

УДК 591.148:574.52(262.5)

Мельникова Е.Б., Лямина Н.В.

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ  
БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК  
В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, НАН Украины,  
Севастополь E-mail: Helena\_melnikova@mail.ru

*Ключевые слова:* биолюминесценция, анализ Фурье, спектральные составляющие, биологические ритмы, Черное море.

Поле биолюминесценции, формируемое гидробионтами в Черном море, создается в основном светящимися динофитовыми водорослями и тесно коррелирует со структурными показателями распределения планктона [1, 19]. В жизненных циклах большинства видов светящихся гидробионтов можно выделить несколько повторяющихся через определенные промежутки времени процессов, называемых биологическими ритмами [1, 20]. В частности, отмечаются циркадные ритмы у перидиней (например, у *Gonyaulax polyedra* период между пиками максимальной интенсивности свечения составляет 23 ч, причем ночной уровень превышает дневной в 40 – 60 раз) [21, 25], показан четкий эндогенный циркадный ритм свечения и для *Ceratium fusus* [23, 24]. Свечение гидробионтов подавляется освещением, однако при помещении в темноту восстанавливается [25]. Суточная смена дня и ночи, фиксируемая фитопланктоном за счет работы фитохром и криптохром подобных фоторецепторам, синхронизирует внутренние часы водорослей, и обеспечивает им возможность точно распределять во времени светозависимые и темновые процессы (в частности, рост и репродукцию) [22].

Эндогенные суточные ритмы проявляются во многих физиологических процессах микроводорослей: питании, дыхании, росте, образовании пигментов и др. Известно, что большинство физиологических и биохимических процессов также закономерно изменяются в течение суток [20]. Исследования в этой области важны для понимания временной изменчивости интенсивности поля биолюминесценции.

Цель данной работы — выделить и оценить спектральные составляющие изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток прибрежных вод Черного моря в осенний период.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Материалом для исследования послужили данные, полученные в октябре 2010 года в темное время суток (с 17 ч до 6 ч поясного времени), в прибрежье г. Севастополя в районе б. Круглая. Глубина моря в районе проводимой съемки около 70 м. Пространственную структуру

интенсивности поля биолюминесценции исследовали методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [4]. Было проведено по 10 зондирований каждый час с интервалом 2 мин, что позволило получить временной ряд усредненных данных интенсивности поля биолюминесценции по каждому часу темного времени суток. Анализ амплитудно-временных характеристик изменения биолюминесценции проводили в верхнем слое воды (0 – 30 м), в котором хорошо выражена периодичность нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции [14, 15].

В качестве метода определения продолжительности периодов и амплитудно-фазовых характеристик изменения интенсивности поля биолюминесценции использовали дискретное преобразование Фурье.

Возможность применения дискретного преобразования Фурье обусловлена тем, что как показали исследования смена светового и темного времени суток оказывает существенное влияние на жизненные циклы биолюминесцентных организмов. В частности, после захода солнца значительно (в десятки раз) возрастает интенсивность свечения биолюминесцентных организмов. В течение темного времени суток наблюдаются нарастания и спады интенсивности поля биолюминесценции, причем нарастания и спады в течение каждого темного времени суток происходят в одни и те же часы. Это свидетельствует о том, что заход солнца, приводящий к смене светлого и темного периодов суток, является синхронизирующим сигналом для активизации ряда биологических процессов.

Тот факт, что нарастания и спады интенсивности поля биолюминесценции наблюдаются ежедневно в одно и то же время дает основание считать изменения интенсивности поля биолюминесценции, происходящие в течение темного времени суток, периодическим процессом, повторяющимся каждое темное время суток. Поэтому к изменениям интенсивности поля биолюминесценции, наблюдаемым в темное время суток, как к периодическому процессу может быть применено дискретное преобразование Фурье.

Применение преобразования Фурье позволяет разложить экспериментально найденный временной ряд изменения интенсивности поля биолюминесценции на конечное число спектральных составляющих отличающихся периодами и амплитудами и дающих представление о структуре физиологических и экологических циркадных ритмов.

При разложении в ряд Фурье интенсивность поля биолюминесценции в разные моменты времени представим в виде суммы спектральных составляющих [3, 8, 10]:

$$x(t) = a_0 + \sum_{j=1}^m \left( a_j \cos \frac{2\pi j}{N} t + b_j \sin \frac{2\pi j}{N} t \right), \quad (1)$$

где  $a_0 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_0(t)$  – постоянная составляющая или нулевая

гармоника;  $x_0(t)$  – значения исходного временного ряда;  $N$  – количество экспериментальных точек исходного временного ряда;  $m = \frac{N}{2}$  – количество гармоник,  $a_j, b_j$  – коэффициенты ряда Фурье,  $\frac{j}{N} = f_j$  – частота гармонического колебания;  $j = 1, 2, \dots, m$  – номер гармоники. Амплитуду гармонического колебания находили из выражения:  $A_{mj} = (a_j^2 + b_j^2)^{1/2}$ . Статистическую обработку результатов экспериментальных исследований производили с помощью пакетов программного статистического анализа *Microsoft Excel 7.0, SPSS, Statistica 6.0*.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для нахождения спектральных составляющих изменения интенсивности поля биolumинесценции в течение темного времени суток, использовали временной ряд экспериментальных измерений интенсивности поля биolumинесценции (см. таблицу 1). В таблице 1 приведены средние интенсивности поля биolumинесценции в верхнем слое воды по каждому часу зондирования и средние квадратические отклонения.

Таблица 1

#### Средняя интенсивность поля биolumинесценции в течение темного времени суток

Номер по порядку	Время суток, ч	Интенсивность поля биolumинесценции, 10-12 Вт·см-2·л-1
19 октября 2010 г.		
1	17	267±17
2	18	2050±199
3	19	3350±253
4	20	2730±218
5	21	3030±130
6	22	3700±94
7	23	4880±214
8	24	4300±228
20 октября 2010 г.		
9	1	3010±91
10	2	3760±122
11	3	4800±94
12	4	4012±182
13	5	3530±245
14	6	3890±124

Примечание: Количество зондирований по каждому часу – 10, количество измерений по каждому часу в верхнем слое – 300.

Из таблицы 1 видно, что интенсивность поля биолюминесценции на протяжении темного времени суток подвержена флюктуациям. На фоне общей тенденции нарастания интенсивности поля биолюминесценции с наступлением темного времени суток и ее уменьшения (падения) к утру, наблюдается постепенное нарастание к 19 ч, затем незначительное падение к 20 ч, потом увеличение интенсивности поля биолюминесценции к 23 – 24 ч, уменьшение к 1ч ночи и новое нарастание к 3 ч с падением к 6 ч утра.

Рядом авторов проводились наблюдения суточных изменений интенсивности свечения отдельных видов гидробионтов, которые отмечали наличие суточных ритмов свечения [21, 23, 24, 25]. В частности, Морозова-Водяницкая [16] указывала, что осенью в верхнем слое прибрежных вод среди светящихся динофлагеллят доминируют по численности *Ceratiumfusus* (Ehrenb) Dujardin и *Lingolodiniumpolyedra*Dodge (*Gonyaulaxpolyedra*Stein), вносящие существенный вклад в свечение моря, для которых показан суточный ритм интенсивности биолюминесценции [21, 23, 24]. Эти суточные ритмы свечения приводят, соответственно, к изменению интенсивности биолюминесцентного поля создаваемого гидробионтными сообществами на протяжении суток.

Учитывая тот факт, что интенсивность поля биолюминесценции зависит от видового состава планктонных биолюминесценто́в и их численности [1, 2, 6, 9], а также то, что в экспериментальных данных наблюдаются периодические изменения интенсивности поля биолюминесценции, можно предположить, что эти периодические изменения обусловлены биологическими ритмами гидробионтов, создающих поле биолюминесценции. Для проверки этого предположения был применен спектральный анализ. Исходный временной ряд значений интенсивности поля биолюминесценции (см. табл. 1) был разложен в ряд Фурье.

Итоговые результаты спектрального анализа, приведены в табл. 2. Таблица 2 содержит все спектральные составляющие, вычисленные для экспериментально найденного временного ряда. Общее поле биолюминесценции (в соответствии с выражением (1)) состоит из суммы найденных спектральных составляющих. При этом видно, что амплитуды отдельных спектральных составляющих отличаются между собой до 6 раз. Соответственно разным будет вклад каждой из спектральных составляющих в общее изменение интенсивности поля биолюминесценции. Если рассчитанное значение коэффициента при определенном синусе или косинусе достаточно велико, то на соответствующей частоте существует явно выраженная периодичность [3, 8]. Из результатов спектрального анализа (табл. 2) видно, что наибольшие амплитуды имеют первая, третья и пятая спектральные составляющие.

Таблица 2

**Параметры спектральных составляющих изменения интенсивности поля биолюминесценции**

Номера спектральной составляющей	Частота, 1/ч	Период, ч	Коэффициент при косинусе	Коэффициент при синусе	Амплитуды спектральных составляющих, пВт·см-2л-1
Основная (1)	0,071	14,0	-814	203	839
2	0,14	7,0	-309	91	322
3	0,21	4,7	-224	693	728
4	0,29	3,5	-188	-94	210
5	0,36	2,8	-437	-89	446
6	0,43	2,3	108	-131	170
7	0,50	2,0	130	0	130

Амплитуды этих спектральных составляющих соответственно равны: 839, 728 и 446 пВт·см-2л-1. При этом процессы, формирующие первую спектральную составляющую, ответственны за медленные изменения интенсивности поля биолюминесценции, а процессы, формирующие третью и пятую спектральные составляющие — за быстрые изменения. Эти три существенные спектральные составляющие (три биологических ритма) вносят основной вклад в изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток. Остальные спектральные составляющие (биологические ритмы) вследствие их малой амплитуды в дальнейшем анализе не учитывали.

На рис. 1 изображены постоянная составляющая (а) и три спектральные составляющие: первая (основная) (б), период которой равен длине временного ряда – 14 часов, третья (в), период которой равен – 4,7 часа и пятая (г), период которой равен – 2,8 ч., имеющие наибольшие амплитуды.

Видно, что с наступлением темного времени суток, все три спектральные составляющие содержат участок, характеризующийся увеличением интенсивности поля биолюминесценции. Это свидетельствует о том, что смена светового и темного периодов суток являются синхронизирующим фактором, активизирующим темновые процессы.

Для оценки достоверности принятых предположений о том, что основной вклад в характер изменений интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток вносят три спектральные составляющие с наибольшими амплитудами, был рассчитан коэффициент

корреляции между изменением интенсивности поля биolumинесценции полученным экспериментальным путем (см. табл. 1) и рассчитанным для темного времени суток по формуле (1) с учетом полученных коэффициентов ряда Фурье (см. табл. 2) для трех наибольших спектральных составляющих.



Рис. 1. Основные гармонические составляющие – постоянная составляющая (а), первая гармоника (б), третья гармоника (в), пятая гармоника (г) изменения интенсивности поля биolumинесценции.

Расчеты показали, что коэффициент корреляции между теоретическими и экспериментальными изменениями интенсивности биolumинесценции составляет  $r=0,72$ . Это свидетельствует о том, что изменения, описываемые совместным влиянием первой, третьей и пятой спектральными составляющими, достаточно хорошо характеризуют процессы, вызывающие изменения интенсивности поля биolumинесценции в темное время суток.

Как показывают экспериментальные данные и результаты Фурье-анализа, основная спектральная составляющая (первая) с учетом амплитудно-фазовых характеристик описывает процесс нарастания интенсивности поля биolumинесценции в течение темного времени суток и падения в утренние часы. Этот цикл обусловлен сменой и продолжительностью светового и темного периодов. Анализ литературных источников показал, что одним из факторов суточного ритма интенсивности свечения биolumинесцентом является солнечный свет. Вследствие суточного хода солнца интенсивность биolumинесценции изменяется в 30–100 раз [6, 24]. В работе Ю.Н. Токарева с соавторами [26] приводятся вертикальные профили дневной и ночной биolumинесценции черноморского планктона. Показано, что в октябре-ноябре суммарное свечение в шестидесятиметровом слое воды ночью выше, чем днем.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что основная спектральная компонента отвечает за изменения динамики интенсивности поля биолюминесценции в течение суток и обусловлена влиянием изменения освещенности (день и ночь), а ее амплитудно-фазовые характеристики оценивают ее вклад в общее изменение интенсивности поля биолюминесценции в течение темного времени суток.

Характерной чертой высокочастотных спектральных составляющих (третья и пятая гармоники) с периодами 4,7 и 2,8 ч являются процессы, связанные с количественным развитием планктона в течение суток. Известно, что количественное развитие морского фитопланктона зависит, прежде всего, от скорости деления клеток и от интенсивности выедания их зоопланктоном [5, 7, 12]. В работе С.А. Пионтковского и Т.С. Петипа [17], посвященной изучению суточного ритма в питании у *Acartiaclausi*, показано, что зависимость между ночной и дневной интенсивностью питания у рачков разного возраста связана с их различной способностью к миграциям. Чем интенсивнее мигрирует рачки, тем интенсивнее питаются они ночью. Так, например, половозрелые самцы и самки вне периода размножения, а также копеподиты *Acartiaclausi* стадии V мигрируют активнее других, придерживаясь в дневное время более глубоких водных слоев. Ночью, поднимаясь к поверхности, они питаются со значительно большей интенсивностью, чем днем по сравнению с остальными возрастными группами. Младшие копеподиты и науплиусы, наоборот, обладают меньшими амплитудами миграций, постоянно обитая в самых верхних слоях воды. В результате они питаются с наибольшей интенсивностью в дневное время. Существование различных суточных ритмов питания обуславливается, вероятно, различной приспособленностью возрастных групп к освещенности. Так, например, самцы на ярком свете выживают хуже, чем при слабом освещении [17].

Полный процесс прохождения пищи по кишечнику у всех возрастных стадий *Acartiaclausi* и у многих других видов копепод в период относительно интенсивного питания фитопланктоном длится в среднем 3 часа, при питании дополнительно животной пищей продолжительность процесса пищеварения увеличивается в среднем до 5 часов.

В отношении суточной ритмики деления клеток планктонных водорослей существуют разные мнения. Так, Л.А. Ланская [13], исследуя скорость деления клеток черноморского фитопланктона в культурах, пришла к выводу, что деление большинства видов динофлагеллят происходит круглосуточно, но максимальное количество делящихся клеток приходится на вечерние часы (18—19) и ночное время. Вместе с тем, А.В. Ковалёв [11] и Н.Г. Столбова с соавторами [18] выделяли для максимальной репродукции клеток ночные часы.

Изложенные закономерности деления клеток фитопланктона на протяжении темного времени суток позволяют предположить, что

нарастание интенсивности поля биолюминесценции к 19 ч, затем незначительное падение к 20 ч, последующее увеличение интенсивности поля биолюминесценции к 23 – 24 ч и уменьшение к 1ч ночи, затем нарастание к 3 ч и падение к 6 ч утра является результатом превалирования скорости деления светящихся клеток динофлагеллят над интенсивностью их выедания зоопланктоном в часы нарастания интенсивности биолюминесценции и наоборот.

Такой характер изменчивости интенсивности поля биолюминесценции свидетельствует о том, что третья и пятая спектральные составляющие с амплитудами 728 и 446 пВт·см-2л-1 и периодами 4,7 и 2,8 ч, вносящие основной вклад в изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток, обусловлены эндогенными суточными ритмами планктонного сообщества.

### ВЫВОДЫ

1. С помощью разложения в ряд Фурье найдены спектральные составляющие изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток в осенний период в прибрежных водах Черного моря.

2. Установлено, что наибольшие амплитуды имеют первая, третья и пятая гармоники: 839, 728 и 446 пВт·см-2л-1, соответственно.

3. Анализ амплитудно-фазовых характеристик показал, что с наступлением темного времени суток начинается нарастание интенсивности поля биолюминесценции основных спектральных составляющих, характеризующих темновынь процессы биолюминесцентоов.

4 Показано, что основная спектральная составляющая характеризует нарастание интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток и убывание его в утренние часы, а третья и пятая — характеризуют изменения интенсивности поля биолюминесценции с периодами 4,7 и 2,8 ч, вызванные эндогенными циркадными ритмами светящегося планктона в темное время суток.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Битюков Э.П., Василенко В.И., Серикова И.М., Токарев Ю.Н. Результаты и перспективы исследования биолюминесценции в Черном море // Экология моря. — 1996. — Вып. 45. — С. 19—25.
2. Битюков Э.П., Рыбасов В.П., Шайда В.Г. Годовые изменения интенсивности биолюминесцентного поля в неритической зоне Чёрного моря // Океанология. — 1967. — Т. 7, № 6. — С. 1089—1099.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Пер. с англ. — М.: Мир, 1974. — 408 с.
4. 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.: Тез. докл., Ростов н/Д, 9—11 июня 2008 г. — Ростов н/Д: 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. Гительзон И.И., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. и др. Биоломинесценция в океане. — СПб: Гидрометеиздат, 1992. — 283 с.
7. 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.
8. Дженкинс Г.М., Ваттс Д.Г. Спектральный анализ и его приложения. — М.: Мир, 1972 — Вып. 2. — 287 с.
9. Евстигнеев П.В., Битюков Э.П. О суточной ритмике биоломинесценции морских копепоид и влиянии на нее температуры // Экология моря. — 1986. — № 24. — С. 87—91.
10. Кей С.М., Марпл С.Л. Современные методы спектрального анализа: Обзор // ТИИЭР. — 1981. — Т. 69, № 11. — С. 5—51.
11. Ковалев А.В. Зоопланктон. 1. Мезозоопланктон // Планктон Черного моря / Под ред. А.В. Ковалева. — Киев: Наук. думка, 1993. — С. 144—165.
12. Кондратьева Т.М. Суточные изменения фитопланктона в Чёрном море // Тр. Севастоп. биол. ст. АН УССР. — 1963. — Т. 6. — С. 53—70.
13. 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.
14. Мельникова Е.Б., Бурмистрова Н.В. Применение кластерного анализа для структуризации сообществ биоломинесцентных гидробионтов // Уч. зап. Таврического национального университета. Сер. Биология, химия. — Симферополь, 2011. — Т. 24(63) № 4. — С. 156—165.
15. Мельникова Е.Б., Токарев Ю.Н., Лямина Н.В. Закономерности изменения интенсивности поля биоломинесценции прибрежных водах Чёрного моря // Гидробиол. журн. — 2013. — Т. 49, № 1. — С. 112—120
16. Морозова-Водяницкая Н.В. Фитопланктон Черного моря. I. Фито-планктон в районе г. Севастополя и общий обзор фитопланктона Черного моря // Тр. Севастоп. биол. ст. АН СССР — 1948.—Т. 6. — С 39—172.
17. Пионтковский С.А., Петипа Т.С. Элективность в питании *Acartia clausi* (Giesbr.) // Биология моря. — Киев: Наук. думка, 1975. — Вып. 33. — С. 3—10.
18. Столбова Н.Г., Ведерников В.И., Микаелян А.С. Суточный ритм деления динофлагеллят в Черном море // Океанология. — 1982. — Т. 22, № 3. — С. 492—495.
19. Черепанов О.А., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. Связь биоломинесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. Баренцево и Норвежское море // Мор.экол. журн. — 2007. — Т. 6, Вып. 1. — С. 55—65.
20. Halberg F., Reinberg A. Rythmes circadian rythmes de basses frequences en physiologie humaine // J. Physiol. — 1967, N 59. — P. 117—202.
21. Krasnow R., Dunlap J.C., Taylor W. et al. Circadian spontaneous bioluminescent glow and flashing of *Gonyaulax polyedra* // J. Comp. Physiol. — 1980. — Vol 138, N 1. — P. 19—26.
22. Mizoguchi, T., Wheatley K., Hanzawa Y. et al. LHY and CCA1 are partially redundant genes required to maintain circadian rhythms in *Arabidopsis* // Dev. Cell. — 2002. — N 2. — P. 629—641.

23. Sullivan J. M., Swift E. Photoenhancement of bioluminescence capacity in natural and laboratory populations of the autotrophic dinoflagellate *Ceratium fusus* (Ehrenb) Dujardin // J. Geophys. Res. — 1995. — Vol. 100. — P. 6565—6574.
24. Sullivan J. M., Swift E. Photoinhibition of mechanically stimulated bioluminescence in the autotrophic dinoflagellate, *Ceratium fusus* (Pyrophyta) // J. Phycol. — 1994. — Vol. 30. — P. 633—637.
25. Swift E., Mennier V. Effects of light intensity on division rate, stimutable bioluminescence and cell size of the oceanic dinoflagellates *Dissodinium lunula*, *Pyrocystis fusiformis* and *P. noctiluca* // J. Phycol. — 1976. — Vol. 12. — P. 14—22.
26. Tokarev Yu.N., Williams R., Piontkovski S.A. Small-scale plankton patchiness in the Black Sea euphotic layer // Hydrobiologia. — 1998. — Vol. 375/376. — P. 363—367.

Мельникова Е.Б., Лямина Н.В.

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

*Ключевые слова:* биолюминесценция, анализ Фурье, спектральные составляющие, биологические ритмы, Чёрное море.

Исследовано изменение интенсивности поля биолюминесценции в течение темного времени суток в прибрежных водах Черного моря в осенний период. Методом разложения в ряд Фурье экспериментально найденной временной зависимости определены спектральные составляющие, вносящие основной вклад в изменения интенсивности поля биолюминесценции. Показано, что спектральные составляющие ряда Фурье характеризуют биологические ритмы. При этом основная спектральная составляющая характеризует нарастание интенсивности поля биолюминесценции, связанное с изменением освещенности, а спектральные составляющие с периодами 4,7 и 2,8 ч характеризуют процессы обусловленные эндогенными суточными ритмами.

Мельнікова О.Б., Ляміна Н.В.

### СПЕКТРАЛЬНІ СКЛАДОВІ МІНЛИВОСТІ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦІЇ В ТЕМНИЙ ЧАС ДОБИ В ПРИБЕРЕЖНИХ ВОДАХ ЧОРНОГО МОРЯ

*Ключові слова:* біолюмінесценція, аналіз Фур'є, спектральні складові, біологічні ритми, Чорне море.

Досліджено зміну інтенсивності поля біолюмінесценції протягом темного часу доби в прибережних водах Чорного моря в осінній період. Методом розкладання в ряд Фур'є експериментально знайденої тимчасової залежності визначено спектральні складові, що вносять основний внесок у зміни інтенсивності поля біолюмінесценції. Показано, що спектральні складові ряду Фур'є характеризують біологічні ритми. При цьому основна спектральна складова характеризує наростання інтенсивності поля біолюмінесценції, пов'язане із зміною освітленості, а спектральні складові з періодами 4,7 і 2,8 години характеризують процеси зумовлені ендогенними добовими ритмами.

Melnikova E.B., Lyamina N.V.

**VARIABILITY OF THE SPECTRAL COMPONENTS OF THE BIOLUMINESCENCE FIELD IN THE DARK IN THE COASTAL WATERS OF THE BLACK SEA.**

**Key words:** *bioluminescence, Fourier analysis, spectral components, biological rhythms, the Black Sea.*

The change of the field intensity of bioluminescence during the dark time of day in the coastal waters of the Black Sea in the autumn. Method of Fourier series expansion of the experimentally found time dependence defined spectral components that make a major contribution to the change in the intensity of the bioluminescence field. It is shown that the spectral components of the Fourier series characterize biological rhythms. The bulk spectral component characterizes the increasing intensity of the bioluminescence field related to the change of illumination, and spectral components with periods of 4,7 and 2,8 h characterize processes caused by endogenous circadian rhythms.