

Э. П. БИТЮКОВ, В. И. ВАСИЛЕНКО,  
И. М. СЕРИКОВА, Ю. Н. ТОКАРЕВ

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Поле биолюминесценции в Черном море формируется, в основном, светящимися динофитовыми водорослями и тесно коррелирует со структурными показателями распределения планктона. С помощью зондирующей фотометрической аппаратуры определены его энергетические и топографические характеристики. Сезонным изменениям биолюминесценции свойственны максимумы свечения в мае—июне и октябре—ноябре. Вертикальная структура поля биолюминесценции во все сезоны стратифицирована. Обычно формируются два слоя повышенной светимости, верхний из которых находится в изотермическом слое на глубине 6—15 м. Применяемый в последние годы метод многократного зондирования поля биолюминесценции с интервалом 3 минуты позволил выявить особенности мелкомасштабной структуры планктонного сообщества. Горизонтальное мелкомасштабное распределение планктона представлено слоистым или облачно-слоистым типами, находящимися под влиянием разнопериодных внутренних волн, сдвигающих структуру планктона по глубине.

Сложность пространственно-временной структуры пелагических экосистем и обуславливающих их факторов общеизвестна. Для выяснения этой структуры использовалась методика визуализации пространственно-временной изменчивости планктона с помощью батифотометрического зондирования. Этот метод основан на тесных корреляционных связях между количественными характеристиками планктона и амплитудно-частотными параметрами поля биолюминесценции и позволяет оценить особенности хронологической структуры планктонного сообщества на различных масштабах пространства и времени [7, 11, 14, 15]. Динамичность структурно-функциональных характеристик планктона определяет временную неустойчивость и пространственную неоднородность биолюминесценции. Поэтому для разных сезонов и участков акватории характерна различная интенсивность суммарного свечения планктонного населения пелагиали.

До начала инструментальных исследований поля биолюминесценции в Черном море информация о нем была скудна. Так, С. А. Зернов [22] на основании визуальных наблюдений и аналогий с другими водоемами высказал предположение о существенном вкладе *Gonyaulax polyedra* Stein в интенсивное свечение поверхности моря в осеннее время. Н. В. Морозова-Водяницкая [23] также на основании визуальных наблюдений указала несколько биолюминесцентных из динофлагеллят. Слабую изученность биолюминесценции планктонных организмов Черного моря неоднократно подчеркивал Н. И. Тарасов [24]. Ситуация существенно изменилась в результате развития инструментальных методов регистрации параметров индивидуального свечения отдельных организмов [1—3, 5, 10, 17—21, 18, 25, 26] и создаваемого ими в толще воды поля биолюминесценции [4, 6, 8—10, 12, 13, 24, 27].

В Институте биологии южных морей НАН Украины такие исследования, имея общей задачей выяснение связи характеристик биолюминесценции пелагиали с планктоном, были направлены, во-первых, на каталогизацию светящихся организмов. Во-вторых, выяснялся основной класс статистических характеристик пространственного распределения и временной устойчивости поля биолюминесценции в сопоставлении с распределением и изменчивостью качественных и количественных характеристик планктона и гидрологических полей. При этом, реализованы два основных подхода к исследованию биолюминесценции.

Первый, статистико-географический, обеспечивает определение мезомасштабного распределения пространственно-временных характеристик поля биолюминесценции в типичных районах океана и Черного моря. Анализ степени развитости, сезонной динамики и особенностей вертикальной

структуры поля биолюминесценции позволил сделать вывод о его значительных колебаниях в различных водных массах, показал соответствие количественных показателей планктона и поля биолюминесценции, а также их сопряженность с распределением гидрологических параметров. Показано существование слоев повышенной светимости (повышенной концентрации светящихся организмов). При этом, топография слоя повышенной светимости (или нижнего слоя в случае многослойной вертикальной структуры) соответствует максимальным градиентам полей температуры и солености. Наконец, показана существенная суточная, сезонная и межгодовая динамика поля биолюминесценции.

Второй подход, локально-динамический, реализовался выяснением мелкомасштабных неоднородностей поля биолюминесценции и планктона, изменение которых оказывается фундаментальным информативным признаком структурно-функциональных черт пелагического сообщества. Мелкомасштабные особенности пространственной неоднородности, временной устойчивости поля биолюминесценции и сопутствующих характеристик полей температуры и солености определяли методом многократных батифотометрических зондирований слоя 0—100 м, проводимых с интервалом в 3 мин. Таких зондирований выполняли не менее 30. Дискретность измерений, выполняемых при ветровом дрейфе судна, соответствовала обычно 15—20 м. В результате, на типичных акваториях выявлялось распределение поля биолюминесценции в двумерном пространстве на трансекте до 1 мили. Именно при таком подходе выявляются корреляционные связи тонкой структуры полей планктона и биолюминесценции с пространственно-временной структурой полей температуры и солености, а также со степенью развитости внутренних волн на мелкомасштабном (метры—сотни метров) уровне. Такие исследования актуальны для дифференциации биологических и физических механизмов формирования пространственной гетерогенности планктона и ее изменчивости при антропогенном воздействии.

Для определения характеристик биолюминесценции и их связи с биологическими и океанографическими параметрами разработаны и созданы два приборных комплекса с применением микропроцессорной техники для автоматизированной обработки больших массивов информации. Исследования видового состава черноморских биолюминесцентных и параметров их светоизлучения проводили на лабораторной установке с использованием химической, механической и электрической стимуляции [20].

Измерения пространственно-временных характеристик поля биолюминесценции проводили батифотометрическими комплексами со световым замком роторной системы, ограничивающим составляющую астрономического света и обеспечивающего насыщенный уровень механического воздействия для возбуждения биолюминесцентных [15, 16]. Используемые гидробиофизические комплексы "Свеча" и "Сальпа" обеспечивали синхронные измерения интенсивности биолюминесценции, температуры и электропроводности воды, а также глубины погружения прибора. Дискретность определения измеряемых характеристик по глубине в режиме зондирования со скоростью  $1,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  составляла около 20 см. Информация об измеряемых параметрах, управляющие сигналы и напряжение питания передавались в погружаемое устройство по однопроводному кабель-тросу. Регистрация информации проводилась в виде цифрового кода на персональном компьютере и одновременно дублировалась на двухкоординатном самописце для оперативного анализа и контроля.

В результате анализа значительного банка информации по характеристикам поля биолюминесценции и его планктонным носителям в акватории Черного моря можно сделать следующие основные обобщения.

1. Поле биолюминесценции в Черном море формируется пиррофитовыми водорослями, а также несколькими видами кишечнотелостных и полихет. Установлено, что доминирующая роль в свечении черноморских вод принадлежит динофлагеллятам. Из них для 27 видов способность к светоизлучению определена инструментально [10]. Наиболее интенсивное

свечение среди динофлагеллят наблюдалось у ночесветки (*Noctiluca miliaris* Sur.). Остальные динофлагелляты светятся слабее, однако из-за своего массового развития именно они вносят основной вклад в суммарный эффект свечения моря.

На светозлучение оказывает влияние физиологическое состояние организмов и условия опыта. Это пока не дает возможности выявить видовую специфичность процесса светозлучения — величину латентного периода, длительность фронта нарастания, спада и т.д. У всех динофлагеллят свечение происходит хорошо сформированным импульсом с крутым фронтом нарастания, с отсутствием постоянного уровня высвечивания во время максимума и экспоненциальным спадом. Однако в некоторых случаях его форма оказывается более сложной и после достижения первого максимума амплитуды генерируется повторное увеличение интенсивности свечения, в результате чего формируется многовершинная форма светозлучения.

Из динофлагеллят продолжительнее всего светится *N. miliaris* и *Peridinium depressum* Bail: длительность их свечения на уровне 0,1 амплитуды достигала 1,5 с, при общей продолжительности свечения до 6 с [10]. У *Peridinium divergens* Ehr., *P. crassipes* Kof., *P. diabolus* Cl., *P. solidicorne* Man. и *Ceratium fusus* Ehr. длительность свечения примерно в 2 раза меньше. Остальные динофлагелляты светились не более 100 мс [10]. На протяжении суток интенсивность свечения гетеротрофов остается практически одинаковой [3], но существенно изменяется у фотосинтезирующих динофлагеллят. В частности, для *C. fusus* показан четкий эндогенный циркадный ритм свечения, исключающий одновременное поглощение и генерирование света.

2. По данным систематического изучения планктона и параллельных измерений интенсивности поля биолюминесценции установлены зависимости его параметров от количественного развития светящихся планктонтов. Так, для возникающего при буксировке фотометра на глубине 10 м поля биолюминесценции эта связь описывается регрессией вида:  $Y = 0,36X + 41,3$ , где:  $Y$  — интенсивность биолюминесценции;  $X$  — число биолюминесценто-в. Коэффициент корреляции этой зависимости при уровне значимости 0,05 близок к 0,9 [13].

Числовые выражения параметров связи численности биолюминесценто-в и слагающих поле биолюминесценции всплеск не меняются от уровня гидродинамического возмущения, вносимого прибором при буксировке. Изменения параметров уравнения регрессии между величиной биолюминесцентного потенциала и численностью планктонных биолюминесценто-в обусловлены меняющейся видовой структурой светящихся организмов.

При выдерживании фотометра на горизонтах связь между интенсивностью свечения и числом биолюминесценто-в остается столь же высокой, однако наклон линии регрессии меняется от погодных условий. Так, при отсутствии волнения линия регрессии по отношению к оси абсцисс идет под небольшим углом. С увеличением волнения, вызывающего усиление гидродинамического возмущения среды из-за перемещения фотометра в результате качки судна, параметры линии регрессии приближаются к величинам, полученным при вертикальных зондированиях фотического слоя.

3. Выявлены значительные сезонные колебания интенсивности поля биолюминесценции в Черном море. На протяжении года наблюдаются максимумы свечения в мае—июне и октябре—ноябре, из которых большим оказывается второй. В это время биолюминесцентный потенциал на глубине 10 м достигает  $1,4 \cdot 10^2$  мквт·см<sup>-2</sup>, превышая минимальные значения биолюминесценции в феврале почти в 500 раз.

4. Данные инструментальных измерений свечения моря вполне соответствуют вертикальному распределению планктона. Вертикальная структура биолюминесценции во все сезоны характеризуется четкой стратификацией со слоями повышенной светимости, разделенных водной толщей с пониженным в 2—4 раза биолюминесцентным потенциалом. В

верхнем слое формируется, как правило, зона сливного свечения. В более глубоководных слоях, где средняя интенсивность свечения для 1-метрового интервала по глубине составляет около  $0,3 \cdot 10^{-3}$  мквт·см<sup>-2</sup>, наблюдаются отдельные сливные всплески, обусловленные нахождением здесь разрозненных биолюминесцентных. При этом, общим является сопряженность вертикального изменения биолюминесцентного потенциала вертикальному распределению температуры, как фактору обуславливающему распределение планктона.

5. Глубины залегания экстремальных значений поля биолюминесценции ограничены слоями с максимальными градиентами гидрологических параметров. Показано, что вертикальная микроструктура слоев повышенной светимости в большинстве случаев сохраняется, несмотря на смещение глубины залегания основных максимумов биолюминесценции синхронно с колебаниями изотерм с периодом 20—40 мин. Коэффициент корреляции между глубинами залегания максимумов интенсивности свечения и прилегающих изотерм составил 0.84.

Наибольшие амплитуды колебаний изотерм и глубин залегания основных максимумов биолюминесценции соответствуют области максимальных градиентов плотности, что свидетельствует о влиянии внутренних волн. Для исключения маскирующего влияния внутренних волн на структурированность поля биолюминесценции, вертикальные профили биолюминесцентного потенциала разделяли на детерминированную (описывающую изменение свечения по глубине) и высокочастотную (описывающую его микроструктурные флуктуации) компоненты. Разделение осуществляли с использованием стандартной процедуры фильтрации вертикальных профилей биолюминесценции [11].

6. Для оценки мелкомасштабной вертикальной структуры поля биолюминесценции использовали флуктуационные (высокочастотные) составляющие его вертикальных профилей. Коэффициенты корреляции между флуктуационными составляющими профилей, детерминированные максимумы которых находились на одном горизонте, находились в диапазоне 0,8—0,9. Наличие такой высокой корреляции связано, несомненно, с мелкомасштабной слоистой структурой вертикального распределения светящегося планктона. При этом, наиболее четко слоистая структура поля биолюминесценции проявляется в термоклине, который характерен выраженной тонкой структурой поля температуры. Высокие коэффициенты корреляции между флуктуационными составляющими профилей биолюминесценции и температуры при уровне значимости 0,05 свидетельствуют об устойчиво сохраняемой положительной связи между этими параметрами в слое термоклина. Отмечается также схожесть форм спектров флуктуационных составляющих профилей биолюминесценции, температуры и солёности, имеющих, как правило, 2—3 модовую структуру. Масштаб неоднородностей, совпадающий для всех параметров, приходится на область волновых чисел 4—7 м.

По флуктуационным составляющим профилей свечения определяли величины градиентов интенсивности биолюминесценции и размеры слоев с постоянными градиентами. Наиболее часто встречаются слои повышенной светимости в 1—2 м. По оценкам автокорреляционных функций средняя толщина слоев составляет 4—5 м. Протяженность слоев повышенной светимости перекрывает трансекту наблюдений, т.е. превышает 0,5 мили. Распределение слоев повышенной светимости по размерам аппроксимировалось экспоненциальным законом, а распределение градиентов биолюминесценции в них — логнормальным законом. Сравнение указанных распределений с таковыми поля температуры с использованием  $\chi^2$ -критерия показало сопряженность распределения параметров тонкой структуры этих полей.

7. Слоистый тип распределения изолумен характерен для вод с отчетливо выраженной вертикальной термохалинной стратификацией. Размах вариационных рядов интенсивности свечения в таких слоях невелик. Коэффициент вариации (КВ) менее 25% свидетельствует о достаточно высокой структурированности светящегося планктона. Однако в иных гидрологических ситуациях может наблюдаться облачно-слоистый тип распределения

биолюминесценции. Неоднородности в горизонтальном распределении интенсивности биолюминесценции, протяженностью от 60 до 450 м, имеющие характер отдельных нерегулярных пятен и не связанные со сдвиговыми трансформациями от внутренних волн, выявлялись при анализе двумерных пространственных матриц ее распределения и методами статистического анализа. В частности, диапазон вариантных рядов в таких случаях имел больший размах, а величина КВ повышалась в 3—4 раза.

По результатам сопоставления пространственной структуры полей биолюминесценции и температуры обнаружены сходные черты в их расположении при слоистом типе распределения биолюминесценции. Это свидетельствует о том, что распределение многих популяций светящихся организмов подчиняется законам гидродинамики и, следовательно, эти планктонты могут рассматриваться в качестве "пассивной примеси" в динамически активных регионах Черного моря. В то же время, пятнистость в распределении интенсивности биолюминесценции указывает на существенную роль в распределении биолюминесцентных поведенческих аспектов — трофодинамических, репродукционных, миграции и т.д.

Любая представленная схема двумерного распределения поля биолюминесценции в виде слоистого или облачно-слоистого типа находится под влиянием разнопериодных внутренних волн, которые сдвигают структурированность поля биолюминесценции и, следовательно, планктона по глубине. Максимальные амплитуды вертикального смещения изолиний интенсивности биолюминесценции в Черном море достигали 11 м. При наблюдениях в районах локальных прибрежных апвеллингов в северо-восточной части Атлантического океана смещение изоломен под влиянием внутренних волн с периодом около 2 ч достигало 25 м.

Представленная методология локально-динамического подхода в изучении пространственно-временной неоднородности поля биолюминесценции является приоритетной в исследованиях Лаборатории биофизической экологии ИнБЮМ НАН Украины. Именно метод многократного зондирования способствует выявлению закономерностей формирования мелкомасштабных особенностей структурированности планктонных популяций — фундаментальной характеристики функционирования пелагических сообществ. Поэтому в предстоящие годы следует изучить механизмы генерации мелкомасштабной структурированности планктонного и биофизических полей в условиях различных градиентов океанологических параметров и антропогенного пресса. Основными задачами при этом можно считать следующие:

1. Установление закономерностей формирования мелкомасштабной (пространственной и временной) структуры планктона и формируемых им биофизических полей.

2. Изучение регрессионных зависимостей между тонкой структурой планктона, биофизических полей и пространственно-временной изменчивостью аналогичных параметров среды.

3. Исследование мелкомасштабной гетерогенности планктона и биофизических полей пелагиали в целях биологической типологии водных масс, детализации структуры и оценки функционирования пелагических сообществ под воздействием антропогенных факторов.

Такие исследования должны расширяться, поскольку все еще слабо изучены фундаментальные основы генерирования поля биолюминесценции — слабо изучен процесс светоизлучения биолюминесцентных и его биологический смысл, не до конца выяснен их состав и т.д. Кроме того, выявление пространственных неоднородностей характеристик поля биолюминесценции и их временной устойчивости необходимо выполнить прежде всего в регионах повышенного "экологического риска" — прибрежных и шельфовых акваториях, зонах интенсивного судоходства, районах нефте- и газодобычи, сброса термальных и сточных вод, и т.д. Необходимо совершенствовать методы сбора и обработки больших массивов океанологической и биофизической



информации, внедрять поколения унифицированного парка аппаратуры. Необходимо усилить исследования параметров биофизических полей пелагиали в качестве неперменного элемента комплексного изучения структуры и функционирования морских экосистем.

1. Битюков Э. П. Люминесценция *Noctiluca miliaris* и характеристика ее раздражимости // Журн. эволюц. биохимии и физиол. — 1966. — 26, № 5. — С. 452—456.
2. Битюков Э. П. Использование биолюминесцентной реакции организмов для отбора физиологически однородного экспериментального материала // Гидробиол. журн. — 1966. — 2, № 5. — С. 85—89.
3. Битюков Э. П. Характеристика суточного ритма биолюминесценции *Noctiluca miliaris* // Зоол. журн. — 1968. — 47, № 1. — С. 36—41.
4. Битюков Э. П. Биолюминесценция в Атлантическом океане и в морях Средиземноморского бассейна. — В кн.: Проблемы морской биологии. — Киев: Наук. Думка, 1971. — С. 251—257.
5. Битюков Э. П. Биолюминесценция *Noctiluca miliaris* в разных температурных условиях // Биология моря. — 1971. — Вып. 24. — С. 70—77.
6. Битюков Э. П. Биолюминесценция в Черном и Средиземном морях и ее информационные возможности при изучении структуры пелагического сообщества // Матер. Всесоюз. симп. по изучению Черного и Средиземного морей, использованию и охране их ресурсов. Севастополь, октябрь 1973. Ч.2. — Киев: Наук. Думка, 1973. — С. 44—49.
7. Битюков Э. П. Горизонтальная неоднородность биолюминесцентного поля как показатель агрегированного распределения планктона // Гидробиол. журн. — 1984. — 20, № 5. — С. 24—31.
8. Битюков Э. П., Василенко В. И., Токарев Ю. Н., Шайда В. Г. Батифотометр с дистанционно переключаемой чувствительностью для оценки интенсивности биолюминесцентного поля // Гидробиол. журн. — 1969. — 5, № 1. — С. 82—86.
9. Битюков Э. П., Василенко В. И., Токарев Ю. Н. О спектральном составе биолюминесцентного поля в Черном и Средиземном морях, и в Атлантическом океане // Биология моря. — 1978. — Вып. 47. — С. 40—48.
10. Битюков Э. П., Евстигнеев П. В., Токарев Ю. Н. Светящиеся *Dinoflagellata* Черного моря и влияние на них антропогенных факторов // Гидробиол. журн. — 1993. — 29, № 4. — С. 27—34.
11. Битюков Э. П., Ольшанский Ю. И., Серикова И. М. Тонкая структура поля биолюминесценции и ее связь с распределением гидрологических характеристик. // Океанология. 1988. — 28, № 5. — С. 752.
12. Битюков Э. П., Рыбасов В. П., Шайда В. Г. Годовые изменения интенсивности биолюминесцентного поля в неритической зоне Черного моря // Океанология. — 1967. — 7, № 6. — С. 1089—1099.
13. Битюков Э. П., Хлыстова Л. М. Биолюминесценция в неритической зоне Черного моря и ее связь с характеристиками планктона // Биология моря. — 1975. — Вып. 34. — С. 100—108.
14. Владимиров В. Л., Урденко В. А., Неуймин Г. Г., Земляная Л. А. Исследования биолюминесцентного поля в Черном море // Морские гидрофизические исследования. — 1973. — № 4. — С. 148—156.
15. Гительзон И. И., Левин Л. А. Зондирование биолюминесцентного поля. — В кн.: Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. — М.: Наука, 1983. — С. 10—28.
16. Гительзон И. И., Левин Л. А., Утюшев Р. Н., Черепанов О. А., Чугунов Ю. В. Биолюминесценция в океане. — С.-П.: Гидрометеониздат, 1992. — 283 с.
17. Евстигнеев П. В. Влияние тяжелых металлов на светоизлучение *Noctiluca miliaris* // Экология моря. — 1986. — Вып. 29. — С. 65—72.
18. Евстигнеев П. В. О раздражимости некоторых планктонных биолюминесцентных // Экология моря. — 1989. — Вып. 32. — С. 72—76.
19. Евстигнеев П. В., Битюков Э. П. Планктонные светящиеся водоросли и специфичность их светоизлучения // Деп. в ВИНТИ 16.01.90, № 2, 79—В90. — Севастополь, 1990. — 45 с.
20. Евстигнеев П. В., Битюков Э. П. Биолюминесценция морских копепод. — Киев: Наук. Думка, 1990. — 144 с.
21. Евстигнеев П. В., Серикова И. М. Экспериментальное изучение воздействия нефти на биолюминесценцию планктонных организмов // Экспериментальная водная токсикология. — 1987. — № 12. — С. 1354—1361.
22. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Черного моря. — СПб.: Изд-во Академии Наук, 1913. — 299 с.
23. Морозова—Водяницкая Н. В. Фитопланктон Черного моря. 1. Фитопланктон в районе г. Севастополя и общий обзор фитопланктона Черного моря // Тр.

- Севастоп. биол. станции, —1948. —6. —С. 39—172.
24. Тарасов Н. И. Свечение моря. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. —204 с.
  25. Токарев Ю. Н. Действие гамма-облучения на биолюминесценцию *Noctiluca miliaris* // Радиобиология. —16, № 1. —С. 131—134.
  26. Токарев Ю. Н. Изменение характеристик биолюминесценции черноморской ночесветки под воздействием гамма-облучения // Экология моря. — 1982. —Вып. 9. —С. 89—94.
  27. Урденко В. А., Владимиров В. Л. Исследования биолюминесцентного поля в Черном море // Материалы Всесоюз. симп. по изученности Черного и Средиземного морей, использованию и охране их ресурсов. Севастополь, октябрь 1973. —Ч.2. — Киев: Наук. Думка, 1973. —С. 200—204.

Получено 29.01.93

E. P. BITYUKOV, V. I. VASILENKO,  
I. M. SERIKOVA, Yu. N. TOKAREV

## RESULTS AND PROSPECTS OF THE BIOLUMINESCENT INVESTIGATION AT THE BLACK SEA

### Summary

The bioluminescent field of the Black Sea is formed by luminous dinophyte algae and is closely correlated with the structural indices of plankton distribution. The energetic and topographic characteristics of the bioluminescent field were determined using a profiling photometric device. The seasonal variability of the bioluminescent field had two maximums which were registered in May—June and October—November.

Vertical structure of the bioluminescent field was stratified throughout all seasons. Usually there are two layers of higher bioluminescence, the upper from them is placed in the isothermal layer between 6—15 m. The method of multiple profiling of bioluminescent field, with 3 min intervals, has been applied over the last years and has allowed the small scale structure of the plankton to be determined. The small—scale horizontal structure of the plankton community is observed in layered or cloudy—layered distributions and are under influence of internal waves at different periods.

УДК 591.524.12 591.1(262.5)

Е. В. ПАВЛОВА, Н. И. МИНКИНА

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЫХАНИЯ И ЛОКОМОЦИИ У ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ ЧЕРНОГО МОРЯ В ИНБЮМ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 ЛЕТ

В результате двадцатилетних исследований разработана новая методология, применены оригинальные методики, измерены и сопоставлены уровни основного и общего энергетического обмена в лабораторных условиях, описаны способы движения, оценены скорости, гидродинамические характеристики и работа, совершаемая при плавании планктонными организмами. Анализ динамики величин дыхания позволил выявить характер адаптационных процессов под влиянием таких факторов как пространство, плотность посадки, наличие сероводорода и отдельных химических веществ. Переходные процессы дыхания носят неспецифический характер, что позволяет использовать их в качестве теста физиологического состояния гидробионтов до и после опыта. Предложены формулы нормирования величин энергетического обмена

© Е. В. Павлова, Н. И. Минкина, 1996