

УДК 551.465

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕСИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОСТОЧНО-ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АТЛАНТИКИ

© 2020 г. Е. С. Бубнова<sup>1,2,\*</sup>, М. В. Капустина<sup>1,2</sup>, В. А. Кречик<sup>1</sup>, В. В. Сивков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

\*e-mail: [bubnova.kat@gmail.com](mailto:bubnova.kat@gmail.com)

Поступила в редакцию 29.11.2018 г.

После доработки 04.02.2019 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

Исследование посвящено распределению взвешенного вещества и гидролого-гидрохимических параметров в районе океанического апвеллинга — т.н. Гвинейского купола. Он представляет собой стационарный циклонический круговорот диаметром порядка 500 км с центром в районе 10° с.ш. и 22° з.д., формируемый северной ветвью Экваториального противотечения. В ноябре 2016 г. было зафиксировано поднятие изотерм и изогалин до глубины 50 м в северной части купола и повышенная концентрация взвешенного вещества в поверхностном слое океана южнее 8° с.ш., на склоне Гвинейского купола, вплоть до 0.7 мг/л.

**Ключевые слова:** Гвинейский купол, апвеллинг, температура, взвешенное вещество, эоловая взвесь

**DOI:** 10.31857/S0030157420010049

Механизм образования высокопродуктивных областей открытого океана обусловлен поступлением биогенных элементов из глубинных слоев в верхний фотический слой, что провоцирует активное развитие фитопланктона — первой ступени пищевой цепи океана [9, 12]. Из-за сложных процессов, ведущих к изменению форм миграции химических элементов в фотическом слое, принято считать его геохимической барьерной зоной [1].

Выделяют два основных типа поднятия вод — глубинные воды либо достигают поверхности океана, либо не достигают, формируя гидрологические явления, называемые “куполами” [2]. Изучению апвеллингов в целом посвящено большое количество публикаций, но при этом менее продуктивные районы “куполов” остаются значительно менее изученными. Наиболее известны Ангольский купол [19], купол Коста-Рика [32], а также Гвинейский купол (ГК) [24, 30, 31].

Гвинейский купол представляет собой стационарный циклонический круговорот диаметром порядка 500 км с центром в районе координат 10° с.ш. и 22° з.д., формируемый северной ветвью Экваториального противотечения [28]. Поднятие термоклина к поверхности является результатом совместного действия экмановской накачки и миграции зоны внутритропической конвергенции [15, 21] и развивается в период с поздней весны до поздней осени [16, 30, 31]. Как гидрологический объект ГК интересен тем, что это един-

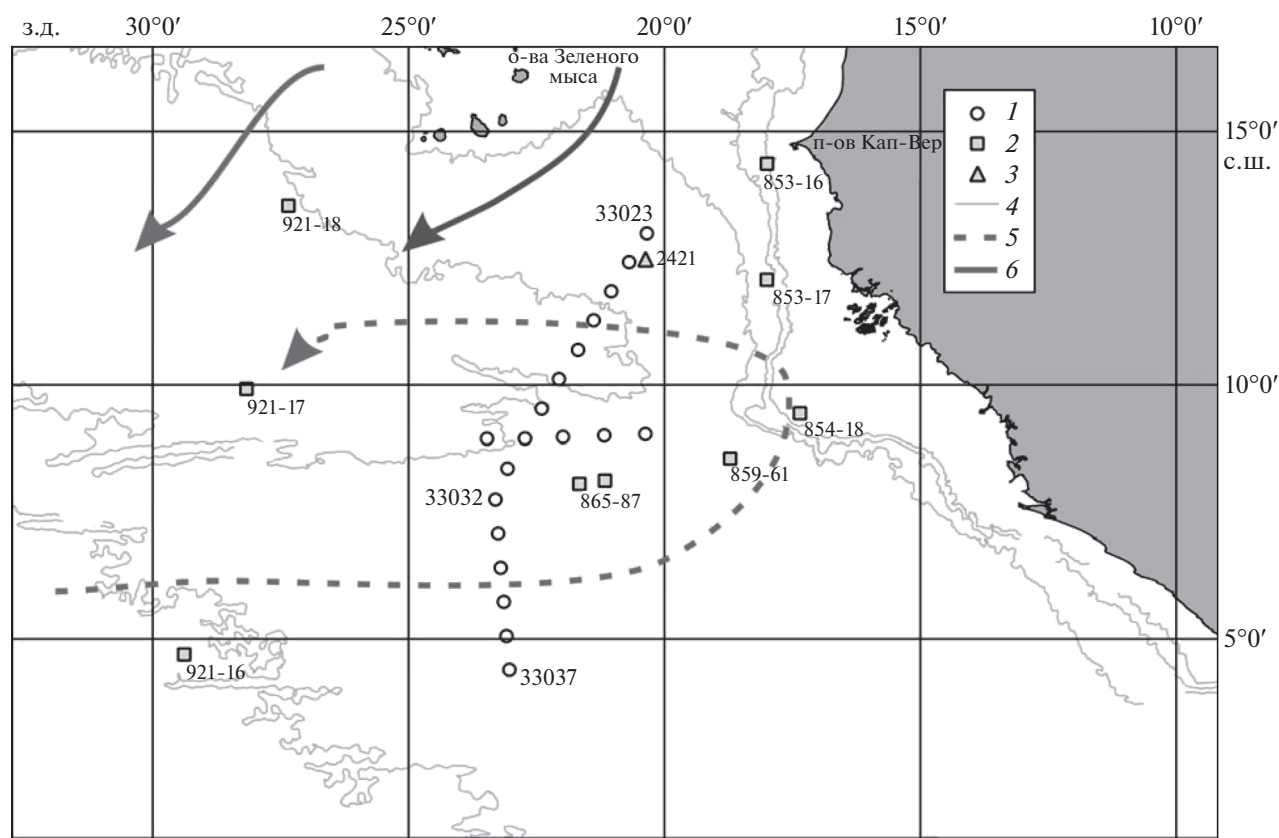
ственный район в центральной Атлантике, где температура поверхности океана (ТПО) напрямую связана с температурой подповерхностного слоя [14, 22], то есть динамика вертикальной структуры купола воздействует на ТПО [33]. Кроме того, колебания подповерхностной температуры ГК осенью (сентябрь–ноябрь) связаны с сезонными колебаниями температуры Атлантической меридиональной циркуляции [14, 26].

Несмотря на высокую степень изученности гидрологических процессов, исследование взвешенного вещества в этом своеобразном районе единичны. Обобщение спутниковых и натурных данных [6] показало, что ГК находится в зоне минимальных значений содержания взвешенного вещества. В статьях [7, 8] поверхностные воды данной акватории названы зоной “чистой” воды с концентрацией взвеси 0.17 и 0.14 мг/л в феврале–мае 2012 и феврале–июне 2014 гг. соответственно.

Целью настоящей работы является изучение распределения взвеси в районе ГК на гидролого-гидрохимическом фоне в поверхностном слое океана, включающем в себя пикноклин.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гидролого-гидрохимические исследования в районе ГК были выполнены в ноябре 2016 г. в 33-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” [11]



**Рис. 1.** Район исследований. Океанологические станции: 1 – 33-й рейс НИС “Академик Николай Страхов”, 2 – 8-й рейс НИС “Академик Иоффе”, 3 – 32-й рейс НИС “Академик Иоффе”; 4 – изобаты, м, 5 – экваториальное противотечение, 6 – Канарское течение.

на субмеридиональном разрезе (16–20.11.2016 г.) от 13 до 4° с.ш. (15 станций). Дополнительно был сделан субширотный гидрологический разрез (06 декабря 2018 г.) по 9° с.ш. от 23.5 до 20°5′ з.д. (5 станций) (рис. 1).

На каждой станции были выполнены STD-зондирования до глубин 400–420 м (зонд STD 90 Sea&Sun Tech) для получения данных по распределению температуры, солености и растворенного кислорода, дискретность измерений составляла 4 Гц. Горизонты для опробования выбирались прицельно по данным STD-зондирования. Пробы воды отбирались, как правило, на трех горизонтах: поверхностном, над пикноклином (термоклин, галоклин) и под ним. Для определения концентрации растворенного кислорода, минерального фосфора и сбора взвешенного вещества отбор проб проводился 10-литровыми батометрами Нискина.

Взвешенное вещество выделялось из воды методом вакуумной фильтрации под давлением 0.4 бар через предварительно взвешенные ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. С каждой пробы воды было получено по три параллельных фильтра, которые помещались в чашки Петри и

сушились при  $t = 50^{\circ}\text{C}$ . Определение концентрации растворенного кислорода производилось по объемному методу Винклера с некоторыми модификациями [10]. Концентрация фосфора фосфатов определялась на цифровом фотоэлектроколориметре КФК-2МП при длине волны 750 нм в соответствии с [23, 29].

Для анализа гидролого-гидрохимических условий привлекались данные судовой метеостанции Fugawi Airmar Weather Station PB 200 и данные реанализа 10-дневного прогноза Atmospheric Model high resolution (HRES).

Полученные данные по взвеси были сопоставлены с данными 8-го рейса (2000 г.) и 32-го рейса НИС “Академик Иоффе” (2010 г.). Построение океанологических разрезов производилось с использованием программного обеспечения Ocean Data View (ODV) [25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования были проведены при типичных для рассматриваемого района и сезона океана метеорологических условиях: ветер – северо-восточных и северных направлений, скорость около

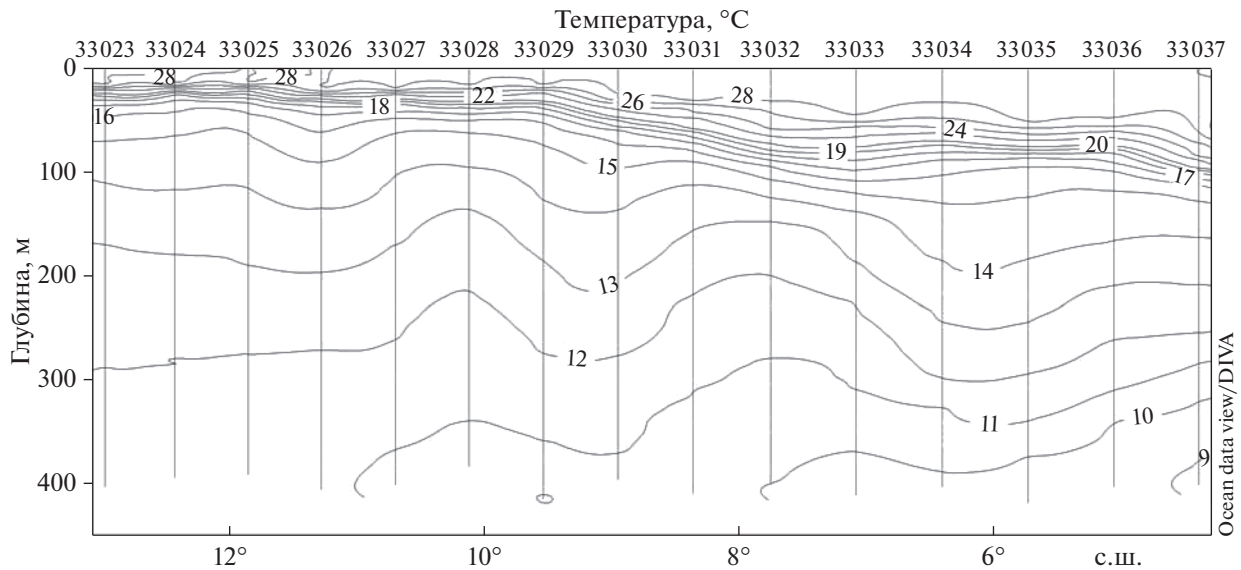


Рис. 2. Распределение температуры на меридиональном разрезе через район Гвинейского купола (16–20.11.2016 г.).

4 м/с; температура воздуха — в среднем около 27°C, меняясь от 23 до 35°C в соответствии с суточным циклом.

**Гидролого-гидрохимические условия.** Вертикальное распределение температуры было двухслойным (рис. 2). Глубина распространения верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) на разных участках основного (субмеридионального) разреза составляла от 16 до 61 м, увеличиваясь с севера на юг. Температура в ВКС изменялась в пределах от 28.1 до 28.4°C. Термоклин, ограничивающий ВКС снизу, имел мощность от 31 до 50 м, возраставшую с севера на юг. Температура в нем уменьшалась от 27 до 16°C, а значения вертикальных градиентов в ядре составляли 0.6–1.0°C/м в северной части разреза и 0.3–0.4°C/м — в его южной части. Ниже термоклина температура постепенно снижалась и достигала 9–10°C на глубине около 400 м. Здесь в ходе изотерм проявились вертикальные волны с периодом около 300 км.

На дополнительном (субширотном) разрезе эти волны не проявились, что указывает на меридиональную ориентацию волнового пакета. Вертикальный градиент температуры в термокLINE со времени выполнения меридионального разреза уменьшился до 0.4–0.52°C/м.

Вертикальное распределение солёности было аналогично распределению температуры. ВКС имел солёность 23.4–23.6 епс в северной части разреза и 23.2–23.4 епс в южной (рис. 3). Галоклин залегал на глубинах от 16–67 до 36–112 м, заглубляясь в южном направлении. Солёность в галокLINE увеличивалась с глубиной до 30 епс. Градиенты в его ядре варьировали от 0.4–1.1 епс/м в северной части разреза до 0.2–

0.3 епс/м в южной его части. Глубже галокLINE солёность продолжала плавно увеличиваться и на глубинах 383–414 м достигала значений 35.1–35.3 епс.

На субширотном разрезе распределение солёности соответствовало данным меридионального разреза. ВКС при мощности 16–26 м имел солёность 23.3–23.6 епс, в галокLINE солёность увеличивалась от 24.5 до 31.0 епс, глубже галокLINE продолжалось ее постепенное увеличение до 35.2 епс на глубине около 400 м.

Содержание растворенного кислорода не поднималось выше 5 мл/л на всем протяжении разреза (рис. 4). Положение оксиклина совпадало с положением пикнокLINE (термокLINE, галокLINE). Также отмечен более резкий градиент концентрации кислорода в северной части разреза по сравнению с южной его частью. Признаки подповерхностного минимума кислорода заметны уже на глубине 300 м, а глубже 400 м зафиксированы минимальные значения содержания кислорода (меньше 0.5 мл/л).

Первичные данные по содержанию растворенного кислорода, концентрации фосфора фосфатов и взвешенного вещества на станциях разреза представлены в табл. 1.

Кроме невысокого содержания растворенного кислорода, воды ВКС отличались низкой концентрацией фосфора фосфатов (неорганического растворенного фосфора), что отвечает классическим представлениям о распределении биогенных элементов в океане. Только на глубинах ниже 50 м концентрация неорганического фосфора превысила значение 0.8 мкг Ат/л (рис. 5).

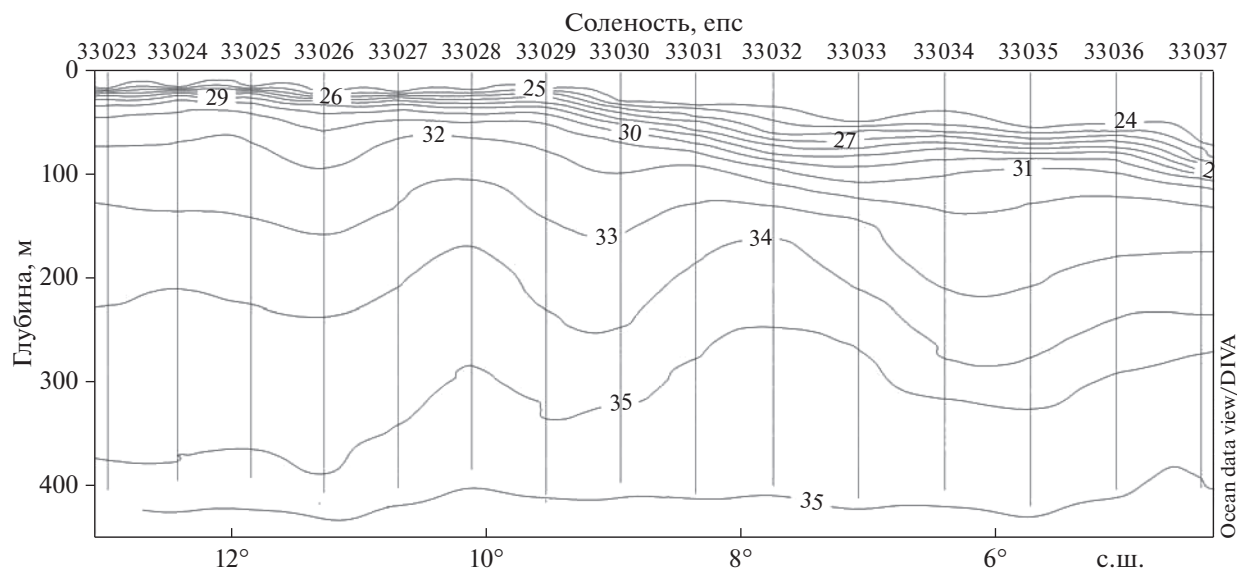


Рис. 3. Распределение солёности на меридиональном разрезе через район Гвинейского купола (16–20.11.2016 г.).

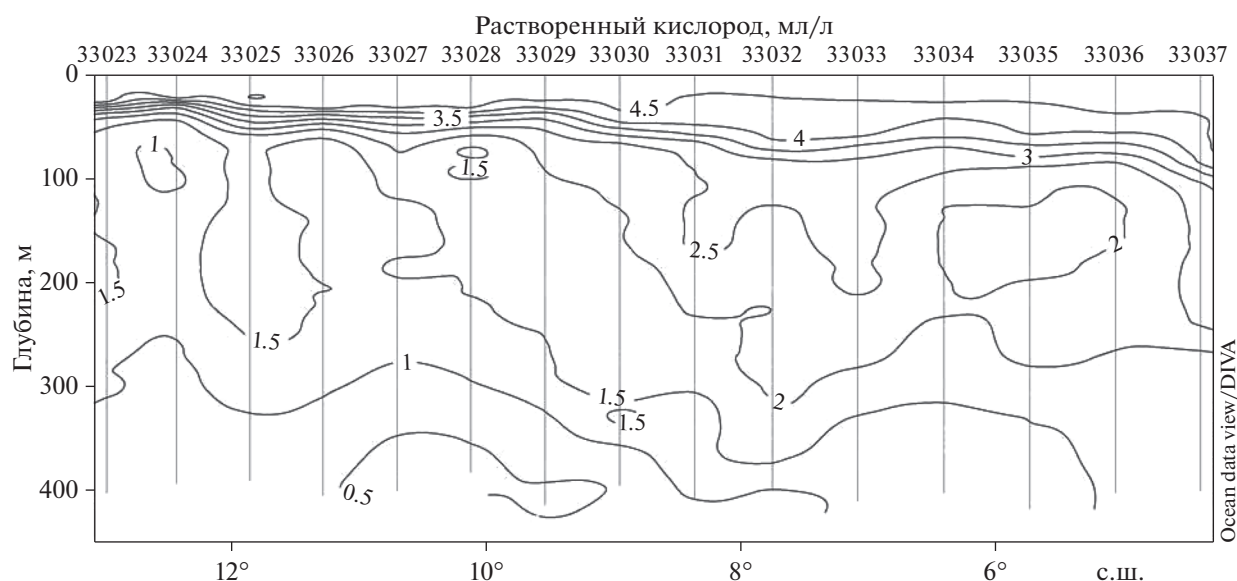


Рис. 4. Распределение содержания растворенного кислорода на меридиональном разрезе через район Гвинейского купола (16–20.11.2016 г.).

**Концентрация взвеси.** Вертикальное распределение взвешенного вещества севернее 8° с.ш. не противоречит представлению о данной зоне как о бедной взвесью части Мирового океана. Данные по распределению взвеси в 8-м рейсе НИС “Академик Иоффе” (2000 г.) подтверждают это, показывая минимальные (ниже 0.1 мг/л) концентрации взвешенного вещества в исследуемой области. Тем не менее, южнее концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое повысилась до 0.7 мг/л (рис. 6), что уже выше среднего значения для Атлантического океана 0.1–0.5 мг/л согласно [6].

Вертикальное распределение взвешенного вещества, полученное в 32-м рейсе НИС “Академик Иоффе”, показывало наличие подповерхностного максимума взвеси на глубине 25 м (рис. 6) и плавное уменьшение концентрации с глубиной с достижением минимума на 50 м.

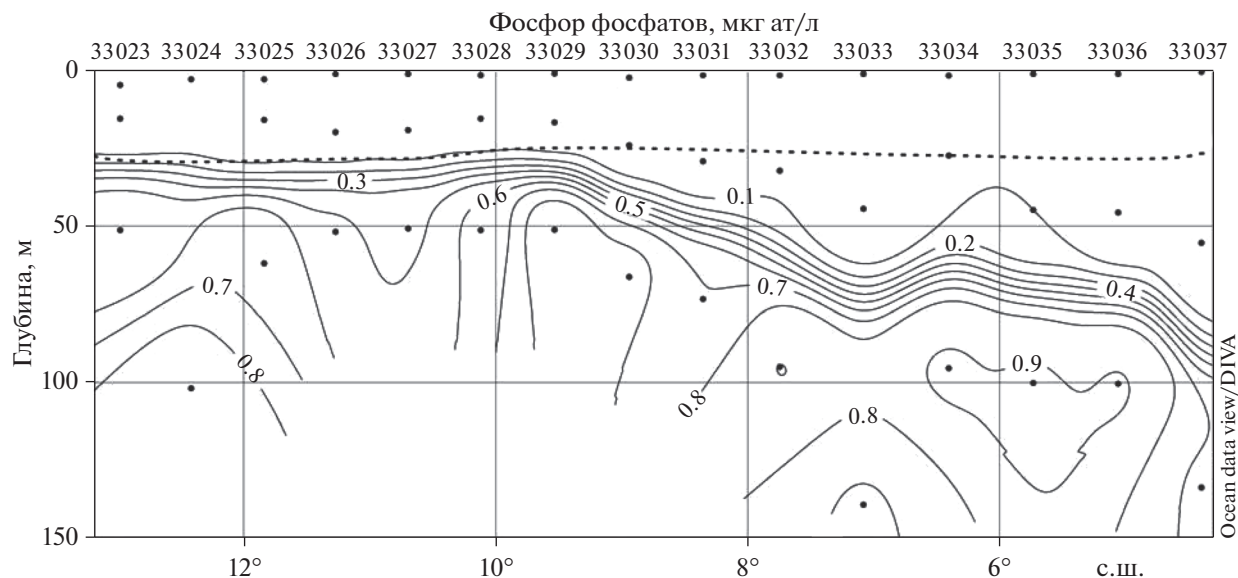
#### ОБСУЖДЕНИЕ

Измерения в 33-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” проводились в ноябре, что не является сезоном для максимального развития Гвинейского купола [30, 31]. Тем не менее, нами бы-

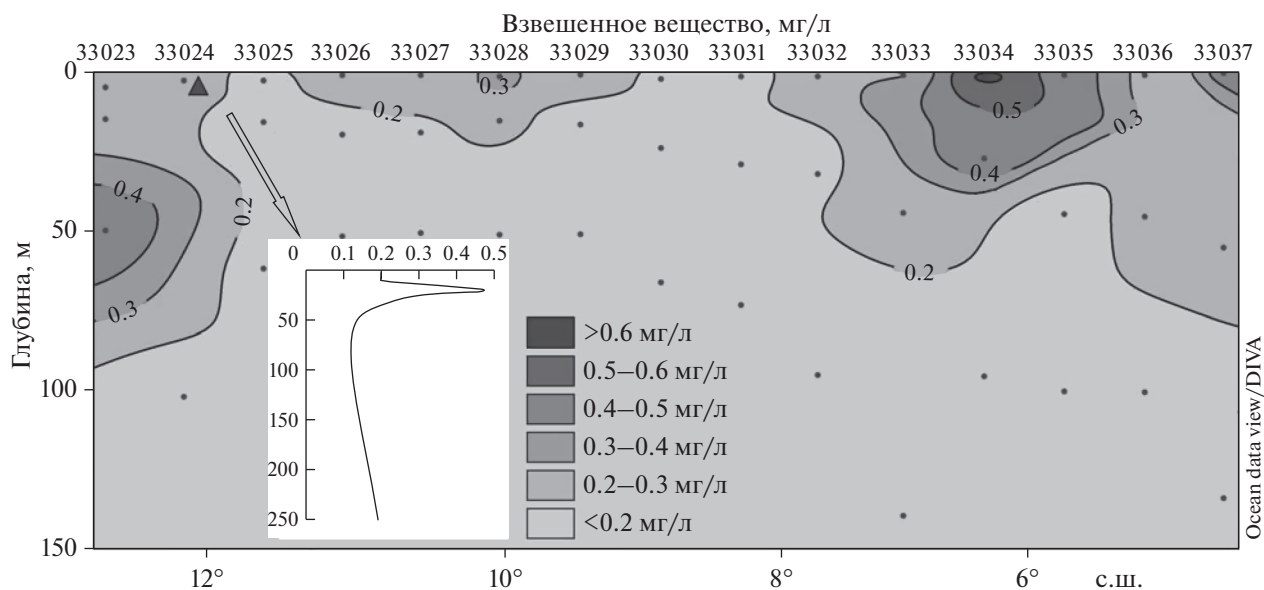
Таблица 1. Гидрохимические показатели и концентрация взвешенного вещества на точках разреза

| Станция  | Дата       | Время UTC | Широта,<br>с.ш. | Долгота,<br>з.д. | Горизонт, м | Взвесь,<br>мг/л | Фосфор<br>фосфатов, мкг/л | Растворенный<br>кислород, мл/л |
|----------|------------|-----------|-----------------|------------------|-------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|
| АНС33023 | 16.11.2016 | 22:22     | 12.98           | 20.34            | 51.3        | 0.4             | 0.56                      | 1.76                           |
|          |            |           |                 |                  | 15.5        | 0.3             | н.п.о.                    | 4.99                           |
|          |            |           |                 |                  | 4.8         | 0.3             | н.п.о.                    | 4.74                           |
| АНС33024 | 17.11.2016 | 5:50      | 12.42           | 20.70            | 101.8       | 0.2             | 0.84                      | 1.88                           |
|          |            |           |                 |                  | 2.9         | 0.3             | н.п.о.                    | 4.92                           |
| АНС33025 | 17.11.2016 | 11:30     | 11.84           | 21.05            | 61.9        | 0.2             | 0.70                      | 1.65                           |
|          |            |           |                 |                  | 15.9        | 0.15            | н.п.о.                    | 4.67                           |
|          |            |           |                 |                  | 3           | 0.1             | н.п.о.                    | 4.78                           |
| АНС33026 | 17.11.2016 | 17:23     | 11.27           | 21.39            | 51.8        | 0.1             | 0.51                      | 2.01                           |
|          |            |           |                 |                  | 19.9        | 0.2             | н.п.о.                    | 4.94                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.3         | 0.3             | н.п.о.                    | 4.71                           |
| АНС33027 | 17.11.2016 | 23:07     | 10.70           | 21.73            | 50.8        | 0.1             | 0.49                      | 1.94                           |
|          |            |           |                 |                  | 19.3        | 0.2             | н.п.о.                    | 4.92                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.3         | 0.2             | н.п.о.                    | 4.83                           |
| АНС33028 | 18.11.2016 | 5:00      | 10.12           | 22.06            | 51.3        | 0.3             | 0.63                      | 1.88                           |
|          |            |           |                 |                  | 15.6        | 0.2             | н.п.о.                    | 4.67                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.6         | 0.2             | н.п.о.                    | 4.67                           |
| АНС33029 | 18.11.2016 | 10:51     | 9.53            | 22.40            | 51.2        | 0.10            | 0.91                      | 2.39                           |
|          |            |           |                 |                  | 16.8        | 0.1             | н.п.о.                    | 5.05                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.1         | 0.2             | н.п.о.                    | 4.97                           |
| АНС33030 | 18.11.2016 | 16:32     | 8.94            | 22.73            | 66.2        | 0.1             | 0.84                      | 2.76                           |
|          |            |           |                 |                  | 24.1        | 0.15            | н.п.о.                    | 4.71                           |
|          |            |           |                 |                  | 2.4         | 0.2             | н.п.о.                    | 4.57                           |
| АНС33031 | 19.11.2016 | 6:00      | 8.36            | 23.07            | 73.4        | 0.1             | 0.70                      | 2.73                           |
|          |            |           |                 |                  | 29.2        | 0.10            | н.п.о.                    | 4.87                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.6         | 0.10            | н.п.о.                    | 5.04                           |
| АНС33032 | 19.11.2016 | 11:38     | 7.75            | 23.31            | 95          | 0.1             | 0.10                      | 3.28                           |
|          |            |           |                 |                  | 32.2        | 0.20            | 0.07                      | 4.98                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.7         | 0.3             | 0.91                      | 4.63                           |
| АНС33033 | 19.11.2016 | 17:35     | 7.08            | 23.25            | 139.1       | 0.2             | н.п.о.                    | 3.55                           |
|          |            |           |                 |                  | 44.5        | 0.2             | н.п.о.                    | 4.73                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.2         | 0.25            | 0.70                      | 4.81                           |
| АНС33034 | 19.11.2016 | 23:31     | 6.40            | 23.20            | 95.4        | 0.15            | 0.91                      | 2.73                           |
|          |            |           |                 |                  | 27.4        | 0.6             | 0.10                      | 4.80                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.8         | 0.7             | н.п.о.                    | 4.77                           |
| АНС33035 | 20.11.2016 | 5:29      | 5.74            | 23.13            | 100.1       | 0.1             | 0.91                      | 2.21                           |
|          |            |           |                 |                  | 44.9        | 0.1             | 0.10                      | 4.48                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.3         | 0.45            | н.п.о.                    | 4.73                           |
| АНС33036 | 20.11.2016 | 11:30     | 5.06            | 23.08            | 100.4       | 0.2             | 0.91                      | 1.86                           |
|          |            |           |                 |                  | 45.6        | 0.25            | н.п.о.                    | 4.76                           |
|          |            |           |                 |                  | 1.3         | 0.3             | н.п.о.                    | 4.80                           |
| АНС33037 | 20.11.2016 | 17:32     | 4.40            | 23.03            | 133.6       | 0.0             | 0.70                      | 2.98                           |
|          |            |           |                 |                  | 55.4        | 0.2             | н.п.о.                    | 5.22                           |
|          |            |           |                 |                  | 0.6         | 0.4             | н.п.о.                    | 4.78                           |

Примечание. Пометка "н.п.о." означает, что количество растворенного неорганического фосфора в воде были ниже порога определения.



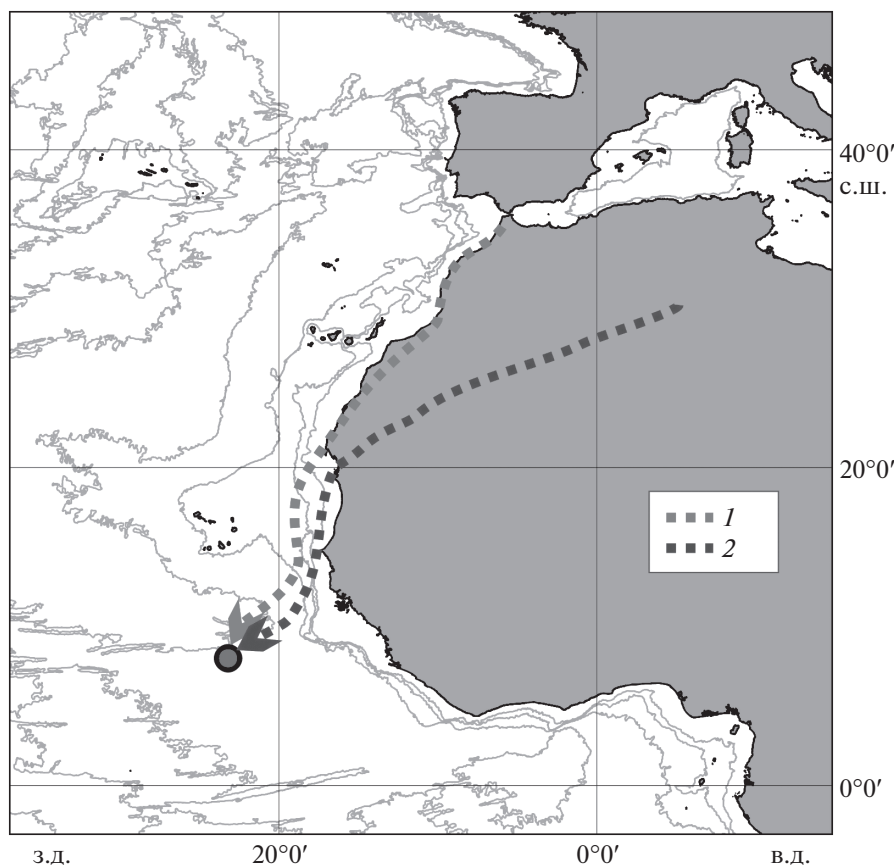
**Рис. 5.** Распределение концентрации фосфора фосфатов на меридиональном разрезе через район Гвинейского купола. Пунктирной линией обозначена нижняя граница эвфотического слоя (по [18]) (16–20.11.2016 г.).



**Рис. 6.** Распределение концентрации взвешенного вещества на меридиональном разрезе через район Гвинейского купола (16–20.11.2016 г.). На врезке показано вертикальное распределение объемной концентрации взвеси ( $\text{мм}^3/\text{л}$ ) по глубине (м) на ст. 2421 32-го рейса НИС “Академик Иоффе”, (отмечена треугольником).

ло зафиксировано поднятие изотерм и изогалин до глубины 50 м в северной части разреза. По [18] средняя глубина эвфотического слоя составляет 30–40 м, то есть наблюдаемого поднятия пикноклина было недостаточно для поступления вод, богатых биогенными элементами (в частности, минеральным фосфором), в слой фотосинтеза для развития фитопланктона. Это подтверждается работой [12], где упоминается подповерхностный

максимум хлорофилла *a*, который был зафиксирован на глубине 16–30 м, над верхней границей термоклина. Подповерхностный максимум концентрации взвеси также наблюдался в 32-м рейсе НИС “Академик Иоффе” (рис. 6, врезка). Концентрация взвеси в поверхностном слое на большей части станций разреза превышает 0.2 мг/л, что может означать, что период развития купола закончился недавно.



**Рис. 7.** Генерализированные обратные траектории воздушных масс (модель HYSPLIT) за период 12–19.11.2016 г. Звездочкой обозначена точка начала расчетов: океанологическая станция 33023 (на уровне моря). 1 – траектория с западного побережья Африки (расчетная стартовая высота воздушных масс от поверхности до 2000 м), 2 – траектория из пустыни Сахара (расчетная стартовая высота воздушных масс от поверхности до 3500 м).

Тем не менее, в южной части меридионального разреза южнее  $8^\circ$  с.ш. было зафиксировано увеличение концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое, что не может быть вызвано апвеллингом ввиду заглубленного пикноклина.

В районе исследований на период, предшествующий съемке, преобладающим направлением ветра было северо-восточное, что соответствует генеральному направлению переноса в зоне Внутритропической конвергенции. Для аридных зон Атлантического океана одним из основных источников взвешенного вещества является эоловый перенос частиц из Западной Африки [5], а согласно данным [4], в полосе от  $8^\circ$  ю.ш. до  $16^\circ$  с.ш. в 2005 г. наблюдались максимальные значения концентрации аэрозолей, связанные с переносом частиц в северном и северо-восточном направлении. Рассчитанные 7-ми дневные обратные траектории с помощью модели HYSPLIT [27] для точки с пиковой концентрацией взвешенного вещества (33034) в исследуемый период демонстрируют возможность эолового переноса материала в район Гвинейского купола (рис. 7) как из

Западной, так и из Центральной Африки. Исходной точкой для расчета обратных траекторий была выбрана станция 33032, где впервые было обнаружено повышение концентрации взвешенного вещества.

Таким образом, наблюдаемые высокие концентрации взвеси в поверхностном слое могут быть связаны с атмосферным переносом терригенного материала северо-восточными пассатами и его сухим или влажным осаждением на поверхность океана во внутритропической зоне конвергенции [3, 13]. В работе [17] отмечалось, что преобладающими элементами во взвешенном осадочном веществе в поверхностных водах этого региона являются алюминий и железо, которое является необходимым биогенным элементом для развития фитопланктона и лимитирующим фактором для первичной продукции в открытых областях океана [20]. Повышение хлорофилла *a* в исследуемом районе на момент 33-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” проявляется на спутниковых снимках (до  $11 \text{ мг/м}^3$ ) по данным спутникового сканирующего спектрометра

MODIS-Aqua, обработанных по алгоритму Ocean-Color Web — Chlorophyll *a* [[https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor\\_a/](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/)].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, район Гвинейского купола был исследован в период сразу после окончания периода развития океанического апвеллинга. Концентрация взвешенного вещества на поверхности превышали 0.2 мг/л, однако повышенные концентрации фосфора в поверхностном слое океана уже не были зафиксированы.

Одним из основных результатов работы является обнаруженная повышенная концентрация взвешенного вещества южнее 8° с.ш., на “склоне” Гвинейского купола, вплоть до 0.7 мг/л.

Данное повышение концентрации вызвано активным влажным и сухим осаждением эоловой взвеси, поступившей с территории Африки (пустыня Сахара и западное побережье континента), а также остаточным влиянием развивавшегося в данном районе апвеллинга. Таким образом, локальный максимум взвешенного вещества представлен как терригенными, так и органогенными частицами.

**Благодарности.** Авторы благодарят NOAA Air Resources Laboratory (ARL) за предоставление модели HYSPLIT и веб-сайта READY (<http://www.ready.noaa.gov>) для написания данной публикации.

**Источники финансирования.** Сбор натуральных данных в 33-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” осуществлялся при поддержке гранта РНФ № 14-50-00095, интерпретация полученных результатов — в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане: Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград: Янтарный Сказ, 1998. 416 с.
2. Кирикова М.В. Содержание нитратов в слое фотосинтеза в динамически активных зонах восточной части тропической Атлантики // Экология моря. 1994. № 4. С. 32–35.
3. Клювиткин А.А., Зернова В.В., Кравчишина М.Д. и др. Распределение фитопланктона и взвеси в Атлантическом океане в октябре–ноябре 2002 г. // Комплексные исследования Мирового океана — проект “Меридиан”. Ч. I. М.: Наука, 2008. С. 270–294.
4. Клювиткин А.А. Атмосферные аэрозоли и осадко-накопление в аридных зонах Атлантического океана // Докл. РАН. 2008. Т. 421. №. 1. С. 111–115.
5. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
6. Лисицын А.П., Клювиткин А.А., Буренков В.И. и др. Распределение и состав взвешенного осадочного вещества на меридиональных разрезах в Атлантическом океане: прямые определения и спутниковые данные // Докл. РАН. 2016. Т. 466. № 2. С. 221–224.
7. Немировская И.А., Кравчишина М.Д. Изменчивость взвеси и органических соединений в поверхностных водах атлантического и южного океанов (по материалам экспедиционных исследований в 57-й РАЭ) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. №. 1. С. 31–43.
8. Немировская И.А., Кравчишина М.Д., Лисицын А.П., Артемьев В.А. Особенности состава органических соединений и взвеси в снежно-ледяном покрове припайных антарктических льдов // Докл. РАН. 2013. Т. 453. № 5. С. 534–534.
9. Парин Н.В., Нейман В.Г., Рудяков Ю.А. К вопросу о биологической продуктивности вод в районах подводных поднятий открытого океана // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. М.: Наука, 1985. С. 192–203.
10. Современные методы гидрохимические исследований океана. М.: ИО РАН, 1992. 199 с.
11. Сивков В.В., Пейве А.А., Бубнова Е.С. и др. Комплексные исследования в 33-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” // Океанология. 2019. Т. 59. № 2. С. 305–307.
12. Финенко З.З. Первичная продукция в районах поднятия океанического дна в Северной части Атлантического океана // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. 1985. С. 184.
13. Chester R., Elderfield H., Griffin J.J. et al. Eolian dust along the eastern margins of the Atlantic Ocean // Marine Geology. 1972. V. 13 (2). P. 91–105.
14. Dewitte D.G., Schneider E.K. Diagnosing the annual cycle modes in the tropical Atlantic Ocean using a directly coupled atmosphere-ocean GCM // J. Clim. 2006. V. 19. P. 5319–5342.
15. Doi T., Tozuka T., Yamagata T. Interannual variability of the Guinea Dome and its possible link with the Atlantic Meridional Mode // Climate Dynamics. 2009. V. 33 (7–8). P. 985–998.
16. Doi T., Tozuka T., Yamagata T. The Atlantic meridional mode and its coupled variability with the Guinea Dome // J. Clim. 2010. V. 23 (2). P. 455–475.
17. Helmers E. Trace metals in suspended particulate matter of Atlantic Ocean surface water (40 N to 20 S) // Marine Chemistry. 1996. V. 53 (1–2). P. 51–67.
18. Lorenzen C.J. Extinction of light in the ocean by phytoplankton // ICES Journal of Marine Science. 1972. V. 34 (2). P. 262–267.
19. Mazeika P.A. Eastward flow within the South Equatorial Current in the eastern South Atlantic. Journal of Geophysical Research. 1968. V. 73 (18). P. 5819–5828.
20. Martin J.H., Fitzwater S.E. Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic // Nature. 1988. V. 331 (6154). P. 341.
21. McClain C.R., Firestone J. An investigation of Ekman upwelling in the North Atlantic // J. Geophys. Res.: Oceans. 1993. V. 98 (C7). P. 12327–12339.
22. Moron V., Robertson A.W., Ward M.N. Seasonal predictability and spatial coherence of rainfall characteristics



- in the tropical setting of Senegal // *Mon. Weather Rev.* 2006. V. 134. P. 3248–3262.
23. *Murphy J., Riley J.P.* A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters // *Analytica Chimica Acta.* 1962. V. 27. P. 31–36.
  24. *Rossignol M., Meyrueis A.M.* Campagne océanographique du Gérard-Tréca (juin 1962): étude des masses d'eau et de la circulation dans l'Atlantique oriental (région comprise entre les îles du Cap-Vert et la côte du Sénégal et de Guinée) // *Cent. Oceanogr. Dakar-Thiaroye, ORSTOM, Dakar, Senegal.* 1964. V. 53. 57 p.
  25. *Schlitzer R.* Ocean Data View, odv.awi.de, 2018.
  26. *Siedler G., Zangenberg N., Onken R.* Seasonal changes in the tropical Atlantic circulation: Observation and simulation of the Guinea Dome // *J. Geophys. Res.: Oceans.* 1992. V. 97 (C1). P. 703–715.
  27. *Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., et al.* NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2015. V. 96. P. 2059–2077.  
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
  28. *Stramma L., Hüttl S., Schafstall J.* Water masses and currents in the upper tropical northeast Atlantic off northwest Africa // *J. Geophys. Res.: Oceans.* 2005. V. 110 (C12).
  29. *Sugawara K.* On the Preparation of CSK Standards for Marine Nutrient Analysis. SCOR (ICSU), IOC. 1969, 56 p.
  30. *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. V. 12 (4). P. 241–255.
  31. *Voituriez B., Herbland A.* Comparaisons des systèmes productifs de l'Atlantique Tropical Est: Dômes thermiques, upwellings côtiers et upwelling équatorial. 1982.
  32. *Wyrčki K.* Upwelling in the Costa Rica dome // *Fish. Bull.* 1964. V. 63 (2). P. 355–372.
  33. *Yu L., Jin X., Weller R.A.* Role of net surface heat flux in seasonal variations of sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean // *J. Clim.* 2006. V. 19 (23). P. 6153–6169.

## Suspended Matter Distribution in the Surface Layer of the East-Equatorial Atlantic

E. S. Bubnova<sup>a, b, #</sup>, M. V. Kapustina<sup>a, b</sup>, V. A. Krechik<sup>a</sup>, V. V. Sivkov<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: bubnova.kat@gmail.com*

The research is dedicated to the suspended particulate matter (SPM) distribution and the hydrology-hydrochemical conditions within the oceanic upwelling – so-called Guinean Dome. This dome is a 500 km diameter stable cyclonic eddy, which center is located at 10° N and 22° W. It was formed owing to northern branch of the Equatorial Counter Current activity. The cruise in November 2016 allowed observing the rise of isotherms and isohalines up to 50 m was at the northern part of the dome, as well as the high SPM concentration (up to 0.69 mg/L) in the ocean surface layer to the south from 8° N.

**Keywords:** Guinea Dome, upwelling, temperature, suspended particulate, matter, aeolian particulate matter