

УДК 591.148:574.52(262.5)

Е. Б. Мельникова, Н. В. Лямина

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ВНУТРИГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, НАН Украины,
г. Севастополь, e-mail: Helena_melnikova@mail.ru

Ключевые слова: поле биолюминесценции, внутригодовая изменчивость, вертикальная структура, Черное море.

В исследованиях состояния морской среды в прибрежных водах Черного моря особое место занимает изучение изменения интенсивности поля биолюминесценции, являющееся важным элементом функционирования планктонного сообщества. Известно, что интенсивность поля биолюминесценции позволяет выявить пространственную структурированность планктонного сообщества, и является важным показателем экологического состояния экосистемы [15, 16, 17].

Исследование пространственного распределения интенсивности поля биолюминесценции, создаваемое планктонными биолюминесцентами в Черном море, проводили многие исследователи [2, 15, 16, 17]. Известны работы, посвященные выяснению связи характеристик интенсивности поля биолюминесценции в Черном море с видовым разнообразием и распределением планктонных сообществ, с гидрофизическими характеристиками среды обитания, сезонными изменениями интенсивности поля биолюминесценции [1, 2]. Однако исследования региональных особенностей сезонной динамики вертикальной структуры поля биолюминесценции, структуризации процессов биолюминесценции, протекающих в поверхностном и придонном слоях в прибрежных водах Черного моря не проводилось.

Применение методов многомерного статистического анализа для исследования количественных закономерностей внутригодовой изменчивости интенсивности поля биолюминесценции дает возможность структурировать информацию, полученную на основе многочисленных экспериментальных исследований, обнаружить внутренние связи между процессами, протекающими в наблюдаемых совокупностях и выявить общие закономерности развития гидробионтных сообществ [3, 8, 10]. Целью нашей работы является исследование общих закономерностей сезонной вариабельности вертикальной структуры интенсивности поля биолюминесценции в прибрежных водах Черного моря и структуризация методами многомерной статистики сезонных процессов изменения

интенсивности поля биолюминесценции в поверхностных и глубинных слоях региона.

Материалы и методы исследования. Исследования вертикальной структуры сезонной изменчивости интенсивности поля биолюминесценции проводили в поверхностном и придонном слоях открытой акватории моря на траверсе б. Круглая (ст. № 1), а также в акватории Севастопольской бухты в районе б. Константиновская (ст. № 2) и б. Голландия (ст. № 3) (рис. 1). Для анализа сезонной изменчивости вертикальных профилей интенсивности поля биолюминесценции были использованы данные 2009–2010 годов.

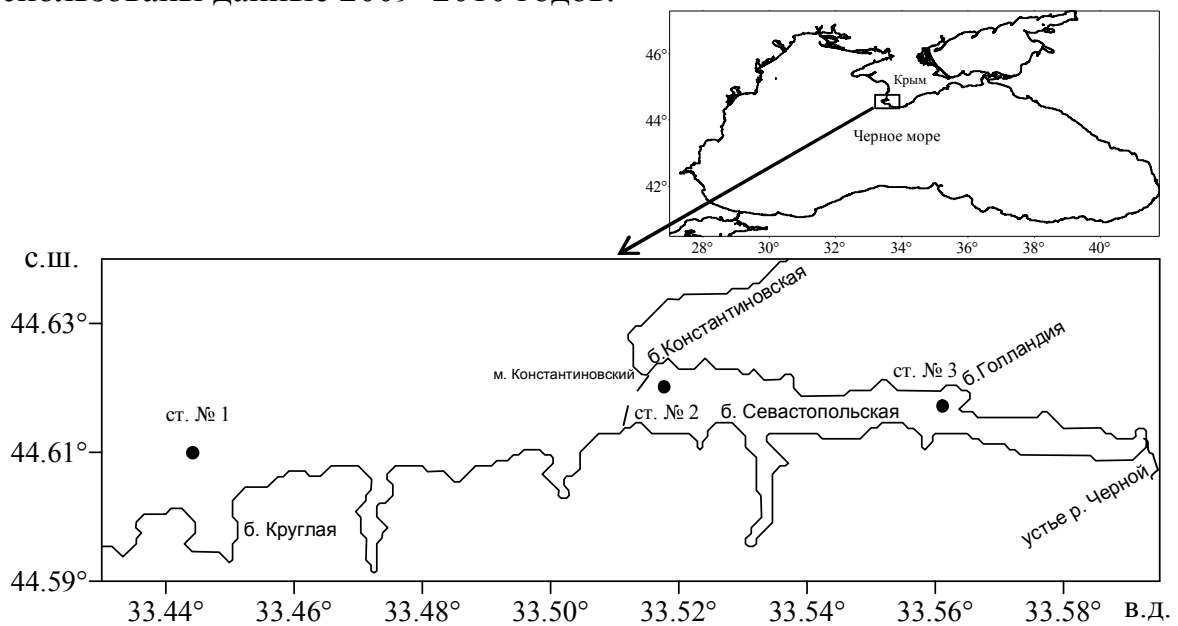


Рис. 1. Схема района исследования.

Акватория на траверсе б. Круглая (ст. 1) относительно глубоководная ($h \geq 60$ м), имеющая водообмен с открытой частью моря, характеризуется достаточно устойчивой стратификацией водной толщи, определяющей вертикальную структуру температуры и солёности. Севастопольская бухта относится к водоёмам эстуарного типа и имеет ограниченный водообмен с открытым морем. 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 [11, 12, 13]. 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 Севастопольской бухты [12, 13], 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 [6, 9, 11] (рис. 1).

Поле биolumинесценции исследовали методом батифотометрического зондирования, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [4]. С его помощью кроме интенсивности биolumинесценции измеряли также температуру и солёность на глубине измерения.

При проведении структуризации сезонных изменений интенсивности поля биolumинесценции использовали агломеративно-иерархический метод группировки кластерного анализа. Этот метод предполагает последовательное объединение групп в кластеры по степени их близости друг к другу. В этом случае кластерное решение представляет собой иерархическую структуру вложенных друг в друга кластеров [3, 8, 10].

В качестве меры сходства групп биolumинесцентных использовали манхэттенское расстояние, определяемое по формуле [8, 10]:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|, \tag{1}$$

где d_{ij} – расстояние между i -ой и j -ой группами; x_{ik} – численное значение k -ой переменной для i -той группы; x_{jk} – численное значение k -ой переменной для j -ой группы.

При проведении кластеризации использовали метод Варда (Ward) [3, 8, 10, 18]. Этот метод позволил вначале каждую группу представить в виде отдельного кластера. Затем находится минимальное расстояние между парами кластеров, которые объединяются в единый кластер, после чего процесс объединения кластеров повторяется. Метод Варда для оценки расстояний между кластерами использует методы дисперсионного анализа. В качестве расстояния $dis(Y, X)$ между кластерами X и Y берется прирост суммы квадратов расстояний объектов до центров кластеров, получаемый в результате их объединения [10, 18]:

$$dis(X, Y) = \frac{n_x n_y}{n_x + n_y} (\bar{X} + \bar{Y})^T (\bar{X} + \bar{Y}), \tag{2}$$

где \bar{X}, \bar{Y} – радиус-векторы центров кластеров; n_x, n_y – число элементов в кластерах. Верхний индекс T означает транспонирование.

Метод Варда минимизирует сумму квадратов для любых двух (гипотетических) кластеров, которые могут быть сформированы. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению внутригрупповой суммы квадратов расстояний. Этот метод направлен на объединение близко расположенных

кластеров и имеет тенденцию к нахождению (или созданию) кластеров приблизительно равных размеров. Метод является достаточно эффективным для относительно небольших совокупностей данных [8, 10, 18] и поэтому применим для структуризации внутригодовой изменчивости интенсивности поля биоллюминесценции.

Математическая обработка результатов проводилась на персональном компьютере с использованием программ *Microsoft Excel 7.0*, *SPSS*, *Statistica 6.0*.

Результаты и обсуждение. При анализе вертикальных профилей интенсивности поля биоллюминесценции открытой и закрытой акватории моря выяснилось, что имеется две области повышенной интенсивности поля биоллюминесценции, сезонные процессы в которых протекают по разным законам. 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 слой (0–5 м) и глубинный или придонный слой. Глубинный слой на траверсе б. Круглая расположен на глубине 30–50 м, а придонный слой в Севастопольской бухте (ст. № 2, № 3) – на глубине 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 (придонного) слоев изображены на рис. 2 и 3, соответственно.

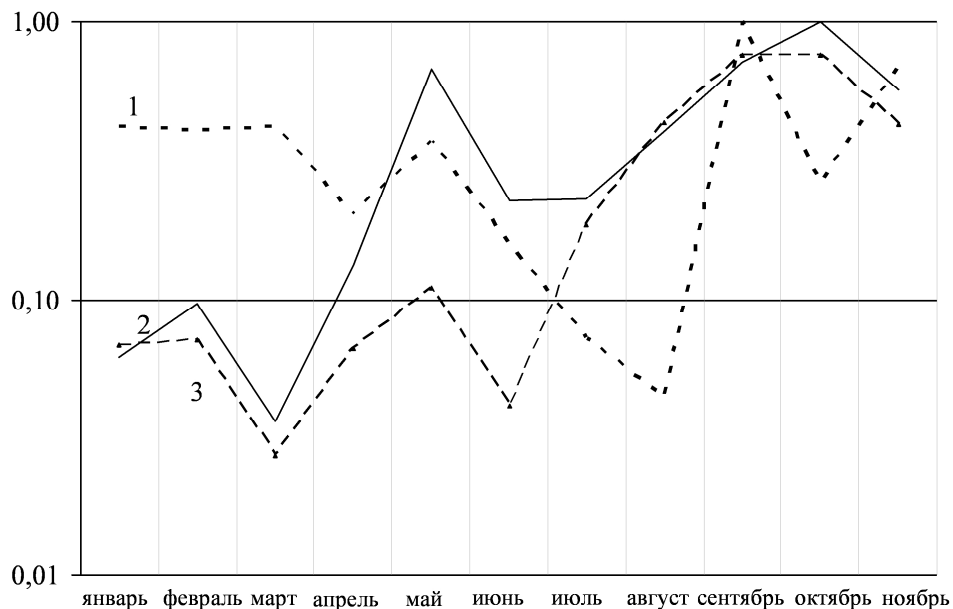


Рис. 2. Сезонные изменения интенсивности поля биоллюминесценции в поверхностном слое: 1 – на ст. № 1; 2 – на ст. № 2; 3 – на ст. № 3.

Сравнивая данные по интенсивности поля биолюминесценции, полученные в поверхностном слое открытой акватории Черного моря (ст. № 1) с результатами исследований в поверхностном слое Севастопольской бухты на ст. № 2 и ст. № 3, можно отметить, что в целом в поверхностных слоях исследованного региона сохраняются общие черты годовой динамики интенсивности поля биолюминесценции (рис. 3).

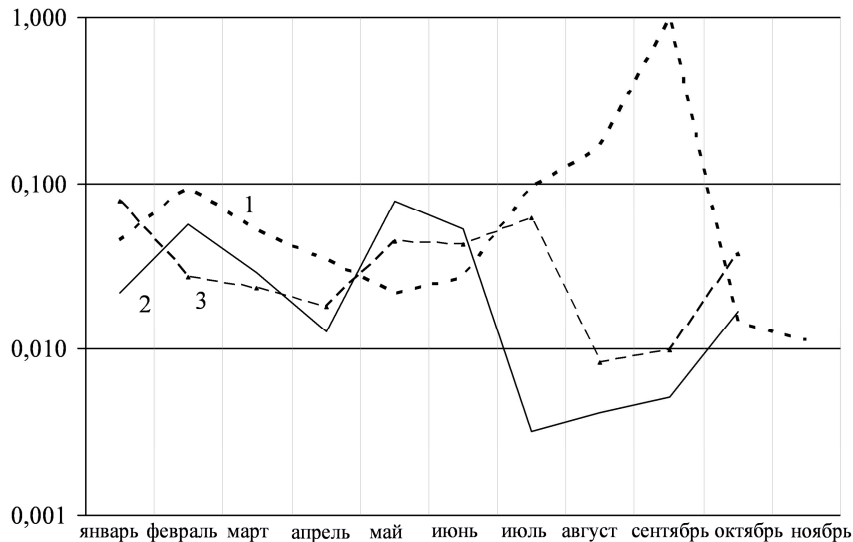


Рис. 3. Сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в придонном (глубинном) слое: 1 – на ст. № 1; 2 – на ст. № 2; 3 – на ст. № 3.

В открытой акватории моря (ст. № 1) в холодное время года (январь, февраль, март) несмотря на активную вертикальную конвекцию, максимумы концентрации биолюминесцентных в темное время суток находятся в верхнем 10-ти метровом слое. Увеличение интенсивности поля биолюминесценции в исследованных водах в начале года (январь–март) было обусловлено, по всей вероятности, улучшением снабжения биогенными элементами поверхностных вод и значительному повышению содержания в воде усвояемого органического вещества. В поверхностном слое в соответствии с жизненным циклом происходит более интенсивное питание и размножение гидробионтов [1, 7, 11, 14, 16, 17].

Температура по всей толще воды в холодный период на траверсе б. Круглая на 0,9⁰С и солёность на 0,22 ‰ оказались выше, чем в Севастопольской бухте. В мелководной Севастопольской бухте на ст. № 2 (б. Константиновская) и ст. № 3 (б. Голландия) в холодный период прослеживалась та же картина – однородное распределение температуры и солёности в верхнем и придонном слоях. Из-за слабого зимнего конвективного перемешивания вод в Севастопольской бухте слои, обогащенные биогенными элементами, являющимися питательной средой для фитопланктона располагаются в придонном слое [7, 11, 12, 14]. Именно поэтому, максимальная интенсивность поля биолюминесценции (в

отличие от акватории б. Круглая) в Севастопольской бухте наблюдалась в придонном слое. Однако интенсивность поля биолюминесценции на траверсе б. Круглая в поверхностном слое в среднем в 6 раз выше, чем в Севастопольской бухте.

В весенний период (апрель, май) в открытой части моря начинается перестройка вертикальной термической структуры, прекращается охлаждение поверхностных вод и конвективное перемешивание. В этот период начинается образование температурного и плотностного расслоения [7, 12, 15].

Количество светящихся видов планктона в верхнем слое повысилось за счет эпипланктонных форм [15] за счёт чего увеличилась интенсивность свечения, которая возросла до значения, равного 0,37 от максимальной сезонной величины (рис. 2). С увеличением глубины происходит понижение численности светящегося планктона и на глубине 30–40 м интенсивность свечения уменьшилась в весенний период в 3 раза по сравнению с февральскими значениями (рис. 3).

В Севастопольской бухте на станциях № 2 и № 3, в весенний период прогрев по всей толще воды проходит интенсивнее. Средняя температура в Севастопольской бухте на 2,2⁰С выше, чем в открытой части моря. Солёность в среднем на 0,3 ‰ меньше, чем на ст. № 1. При нарастании поступления пресных вод, в весенний период происходит ускоренное распреснение бухты. При этом средняя солёность в бухте уменьшается [9, 11, 13].

Интенсивность поля биолюминесценции в поверхностном слое на ст. № 2 (б. Константиновская) увеличивается, достигая к концу мая значения близкого к максимальному сезонному (рис. 2). 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 [7, 9] интенсивность поля биолюминесценции в верхнем слое б. Константиновская в 1,6 раз выше, чем в открытой части моря и в 4,6 раза 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 вод затрудняет процессы вертикального обмена и вынос к поверхности биогенных веществ. Светящиеся организмы уходят в ниже лежащие области с оптимальной для них температурой, расположенной в зоне температурного скачка (для большинства светящихся видов оптимальная температура близка к 14,0–22,0⁰С) [1, 5, 14, 15].

В наиболее жаркие месяцы лета (июль-август) в вертикальной структуре наблюдался 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.

В Севастопольской бухте с июня по август интенсивный прогрев всей толщи воды привел к тому, что слой температурного скачка отсутствовал. Интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном слое на ст. № 2 и на ст. № 3 были в 2–3 раза выше, чем на траверсе б. Круглая. В придонном слое интенсивности поля биолюминесценции на ст. № 2 и ст. № 3 были незначительными, в то время как на траверсе б. Круглая она увеличилась к августу в 6 раз.

В начале осени (сентябрь) на траверсе б. Круглая еще сохраняется теплая устойчивая погода со слабыми ветрами и небольшим волнением. Характер вертикального изменения интенсивности поля биолюминесценции практически такой же, как и в летние месяцы. Максимальное значение интенсивности поля биолюминесценции наблюдалось в сентябре в слое максимального градиента температуры на глубине 32 м.

Для позднего осеннего периода характерно постепенное охлаждение поверхностных вод, что приводит к возникновению конвективного перемешивания вследствие этого температурный скачок несколько размыт и планктонные сообщества начинают смешиваться. К ноябрю устанавливается слабая неустойчивая вертикальная температурная стратификация, которая легко разрушается ветро-волновым перемешиванием, и сменяется гомотермией [9, 12]. В глубоководном слое уровень интенсивности поля биолюминесценции в эти месяцы был в среднем в 5–6 раз меньше по сравнению с поверхностным 5-ти метровым слоем.

На станциях № 2 и № 3 в октябре–ноябре наблюдалось уже практически однородное распределение температуры по вертикали с постепенным её снижением к ноябрю. Наибольшие значения интенсивности поля биолюминесценции регистрировались в этот период в поверхностном слое. Максимальная интенсивность поля биолюминесценции наблюдалась в октябре, а к ноябрю интенсивность поля биолюминесценции уменьшилась почти в 1,5 раза (рис. 2).

Если общие черты сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном слое в Севастопольской бухте мало отличались от интенсивности поля биолюминесценции открытого моря на траверсе б. Круглая, то сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в глубоководном слое открытой части моря существенно отличается от сезонных процессов в придонном слое закрытой акватории (Севастопольская бухта).

Общий ход сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции в придонном слое Севастопольской бухты на ст. № 2 и № 3 показан на рис. 3. Сезонная динамика характеризуется невысоким уровнем интенсивности поля биолюминесценции, максимальное значение отмечено в мае в б. Константиновская (ст. № 2), это в 4,5 раза меньше, чем интенсивность поля биолюминесценции в этой бухте в поверхностном слое. Средние сезонные данные отражают незначительные увеличения интенсивности поля биолюминесценции зимой (февраль), весенний максимум в мае и небольшое осеннее увеличение интенсивности, приходящееся на октябрь месяц. Уже к ноябрю отмечается значительный спад интенсивности поля биолюминесценции.

В открытой акватории на траверсе б. Круглая в глубоководном слое в течение года был зарегистрирован один максимум интенсивности поля биолюминесценции в сентябре месяце. Этот максимум в 3 раза выше, чем интенсивность поля биолюминесценции в этот же месяц в поверхностном слое, и является абсолютным максимумом интенсивности поля биолюминесценции в исследуемый период.

При проведении кластерной структуризации сезонной изменчивости интенсивности поля биолюминесценции на первом этапе на основе проведенного выше анализа было выделено шесть отдельных монокластеров (групп).

В открытой части моря (ст. № 1) выделено две группы сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции: в поверхностном и глубинном слоях. В закрытой акватории моря (в б. Севастопольская) было выделено четыре группы сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемых в поверхностном и придонном слоях соответственно на станциях № 2 (б. Константиновская) и № 3 (б. Голландия).

На втором этапе кластеризации сравнивались сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в выделенных слоях и по формуле (1) рассчитывались матрицы расстояний между группами, после чего исходные группы (кластеры) группировались агломеративно-иерархическим методом с использованием соотношения (2).

На рис. 4 изображена полученная дендрограмма кластеризации сезонных изменений процессов интенсивности поля биолюминесценции и указаны межкластерные расстояния.

На дендрограмме хорошо виден процесс агломерации (слияние отдельных групп в единый окончательный кластер). Для каждого узла в дендограмме (там, где формируется новый кластер) можно видеть величину расстояния, для которого соответствующие группы связываются в новый объединяющий кластер.

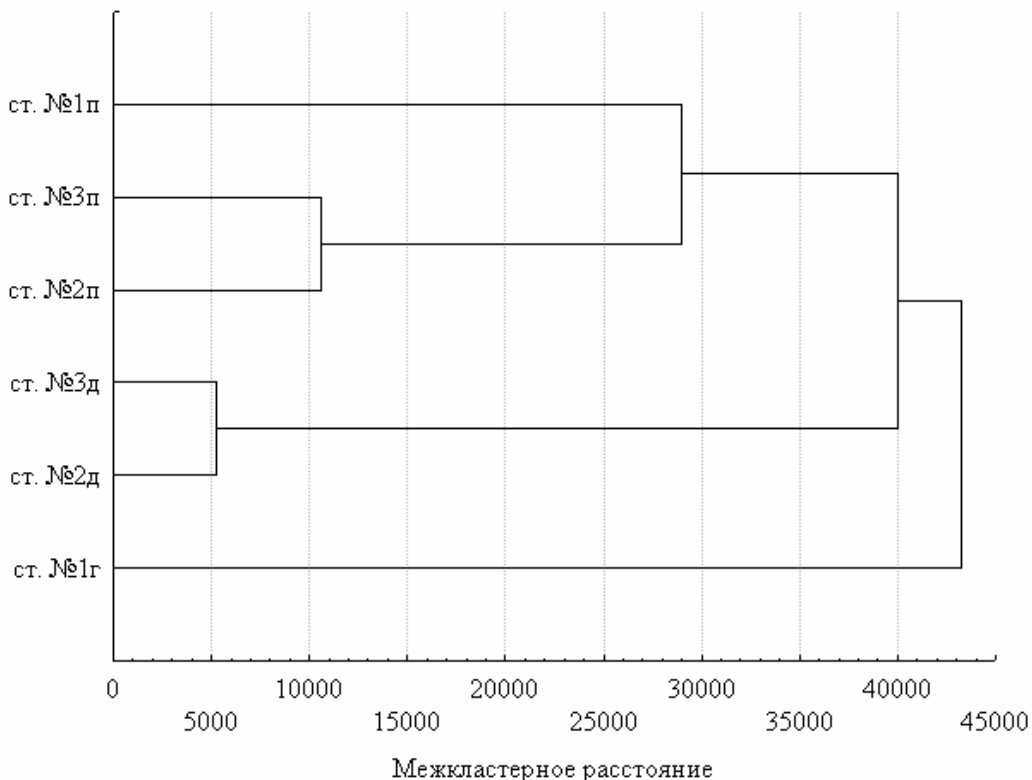


Рис. 4. Дендрограмма кластеризации и межкластерные расстояния.

Минимальное межкластерное расстояние наблюдается в придонном слое на станциях № 2 и № 3 (на рис. 4 они обозначены, как ст. № 2д и ст. № 3д), то на дендрограмме образованный этими станциями новый кластер имеет минимальное межкластерное расстояние.

Далее в единый кластер объединяются сезонные процессы интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемые в поверхностном слое на ст. № 2 и № 3 (на рис. 3 они обозначены как ст. № 2п и ст. № 3п).

На следующем шаге происходит объединение кластера полученного на втором шаге (процессы интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемые в поверхностных слоях в Севастопольской бухте ст. № 2п и ст. № 3п) с кластером ст. № 1п.

Дальнейшее объединение кластера процессов интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемых в поверхностном слое на ст. № 1п, № 2п и № 3п с процессами интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемыми в придонном слое на ст. № 2д и ст. № 3д происходит при достаточно большом межкластерном расстоянии равном 40000 (см. рис. 4). Резкий скачок от кластера, образованного группами ст. № 2д и ст. № 3д, к точке объединения свидетельствует о несхожести этих кластеров и поэтому дальнейшая агломерация не имеет смысла.

Таким образом, из рис. 4 следует, что сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции в глубинном слое в открытой акватории моря на траверсе б. Круглая сильно отличаются от остальных

групп и представляет собой монокластер объединяющийся на последнем шаге со всеми другими в один кластер. На дендрограмме, отражающий процесс агломерации, видно, что на последнем шаге итерации дальнейшее объединение кластеров не имеет смысла, поскольку большое расстояние между кластерами (около 43224) показывает их несхожесть.

ВЫВОДЫ

1. Впервые методом многомерного статистического анализа данных проведена структуризация сезонной динамики интенсивности поля биolumинесценции в прибрежной зоне г. Севастополя. 2. Показано различие в процессах сезонной вариабельности биolumинесценции в поверхностных и глубинных слоях региона. 3. Выявлена важная роль термохалинных характеристик водной среды в сезонной изменчивости вертикальной структурированности параметров поля биolumинесценции неритической зоны.

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела биофизической экологии ИнБЮМ НАНУ за содействие в обеспечении проведенных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюков Э.П. Биolumинесценция *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 биolumинесцентного поля в неритической зоне Чёрного моря // Океанология. – 1967. – Т 7, № 6. – С. 1089–1099.
3. Боровиков В.П. Популярное введение в программу STATISTICA. М.: КомпьютерПресс. – 1998. – 267 с.
4. Бурмистрова Н.В., Токарев Ю.Н., Василенко В.И. и др. 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.
5. Васечкина Е.Ф., Ярин В.Д. Объектно-ориентированная модель функционирования планктонного сообщества шельфа. // Морск. гидрофиз. журн. 2004. № 6. – С. 43–61.
6. Геворгиз Н.С., Кондратьев С.И., Ляшенко С.В. и др. 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.
7. 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.
8. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977. – 128 с.

9. Иванов В.А., Михайлова Э.Н., Шапиро Н.Б., Репетин Л.Н. Модель Севастопольской бухты. Воспроизведение вертикальной структуры полей температуры и солености в 1997 – 1999 гг. // Морск. гидрофиз. журн. – 2003. – № 4. – С. 15 – 35.
10. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
11. Миньковская Р.Я., Ильин Ю.П., Хоролич Н.Г. и др. 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.
12. Овсяный Е.И., Романов А.С., Миньковская Р.Я. 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.
13. Репетин Л.Н., Гордина А.Д., Павлова Е.В. и др. Влияние океанографических факторов на экосистему полузамкнутой антропогенно нагруженной Севастопольской бухты // Морск. гидрофиз. журн. – 2003. – № 2. – С. 66–80.
14. Сеничкина 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.
15. Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
16. Токарев Ю.Н., Битюков Э.П., Василенко В.И. и др. Поле биолюминесценции – характерный показатель структуры планктонного сообщества Черного моря // Экология моря. – 2000. – № 53. – С. 20–25.
17. 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 / В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор). Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2003. С. – 121–151.
18. Ward J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function // Journal of the American Statistical Association. – 1963. – 236 p.

Е. Б. Мельникова, Н. В. Лямина
СТРУКТУРИЗАЦИЯ ВНУТРИГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В
РЕГИОНАЛЬНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Ключевые слова: поле биолюминесценции, внутригодовая изменчивость, вертикальная структура, Черное море.

Исследована сезонная изменчивость вертикальной структуры интенсивности поля биолюминесценции в прибрежных водах Черного моря. Методом кластерного анализа проведена структуризация сезонной динамики интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном и глубинном слоях прибрежной зоны г. Севастополя. Показано различие в процессах, происходящих в поверхностных и глубинных слоях региона. Выявлена важная роль термохалинных характеристик водной среды в сезонной изменчивости вертикальной структурированности параметров поля биолюминесценции.

E. B. Melnikova, N. V. Lyamina

**STRUCTURING ANNUAL VARIATIONS IN BIOLUMINESCENCE
FIELD INTENSITY IN SEVASTOPOL REGIONAL WATERS (BLACK
SEA)**

Key words: *bioluminescence field, intra-annual variation, vertical structure, Black Sea.*

The paper addresses seasonal variability in the vertical structure of the bioluminescence field intensity in the coastal waters of the Black Sea. Using the method of cluster analysis it structures the seasonal dynamics of the bioluminescence field intensity in the surface and deep layers of the coastal area of Sevastopol. The study shows the difference in the processes occurring in the surface and deep layers of the region. It proves the importance of thermohaline characteristics of the water environment in the seasonal variation of the vertical structuring of bioluminescence field parameters.