

УДК 504.42

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РАЗЛИЧНЫХ АКВАТОРИЯХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

М.М. Моноушко, к.геогр.н., доц.

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, monuyshko@yandex.ua

В статье рассматриваются основные закономерности распределения биогенных элементов в соответствии с растворенным в воде кислородом и гидрологическими характеристиками морской среды. Проведена оценка количественного переноса биогенных веществ системой течений. Рассчитано весовое количество фосфатов переносимых потоком в единицу времени.

Ключевые слова: биогенные вещества, кислородный минимум, акватория, течения, расход воды.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для исследования пространственного распределения биогенных веществ взяты три основные формы содержания их в морской среде: фосфаты, нитраты, силикаты. Именно эти соединения в водах океана имеют решающее значение для развития жизни. Количество углекислоты в воде океана всегда достаточно высокое за счет поступления CO_2 из атмосферы и производства морскими растительными организмами. В то же время содержание фосфатов, нитратов и силикатов часто понижено вследствие интенсивного потребления и недостаточно быстрого образования и обычно лимитируют развитие жизни в океане. Восполнение запасов этих питательных веществ в океане происходит при восстановлении их бактериями из отмерших в верхних слоях и погружающихся в виде детритного (мертвого) «дождя» остатков организмов. Такой рассеянный «источник» вещества в толще океана пока мало изучен. Работа является актуальной, т.к. имеет необходимость в изучении составляющих морской экосистемы, которые связаны с гидробиологическими, экологическими исследованиями и в промышленных целях. Увеличение в поверхностных водах биогенных веществ вызывает развитие фитопланктона, обуславливающее богатство других форм животной жизни, в частности рыб. Такие места привлекают рыболовецкие флотилии разных стран. Поскольку развитие планктона тесно связано с содержанием биогенных веществ, распределение последних в поверхностном слое океана коррелируется с распределением в океане планктона.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных материалов в работе использованы данные Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA). Исходными материалами являются данные натурных экспедиционных исследований по содержанию трех форм биогенных веществ (нитраты, фосфаты, силика-

ты), растворенного в воде кислорода, гидрофизических характеристик моря (температура, соленость). На различных разрезах, которые представлены на рис. 1 с помощью программного продукта OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.3 - 2015) построены карты пространственного распределения биогенных веществ, растворенного в воде кислорода, температуры и солености морской воды.

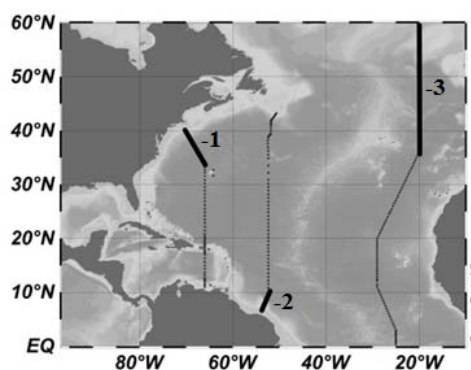


Рис. 1 – Схема разрезов: 1 – через течение Гольфстрим; 2 – Гвианское течение, 3- Северо-Атлантическое течение.

Программа OCEAN DATA VIEW (ODV) предназначена для обработки и визуализации океанологических данных и удобна для хранения больших объемов данных по гидрофизическим и гидрохимическим показателям морской среды. ODV поддерживает пять различных картографических проекций и может быть использована для получения высококачественных морских карт. ODV-формат обеспечивает хранение огромной коллекции данных с миллионами станций. Достоинства программы состоит в отображении данных ряда станций в виде диаграмм рассеивания, разрезов, поверхностей, построение разности полей различных характеристик [4]. В данной работе для оценки количественного переноса биогенных веществ с помощью программного продукта ODV вычислены геострофические скорости течений.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Один из районов исследований находится в области Северо-Атлантического течения, восточнее Срединно-Атлантического хребта, где течение разделяется – одна из ветвей направляется на северо-восток (она образует восточную периферию субполярного циклонического круговорота), а другая продолжает движение на восток. Деление этой ветви происходит на широте Бискайского залива. Северный край течения поворачивает к северу и проходит западнее Великобритании и Ирландии, а южный край летом примерно от 45-46° с.ш. направляется к югу, образуя Португальское течение, которое далее на юг переходит в Канарское. Вертикальное распределение кислорода в 4000-метровой толще вод характеризовались уменьшением его содержания до минимума в промежуточной водной массе на глубинах 500-1100 м. Глубина залегания слоя кислородного минимума наблюдалась по всему разрезу от южного края Северо-Атлантического течения до восточной периферии циклонического круговорота. В распределении фосфатов наблюдается увеличение биогенных веществ с глубиной, максимальные их величины зарегистрированы на глубине 4000 м и составляют более 1,45 $\mu\text{mol/l}$ (рис.3.2). В слое 0-4000 м концентрации фосфатов изменяются в пределах 0,1-1,45 $\mu\text{mol/l}$. Такая же тенденция наблюдается и в распределении нитратов, где зарегистрировано увеличение биогенных веществ с глубиной. (0,5- 22,0 $\mu\text{mol/l}$).

Анализируя зональное распределение нитратов, показано, что содержание биогенов увеличивается в поверхностной водной массе с юга на север (0,4-5,0 $\mu\text{mol/l}$). В пространственном распределении силикатов, фосфатов и нитратов прослеживаются некоторые идентичные закономерности. В распределении силикатов также характерна тенденция увеличения концентраций биогенных веществ с глубиной по всему разрезу в слое 0-4000 м, где величины изменяются в пределах 0,7-40,0 $\mu\text{mol/l}$ (рис.2). На карте пространственного распределения силикатов на разрезе через Северо-Атлантическое течение хорошо видно, что в глубинной водной массе (>2000 м) наблюдается резкое увеличение градиентов концентраций биогенных веществ. Данную акваторию можно разбить на три зоны градиента (рис.2): верхнюю в слое 0-1000 м (0,008 $\mu\text{mol/l}\cdot\text{m}^{-1}$); промежуточную в слое 1000-2000 м (0,004 $\mu\text{mol/l}\cdot\text{m}^{-1}$); нижнюю 2000-4000 м (0,013 $\mu\text{mol/l}\cdot\text{m}^{-1}$).

Т.е. наиболее однородным распределением силикатов характеризуется слой 1000-2000 м (10-14 $\mu\text{mol/l}$) (рис.2). Далее с глубиной концентрации кремния резко увеличиваются и на глубине 4000 м достигают 40 $\mu\text{mol/l}$.

Интересно отметить локальное увеличение кисло-

рода на глубине 1700-2800 м в районе топографических возвышенностей между 42-54 °с.ш., где концентрации достигают 6,1 мл/л. Если рассматривать распределение кислорода по глубине на данной широте, концентрации на поверхности наблюдаются меньшие (5,8-5,9 мл/л) чем на глубинах 1700-2800 м (рис.2).

Далее с глубиной прослеживается уменьшение растворенного в воде кислорода, и уже на глубине 4000 м составляет 5,6 мл/л. Т.е. максимальные концентрации кислорода на разрезе через Северо-Атлантическое течение наблюдаются как раз между зонами топографических поднятий (рис.2). В районе 60 °с.ш. на глубине 2000 м также отмечено максимальное содержание кислорода до 6,4 мл/л, которое наблюдается в зоне топографического поднятия. Такое локальное увеличение растворенного в воде кислорода на промежуточной глубине можно объяснить только поступлением его из литосферы в зонах разломов. Данный разрез через Северо-Атлантическое течение, на котором были проведены исследования по распределению биогенных веществ и растворенного в воде кислорода как раз находится в зоне Срединно-Атлантического хребта, который является наиболее активной тектонической зоной планеты, где происходит выделения газов с дегазацией мантии, магматическими породами и ювенильной водой при создании земной коры.

В Гвианском течении в фотической зоне наибольшие концентрации биогенных веществ наблюдаются в прибрежной и шельфовой акватории Южной Америки, в районе материкового склона на глубине 80-100 м (рис.3).

Повышенные концентрации биогенных веществ в шельфовой зоне Южной Америки обычно связывают в первую очередь с речным и материковым стоком. Основным источником фосфора в океане считается материковый сток в виде поверхностного речного стока [3]. Однако существует и подземный сток вдоль продолжения русла (разлом) в шельфовой зоне. Влияние подземного стока вдоль материкового склона очевидно – 0,4 $\mu\text{mol/l}$ в слое 90-100 м на фоне 0,05 $\mu\text{mol/l}$ в слое 0-30 м.

Речные воды переносят элементы не только в виде истинных растворов, но и в виде тонкодисперсной мути. Поступление нитратов и силикатов в океан также происходит за счет речного стока, эолового выноса терригенного материала, вулканической деятельности, обмена с атмосферой.

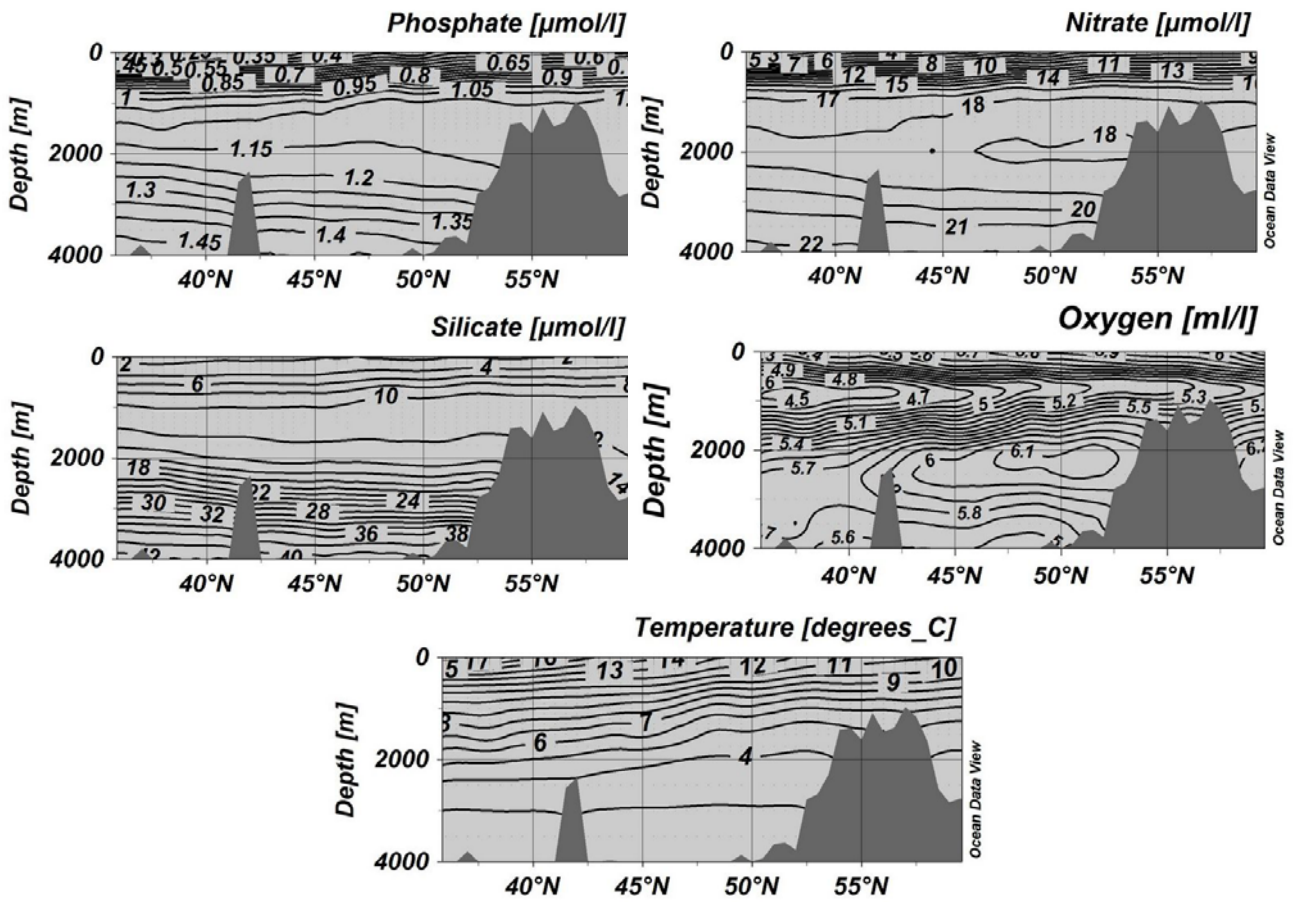


Рис. 2 – Пространственное распределение гидрологических и гидрохимических характеристик на разрезе через Северо-Атлантическое течение (июль 2008г.).

Анализ вертикального распределения (0-2000 м) гидрохимических характеристик на разрезе через Гвианское течение показывает, что слой кислородного минимума расположен на глубине 300-700 м. Прежде всего, обращают на себя внимание чрезвычайно низкие концентрации кислорода (2,9-3 мл/л), где отмечается несколько замкнутых ядер пониженного содержания (рис. 3), наличие которых можно объяснить следующим образом. Во-первых, они могут явиться следствием колебания гидрологических характеристик в прибрежном районе Африки, где формируются воды с самым низким содержанием кислорода во всей Северной Атлантике. Но каким образом осуществляется этот перенос водных масс обедненных кислородом на расстоянии более 3000 км, вопрос остается открытым. Необходимо течение с востока на запад на глубинах 300-700 м. Возможно, эти воды локального происхождения. Если предположить, что при движении к западу, Северное Пассатное течение меандрирует, то в сечении на продольном разрезе это может привести к появлению замкнутых изолиний

гидрохимических характеристик.

Как известно, экваториальная область Атлантики характеризуется сложной системой горизонтальной и вертикальной циркуляции, которая накладывает отпечаток и на характер распределения кислорода, в частности на глубинах 100-200 м, где проходит Антило-Гвианское противотечение. В связи с тем, что противотечение идет в районе устойчивых пассатных ветров, оно обычно наблюдается в подповерхностном слое [1]. На 4-10 °с.ш. оно дает начало Межпассатному противотечению. Однако часть его вод в подповерхностном слое продвигается к экватору. Вертикальные градиенты концентраций кислорода вследствие интенсивного перемешивания ниже глубины 300 м и до 700 м малы, в то время как выше и ниже этого слоя наблюдаются большие градиенты концентраций (рис.3).

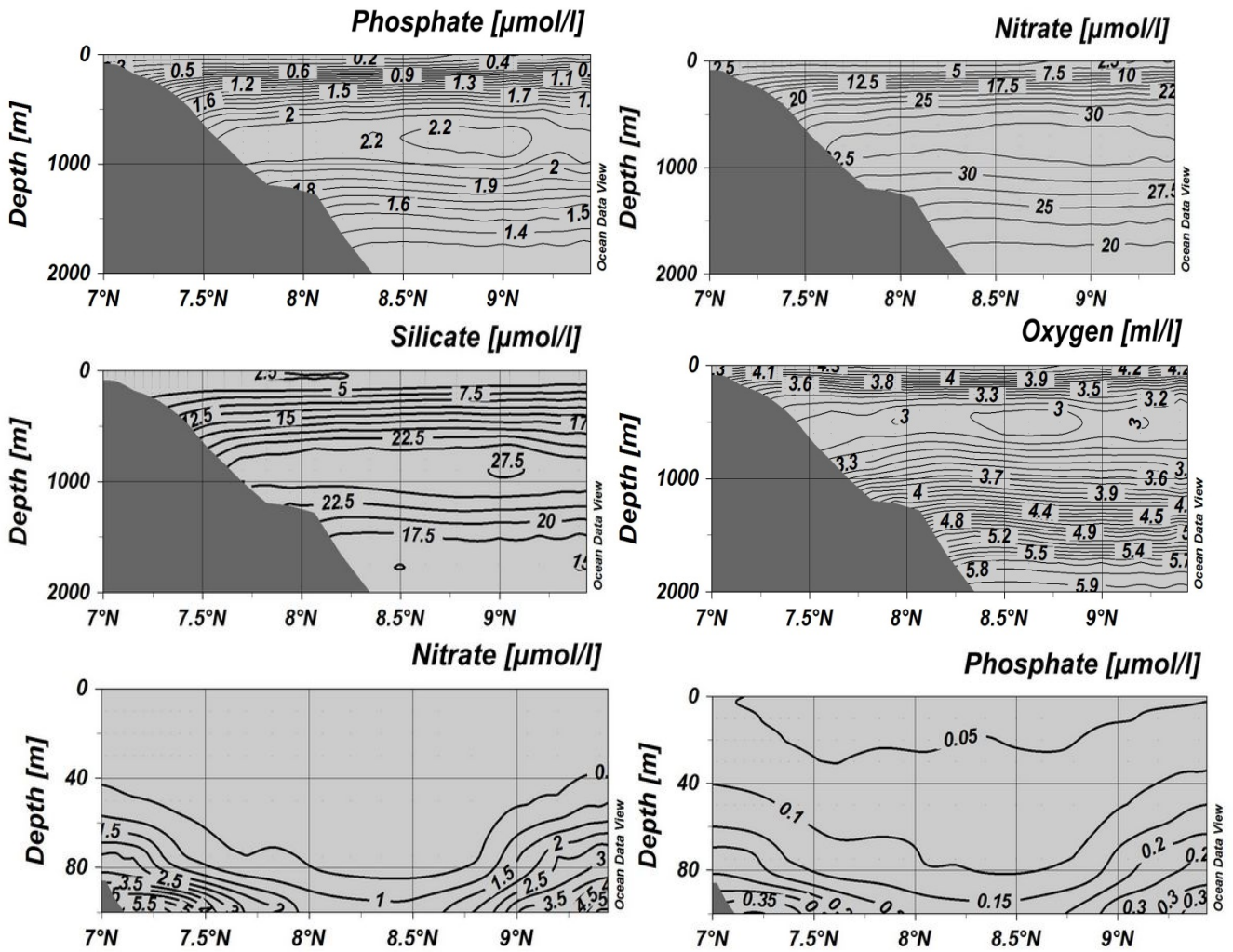


Рис.3 – Пространственное распределение гидрохимических характеристик на разрезе через Гвианское течение в слое 0-100 и 0-2000 м (октябрь 2008г.)

Существование зоны наименьших градиентов кислорода приводит к «сжатию» сверху слоя с содержанием кислорода $>3,1$ мл/л, а снизу аналогичное действие оказывает, вероятно, восходящее движение глубинных вод. Благодаря этому слой минимума кислорода, околтуренный изолинией $3,1$ мл/л, имеет ограниченную, четкую толщину 300-700 м (рис.3.11). Рассчитанные градиенты имеют такой порядок: в верхнем слое (0-300 м) – $0,004$ мл/л·м⁻¹; в нижнем слое (700-2000 м) рассчитанный градиент в два раза меньше – $0,002$ мл/л·м⁻¹; в слое минимума кислорода (300-700 м) градиент равен нулю при значении кислорода $\leq 3,1$ мл/л·м⁻¹.

Обращает на себя внимание почти полное отсутствие верхнего однородного слоя и быстрое нарастание дефицита кислорода с глубиной. Эта особенность является результатом сочетания высоких скоростей биохимического потребления кислорода в верхнем слое с существованием на малых глубинах

очень резкого слоя скачка плотности, который резко

затрудняет поступление кислорода в нижележащие слои. С удалением от берега скорости потребления кислорода уменьшаются, слой скачка становится менее развитым, поэтому и вертикальные градиенты кислорода значительно уменьшаются, а толщина однородного слоя возрастает. В распределении биогенных веществ наблюдаются максимальные концентрации нитратов ($34-35 \mu\text{mol/l}$) и фосфатов ($2,1-2,2 \mu\text{mol/l}$) в слое кислородного минимума. Интересно отметить также распределение силикатов по глубине. Обычно в распределении силикатов в различных акваториях, характерна тенденция увеличения концентраций с глубиной. В исследуемой же акватории максимальные концентрации силикатов наблюдаются в слое 750-1100 м (под слоем кислородного минимума) и достигают максимальных значений $26-28 \mu\text{mol/l}$ (рис.3). Далее с увеличением глубины, концентрации заметно уменьшаются и уже на горизонте

2000 м составляют $15 \mu\text{mol/l}$ (рис.3).

На западном участке антициклонического круговорота район исследований находился в зоне течения Гольфстрим. В распределении биогенных веществ и растворенного в воде кислорода в верхней фотической зоне прослеживается интересная закономерность в ходе изолиний (рис.4). На разрезе через Гольфстрим в районе материковой отмели в прибрежных водах наблюдается одинаковое распределение изолиний всех рассматриваемых биогенных веществ, растворенного в воде кислорода и хорошо согласуется с распределением температуры воды (рис.4.). Наибольшие концентрации всех биогенных веществ приурочены к прибрежным водам Гольфст-

рима и содержатся в слое 90-100 м (рис.4). Также в этом слое отмечено минимальное содержание кислорода ($4,0 \text{ мл/л}$), которое согласуется с распределением температуры воды. В распределении температуры воды в прибрежных водах наблюдается резкий наклон изотерм, которые характеризуются пониженными значениями температуры воды ($14-15 \text{ }^\circ\text{C}$), т.к. с северо-запада от потока Гольфстрима на материковой отмели располагаются опресненные и более холодные прибрежные воды. Далее, по мере приближения к Саргассовому морю, концентрации биогенных веществ уменьшаются, т.к. данная акватория характеризуется низкой биологической продуктивностью.

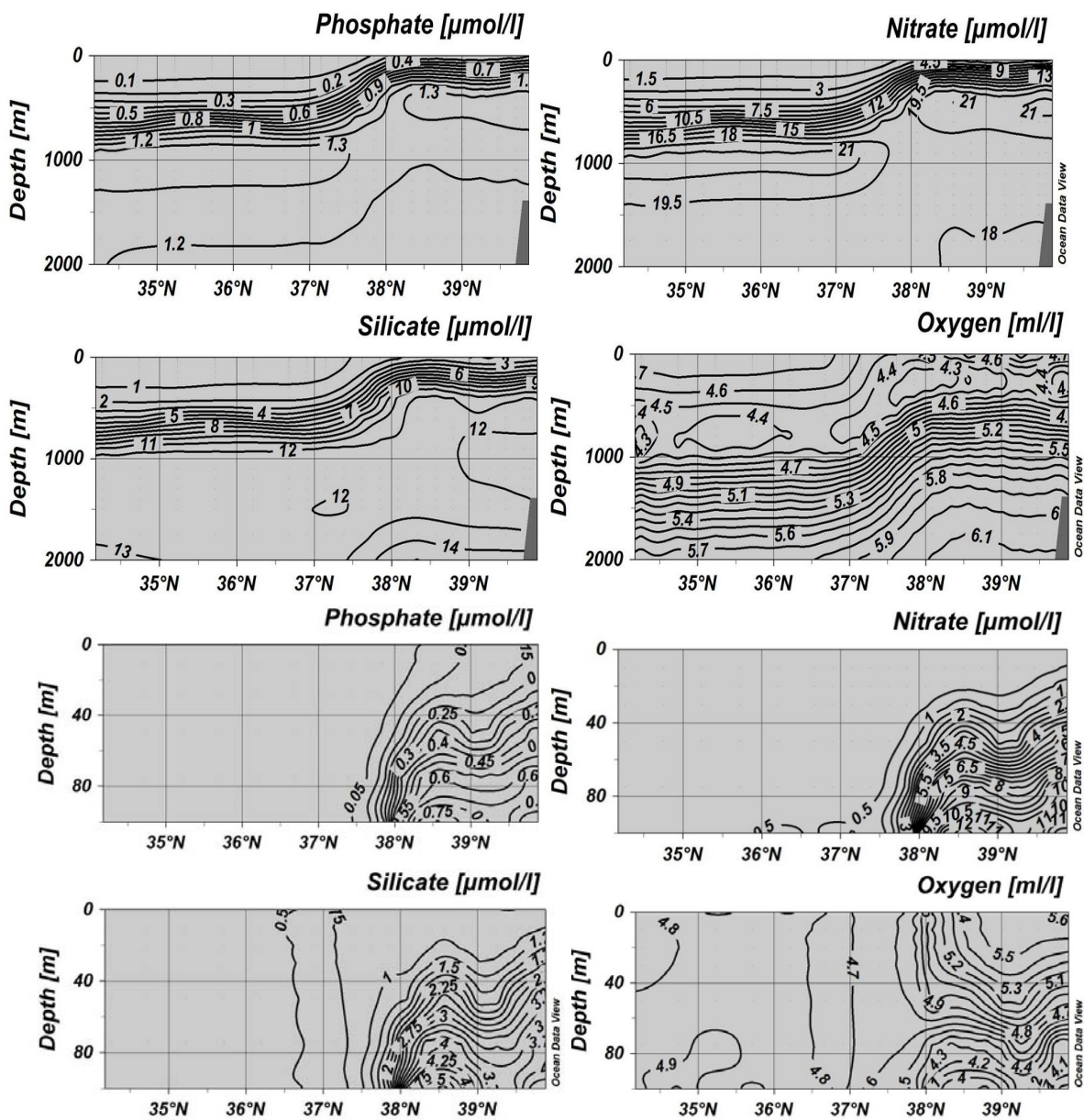


Рис. 4 – Пространственное распределение гидрологических и гидрохимических характеристик на разрезе через течение Гольфстрим в слое 0-100 и 0-2000 м (ноябрь 2008г.).

Зона Гольфстрима характеризуется языкообразными изолиниями сравнительно низкого содержания кислорода в слое минимума – 3,8-4,0 мл/л (рис.4). По мере приближения к Саргассовому морю, глубина залегания кислородного минимума увеличивается и составляет 600-1000 м. Вблизи прибрежных вод глубина кислородного минимума лежит выше и наблюдается в слое 250-400 м. Такое распределение кислородного минимума можно объяснить следующим образом.

Именно во фронтальной зоне Гольфстрима, после его отхода от берегов Северной Америки создаются благоприятные условия развития жизни, увеличивается расход кислорода на окисление, вследствие чего минимальные концентрации кислорода понижаются и распределяются выше, чем в районе Саргассова моря (рис.4). Также языкообразными изолиниями характеризуется распределение рассматриваемых биогенных веществ (рис.4). Максимальные концентрации фосфатов наблюдаются в слое кислородного минимума по всему разрезу и изменяются в пределах 1,3-1,35 $\mu\text{mol/l}$, причем одинаковые концентрации зарегистрированы как в прибрежных водах, так и по мере приближения к Саргассовому морю (рис. 4).

Такая же тенденция наблюдается и в распределении нитратов, где концентрации в слое кислородного минимума составляют по всему разрезу 20-21 $\mu\text{mol/l}$. Такое распределение фосфатов и нитратов может быть связано с меандрированием течений. Т.к. одной из характерных особенностей Гольфстрима является

образование севернее и южнее от него вихрей с циклоническим и антициклоническим вращением вод, которые могут оказывать влияние на перенос биогенных веществ.

За счет образования местных замкнутых вихрей в этих океанских течениях имеют место поперечные волны (меандры). Меандрирование течений дает начало образованию резких фронтов, что отделяет Гольфстрим от Саргассова моря. Внутри круговоротов располагаются воды, отличающиеся по своим характеристикам от вод Гольфстрима. Южнее от Гольфстрима (в водах Саргассова моря) внутри циклонических вихрей находятся склоновые воды, более холодные и менее соленые и как было показано выше со значительными концентрациями биогенных веществ.

Севернее от Гольфстрима (в склоновых водах) антициклонические вихри содержат в центре воду Саргассова моря. Таким образом, меандрирование Гольфстрима, образование справа и слева от него вихрей с циклоническим и антициклоническим вращением вод оказывает влияние на распределение растворенного в воде кислорода и содержание биогенных веществ.

На примере фосфатов проведен расчет количественного переноса биогенных веществ системой течений. С помощью программы ODV по данным экспедиционных исследований температуры и солёности морской воды на различных разрезах рассчитаны геострофические скорости течений (рис. 5).

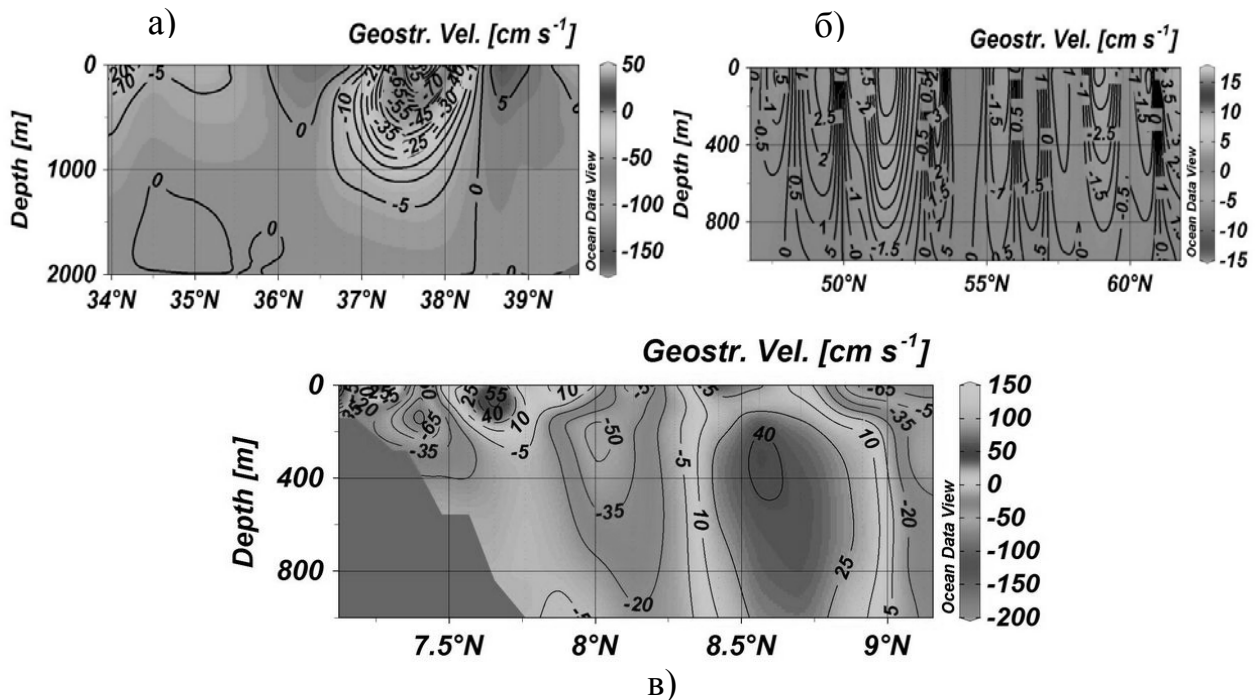


Рис. 5 – Геострофические скорости течений на разрезах через течения: Гольфстрим (а), Северо-Атлантическое (б), Гвианское (в).

Для количественной оценки переноса биогенных веществ системой течений с помощью построенных карт пространственного распределения геострофических скоростей течений рассчитаны расходы воды в единицу времени

$$q_j^i = \bar{C}_j^i \cdot L^i \cdot 1852 \cdot \Delta P_j^i, \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}, \quad (1)$$

где \bar{C}_j^i - средняя скорость течения между соседними станциями в слое ΔP_j^i ;

L^i - расстояние между i и $i+1$ станцией в милях.

Далее рассчитываются суммарные расходы воды по всему слою между двумя соседними станциями и по всему разрезу:

$$Q^i = \sum_{j=1}^{n-1} q_j^i, \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}. \quad (2)$$

Затем по полученному расходу воды, рассчитано весовое количество биогенных веществ переносимых потоком в единицу времени:

$$g_j^i = q_j^i \cdot \bar{M}_j^i, \quad (3)$$

где \bar{M}_j^i - средняя концентрация биогенных веществ в слое ΔP между двумя соседними станциями разреза.

С использованием вышеописанной методики [2] проведен расчет расходов биогенных веществ на примере фосфатов. Расход воды и биогенных веществ, переносимых потоком в единицу времени рассчитывались для слоя 0-2000 м. Полученные результаты показали, что наиболее интенсивный перенос фосфатов ($12,8 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$) наблюдается в акватории Гвианского течения при расходе воды $35,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Причем, основной поток направлен вдоль материкового склона на север, где наблюдаются наибольшие скорости течения, до $150 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ на поверхности (рис. 5). Также значительный перенос наблюдается на разрезе через течение Гольфстрим, где расход фосфатов составил $9,4 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$ при расходе воды $49,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Наименьшие расходы биогенных веществ ($5,6 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$) зарегистрированы в акватории Северо-Атлантического течения, которому свойственны небольшие скорости - до $15 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис.5б) и расходы воды - $10,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

ВЫВОДЫ

Показана роль гидродинамических факторов, которые наиболее существенно влияют на распределение и перераспределение биогенных веществ в водах Северной Атлантики. На примере фосфатов получены оценки количественного переноса биогенных веществ системой течений. Определено, что наи-

большие расходы фосфатов ($12,8 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$) наблюдаются в акватории Гвианского течения, при расходе воды $35,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Данная акватория, в отличие, от всех исследуемых районов, характеризуется наибольшими концентрациями всех биогенных веществ, что связано в первую очередь с речным и материковым стоком.

Однако существует и подземный сток вдоль продолжения русла (разлом) в шельфовой зоне, который также оказывает влияние на распределение биогенных веществ в океане, что доказано построенными картами пространственного распределения силикатов, где максимальные их величины зарегистрированы в акватории Гвианского течения, в структурной промежуточной зоне, в слое 700-1100 м вдоль всего разреза. Обычно в распределении силикатов в различных акваториях, характерна тенденция увеличения концентраций с глубиной. В исследуемой же акватории Гвианского течения, максимальные концентрации силикатов наблюдаются в слое под кислородным минимумом (700-1100 м) и достигают максимальных значений до $28 \text{ } \mu\text{mol/l}$. Далее с увеличением глубины, концентрации заметно уменьшаются и уже на горизонте 2000 м составляют $15 \text{ } \mu\text{mol/l}$. По количественным оценкам наибольшие концентрации биогенных веществ, в слое кислородного минимума, по сравнению со всеми исследуемыми акваториями наблюдаются на разрезе через Гвианское течение: $\text{HPO}_4 - 2,1-2,2 \text{ } \mu\text{mol/l}$; $\text{NO}_3 - 30-33 \text{ } \mu\text{mol/l}$; $\text{Si(OH)}_4 - 23-28 \text{ } \mu\text{mol/l}$.

Таким образом, содержание в воде биогенных веществ часто является единственным фактором, лимитирующим развитие фитопланктона и ограничивающим продуктивность морских экосистем. Поэтому очень важно при изучении динамики биогенных веществ учитывать не только спектр биологических и химических процессов, но также и влияние гидрологических условий для понимания процессов распределения и перераспределения гидрохимических характеристик по акватории моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартин Н.Ф. Химия моря / Н.Ф. Мартин. - Л.: Гидрометеоздат, 1973.- 135 с.
2. Монюшко М.М. Влияние гидрологических условий на распределение различных форм нефти в Северной части Атлантического океана: [монография] /М.М. Монюшко - Одеса, ТЭС, 2012. - 178 с.
3. Израэль Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. - Л.: Гидрометеоздат, 1989.-528 с.
4. National oceanographic data center (NODC) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>.

REFERENCES

1. Martin N.F. *Himiya morya* [Chemistry of the sea]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 135 p.
2. Monyushko M.M. *Vliyanie gidrologicheskikh usloviy na raspredelenie razlichnykh form nefi v Severnoy chasti Atlanticheskogo okeana* [The influence of hydrological conditions on the distribution of various forms of oil in the Northern part of the Atlantic ocean]. Odessa: TES, 2012, 178 p.
3. Izrael Yu.A., A.V. Tsyiban. *Antropogennaya ekologiya okeana*. [Anthropogenic ecology of the ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 528 p.
4. *National oceanographic data center (NODC)*. Available at: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>

THE DISTRIBUTION OF BIOGENIC SUBSTANCES IN WATERS OF THE NORTH ATLANTIC

M.M. Moniushko, Cand. Sci (Geogr), Assoc. Prof

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, monuyshko@yandex.ua*

The article considers the main regularities of distribution of biogenic elements in accordance with the dissolved oxygen and hydrological characteristics of the marine environment. To study the spatial distribution of biogenic elements taken three main forms of substances in the marine environment: phosphates, nitrates, silicates. Because these compounds in ocean are crucial importance for the development of life.

Shows the role of hydrodynamic factors that most significantly affect the distribution and redistribution of nutrients in the waters of the North Atlantic. Quantitative evaluation of the nutrient transport system of currents. The calculated weight amount of phosphates transported by the stream per unit time.

Keywords: biogenic elements, oxygen low, water area, currents, water flow.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ БІОГЕННИХ РЕЧОВИН У РІЗНИХ АКВАТОРІЯХ ПІВНІЧНОЇ АТЛАНТИКИ

М.М. Монюшко, к. геогр. н., доцент

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, monuyshko@yandex.ua*

У статті розглядаються основні закономірності розподілу біогенних елементів у відповідності з розчиненим у воді киснем і гідрологічними характеристиками морського середовища. Проведена оцінка кількісного переносу біогенних речовин системою течій. Розраховано вагову кількість фосфатів, що переносяться потоком в одиницю часу.

Ключові слова: біогенні речовини, кисневий мінімум, акваторія, течії, витрати води.

Дата першого подання: 30.09.2015

Дата надходження остаточної версії: 10.11.2015

Дата публікації статті: 26.11.2015