинесценции в поверхностном слое открытой акватории (траверс б. Круглая) с закрытой акваторией (б. Константиновская и б. Голландия) показало близкие величины средней корреляционной связи – $r_{1-2} = 0.63$; $r_{1-3} = 0.56$.

В придонных слоях станций, расположенных в б. Севастопольская, наблюдается достаточно тесная корреляционная связь между сезонной динамикой интенсивности поля биоломинесценции ($r_{2-3} = 0.74$), причём на процессы её сезонной изменчивости в б. Константиновская влияет обмен с открытой частью прибрежья, а в б. Голландия – распреснение вод, связанное со стоком реки Чёрная. Сравнение сезонных изменений интенсивности поля биоломинесценции в глубинном (придонном) слое открытой и закрытой акваторий также показало их существенные отличия (коэффициенты корреляции ($r_{1-2} = 0.37$; $r_{1-3} = 0.44$), связанные с различным термохалинным режимом этих регионов.

На наш взгляд, выявленная взаимосвязь термохалинных характеристик района исследований с сезонной изменчивостью вертикальной структурированности параметров поля биоломинесценции вполне объяснима, учитывая

важнейшую роль этих экологических показателей среды как для видового состава планктонных биолюминесцентных и их численности, так и для скорости ферментативных реакций, лежащих в основе феномена биолюминесценции [1, 13, 15].

Выводы. **1.** Впервые за последние 45 лет детально изучена сезонная динамика интенсивности поля биолюминесценции в прибрежной зоне г. Севастополя. **2.** Показана разница в механизмах сезонной variability

биолюминесценции в поверхностных и глубинных слоях региона. **3.** Выявлена важная роль термохалинных характеристик в сезонной изменчивости вертикальной структурированности параметров поля биолюминесценции неритической зоны.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам отдела биофизической экологии ИнБЮМ НАН Украины за предоставленные материалы полевых исследований.

1. Битюков Э. П. Биолюминесценция *Noctiluca miliaris* в разных температурных условиях // Биология моря. – 1971. – 24. – С. 70 – 77.
2. Битюков Э. П., Рыбасов В. П., Шайда В. Г. Годовые изменения интенсивности биолюминесцентного поля в неритической зоне Чёрного моря // Океанология. – 1967. – 7, 6. – С. 1089 – 1099.
3. Бурмистрова Н. В., Токарев Ю. Н., Василенко В. И., Жук В. Ф. Организация и проведение биофизического мониторинга планктонного сообщества прибрежной акватории Севастополя: первые результаты // Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты): Междунар. науч. конф. (Ростов н/Д, 9 – 11 июня 2008 г.). – Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2008. – С. 59 – 62.
4. Васечкина Е. Ф., Ярин В. Д. Объектно-ориентированная модель функционирования планктонного сообщества шельфа. // Морск. гидрофиз. журн. – 2004. – № 6. – С. 43 – 61.
5. Геворгиз Н. С., Кондратьев С. И., Ляшенко С. В., Овсяный Е. И., Романов А. С. Результаты мониторинга гидрохимической структуры Севастопольской бухты в тёплый период года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. – Вып. 1(6). – С. 139 – 156.
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. Иванов В. А., Михайлова Э. Н., Шапиро Н. Б., Репетин Л. Н. Модель Севастопольской бухты. Воспроизведение вертикальной структуры полей температуры и солёности в 1997 – 1999 гг. // Морск. гидрофиз. журн. – 2003. – № 4. – С. 15 – 35.
8. Миньковская Р. Я., Ильин Ю. П., Хоролитч Н. Г., Мишина Л. А. Роль устьевых областей крупных рек Украины в поступлении биогенных веществ в Чёрное море // Современное состояние экосистем Чёрного и Азовского морей: Междунар. конф. (Крым, Донузлав, 13 – 16 сентября 2005 г.). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – С. 52 – 53.
9. Овсяный Е. И., Романов А. С., Миньковская Р. Я., Красновид И. И. и др. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. – Вып. 2. – С. 138 – 152.
10. 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 // Морск. гидрофиз. журн. – 2003. – № 2. – С. 66 – 80.
11. Рокицкий П. Ф. Основы вариационной статистики для биологов. – Минск: Белгосуниверситет, 1961. – 221 с.
12. Сенчикина Л. Г. Изменение структуры фитопланктона в локальных зонах моря под воздействием антропогенных факторов / А. В. Ковалев. Планктон Чёрного моря. – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 55 – 68.
13. Токарев Ю. Н. Основы биофизической экологии гидробионтов – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
14. Токарев Ю. Н., Битюков Э. П., Василенко В. И., Соколов Б. Г. Поле биолюминесценции – характерный показатель структуры планктонного сообщества Чёрного моря // Экология моря. – 2000. – Вып. 53 – С. 20 – 25.

15. Токарев Ю. Н., Битюков Э. П., Василенко В. И. и др. Видовое разнообразие планктонных биолюминесцентных в Чёрном море и характеристики формируемого ими поля биолюминесценции в неритической зоне Крыма / Ред. В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 121 – 151.
16. Троценко О. А., Еремин И. Ю., Субботин А. А. и др. Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и ее влияние на основные параметры продукции на мидийной ферме // Экологическая безопасность шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – Вып. 15. – С. 110 – 119.

Поступила 13 марта 2012 г.

Сезонні зміни інтенсивності біолюмінесценції в прибережних водах м. Севастополя (Чорне море). О. Б. Мельнікова, Ю. М. Токарев, Н. В. Ляміна. Досліджено сезонні зміни вертикальної структури інтенсивності поля біолюмінесценції в прибережних водах м. Севастополя: у відкритій, відносно глибоководній акваторії моря в районі б. Кругла та на двох станціях в Севастопольській бухті. Отримані істотні відмінності сезонних змін інтенсивності поля біолюмінесценції в поверхневому і глибоководному шарах відкритої акваторії і приведені причини, що обумовлюють це явище. Сезонні зміни інтенсивності поля біолюмінесценції в поверхневому шарі різних районів усередині мілководної Севастопольської бухти характеризуються досить високим кореляційним зв'язком ($r = 0.83$), тоді як кореляція сезонної варіабельної біолюмінесценції в поверхневому шарі відкритої і закритої акваторії прибережжя Севастополя має середні значення ($r = 0.56 - 0.63$). Обґрунтовується висновок про визначальний вплив термохалинних параметрів пелагіали на відмічені відмінності сезонних змін інтенсивності поля біолюмінесценції в поверхневому і глибоководному шарах неритичної зони.

Ключові слова: Чорне море, поле біолюмінесценції, температура, солоність

The bioluminescence intensity seasonal changes in the Sevastopol coastal waters (the Black Sea). E. B. Melnikova, Yu. N. Tokarev, N. V. Lyamina. Investigation of the bioluminescence field intensity vertical structure seasonal changes in the Sevastopol coastal waters have been conducted. Investigations were carried out in the open, relatively deep sea aquatorium in the region of the Kruglaya bay and at two stations in the Sevastopol bay. Considerable distinctions of the bioluminescence field intensity seasonal changes in the surface and deep layers of the open aquatorium were obtained and reasons, stipulating this phenomenon were given. The stable waters stratification in the summer period, which isolates the processes, occurring in the surface and deep-water layers is the reason of it. Seasonal changes of the bioluminescence field intensity in the surface layer of the different regions in the shallow-water Sevastopol bay are characterized by the rather high correlation connection ($r = 0.83$), whereas the bioluminescence seasonal variability correlation in the surface layer of the open and closed aquatorium of the Sevastopol coast has average values ($r = 0.56 - 0.63$). The conclusion concerning the pelagial thermohaline parameters determinative affect on the marked distinctions of the bioluminescence field intensity seasonal changes in the surface and deep-water layer of the neritic zone is being substantiated.

Key words: The Black Sea, bioluminescence field, temperature, salinity