

УДК 591.148:574.52(262.5)

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТРУКТУРИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ГИДРОБИОНТОВ

Мельникова Е.Б., Бурмистрова Н.В.

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины, Севастополь,
Украина
E-mail: helena_melnikova@mail.ru*

Методом кластерного анализа исследованы общие закономерности сезонной variability интенсивности поля биолюминесценции создаваемого гидробионтами в прибрежных водах Чёрного моря. Проведена структуризация процессов биолюминесценции, протекающих в поверхностном и придонном слоях закрытой и открытой акватории моря. Показано, что сезонные процессы биолюминесценции в поверхностном слое открытой и закрытой акватории моря имеют достаточно близкий характер и могут быть объединены в один кластер. Сезонные изменения поля биолюминесценции в глубоководном слое открытой акватории Чёрного моря значительно отличаются как от процессов в поверхностном слое, так и от процессов в придонном слое закрытой акватории, и поэтому должны рассматриваться как отдельный кластер.

Ключевые слова: кластерный анализ, поле биолюминесценции, сезонная изменчивость, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время биофизические характеристики водной толщи рассматриваются как элемент взаимодействия гидробионтов, мера процессов обмена веществ, энергии, важный фактор пространственного структурирования гидробионтов, и ее изменчивости во времени, показатель физиологического состояния исследуемой структурной группы по создаваемому ею полю биолюминесценции [1–3]. Известны работы, посвященные выяснению связи характеристик биолюминесценции в Черном море с видовым разнообразием и распределением планктона [1, 3, 4], с гидрологическими характеристиками среды [5], а также работы посвященные годовым изменениям интенсивности поля биолюминесценции [6]. Однако вопросы структуризации процессов биолюминесценции, протекающих в поверхностном и придонном слоях в прибрежных водах Черного моря, в известных работах не рассмотрены.

Применение методов многомерного статистического анализа для исследования количественных закономерностей биологических процессов, дает возможность структурировать информацию, полученную на основе многочисленных экспериментальных исследований, обнаружить внутренние связи между процессами, протекающими в наблюдаемых совокупностях и выявить общие закономерности их развития [7–9].

Цель работы – исследовать методом кластерного анализа общие закономерности сезонной вариабельности интенсивности поля биолюминесценции в прибрежных водах Чёрного моря и провести структуризацию процессов биолюминесценции протекающих в поверхностном и придонном слоях закрытой и открытой акватории моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований явилась сезонная изменчивость интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном и придонном слоях. Регулярные круглогодичные исследования вертикальной структуры интенсивности поля биолюминесценции проводили в открытой акватории моря на траверсе б. Круглая (ст. №1), а также в акватории Севастопольской бухты в районе б. Константиновская (ст. №2) и районе б. Голландия (ст. №3) (рис. 1). Экспериментальные материалы получены в 2009 – 2010 годах.



Рис. 1. Схема района исследования.

Открытая акватория моря в районе б. Круглая (ст. №1) относительно глубоководная ($h = 60$ м), имеющая водообмен с открытой частью моря. В летнее время она характеризуется достаточно устойчивой стратификацией слоев воды, определяющей изменчивость вертикальной структуры температуры и солености.

Севастопольская бухта относится к водоемам эстуарного типа, имеющих ограниченный водообмен с открытым морем. Севастопольская бухта также включает устьевое взморье реки Чёрной, которая является стоком пресных вод в бухту, где и происходит смешение речных и морских вод [10, 11]. В зависимости от величины стока реки его воздействие распространяется на акваторию Севастопольской 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 [11]. Бухта Голландия (ст. №3) при глубине 18 м находится в центральной части Севастопольской бухты. На состояние вод этой акватории при соответствующих

метеоусловиях оказывают влияние воды всех прилегающих районов, это зона трансформации и смешения речных и морских вод [10, 11].

Пространственную структуру поля биолюминесценции исследовали методом неоднократного батифотометрического зондирования толщи воды, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [12]. С помощью гидробиофизического комплекса «Сальпа-М» кроме интенсивности поля биолюминесценции измеряли температуру, мутность и соленость водной толщи.

При проведении структуризации сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции 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 [7–9].

В качестве меры сходства групп биолюминесцентных использовали манхэттенское расстояние, определяемое по формуле [8, 9]

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

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

При проведении кластеризации использовали метод Варда (Ward) [7–9, 13]. 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 [9, 13]:

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

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 и применим для относительно небольших совокупностей данных [8, 9, 13].

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе вертикальных профилей интенсивности поля биолюминесценции открытой и закрытой акватории моря выяснилось, что имеется две области повышенной интенсивности биолюминесценции, сезонные процессы в которых протекают по разным законам. Поэтому для изучения сезонной динамики интенсивности поля биолюминесценции всю толщу воды условно разбили на две части, в которых расположены локальные максимумы интенсивности поля биолюминесценции: поверхностный слой 0 – 5 м и глубинный или придонный слой. Глубинный слой на траверсе б. Круглая располагался на глубине 30–50 м, а в Севастопольской бухте (ст. №2, №3) — на глубине 10–17 м.

На Рис. 2 изображены экспериментальные результаты сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции в поверхностном и придонном (глубинном) слоях.

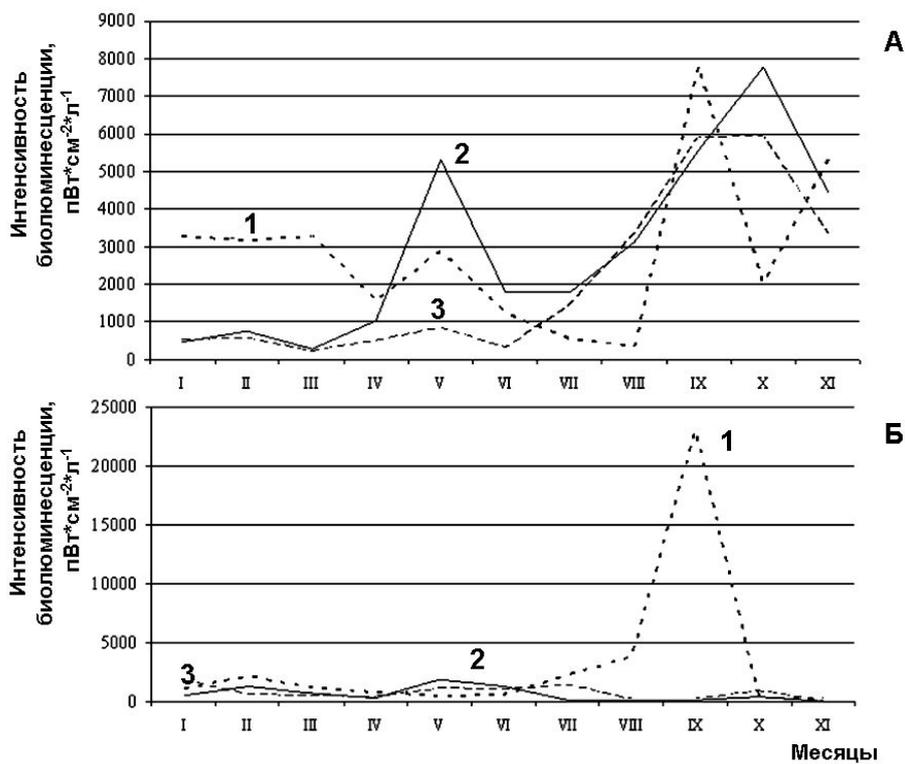


Рис. 2. Сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции: А – в поверхностном слое; Б – в придонном (глубинном) слое; 1 – измерения на ст. №1; 2 – измерения на ст. №2; 3 – измерения на ст. №3.

Как следует из представленного материала, интенсивность поля биолюминесценции имеет сложный характер, однако при этом отчетливо прослеживается сезонная цикличность. Объясняется это тем, что гидрофизические

характеристики среды (температура, соленость, мутность, давление) оказывают существенное влияние на биолюминесцентных и создаваемое ими поле биолюминесценции [1–3].

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

В холодный период (январь, февраль, март) в поверхностном слое не было зарегистрировано явных всплесков интенсивности поля биолюминесценции ни в открытой акватории Чёрного моря (ст. №1), ни в Севастопольской бухте на ст. №2 и ст. №3. Одной из основных причин этого является функциональное состояние планктона, связанное с малой интенсивностью освещения и его низкой численностью [14, 15]. В зимний период на фоне невысоких скоростей биологических и химических процессов интенсивность поля биолюминесценции находится в прямой зависимости от гидрофизических процессов, обеспечивающих однородное распределение температуры и солености. При этом интенсивность поля биолюминесценции на траверсе б. Круглая в поверхностном слое в среднем в 6 раз выше, чем в Севастопольской бухте.

Весенний максимум интенсивности поля биолюминесценции зарегистрирован в мае. Это связано с массовым развитием, светящихся организмов, а также с перестройкой вертикальной термической структуры вод [16–18]. С наступлением весны прекращается конвективное перемешивание, начинается образование температурного расслоения [18, 19]. С учетом того, что бухта Константиновская располагается в относительно чистой акватории Севастопольской бухты, а также за счет быстрого прогрева всей толщи воды, интенсивность поля биолюминесценции в верхнем слое в 1,6 раза выше, чем в открытой части моря.

В летний период (июнь, июль, август) в верхних слоях интенсивность поля биолюминесценции падает. Постепенный прогрев водной толщи затрудняет процессы вертикального обмена из-за возникающей температурной стратификации, вследствие которой происходит более полное разделение эпипланктонного и батипланктонного комплексов. При очень сильном прогреве поверхностного слоя светящиеся организмы уходят в ниже лежащие области с оптимальной для них температурой [18, 19].

Наибольший сезонный максимум интенсивности поля биолюминесценции в верхних слоях, как в открытой части Чёрного моря, так и Севастопольской бухте наблюдался в сентябре – октябре. Объясняется это тем, что интенсивное развитие большинства видов светящегося планктона происходит обычно в конце сентября [16, 17, 20]. Причиной этого является вынос биогенных элементов из нижних слоев в зону фотосинтеза при начинающемся разрушении скачка плотности под действием осенних сгонно-нагонных циркуляций вод [11, 18]. В ноябре происходит постепенное охлаждение поверхностных вод, что приводит к возникновению конвективного перемешивания и ослаблению процессов фотосинтеза.

В Севастопольской бухте в ноябре в связи с ее сравнительной мелководностью процесс опускания охлажденных поверхностных вод привел к тому, что на ст. №2 и ст. №3 наблюдалось практически однородное распределение температуры по вертикали и интенсивность поля биолюминесценции была максимальной в верхнем слое.

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. 2Б. Сезонная динамика характеризуется невысоким уровнем интенсивности поля биолюминесценции, максимальное значение отмечено в мае ($1800 \text{ пВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{л}^{-1}$) 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 и региональной 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 бухте 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). Последовательность агломерации приведена в Табл. 1.

Как следует из материалов Табл. 1, минимальное межкластерное расстояние между сезонным характером изменения интенсивности поля биолюминесценции наблюдается в придонных слоях на ст. №2 и №3. Они объединяются в новый кластер, содержащий две исходные группы. Далее в один кластер объединяются сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции наблюдаемые в

поверхностном слое в районе б. Константиновская (ст. №2) и б. Голландия (ст. №3) и так далее.

Таблица 1

Последовательность агломерации

Расстояние объединения	№ Класстера	Районы	Слой воды
5253	1	б. Константиновская (ст. № 2д) – б. Голландия (ст. №3д)	Придонный слой
10691	2	б. Константиновская (ст. № 2п) – б. Голландия (ст. №3п)	Поверхностный слой
28980	3	б. Круглая (ст. №1п) – б. Константиновская (ст. № 2п); б. Голландия (ст. №3п)	Поверхностный слой
40060	4	б. Константиновская (ст. № 2п), б. Голландия (ст. №3п), б. Круглая (ст. №1п) – б. Константиновская (ст. № 2д), б. Голландия (ст. №3д)	Поверхностный слой – Придонный слой
43224	5	б. Константиновская (ст. № 2п), б. Голландия (ст. №3п), б. Круглая (ст. №1п), б. Константиновская (ст. № 2д), б. Голландия (ст. №3д) – б. Круглая (ст. №1г),	Приповерхностный слой Придонный слой – Глубоководный

На Рис. 3 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 дендрограмме (там, где формируется новый кластер) можно видеть величину расстояния, для которого соответствующие группы связываются в новый объединяющий кластер.

Так как минимальное межкластерное расстояние наблюдается в придонном слое на станциях №2 и №3 (на Рис. 3 они обозначены, как ст. №2д и ст. №3д), то на дендрограмме образованный этими станциями новый кластер имеет минимальное 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 биolumинесценции наблюдаемых в поверхностном слое на ст. №1п, №2п и №3п с процессами интенсивности поля биolumинесценции наблюдаемыми в придонном слое на ст. №2д и ст. №3д происходит при достаточно большом межкластерном расстоянии равном 40000 (рис. 3). 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.

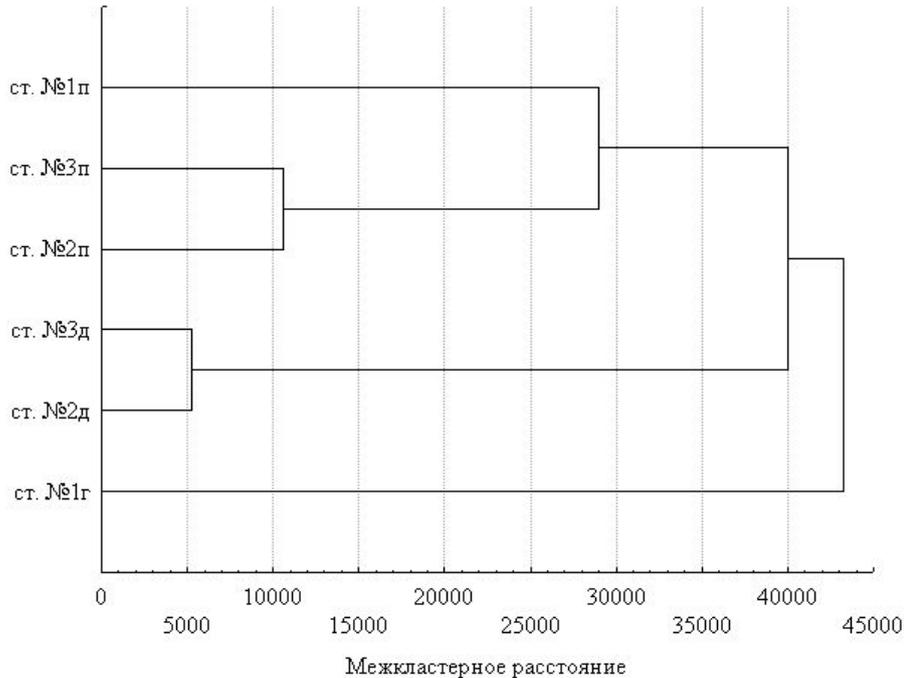


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации и межкластерные расстояния.

Таким образом, из Рис. 3 следует, что сезонные изменения интенсивности поля биolumинесценции в нижнем 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. Проведенное методом кластерного анализа исследование сезонной изменчивости интенсивности поля биolumинесценции в открытой акватории Черного моря на траверсе б. Круглая (в верхнем и глубоководном слоях), а также в акватории Севастопольской бухты показал, что сезонные изменения

интенсивности поля биолюминесценции в придонном слое на станциях в Севастопольской бухте незначительно отличаются друг от друга, и могут быть объединены в один кластер.

2. Биолюминесценция в поверхностном слое разных районов Севастопольской бухты (ст. №2 и №3) и поверхностном слое открытой акватории моря (ст. №1) имеет достаточно близкий характер и может быть объединена по характеру сезонных изменений в один кластер.
3. Сезонные изменения поля биолюминесценции в глубоководном слое открытой акватории Черного моря значительно отличаются как от процессов в поверхностном слое моря, так и от процессов в придонном слое Севастопольской бухты и поэтому должны рассматриваться как отдельный кластер.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность д.б.н. Ю.Н. Токареву за постоянное внимание, помощь и ценные замечания, высказанные в процессе обсуждения работы, а также сотрудникам отдела биофизической экологии за содействие в обеспечении проведенных исследований.

Список литературы

1. Поле биолюминесценции – характерный показатель структуры планктонного сообщества Чёрного моря / Ю.Н. Токарев, Э.П. Битюков, В.И. Василенко [и др.] // Экология моря. – 2000. – № 53. – С. 20–25.
2. Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов / Токарев Ю.Н. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
3. Видовое разнообразие планктонных биолюминесцентных в Чёрном море и характеристики формируемого ими поля биолюминесценции в неритической зоне Крыма / Ю.Н. Токарев, Э.П. Битюков, В.И. Василенко [и др.] // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор) / под ред. В.Н. Еремеева. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2003. – С. 121–151.
4. Результаты и перспективы биолюминесцентных исследований в Чёрном море / Э.П. Битюков, В.И. Василенко, Ю.Н. Токарев [и др.] // Экология моря. – 1996. – № 46 – С. 19–24.
5. Бурмистрова Н.В. Связь интенсивности поля биолюминесценции с гидрологическими характеристиками среды на траверзе бухты «Круглая» / Н.В. Бурмистрова, В.Ф. Жук, Е.Б. Мельникова // Вісник ЗНУ. Біологічні науки. – Запоріжжя, 2010. – № 2. – С. 84–92.
6. Битюков Э.П. Годовые изменения интенсивности биолюминесцентного поля в неритической зоне Чёрного моря / Э.П. Битюков, В.П. Рыбасов, В.Г. Шайда // Океанология. – 1967. – Т. 7., №6. – С. 1089–1099.
7. Боровиков В.П. Популярное введение в программу STATISTICA / В.П. Боровиков – М. : КомпьютерПресс, 1998. – 267 с.
8. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
9. Мандель И.Д. Кластерный анализ / Мандель И.Д. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
10. Роль устьевых областей крупных рек Украины в поступлении биогенных веществ в Чёрное море / Р.Я. Миньковская, Ю.П. Ильин, Н.Г. Хоролич [и др.] // Современное состояние экосистем Чёрного и Азовского морей : междунар. науч. конф., Крым, Донузлав, 13-16 сент. 2005 г. : тезисы докл. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – С. 52–53.
11. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В.А. Иванов, Е.И. Овсяный, Л.Н. Репетин [и др.] – Севастополь, 2006. – 90 с.
12. Организация и проведение биофизического мониторинга планктонного сообщества прибрежной акватории Севастополя: первые результаты / Н.В. Бурмистрова, Ю.Н. Токарев, В.И. Василенко [и др.]

- др.] // Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты) : междунар. науч. конф., Ростов н/Д, 9-11 июня 2008 г.: тезисы докл. – Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2008. – С. 59–62.
13. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function / J.H. Ward // Journal of the American Statistical Association, 1963. – 236 p.
 14. Финенко З.З. Первичная продукция в Черном море в зимне-весенний период / З.З. Финенко, Д.К. Крупаткина // Океанология, 1993. – Т. 33, № 1. – С. 60–75.
 15. Изменение фотосинтетических параметров фитопланктона в поверхностном слое Чёрного моря / З.З. Финенко, Т.Я. Чурилова, Х.М. Сосик [и др.] // Океанология, 2002. – Т. 42, № 1. – С. 60–75.
 16. Финенко З.З. Продукция фитопланктона / З.З. Финенко // Основы биологической продуктивности Черного моря / ред. В.Н. Грезе. – К. : Наук. думка, 1979. – С. 88–97.
 17. Георгиева Л.И. Видовой состав и динамика фитоценоза / Л.И. Георгиева // Планктон Чёрного моря / ред. А.В. Ковалев, З.З. Финенко – К. : Наук думка, 1993. – С. 31–55.
 18. Результаты мониторинга гидрохимической структуры Севастопольской бухты в тёплый период года / Н.С. Геворгиз, С.И. Кондратьев, С.В. Ляшенко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. – Вып. 1(6). – С. 139–156.
 19. Долотов В.В. Внутригодовые (сезонные) изменения общего содержания биогенных элементов и кислорода в различных районах Севастопольской бухты / В.В. Долотов, С.И. Кондратьев, С.В. Ляшенко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 12. – С. 167–176.
 20. Сеничкина Л.Г. Изменение структуры черноморского фитопланктона при антропогенном воздействии / Л.Г. Сеничкина // Морские биологические исследования. – Севастополь, 1994. – С. 54–64.

Мельникова О.Б. Вживання кластерного аналізу для структуризації співтовариств біоломінесцентних гідробіонтів / О.Б. Мельникова, Н.В. Бурмістрова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 156-165.

Методом кластерного аналізу досліджені загальні закономірності сезонної варіабельної інтенсивності поля біоломінесценції створюваного гідробіонтами в прибережних водах Чорного моря. Проведена структуризація процесів біоломінесценції, що протікають в поверхневому і придонному шарах закритої і відкритої акваторії моря. Показано, що сезонні процеси біоломінесценції в поверхневому шарі відкритої і закритої акваторії моря мають досить близький характер і можуть бути об'єднані в один кластер. Сезонні зміни поля біоломінесценції в глибоководному шарі відкритої акваторії Чорного моря значно відрізняються як від процесів в поверхневому шарі, так і від процесів в придонному шарі закритої акваторії, і тому повинні розглядатися як окремий кластер.

Ключові слова: кластерний аналіз, поле біоломінесценції, сезонна мінливість, Чорне море.

Melnikova E.B. The usage of cluster analysis for structurization of the bioluminescent hydrobionts communities / E.B. Melnikova, N.V. Burmistrova // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 4. – P. 156-165.

By the method of cluster analysis we studied general laws of the season variability in the bioluminescence field intensity, created by the hydrobionts in the Black sea coastal waters. The structurization of the bioluminescence processes, taking place in the surface and near-bottom layers of the open and closed sea water areas has been conducted. It has been shown that bioluminescence seasonal processes in the surface layer of the open and closed sea water areas had quite close character and could be joined in one cluster. Seasonal changes in the bioluminescence field in the deep – water layer of the Black sea open water area differ considerably from the processes in the surface layer as well as from the processes in the near-bottom layer of the closed water area, that is why they should be considered as a separate cluster.

Keywords: cluster analysis, bioluminescence field, seasonal changeability, Black Sea.

Поступила в редакцію 22.10.2011 г.