

LONG-TERM CHANGES OF PHYTOPLANKTON FROM THE DEEP-WATER PART OF THE BLACK SEA IN CONNECTION WITH NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

Summary

Considerable changes in phytoplankton of the Black Sea, especially in its the deep-water eastern part, mentioned within 70 years, are stipulated by the summary influence of anthropogenic and natural factors. Withdrawal and seasonal redistribution of the river discharge belong to the first group, characters of atmospheric circulation belong to the second one. Possibly the Black Sea phytoplankton has been passed to a new qualitative condition with a low level of species diversity (according to Shannon) under this influence.

УДК 579:574.582(261)

А. П. ГОРДИЕНКО

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АТФ В ПИКО- И НАНОПЛАНТОНЕ ОТКРЫТЫХ ВОД ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

Приведены данные по суточной динамике АТФ пико- и нанопланктона в опытах *in situ* на дрейфовых станциях и в пробах, отобранных в открытых районах Атлантики, с применением нестандартных методов исследования. Даны количественные характеристики АТФ пикопланктона в слоях с минимальным и максимальным содержанием хлорофилла "а"; исследован характер суточных изменений АТФ пико- и нанопланктона на стандартных горизонтах в 100-метровом слое. Выявлены периодические колебания АТФ в пико- и нанопланктоне, имеющие внутрисуточный масштаб.

Пико- и нанопланктон представляют значительную часть биомассы в сообществе. Потребление биомассы хищниками и восполнение ее за счет высоких скоростей роста этих групп планктона приводят к формированию высокодинамичной и уравновешенной системы с эффективным круговоротом минеральных веществ.

Полученные нами данные [2,4] показали, что при экологическом мониторинге морских экосистем по содержанию АТФ обязательно необходимо учитывать динамику сообществ и, в первую очередь, их суточные ритмы.

Целью настоящей работы явилось изучение суточной динамики пико- и нанопланктона в открытых районах Атлантического океана.

Материал и методика. На дрейфовых станциях в различных по трофности районах Атлантического океана проводились измерения концентрации АТФ с использованием скляночного метода *in situ* и в пробах, отобранных в различающихся по трофности открытых районах Атлантического океана (20-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" и 34-й рейс НИС "Академик Вернадский").

Пробы воды отбирали с горизонтов максимума и минимума хлорофилла "а" (предварительное флуорометрическое зондирование), пропускали через газ с размером ячеек 80 мкм и немедленно фильтровали через нуклеопоровые фильтры с диаметром пор

2,5 мкм. Профильтрованную воду, содержащую микропланктон размером меньше 2,5 мкм, переносили в стерильные стеклянные литровые емкости, которые закрывали мембранами (для свободного доступа растворенных газов и питательных солей). При этом были использованы преимущества стандартного скляночного метода и метода диализного культивирования [5] с некоторой модификацией [2].

Кассеты с опытными емкостями подвешивали на глубины, с которых производили отбор проб. Для определения динамики содержания АТФ пикопланктона с дискретностью четыре часа извлекали литровую пробу воды и концентрировали пикопланктон на мембранных ультрафильтрах (диаметр пор 0,2 мкм). Таким образом собирали размерную фракцию микропланктона 0,2-2,5 мкм (пикопланктон).

Суточную динамику содержания АТФ в пико- и нанопланктоне исследовали на трансатлантическом полигоне, расположенном в северо-западной части Атлантического океана в полосе от экватора до 12° с.ш., на горизонтах 25, 50, 75 и 100 м

Экстрагирование АТФ осуществляли 0,02 М раствором трис-ацетатного буфера (рН 7,75) с 0,002 М раствором ЭДТА. Измерение интенсивности светового потока биолюминесцентной реакции проводили на хемилюминометре ХЛМИЦ фирмы "Свет" с использованием препарата люциферин-люциферазы и стандарта АТФ фирмы "ЛКБ Приборы" (Швеция).

Полученные значения концентраций АТФ от времени отбора проб обрабатывали методом сглаживания с периодом в два и четыре часа на трансатлантическом полигоне и в опытах *in situ* соответственно. Математическую обработку проводили по [1].

Результаты и обсуждение. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о значительной суточной вариабельности концентраций АТФ пикопланктона (табл., рис.1). На всех станциях в опытных емкостях, подвешенных в слое как максимума, так и минимума хлорофилла "а", наблюдается четко выраженный пик концентрации АТФ в пикопланктоне. Абсолютные величины концентрации АТФ и амплитуда ее колебаний выше на станциях, выполненных в продуктивных водах (ст.ст.2973 и 2978). Содержание АТФ пикопланктона в опытных емкостях на ст. 2973 в слое максимума хлорофилла "а" (60 м) в течение суток варьировало от 5,73 до 881,68 нг.л⁻¹ с максимумом - в 18 ч. Минимальные величины этого параметра отмечены в ночное время (2 ч).

Таблица. Периоды увеличения АТФ пикопланктона в опытных емкостях, подвешенных в слое максимума и минимума хлорофилла "а"

Table. The periods of picoplankton ATP increase in experimental capacities, suspended in the layer of chlorophyll (a) maximum and minimum

Номер станции, район, координаты	Глубина максимума и минимума хлорофилла "а"	Период увеличения концентрации АТФ пикопланктона, часы
2966, олиготрофный 11° 44' ю.ш. 22° 33' з.д.	50 м, максимум 20 м, минимум	с 10 до 19 с 23 до 7
2984, мезотрофный 22° 16' с.ш. 17° 16' з.д.	25 м, максимум 55 м, минимум	с 14 до 18 с 22 до 2 с 10 до 14 с 22 до 2
2973, эвтрофный 00° 00' 22° 14' з.д.	60 м, максимум 20 м, минимум	с 10 до 18 с 10 до 18
2978, эвтрофный 08° 15' с.ш. 22° 00' з.д.	35 м, максимум 60 м, минимум	с 14 до 18 с 14 до 22

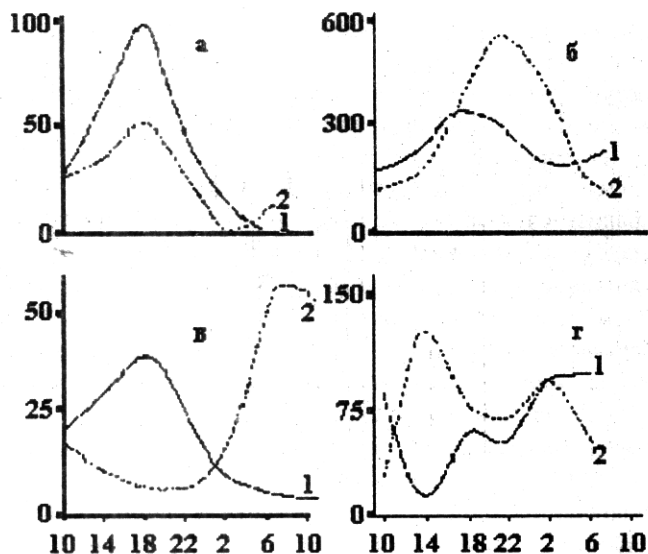


Рис.1. Суточные изменения содержания АТФ пикопланктона в опытных емкостях в слое с максимумом (1) и минимумом (2) хлорофилла "а": а, б – эвтрофный; в – олиготрофный; г – мезотрофный районы.

По оси ординат – время наблюдения, в часах, абсцисс – концентрация АТФ, нг.л^{-1} .

Fig.1. Daily variations of the ATP content of picoplankton observed in experimental glass bottles in water layer with chlorophyll "a" maximum (1) and minimum (2) content: а, б – eutrophic, в – oligotrophic, г – mesotrophic water.

Y-axis: observation term (h). X-axis: ATP content (ng.l^{-1}).

На станции 2978 при сохранении синхронности в измерении концентрации АТФ в слое минимума и максимума хлорофилла "а" (60 м и 35 м) наблюдалось некоторое смещение кривых относительно друг друга (рис. 16). Содержание АТФ пикопланктона в слое максимума хлорофилла "а" (35 м) варьировало от 172,90 до 336,36 нг.л^{-1} , в слое минимума хлорофилла "а" (60 м) оно возрастало от 3,87 до 548,61 нг.л^{-1} .

В мезотрофных и олиготрофных водах Атлантики в опытных емкостях наблюдалась несинхронность процессов изменения содержания АТФ в слое максимума и минимума хлорофилла "а" (рис. 1в,г). В бедных водах центральной части Южноатлантического круговорота (ст. 2966) в

слое максимума хлорофилла "а" (50м) концентрация АТФ пикопланктона увеличивалась в светлое время суток, достигая наибольших величин в 19 ч (35,82 нг.л^{-1}), в темное время суток она резко снижалась (2,94 нг.л^{-1}). В то же время в слое минимума хлорофилла "а" концентрация АТФ в ночное время увеличивалась, достигая максимума в 7 ч (52,30 нг.л^{-1}).

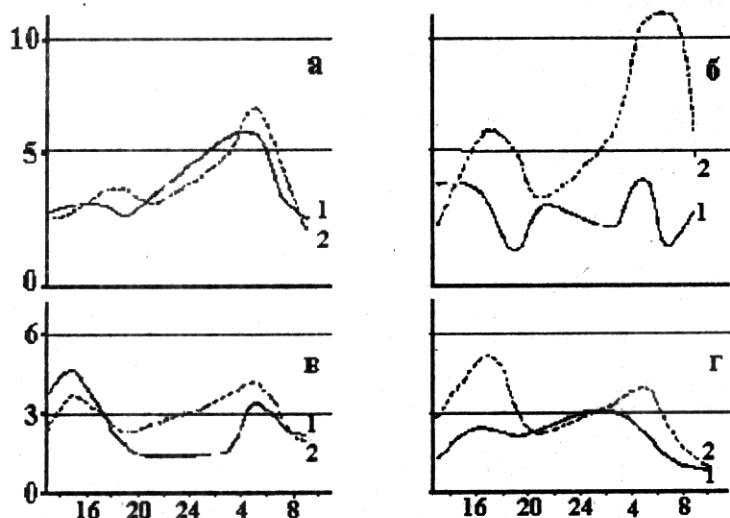


Рис. 2. Суточная динамика концентраций АТФ пикопланктона (1) и нанопланктона (2) на стандартных горизонтах:

а – 25 м; б – 50 м;

в – 75 м; г – 100 м

По оси ординат – время наблюдения, в ч;

абсцисс – концентрация АТФ, нг.л^{-1} .

Fig.2. Daily dynamics of ATP content in pico- (1) and nanoplankton (2) from a standard series of depths within a 0-100 m water column: а – 25m, б – 50m, в – 75m, г – 100m

Y-axis: observation term (h), X-axis: ATP content (ng.l^{-1}).

Суточная динамика содержания АТФ в опытных емкостях на ст. 2984 на горизонтах максимума и минимума хлорофилла "а" (25 м и 55 м соответственно) имела совершенно иной характер по сравнению со ст. 2966. Наименьшие значения АТФ

пикопланктона в слое максимума хлорофилла "а" и наибольшие величины АТФ в слое минимума хлорофилла "а" были отмечены в 14 ч (рис.1г).

Отмеченные суточные изменения концентрации АТФ пикопланктона в опытных емкостях, очевидно, связаны с изменением качественного состава пикопланктонного сообщества и особенностями районов наблюдений. Результаты наших исследований в различных районах Атлантического океана в общих чертах подтверждают данные по Северной Атлантике [5].

При обработке данных, полученных на трансатлантическом полигоне в северо-западной части Атлантического океана, с помощью теоретической модели [1] был выявлен суточный ход концентраций АТФ пико- и наннопланктона на стандартных горизонтах в поверхностном 100-метровом слое.

Все полученные величины концентраций АТФ двух размерных фракций микропланктона разделили на 12 групп, в каждую из которых объединили наблюдения, выполненные в период от 12 до 14 ч, от 14 до 16 ч, от 16 до 18 ч и т.д. Значения АТФ внутри каждой группы принимались как статистически однородные и осреднялись. Полученную зависимость средних значений АТФ от времени суток интерпретировали как суточный ход концентраций аденозинтрифосфата на 25, 50, 75 и 100 м.

По типу кривых, построенных с периодом сглаживания равным 2 ч, можно сделать вывод, что суточные колебания содержания АТФ двух размерных групп микропланктона на 25 м характеризовались четко выраженным максимумом в период 4-6 ч (рис.2а). Размах варьирования составил 55 и 71% среднесуточных значений, соответственно для АТФ пико- и наннопланктона.

Суточная динамика АТФ двух размерных групп микропланктона на 50, 75 и 100 м характеризовались двумя максимумами в пределах 14-16 и 4-6 ч (рис. 2б,в,г). Размах колебаний составил на 50 м - 18-68 %, на 75 м - 68-32 % и на 100 м - 51-52 % ее среднесуточных значений соответственно для пико- и наннопланктона. Отмеченные особенности среднесуточных изменений АТФ пико- и наннопланктона, очевидно, связаны с пищевой активностью мезо- и макропланктона, суточным ритмом деления клеток и влиянием абиотических факторов.

Выводы. Исследована суточная динамика содержания АТФ в пико- и наннопланктоне в экспериментах на дрейфовых станциях и в пробах воды, отобранных в открытых районах Атлантического океана. Выявлены периодические колебания аденозинтрифосфата в течение суток, зависящие от ряда абиотических и биотических факторов, главными из которых, по нашему мнению, являются пищевая активность организмов потребителей пико- и наннопланктона. Показано, что размерная структура микропланктонного сообщества является одним из важнейших экологических факторов, который необходимо учитывать при выполнении различных трофодинамических расчетов.

Работа посвящается памяти А.Г. Бенжицкого, с которым мы участвовали во многих экспедициях и опубликовали цикл совместных исследований АТФ.

1. Гольдберг Г.А. Теоретическая модель пространственно-временной структуры планктонных полей // Экологические системы в активных динамических зонах Индийского океана, 1986. - Киев: Наук. думка. -С.79-89.
2. Гордиенко А.П., Бенжицкий А.Г. К методике изучения суточной динамики АТФ пикопланктона in situ //Гидробиол. журн. -1989. - 25, №5. -С. 72-74.
3. Гордиенко А.П., Ерохин В.Е., Шайда В.Г. Исследование кормовой базы мидий в Каламитском заливе.//Экология моря. -1998. - Вып. 47. - С. 84-90.
4. Erokhin V.E., Gordienko A.P. The use of bioluminescent method of ATP determination in a complex of studies for finding optimum sites mussel mariculture farms //Cemagref. Bordo. -1994. -P. 91-102.
5. Сибурт Д.М., Лавуа Д.Т. Нестандартный подход к оценке продуктивности гетеротрофов//Человек и биосфера, 1979. - М: Изд-во Моск. ун-та. -Вып. 3. -С. 43-50.

DAILY DYNAMICS OF ATP CONTENT IN PICO- AND NANOPLANKTON
OF OPEN WATERS OF THE TROPICAL ATLANTIC

Summary

The paper gives data on daily dynamics of ATP content in pico- and nanoplankton which were obtained in *in situ* experiments conducted at the drift stations and during research cruises to the tropical Atlantic Ocean. The study implied employment of non-traditional research methods. Quantitative characteristics of the picoplankton ATP from depths with minimum and maximum chlorophyll "a" content are given. The character of daily variations of ATP content in pico- and nanoplankton from a standard series of depths within a 0-100 m water column was defined. Periodic fluctuations of pico- and nanoplankton ATP content which took place during a day (24 h) were found.

УДК 551.464 (261)

М. В. КИРИКОВА

СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В СЛОЕ ФОТОСИНТЕЗА В ДИНАМИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ЗОНАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

Дана оценка запасов нитратов в динамически активных зонах восточной части Тропической Атлантики. Динамика вод в зонах Гвинейского и Ангольского куполов способствует подъему нитратоклина до глубин 11-40 м. В области Экваториальной дивергенции нитраты достигают поверхности. Показано отсутствие существенных сезонных колебаний запасов нитратов в области куполов и их наличие в зоне Экваториальной дивергенции. Установлена зависимость между глубиной слоя, с которого начинается недонасыщение кислородом, и положением нитратоклина ($r=0,75$).

При исследовании механизма формирования продуктивных районов в океане важное значение имеет изучение условий поступления биогенных элементов в зону фотосинтеза. В этой связи особый интерес представляют динамически активные зоны Экваториально-Тропической Атлантики, характер и интенсивность проявления динамики вод в которой позволяют выделить два основных типа подъема вод: а) области подъема, не достигающие поверхности и создающие "термальные купола", б) апвеллинги, в которых воды системы подповерхностных течений достигают поверхности.

Представление о гидрологических условиях и гидрохимической структуре вод в динамически активных зонах восточной части Атлантического океана дают работы, выполненные, как правило, в период максимального развития апвеллинговых систем [5, 7-11]. Гидрохимические исследования были направлены на изучение положения нитратоклина как одного из важнейших факторов, регулирующих уровень "новой" продукции. Сведения о содержании нитратов в верхних слоях вод немногочисленны и не дают представления о сезонной динамике их запасов в зоне фотосинтеза. Основной целью наших исследований явилась оценка запасов нитратов в слое фотосинтеза в зонах циклонических круговоротов, формирующих "термальные купола", а также в области