



УДК 591.524.12 (26)

О. А. Черепанов¹, канд. физ.-мат. наук, с.н.с., **Л. А. Левин**², докт. биол. наук., вед. н.с.,
Р. Н. Утюшев², канд. биол. наук, н.с.

¹ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

² Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Россия

СВЯЗЬ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ С БИОМАССОЙ И ЧИСЛЕННОСТЬЮ СВЕТЯЩЕГОСЯ И ВСЕГО ПЛАНКТОНА. 2. ЧЁРНОЕ МОРЕ

В пелагиали Чёрного моря в феврале – апреле коэффициент корреляции между биолюминесценцией и общей численностью фитопланктона равен 0.64, а между биолюминесценцией и численностью светящегося фитопланктона – 0.53. Более слабая корреляционная связь биолюминесценции с численностью светящихся клеток может быть следствием не учитываемого в данной работе вклада мелких форм фитопланктона и/или светящихся бактерий.

Ключевые слова: биолюминесценция, планктон, корреляции, Чёрное море.

В первой части нашей работы [1] проанализирован экспериментальный материал, собранный в четырех рейсах в Баренцево и Норвежское моря. Исследованный район очень неблагоприятен с точки зрения использования биолюминесценции для экспрессной оценки параметров планктонного сообщества. Район сильно гетерогенен по водным массам (исследования проводились в теплых атлантических водах Гольфстрима, в холодных водах Центрального течения, в холодных водах Медвежинского течения и основных водах Баренцева и Норвежского морей) и, соответственно, по видовому составу планктонного сообщества. Видовой состав планктонного сообщества достаточно беден, что влияет на стабильность корреляционных связей. Наблюдается ярко выраженная сезонная сукцессия планктонного сообщества. Но даже в этих неблагоприятных условиях биолюминесцентный анализ, с приемлемой точностью, может использоваться для оценки численности и биомассы зоопланктона в достаточно большой промежуток вре-

мени (апрель - август) и на обширной гетерогенной акватории.

В отличие от Баренцева и Норвежского морей в Чёрном море видовое разнообразие светящихся видов зоопланктона значительно ниже [2]. Поэтому представляет интерес рассмотреть почти в «чистом виде» зависимость биолюминесценции от распределения и видового состава фитопланктона.

Материал и методы. Экспериментальные материалы получены в феврале-апреле 1991 г. в 21-м рейсе НИС «Витязь». Вертикальные профили биолюминесценции и температуры измерялись батифотометром «Ромашка-4» [3]. Распределение станций по акватории Чёрного моря показано на рис. 1. На 27 из них 150-литровым батометром отбирались пробы планктона, которые обрабатывались по стандартной методике для определения биомассы и численности фито- и зоопланктона. В пробах фитопланктона количественный и видовой состав определялся Л. В. Георгиевой (Ин-БИОМ). Обработка проб зоопланктона выпол-

нена сотрудниками ИОАН РАН; в нём определяли численность и биомассу функциональных групп, специально выделенных для математи-

ческой модели Чёрного моря. Всем им мы признательны за предоставленный материал.

Из анализа исключены: данные ночных

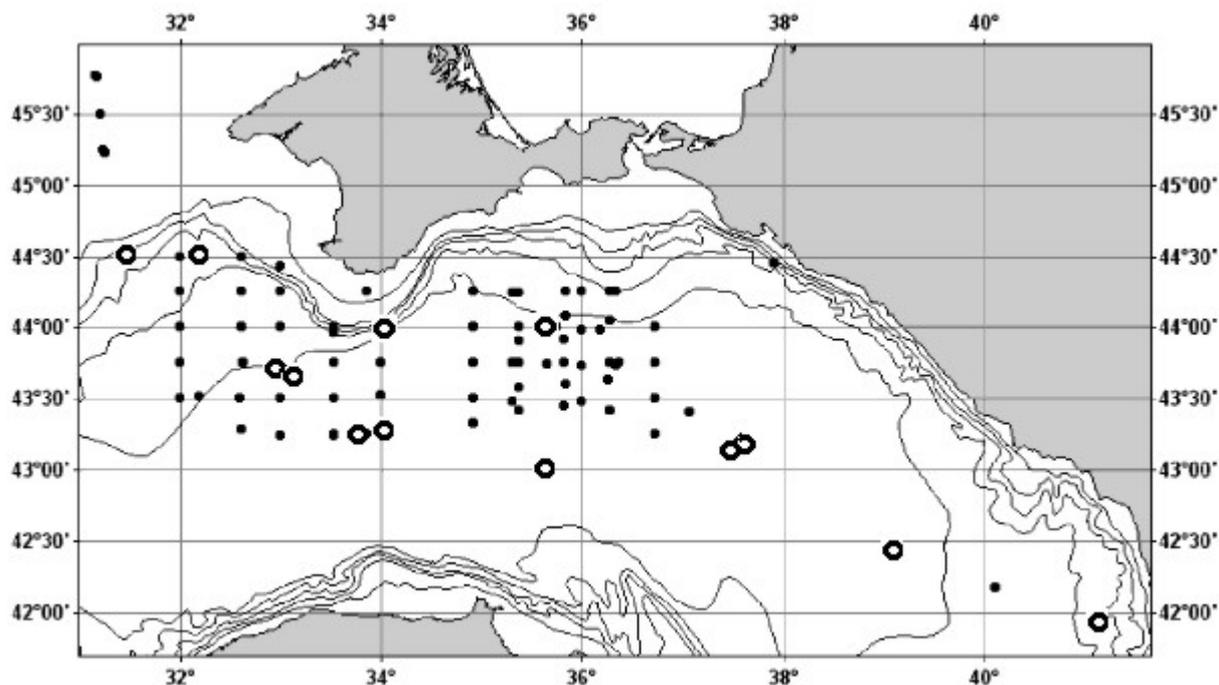


Рис. 1 Район работ 21-го рейса НИС «Витязь» в Чёрном море (февраль – апрель, 1991): о – станции, данные которых использованы при анализе связи «биолюминесценция – планктон»

Fig. 1 Region of expeditions of R/V "Vityaz" in the Black Sea (February – April, 1991): o – stations, which data were utilized at the analysis of correlation "bioluminescence - plankton"

измерений из-за их малочисленности; станции, на которых пробы отбирались на 2 горизонтах; станции, на которых биолюминесценция не измерялась. В результате для решения поставленной задачи использованы данные 13 станций (рис. 1), на которых отобрано и проанализировано 125 проб фито- и 208 проб зоопланктона.

Работы на всех станциях велись по одной схеме. Первоначально на станции работали все зондирующие приборы, и, в частности, «Ромашка-4», а затем по результатам зондирования намечались горизонты отбора проб. Ввиду трудоёмкости этой операции, разнесение во времени между началом и окончанием работы батометра составляло 3 – 4 ч.

Для уменьшения погрешности, вносимой несовпадением времени измерения биолю-

минесценции и отбора проб, рассчитывались средние значения интенсивности биолюминесценции и численности/биомассы фитопланктона для слоёв 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80, 0 – 70 и 20 – 70 м. Эти данные и использовались в дальнейшем корреляционном анализе.

Как и в первой части работы, корреляционный анализ проводился по следующей схеме. По списку светящихся видов рассчитывалась их численность и биомасса. В идеальном случае, при знании полного списка биолюминесцентных, коэффициент корреляции между параметрами светящихся и всех видов (потенциальный коэффициент корреляции) даёт нам оценку потенциальной возможности оценивать численность/биомассу всего фитопланктона по его части, способной к свечению. Отклонение коэффициента корреляции между регистрируемой биолюминесценцией и

биолюминесцентами от единицы (аппаратурный коэффициент корреляции) характеризует в основном искажения вносимые разнесением измерений биолюминесценции и отбора проб во времени, а также аппаратурой, фотоингибированием и неполнотой списка светящихся видов. Коэффициент корреляции между биолюминесценцией и численностью /био-массой всего планктона должен быть не выше (а в идеальном случае равен) произведению потенциального и аппаратурного коэффициентов корреляции. Превышение этого значения говорит о неполноте списка светящихся видов.

Результаты. На первом этапе была проверена значимость вклада численности/биомассы зоопланктона в биолюминесцентное поле. Как и ожидалось, корреляционный анализ, на достаточно обширном материале (208 точек, разнесённых по акватории и глубине) выявил только слабую связь биолюминесценции с зоопланктоном ($R < 0.3$), поэтому основное внимание было обращено на наиболее вероятный источник биолюминесцентного поля в Чёрном море – фитопланктон.

Дифференциация фитопланктона на светящийся и несветящийся проводилась по спискам биолюминесцентных фитопланктона, составленным в отделе биофизической экологии Института биологии южных морей НАНУ (Севастополь, Украина) [2] и лаборатории методов мониторинга экосистем Института биофизики СО РАН (Красноярск, Россия) [3]. Из выявленных 111 видов биолюминесцентами оказались 10 видов: *Ceratium furca*, *C. fusus*, *C. tripos*, *Ceratocorys* sp., *Gyrodinium spirale*, *Gyrodinium* sp., *Noctiluca miliaris*, *Peridinium divergens*, *P. steinii*, *P. trochoideum*, *Polycricos schwartzii*, *Polycricos* sp. (отнесён к биолюминесцентам по результатам корреляционного анализа биолюминесценции с численностями/биомассами перидиней в слое 20 – 70 м). Данные верхнего 20-метрового слоя не учитывались, чтобы уменьшить погрешность, вносимую эффектом фотоингибирования све-

том. Так как работы проводились во время весеннего цветения диатомовых, то светящиеся виды (перидиней) по численности/биомассе составляли, как правило, тысячные, редко сотые доли процента от численности/биомассы всего планктона. Наиболее часто в пробах встречались *Peridinium trochoideum*, *Gyrodinium* sp. и *Ceratium fusus*. Остальные виды присутствовали эпизодически.

Корреляционный анализ между биолюминесценцией, численностью/биомассой ноктилюки и суммарными численностями/биомассами светящегося и всего фитопланктона в слое 20 – 70 м показал, что параметры ноктилюки не связаны ни с одним из рассматриваемых показателей. Практически тот же результат получен для биомассы светящегося планктона. Единственное исключение, коэффициент корреляции между биомассами светящегося фитопланктона и несветящимися перидиниями равен 0.52.

Более благополучная картина наблюдается при анализе зависимости биолюминесценции от численности светящегося и всего фитопланктона (рис. 2 – 4), где R – коэффициент корреляции. Согласно приведённым на рис. 2 – 4 коэффициентам корреляции, следует ожидать, что значение коэффициента корреляции между биолюминесценцией и численностью всего фитопланктона должно быть близким к 0.37. В действительности его значение равно 0.64. Это говорит о том, что список учитываемых светящихся видов неполон.

Следует иметь в виду, что в результате корреляционного анализа список светящихся видов уже был пополнен наиболее вероятными кандидатами в биолюминесцентные. Поэтому остаётся предположить, что в биолюминесцентное поле вносят свой вклад более мелкие формы фитопланктона, не учитываемые в данном анализе, и/или светящиеся бактерии. Это предположение подтверждает анализ корреляционных связей по слоям (табл. 1).

Особенно парадоксальная ситуация складывается в слое 0 – 20 м, где из-за фотоин-

гибирования корреляция между биолюминесценцией и фитопланктоном должна быть слабой.

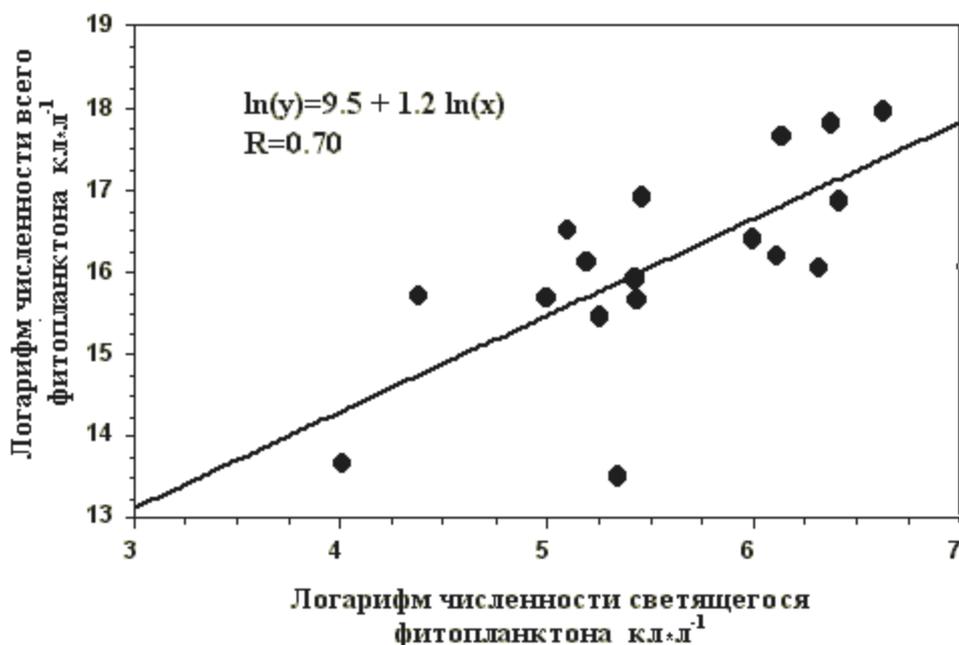


Рис. 2 Связь между логарифмами численностей светящегося и всего фитопланктона в слое 20 – 70 м
Fig. 2 Correlation between logarithms of numbers of luminescent and total phytoplankton in layer 20 – 70 m

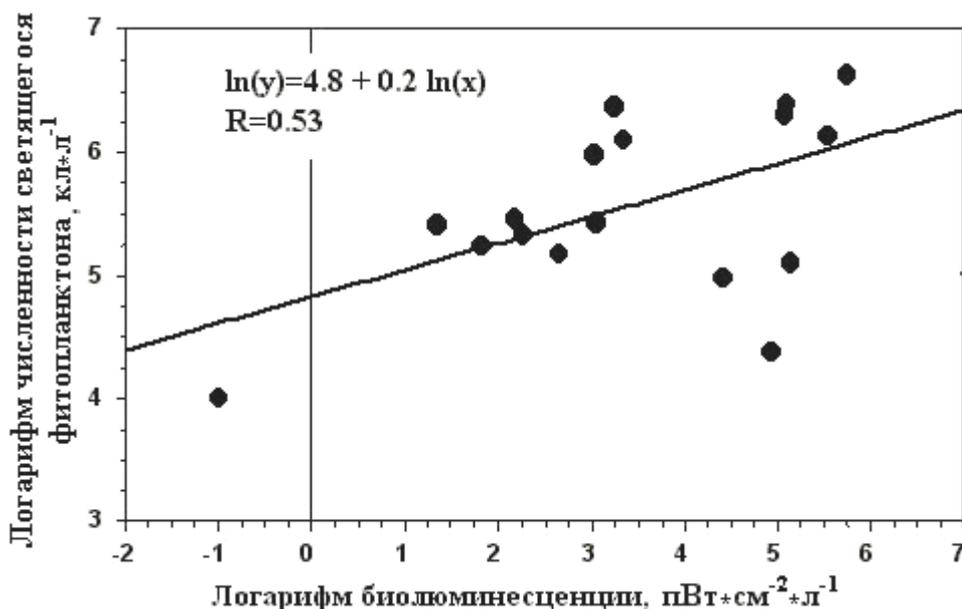


Рис. 3 Связь между логарифмами биолюминесценции и численности светящегося фитопланктона в слое 20 - 70 м
Fig. 3 Correlation between logarithms of biofluorescence and number of luminescent phytoplankton in layer 20 – 70 m

Тем более что корреляция между численностью светящихся клеток и всего фитопланктона полностью отсутствует ($R=0.06$). В действительности коэффициент корреляции равен 0.77, и, как показал дальнейший анализ, это значение обусловлено корреляцией биолюминесценции с суммарной численностью фитопланктона, из которого исключены все перидиней.

80 м. Несмотря на среднюю связь численностей светящегося и всего фитопланктона ($R=0.58$), биолюминесценция не зависит от общей численности фитопланктона ($R=0.04$). Правда, отсутствие корреляции может объясняться и значительным разнесением во времени (2 – 4 ч) отбора проб фитопланктона и биолюминесцентных зондирований.

Обратная картина наблюдается в слое 60-

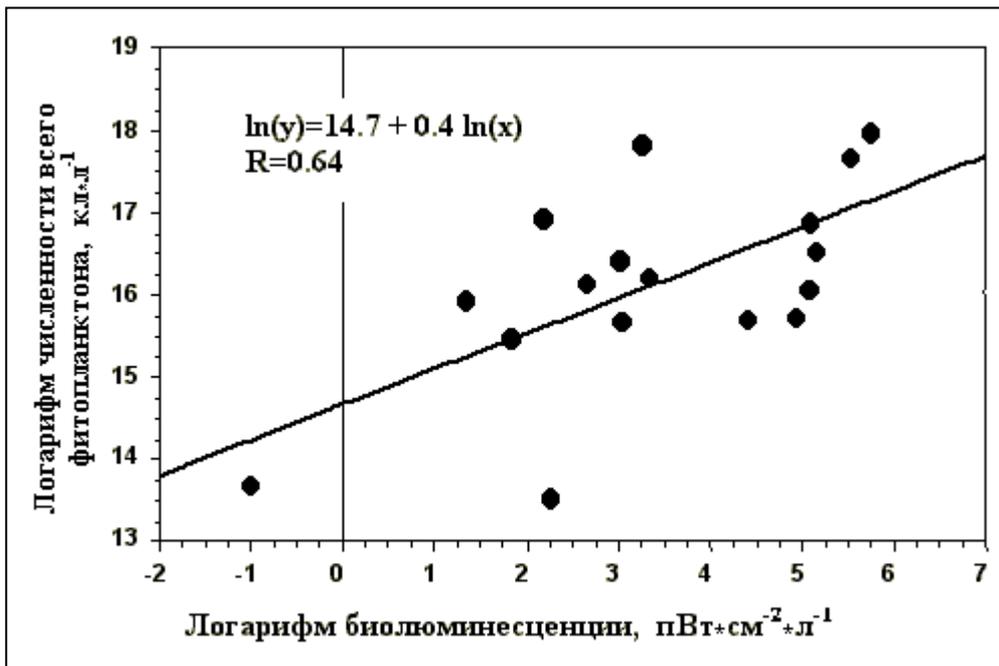


Рис. 4 Связь между логарифмами билюминесценции и численности всего фитопланктона в слое 20 - 70 м
Fig. 4 Correlation between logarithms of bioluminescence and number of total phytoplankton in layer 20 - 70 m

Табл. 1 Зависимость от глубины корреляционных связей между билюминесценцией и численностями светящегося и всего фитопланктона

Table 1 Dependence on depth of correlation between a bioluminescence and numbers of luminous and total phytoplankton

Параметр	Слой (м)			
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Коэффициент корреляции между численностью светящегося и всего фитопланктона	0.06	0.59	0.63	0.58
Коэффициент корреляции между численностью всего фитопланктона и билюминесценцией	0.77	0.66	0.42	0.04

Суммируя полученные результаты можно сделать следующие выводы.

В Чёрном море в феврале – апреле существует средняя корреляционная связь между билюминесценцией и общей численностью фитопланктона. Однако учитываемые в данном анализе билюминесцентные не полностью оп-

ределяют эту связь. Можно только предположить, что весной, при малой численности светящихся видов фитопланктона, в билюминесцентное поле вносят свой вклад более мелкие формы фитопланктона, не учтённые при обработке проб, и/или светящиеся бактерии, данные о которых отсутствовали.

1. Черепанов О. А., Левин Л. А., Утюшев Р. Н. Связь билюминесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. 1. Баренцево и Норвежское море // Морск. экол. журн. – 2007. – 6, 1. - С. 55 – 65.
2. Токарев Ю. Н., Битюков Э. П., Василенко В. И. и др. Видовое разнообразие планктонных билюминесцентных в Чёрном море и характери-

стики формируемого ими поля билюминесценции в неритической зоне Крыма / Под ред. В.Н. Еремеева, А.В. Гаевской. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 121 – 151.

3. Гительзон И. И., Левин Л. А., Утюшев Р. Н., Черепанов О. А., Чугунов Ю. В. Биолюминесценция в океане. - С.- Петербург: Гидрометеоздат, 1992. - 283 с.

Поступила 22 октября 2004 г.
После доработки 28 октября 2006 г.

Зв'язок біоломінесценції з біомасою і чисельністю світлого і всього планктону. 1. Чорне море. О. О. Черепанов, Л. О. Левин, Р. М. Утюшев. У Чорному морі в лютому – квітні існує середній кореляційний зв'язок ($R=0.64$) між біоломінесценцією і загальною чисельністю фітопланктону і менший ($R=0.53$) між біоломінесценцією і чисельністю світлі фітопланктону. Можна зробити припущення, що навесні, у біоломінесцентне поле роблять внесок дрібні форми фітопланктону, що не враховуються в даній роботі, та/чи світлі бактерії.

Ключові слова: біоломінесценція, планктон, кореляції, Чорне море

Correlation of bioluminescence with biomass and number of luminous and total plankton. 1. Black Sea. O. A. Cherepanov, L. A. Levin, R. N. Utyushev. There is a medial correlation ($R=0.64$) between a bioluminescence and total number of phytoplankton and more feeble correlation ($R=0.53$) between a bioluminescence and number flashing phytoplankton in the Black Sea in February – April. It is possible to suppose, that in spring, the fine forms of phytoplankton, not taken into account in the given article, and/or flashing bacteria make contribution into the bioluminescent field.

Key words: bioluminescence, plankton, correlation, Black Sea