

УДК 591.148:574.52(262.5)

Мельникова Е. Б.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК И ЗНАЧИМОСТЬ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

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

Ключевые слова: билюминесценция, факторный анализ, биотические, абиотические факторы, Черное море.

На распределение гидробионтов в толще воды, процессы их жизнедеятельности и развития влияют биотические факторы (эндогенные ритмы, возраст, размножение и т.д.) и абиотические факторы (температура, соленость, освещенность, наличие пищи и т.д.). При этом взаимосвязь биологических процессов с факторами, определяющими их протекание, может быть сложной и неявно выраженной. В частности, исследование изменения интенсивности поля билюминесценции в течение суток предполагает изучение не только общих закономерностей развития билюминесцентных организмов, но и выявление латентных факторов, оказывающих наибольшее влияние на интенсивность свечения организмов.

В работах исследователей [1, 2, 3, 4, 7, 11], занимавшихся изучением интенсивности поля билюминесценции в разных районах Черного моря, отмечено, что на интенсивность поля билюминесценции влияют факторы как биотические, так и абиотические. Однако численной оценки значимости этих факторов на суточную динамику интенсивности свечения билюминесцентных организмов в известных работах не проведено.

Цель работы — изучить изменение интенсивности поля билюминесценции в темное время суток в прибрежных водах Черного моря и выявить с применением многомерного статистического анализа факторы влияющие на функционирование билюминесцентных организмов, а также оценить их значимость.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения анализа использовали экспериментальные данные полученные осенью 2010 года, в 67-м рейсе научно-исследовательского судна «Профессор Водяницкий». Исследования вертикальной структуры интенсивности поля билюминесценции проводили в темное время суток в открытой акватории Черного моря, у западных берегов Крыма на траверзе б. Круглая. Глубина в районе исследования — около 70 м.

Вертикальные профили поля билюминесценции исследовали методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М»[4]. С помощью

данного комплекса определяли также температуру и солёность на глубине измерения.

С целью выявления влияния биотических и абиотических факторов на изменения интенсивности поля биолюминесценции был применен факторный анализ [10, 12, 13].

Для решения задачи факторного анализа применили метод главных компонент заключающийся в последовательном поиске факторов. Модель главных компонент имеет следующий вид:

$$X_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} F_k \quad (1)$$

где X_i – наблюдаемый показатель; k – количество факторов; a_{ik} – коэффициенты (факторные нагрузки); $i = 1, 2, 3, \dots, n$; n – количество наблюдений.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований производили с помощью пакетов программного статистического анализа *Microsoft Excel 7.0* и *Statistica 6.0*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки характера вертикального профиля изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток, всю толщу воды от 0 до 60 м разбили на 5-метровые слои по глубине. Было определено, что динамика интенсивности поля биолюминесценции открытой акватории моря на траверзе б. Круглая верхнего слоя отличается от глубоководного слоя. Для выявления слоев воды, в которых изменения интенсивности поля биолюминесценции имеют близкий характер, применили кластерный анализ [9].

В результате применения агломеративно-иерархического метода группировки было получено два независимых кластера, характеризующихся схожестью процессов, — верхний, объединяющий слои от 0 – 5 м до 30 – 35 м, и глубоководный – от 35-40 м до 55-60 м. Анализ показал, что в глубоководном слое динамика интенсивности поля биолюминесценции имеет значительно менее выраженные экстремумы в изменении интенсивности свечения. Интенсивность поля биолюминесценции на глубинах более 35 метров в исследуемый период была в 1,5 – 2 раза меньше, чем в верхнем 35-метровом слое. В соответствии с этим, дальнейшие исследования проводили для верхнего слоя (рис. 1).

Видно, что в суточном ритме свечения биолюминесцентом наблюдаются увеличения интенсивности свечения (в 19 ч, 22 – 23 ч и в 3 – 4 ч утра), а также спады (в 20 ч, 1 ч ночи и к 6 ч утра). При этом характер изменения интенсивности поля биолюминесценции одинаков во всех выделенных водных слоях. На рис. 1 изображены послойные (для 5-

метровых слоев) интенсивности поля билюминесценции в верхнем слое 0 – 35 м.

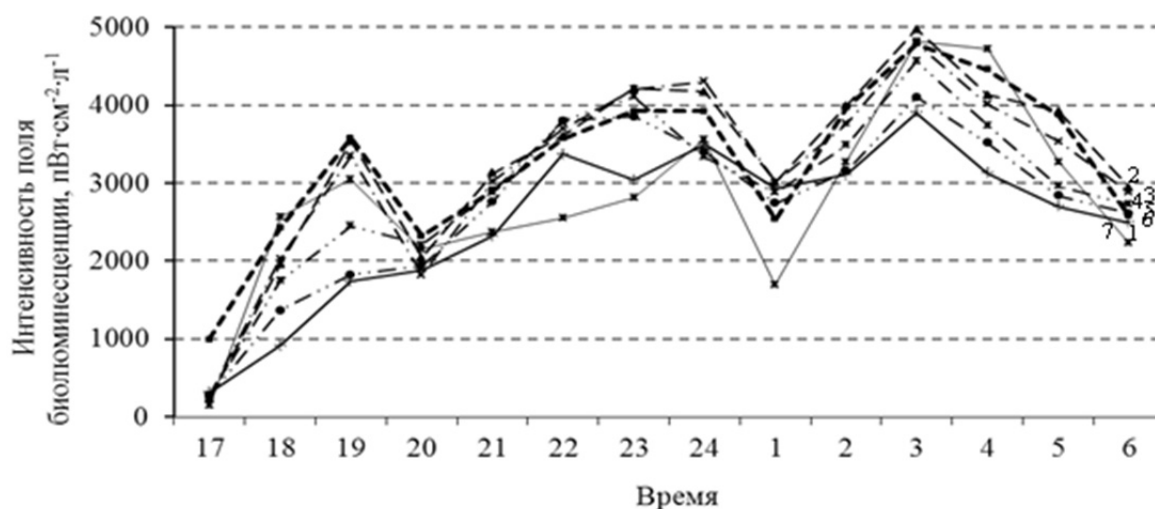


Рис. 1. Изменения интенсивности поля билюминесценции в верхнем слое: 1 – 0-5 м; 2 – 5-10 м; 3 – 10-15 м; 4 – 15-20 м; 5 – 20-25 м; 6 – 25-30 м; 7 – 30-35 м.

Далее для выявления латентных факторов, влияющих на функционирование билюминесцентных организмов в верхнем слое воды, который характеризуется хорошо выраженной периодичностью нарастания и убывания интенсивности свечения билюминесцентных организмов, применили факторный анализ [10, 12, 13].

На начальном этапе проведения факторного анализа необходимо определить количество факторов, вносящих существенный вклад в изменение интенсивности билюминесценции. Для достижения этой цели использовали критерий Кэттела [13]. Этот метод основан на анализе собственных чисел факторов, записываемых в порядке убывания значений. Когда значения собственных чисел мало отличаются друг от друга, можно отбросить все незначительные с точки зрения дальнейшей интерпретации значения собственных чисел.

В результате произведенных расчетов выявлено пять основных факторов (см. табл. 1). Остальные факторы вносят ничтожно малый вклад. Собственные значения выделенных факторов представлены в порядке убывания, отражая тем самым степени важности соответствующих факторов для объяснения суточной вариации исходных данных.

Следует отметить, что наибольшей информативностью обладает первый фактор, которому соответствует максимальное собственное значение – 8,5, его дисперсия составляет 61,1% от общей дисперсии. Второму фактору соответствует собственное значение – 3,2. Третьему фактору соответствует собственное значение 1,8. Информативность этих факторов соответственно равна 22,6% и 12,6%.

Таблица 1.

Характеристики факторов

Главные компоненты	Собственные значения	Процент общей дисперсии	Кумулятивный процент общей дисперсии
Фактор F ₁	8,5	61,1	61,1
Фактор F ₂	3,2	22,6	83,7
Фактор F ₃	1,8	12,6	96,3
Фактор F ₄	0,4	3,1	99,4
Фактор F ₅	0,1	0,6	100,0

На рис. 2 изображена зависимость кумулятивного процента общей дисперсии от количества факторов.

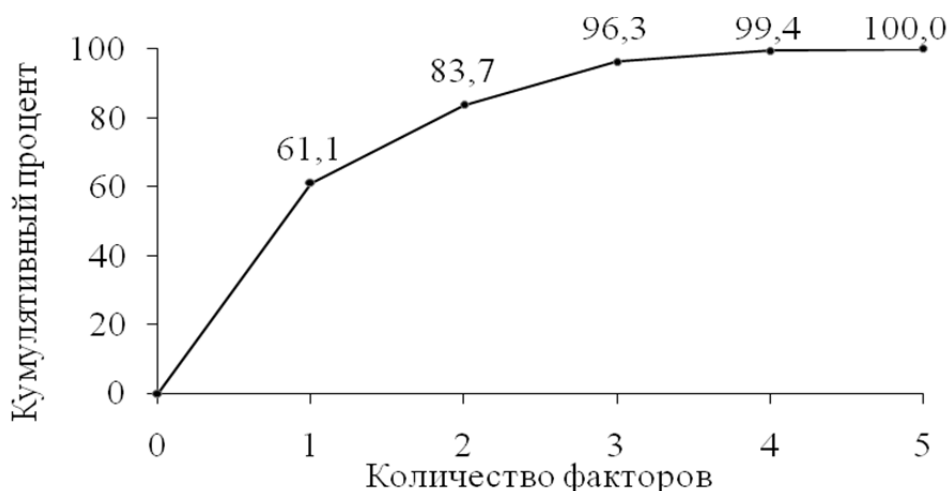


Рис. 2. Суммарная значимость влияющих факторов.

Видно, что кумулятивный процент дисперсии для первого фактора составляет 61,1%. Это свидетельствует о том, что он объясняет 61,1% изменчивости измеренных показателей интенсивности поля биоломинесценции. Первый и второй факторы в совокупности объясняют 83,7%, а три первых фактора – 96,3 % изменчивости, характеризующей периодичность нарастания и убывания интенсивности поля биоломинесценции в темное время суток.

Компонентный анализ показал, что суммарный вклад первых трех факторов в изменчивость планктонного сообщества составляет 96,3%, следовательно, эти три фактора являются значимыми. Так как последующие факторы обладают незначительным уровнем информативности (менее 4%), то в дальнейшем анализе они не рассматривались.

Анализ литературных источников [5, 6] касающихся вопросов количественного развития в течение суток планктона показывает, что количественное развитие морского фитопланктона зависит, прежде всего, от скорости деления клеток и от интенсивности выедания их зоопланктоном. При этом суточный ритм питания копепод разного

возраста различный, что связано с их различной способностью к миграциям.

Л.А. Ланская[8]исследуя скорости деления клеток черноморского фитопланктона, пришла к выводу, что деление большинства клеток динофлагеллят происходи круглосуточно, но максимальное деление клеток приходится на вечерние часа и ночное время.

Процессы размножения клеток фитопланктона и выедания их зоопланктоном находятся в динамическом равновесии. При преобладании одного из процессов количество светящегося фитопланктона увеличивается или уменьшается.

В результате проведенного факторного анализа для выделенных трех факторов получена матрица факторных нагрузок, рассчитанная по среднему значению интенсивности поля биолюминесценции полученному по каждому часу зондирования. Было определено, что фактор F_1 имеет наибольшие факторные нагрузки в те часы, когда прослеживается процесс нарастания интенсивности поля биолюминесценции.

Фактор F_2 имеет наибольшие факторные нагрузки в те часы, когда наблюдается убывание интенсивности поля биолюминесценции.

Фактор F_3 характеризуется наибольшей факторной нагрузкой в те часы, когда наблюдаются небольшие (менее 1 – 2%) суточные изменения гидрологических характеристик толщи воды (температура, соленость), влияющих на интенсивность свечения организмов.

Сравнение суточного изменения факторных нагрузок с процессами жизнедеятельности биолюиминесцентови характером изменения абиотических факторов позволило сделать вывод, что факторы F_1 и F_2 можно отнести к биологическим. То есть на процессы нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции создаваемого биолюминесцентами в течение темного времени суток прежде всего влияют биотические факторы: интенсивность размножение клеток фитопланктона и суточные ритмы их свечения, а также выедание их зоопланктоном [7, 11]. Вклад третьего фактора F_3 в изменение интенсивности поля биолюминесценции незначителен (12,6%) и его можно отнести к абиотическим, гидрологическим факторам, влияющим на изменение интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток

ВЫВОДЫ

1. Интенсивность поля биолюминесценции в темное время суток подвержена периодическим изменениям. При этом интенсивность поля биолюминесценции на глубинах более 35 метров в исследуемый период была в 1,5 – 2 раза меньше, чем в верхнем 35-метровом слое.

2. Наибольшее влияние на периодичность нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток оказывают биотические факторы, вклад которых в изменчивость составляет 87,3%.

3. Абиотический фактор менее значим в суточном изменении интенсивности поля биоллюминесценции. Его вклад составляет 12,6%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюков Э. П., Василенко В. И., Серикова И. М., Токарев Ю. Н. Результаты и перспективы биоллюминесцентных исследований в Чёрном море // Экология моря. – 1996. – № 46 – С. 19 – 24.
2. Битюков Э. П. Характеристика суточного ритма биоллюминесценции *Noctiluca miliaris* в Черном море // Зоол. Журн. – 1968. – Т 47, № 1 – С. 36 – 41.
3. Бурмистрова Н.В., Жук В. Ф., Мельникова Е.Б. Связь интенсивности поля биоллюминесценции с гидрологическими характеристиками среды на траверзе бухты «Круглая» // Вісник ЗНУ. Біологічні науки. – Запоріжжя, 2010. – № 2. – С. 84 – 92.
4. Бурмистрова Н.В., Токарев Ю.Н., Василенко В.И., Жук В.Ф. Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты): Материалы международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 9 – 11 июня 2008 г.) / Отв. ред. акад. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – С. 59 – 62.
5. Ведерников В.И., Микаелян А.С., Столбова Н.Г. Суточные изменения фитопланктона в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // Исследования океанического фитопланктона. — М.: Наука, 1985. – С. 77 – 93.
6. Грезе В. Н. Суточные изменения фитопланктона в Черном море // Основы биологической продуктивности Черного моря / Под ред. В.Н. Грезе. — Киев: Наук.думка, 1979. – С. 79 – 85.
7. Евстигнеев П. В., Битюков Э. П. Биоллюминесценция морских копепод. – Киев: Наук. Думка. – 1990. – 144 с.
8. Ланская Л.А. Суточный ход деления некоторых, видов планктонных водорослей Черного моря в культурах // Биология и распределение планктона южных морей. – М.: Наука, 1967. – С. 16 – 21.
9. Мандель И. Д. Кластерный анализ. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
10. Рузова А. И., Крупаткина Д.К. Использование метода главных компонент в экологии морского фитопланктона (обзор) // Экология моря. – Киев. – 1983. – Вып. 13. – С. 65 – 71.
11. Токарев Ю.Н., Битюков Э.П., Василенко В.И., Соколов Б.Г. Поле биоллюминесценции – характерный показатель структуры планктонного сообщества Черного моря // Экология моря – 2000. – № 53 – С. 20–25.
12. Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика. 1972. – 487 с.
13. Cattell, R. B. The Scree Test for the Number of Factors // Multivariate Behavioral Research, 1966. – № 1(2) – P 245 – 276.

Мельникова Е.Б.

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛЯ
БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК И
ЗНАЧИМОСТЬ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Ключевые слова: биолюминесценция, факторный анализ, биотические, абиотические факторы, Черное море.

Исследовано изменение интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток в прибрежных водах Черного моря. Определено, что интенсивность поля биолюминесценции подвержена периодическим изменениям. Методом факторного анализа показано, что на периодичность нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции в течение темного времени суток оказывают биологические факторы, вклад которых в изменчивость составляет 87,3%, и абиотические факторы, вклад которых составляет 12,6%.

Мельнікова О.Б.

**ЗМІНА ІНТЕНСИВНОСТІ ПОЛЯ БІОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В
ТЕМНИЙ ЧАС ДОБИ І ЗНАЧИМІСТЬ ФАКТОРІВ, ЩО
ВПЛИВАЮТЬ**

Ключові слова: біолюмінесценція, факторний аналіз, біотичні, абіотичні фактори, Чорне море.

Досліджено зміну інтенсивності поля біолюмінесценції в темний час доби в прибережних водах Чорного моря. Визначено, що інтенсивність поля біолюмінесценції схильна періодичним змінам. Методом факторного аналізу показано, що на періодичність наростання і убунання інтенсивності поля біолюмінесценції протягом темного часу доби надають біологічні фактори, внесок яких в мінливість становить 87,3%, і абіотичні фактори, внесок яких становить 12,6%.

Melnikova E.B.

**CHANGE IN THE INTENSITY OF THE BIOLUMINESCENCE FIELD
IN THE DARK DAY AND THE IMPORTANCE OF INFLUENCING
FACTORS**

Key words: bioluminescence, factor analysis, biotic, abiotic factors, the Black Sea.

The change of the intensity of the bioluminescence field in the dark in the coastal waters of the Black Sea. Determined that the intensity of the bioluminescence field is subject to periodic changes. Method of factor analysis shows that the periodicity of waxing and waning intensity of the bioluminescence field during the dark time of day have biological factors that contribute to the variability which is 87,3%, and abiotic factors, whose contribution is 12,6%.