

DAILY DYNAMICS OF ATP CONTENT IN PICO- AND NANOPANKTON
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

Экваториальной дивергенции, в которой проявляются черты как действительных океанических апвеллингов, так и "термальных куполов".

Материал и методика. Гидрохимические исследования выполнены в 21 и 29 рейсах нис "Профессор Водяницкий" на разрезах по 21° и 18° з.д. от 12° с.ш. до 5° ю.ш. (22 октября - 10 ноября 1986 г.), по 2° в.д. от 0°30' с.ш. до 6° ю.ш. и между 7°59' - 9°30' в.д. и 6° - 13° ю.ш. (26 октября - 23 ноября 1989 г.). Пробы морской воды отобраны на 62 станциях в слое от 0 до 150-200 м. В 1986 г. концентрацию нитратов определяли стандартным методом на ФЭК-60 [2], а в 1989 г. использовали автоанализатор "Техникон -П" [3]. В сборе материала участвовали Д.Л.Гвоздева и Р.А.Лобанова.

Результаты и обсуждение. Ангольский купол является результатом круговорота, образованного направленной на юг южной ветвью Экваториального противотечения. Его существование в области 5 - 15° ю.ш. и 5 - 10° в.д. отмечено в январе - марте [11]. Наблюдения, проведенные в ноябре 1989 г., позволили оценить особенности распределения нитратов в районе купола в период ослабления деятельности циклонического круговорота. Исследования проведены на двух разрезах. Один из них начинался на 13° ю.ш. и 9° в.д., а заканчивался на 6° ю.ш. и 7°59' в.д., другой проходил по 10°30' ю.ш. от 9°30' до 7° в.д.

Ангольский купол идентифицирован по данным гидрологических наблюдений в южной части района. Особенностью этого круговорота явилось смещение его оси от нижней границы исследованного слоя к поверхности от 12° ю.ш. до 12°30' - 13° ю.ш. В период своего развития Ангольский купол занимает по широте около 6°, а по долготе - 7,5° [11]. Нитраты в районе купола появляются на глубинах от 10 до 24 м [1, 11]. В период ослабления деятельности циклонического круговорота его размеры уменьшаются до 1-1,5°. Даже в период ослабления деятельности круговорота динамика вод способствует выносу биогенных элементов в верхние слои и подъему нитратоклина до глубин 11-29 м. В итоге нижняя, в среднем 41-метровая часть зоны фотосинтеза обогащается нитратами (табл.1).

Таблица 1. Содержание нитратов в слое фотосинтеза в динамически активных зонах восточной части Тропической Атлантики

Table 1. Nitrate content in the photosynthesis layer in dynamic active areas of the tropical eastern Atlantic

Период	Толщина зоны фотосинтеза, м	Положение верхней границы нитратоклина, м	Содержание нитратов в слое фотосинтеза, мг-ат/м ²
Ангольский купол			
ноябрь	66	17	442
Гвинейский купол			
август [10]	50	25	400
сент. - октябрь [8]	60	40	430
октябрь	62	40	338
Экваториальная дивергенция			
21° з.д., октябрь	78	50	145
18° з.д., ноябрь	122	отсутствует	730
04° з.д., июль [11]	~100	отсутствует	1000
04° з.д., январь [11]	~100	25	640
02° в.д., октябрь	78	38	244

Северная ветвь Экваториального противотечения при своем движении на север в области 5 - 12° с.ш. и 18 - 25° з.д. образует циклонический круговорот, результатом которого является Гвинейский купол, достигающий максимального развития в июле-сентябре [10,11]. В этот период его площадь существенно не отличается от Ангольского, занимая по широте около 6°, а по долготе - около 5° [11]. В исследованиях, проведенных в октябре 1986 г. на разрезах по 21° и 18° з.д., был захвачен южный склон купола (10° - 12° с.ш.), занимающий 2° по долготе. Верхняя граница нитратоклина в центре купола в

период его интенсивного развития залегает на глубинах 20 - 26 м [11] и опускается осенью до 40 м [8]. На южном склоне купола, согласно нашим наблюдениям, она располагалась в осенний период на глубинах 40 - 50 м. Запасы нитратов в зоне фотосинтеза как в активный сезон, так и в период ослабления деятельности круговорота значительно не отличаются от отмеченных в Ангольском куполе (табл.1). Изменения касаются обогащенной нитратами части слоя фотосинтеза, которая уменьшается до 21-30 м. Существенные сезонные вариации содержания нитратов в зоне фотосинтеза не выражены, однако изменяется положение нитратоклина.

В области *Экваториальной дивергенции*, в зависимости от сезона, проявляются черты как океанических апвеллингов, так и "термальных куполов". Собственно океанический апвеллинг встречается только в холодный сезон, между июлем и сентябрем [11]. Подъем подповерхностных, обогащенных нитратами, вод к поверхности в зоне Экваториальной дивергенции происходит по северной и южной периферии течения Ломоносова и только над ним поднимающиеся воды, устремляясь с севера и юга к экватору, выходят на поверхность [4]. В этот период оптимальные условия для первичного синтеза органического вещества создаются вблизи поверхности. Обогащение зоны фотосинтеза биогенными элементами в теплый сезон, когда отсутствует охлаждение поверхности и градиент температуры в термокLINE высок, осуществляется в результате куполообразного подъема вод. При такой ситуации оптимальные условия для продуцирования органического вещества создаются в верхней части нитратоклина.

Исследования, проведенные осенью 1986 г. на меридиональных разрезах по 21° и 18° з.д., показали, что зона Экваториальной дивергенции, выделенная по гидрологическим и гидрохимическим параметрам от 2° с.ш. до 2 - 4° ю.ш., характеризуется наличием нитратов во всей толще вод вплоть до поверхности. Наиболее ярко апвеллинг был выражен на 18° з.д., где нитратоклин был разрушен от 0° до 2° ю.ш.. Протяженность обогащенной зоны в исследованных районах, а также на 4° з.д. в июле [11] составляет по долготе 4-5°. На разрезе по 2° в.д. (осень 1989 г.) в зоне Экваториальной дивергенции ярко выраженная стратификация вод препятствовала поступлению биогенных элементов в верхний перемешанный слой. Район характеризовался куполообразным подъемом нитратов.

Проведенные исследования позволяют оценить динамику развития Экваториального апвеллинга (табл.1). Наиболее интенсивно апвеллинг выражен в холодный период (июль, 4° в.д.), когда отсутствует нитратоклин и запасы нитратов в зоне фотосинтеза достигают максимума. Подобная ситуация может сохраняться до ноября, как это наблюдалось в 1986 г. на 18° з.д. На востоке (4° з.д. и 2° в.д.) в октябрь-ноябре апвеллинг отсутствует и для района характерна структура "термальных куполов".

В области экваториально-тропической Атлантики, верхний перемешанный слой вод которой крайне обеднен нитратами, важное значение имеет положение верхней границы нитратоклина. Выше этой границы находится насыщенный кислородом слой, нижние слои недонасыщены им. По [6], коэффициент корреляции между глубиной, на которой появляются нитраты, и глубиной насыщенного кислородом слоя составляет 0,98. В восточной части Экваториально-Тропической Атлантики глубина слоя с насыщением кислорода, превышающим 95% (D_{O_2}), и глубина верхней границы нитратоклина (D_{NO_3}) связаны зависимостью:

$$\begin{aligned} D_{O_2} &= 1,58 D_{NO_3} + 1,09 \\ r &= 0,75 \\ n &= 27 \end{aligned}$$

Высокая корреляция является следствием стехиометрического соотношения между кислородом и биогенными элементами, которое соответствует эмпирической формуле состава фитопланктона. Полученная зависимость имеет практическое значение, позволяя оценивать положение верхней границы нитратоклина по определениям кислорода.

Выводы. 1. Динамика вод в зонах Ангольского и Гвинейского куполов способствует подъему нитратоклина и обогащению нитратами нижней части зоны фотосинтеза, где складываются оптимальные условия для фотосинтетического воспроизводства органического вещества. В районе Экваториальной дивергенции наиболее оптимальные условия для первичного продуцирования создаются у поверхности. 2. Сезонные изменения запасов нитратов в зоне фотосинтеза в области Гвинейского купола не обнаружены, однако установлено изменение положения верхней границы нитратоклина. 3. В зоне Экваториальной дивергенции отмечена сезонная динамика гидрохимической структуры вод. Апвеллинг выражен в холодный период (июль). В октябре-ноябре для зоны характерна структура термальных куполов. 4. Установлена зависимость между глубиной слоя, с которого начинается недонасыщение вод кислородом, и положением нитратоклина ($r=0,75$).

1. Лукашев Ю.Ф. Неорганические формы азота в водах юго-восточной части Тропической Атлантики. // Исследования по химии моря. - М., 1973. - С. 129-139.
2. Методы гидрохимических исследований океана. - М, 1978. - 271 с.
3. Налбандов Ю.Р., Винтовкин В.Р. и др. Опыт использования автоанализатора "Техникон-II" в экспедиционных исследованиях. // Океанология. - 1980. - 30, N 3. - С. 463-466.
4. Хлыстов Н.З. Структура и динамика вод Тропической Атлантики. - Киев, 1976. - 163 с.
5. Gallardo I., Dandonneau Y., Voituriez B. Variabilite, circulation et chlorophylle dans la region du dome d'Angola en fevrier - mars 1971. // Doc. Scient. - Centre Rech. - Oceanogr. Abidjan, 1974. - 5, N 1-2. - P. 1-51.
6. Herbland A., Voituriez B. Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the tropical Atlantic Ocean. // J. of Mar. Res. - 1979. - 37, N 1. - P 87-101.
7. Mazeuka P.A. Thermal domes in the eastern tropical Atlantic Ocean. // Limnol. Oceanogr. - 1968. - 12. - P. 537-539.
8. Morel A. Optical propertion and radiant energy waters of the Guinea Dome and the Mauritanian upwelling area in relation to primary production. // Rapp. P.- V. Reun. Cons. Int Explor. Mer. - 1982. - 180. - P. 94-107.
9. Rossignol M., Mergueis A. M. Comagne oceanographique de Gerard Treca. Region comprise entre les iles du Cap Vert et les cotes lu Senegal et de la Guinee (jun 1962). // Office Rech. Scient. Techn. Outre-Mer. Doc. Centre d'Océanographie de Dakar - Thiaroye. - 1964. - 53 p.
10. Voituriez B., Dandonneau Y. Relation entre la structure thermique, la production primaire et la regeneration des sels nutritifs dans le dome de Guinee. // Ser. Oceanogr. - 1974. - 12, N 4. - P. 241-255.
11. Voituriez B., Herbland A. Comparaison des systemes productifs de l'Atlantique Tropical Est: domes thermiques upwellings cotiers et upwelling equatorial. // Rapp. P.- V. Reun. Cons. Int Explor. Mer. - 1982. - 180. - P. 114-130.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 24.02.99

M. V. K I R I K O V A

NITRATE CONTENT IN PHOTOSYNTHETIC LAYER OF THE EAST ATLANTIC TROPICAL ZONES WITH HIGH WATER DYNAMICS

Summary

An analysis of the nitrate stocks variability at dynamic active zones of the East Tropical Atlantic is carried out. The dynamic of waters at zones of Guinean and Angolan dome areas promote lifting of the nitracline to 11-40 m deep. In Equatorial divergency zone the nitrates reach at surface. Absence of considerable seasonal varitions of nitrate stocks in euphotic zone of the domes regions and their presence at equatorial divergence zone are shown. The dependence between layer depth from which oxygen undersaturation is beginning and nitracline position is ascertained ($r = 0,75$).