

Особенности гидролого-гидрохимического режима района Канарского апвеллинга в июле 2006 г.

П.П. Чернышков², В.Н. Шнар², Л.А. Духова¹, К.В. Батрак¹, С.Н. Бурькин²,
Д. А. Донченко².

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

² Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО)

Начиная с 60-х годов двадцатого века и до настоящего времени район Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА) является одним из важнейших районов для отечественного промыслового флота. В настоящее время там имеются значительные промысловые биоресурсы массовых пелагических рыб, а обеспечение доступа к ним и ведение эффективного промысла требует более высокого уровня знаний о закономерностях формирования биологической и промысловой продуктивности этого района.

Главным океанологическим фактором, определяющим гидрологический режим и структуру вод в исследуемом районе, является постоянный прибрежный Канарский апвеллинг, в результате которого в верхних слоях океана формируются зоны повышенного содержания биогенных элементов и исключительно высокой биологической и промысловой продуктивности (Чернышков и др., 2005). Возникновению зон прибрежного апвеллинга в районе ЦВА способствуют северо-восточные пассатные ветра, причем проявление этих зон на поверхности океана сильно зависит от локальной ветровой ситуации и в меньшей степени от других факторов (Абрамов и др., 1986). Многолетние наблюдения в этом районе показали существенные межгодовые изменения биомассы массовых промысловых видов рыб (сардины, скумбрии, сардинелл, ставрид). Более полное понимание причин таких изменений в промысловой океанологии возможно при использовании экосистемного подхода, который предусматривает сбор и анализ данных, характеризующих функционирование прибрежной экосистемы в различных пространственно-временных масштабах.

В рамках такого подхода, в соответствии с межправительственными соглашениями России и Королевства Марокко о сотрудничестве в области морского рыболовства, совместно с марокканскими коллегами в летний период с 1994 по 1999 и с 2004 по 2006 г. проводились ежегодные комплексные исследования пелагической экосистемы района Канарского апвеллинга в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Королевства Марокко. Эти исследования были направлены на изучение гидрометеорологических и океанологических процессов, влияющих на формирование биологической продуктивности

вод. В 2006 году в 43 рейсе СТМ «Атлантида» был выполнен широкий комплекс гидрохимических исследований, включающий определение как неорганических, так и органических форм азота и фосфора, а также проведена оценка содержания растворенных форм кремния и железа. Все определения в этом рейсе выполнялись по методикам, описанным в справочнике «Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана». Колориметрические измерения были сделаны на фотоколориметре КФК-3. Гидрофизические измерения проводились СТД-зондом SBE-19+ от поверхности до дна на шельфе и до глубины 1000 м за его пределами.

В период с 1994-2006 г.г. прибрежный апвеллинг по полю температуры на поверхности в летний период наиболее ярко был выражен севернее $23^{\circ}30'$ с.ш., при этом зоны с максимальными градиентами температуры смещались в зависимости от локальной ветровой ситуации в конкретный исследуемый период. Минимальные температуры на поверхности в зоне апвеллинга изменялись от $17,0^{\circ}$ (1994 г.) до $15,7^{\circ}$ (1998, 1999 гг.), при этом в 1997-1998 гг. сила действия пассатов была максимальной и, соответственно, были максимальными стоновый эффект и подъем глубинных вод.

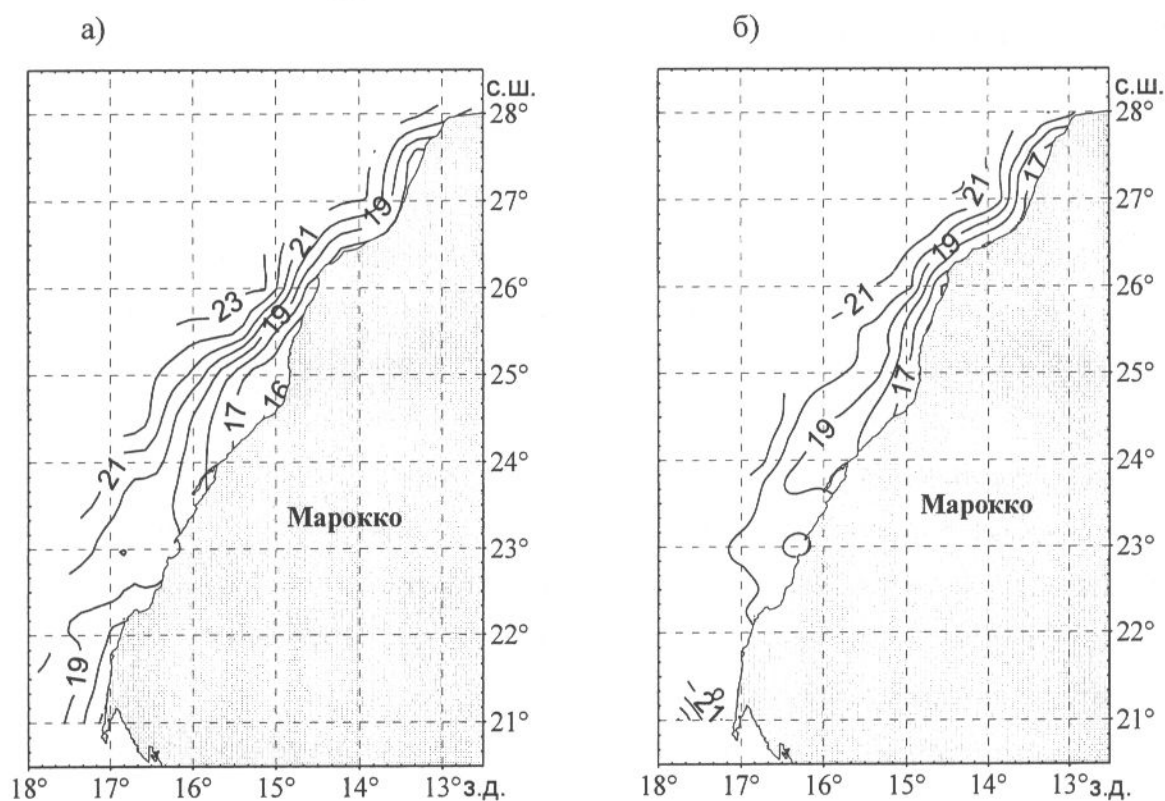


Рис.1. Распределение температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) на поверхности июля 1997г. (а), 2006 г. (б).

К югу от 22° с.ш. в июле 2006 г. наблюдалось повышение прибрежной поверхностной температуры и понижение солености (до 24°C и $35,9\%$ соответственно), что, вероятно, было связано с затокном более теплых и менее соленых вод Северной ветви

Межпассатного противотечения (рис. 1 а, б). Для сравнения приводится распределение температуры на поверхности в июле 1997 г. Сенегало-Мавританский фронт в районе мыса Кап-Блан по сравнению со средним положением сместился к северу на 1° широты.

Характер изменчивости поля солености косвенно отражает специфику динамики вод района. Участки с интенсивным апвеллингом характеризуются более низкими значениями за счет влияния глубинных вод с меньшей соленостью. Так на этих участках на поверхности соленость изменялась в пределах 36,00-36,30‰. В открытой же части она достигала значений 36,50-36,70‰ (рис.2).

По характеру распределения полей температуры и солености всю исследуемую акваторию условно можно разделить на два района: первый - севернее 23°30'с.ш., где наблюдались максимальные градиенты температуры и солености; второй - южнее 23°30'с.ш., где распределение температуры и солености носило более равномерный характер, хотя в отдельные годы и здесь отмечались очаги с пониженными или повышенными значениями температуры и солености.

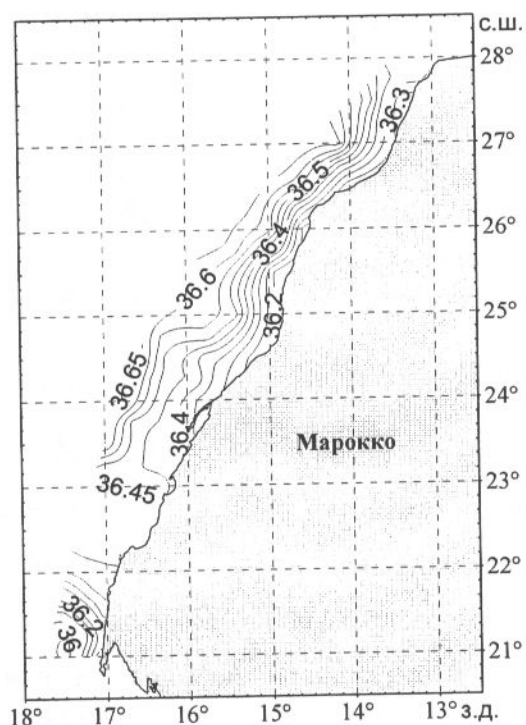


Рис.2 Распределение солености (‰) на поверхности июле 2006 г.

Севернее 23°30'с.ш. распределение биогенных элементов хорошо согласуется с распределением температуры и солености на поверхности, при этом максимальные значения их концентраций соответствуют минимальным значениям температуры, солености и растворенного кислорода. Совокупность распределения термохалинных и

биогенных элементов может быть хорошим индикатором при определении мест подъема подповерхностных вод.

В прибрежной части шельфа севернее $23^{\circ}30'$ с.ш. зоны с пониженным содержанием растворенного кислорода наблюдались в виде языков и пятен, расположение которых менялось в различные периоды исследований. Так, минимальные значения содержания растворенного кислорода в 2006 г. в прибрежной зоне апвеллинга были 4,27 мл/л (77,2%), а средние значения в мористой части составляли 5,02-5,55 мл/л (98,6-101,9%).

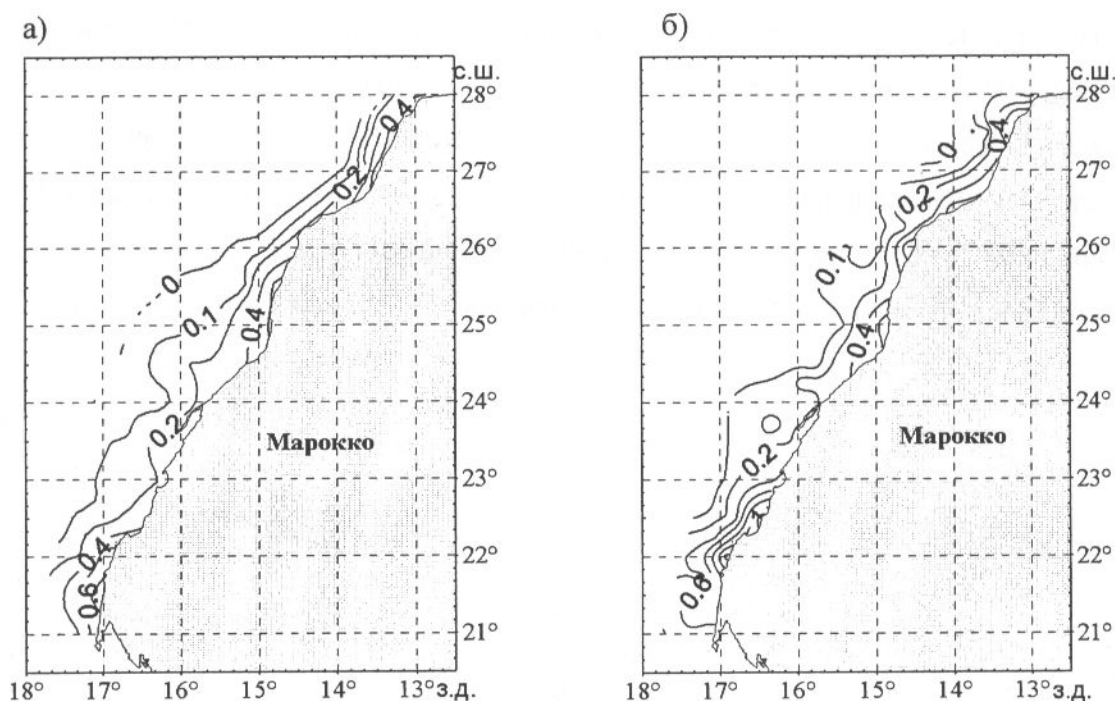


Рис.3. Распределение минерального фосфора (мкг-ат/л) на поверхности в июле 1999 г. (а), 2006 г. (б).

Анализ многолетней изменчивости (1994 - 2006 г.г.) распределения минерального фосфора в летний период на поверхности показал, что севернее $23^{\circ}30'$ с.ш. повышенные концентрации фосфатов наблюдались вдоль прибрежной зоны шельфа, и их расположение соответствовало распределению температуры и растворенного кислорода (рис 3 а, б). Содержание минерального фосфора на поверхности изменялось от аналитического нуля в мористой части района до 0,5 (1997 г.) -1,4 мкг-ат/л (2004 г.) в прибрежной части. В исследуемом 2006 г. концентрации фосфатов на поверхности соответствовали среднемноголетним значениям и изменялись от аналитического нуля в мористой части до 0,7 мкг-ат/л в прибрежной зоне. Для данного района характерны два типа вертикального распределения минерального фосфора: в зоне апвеллинга наблюдалось однородное распределение (рис. 4 а), что связано с процессами подъема и перемешивания вод на шельфе, а для мористой части характерно равномерное увеличение концентрации фосфатов с глубиной (рис. 4 б).

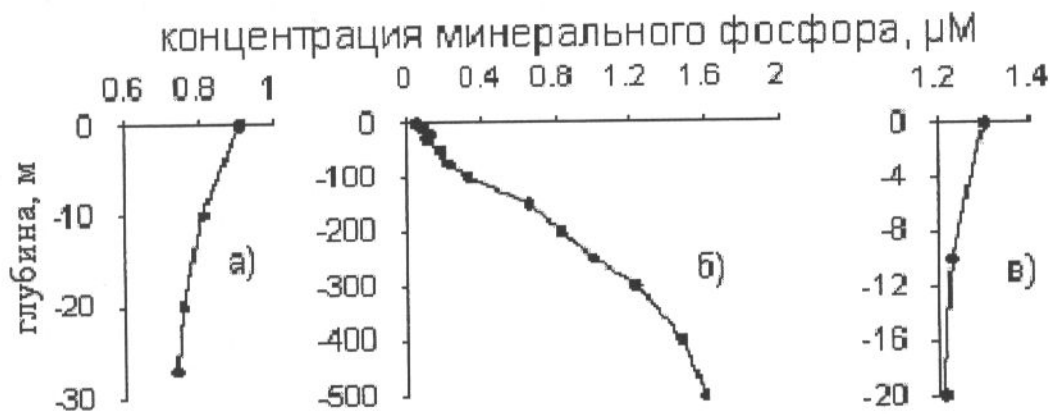


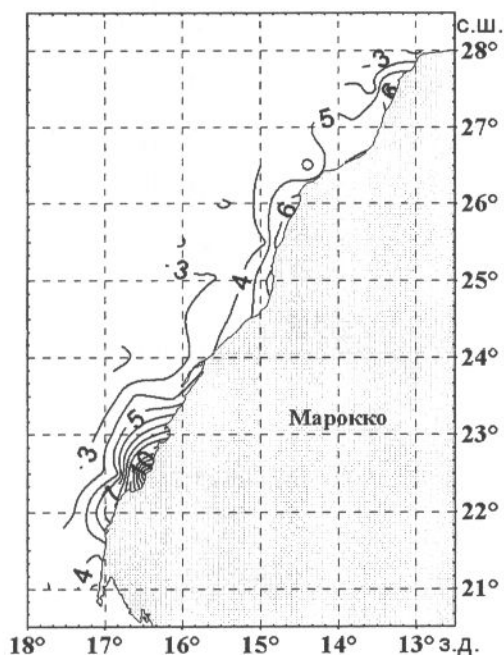
Рис. 4 Вертикальные распределения в июле 2006 г. минерального фосфора (μM) в районе апвеллинга севернее $23^{\circ}30'$ с.ш. (а), в мористой части акватории (б), в районе апвеллинга южнее $23^{\circ}30'$ с.ш. (в).

Минеральные формы азота (аммонийный, нитритный, нитратный) являются важными параметрами, которые определяют уровень первичной продукции. Соотношение этих форм определяется окислительно-восстановительными и продукционно-деструкционными процессами, что вносит свой вклад в распределение аммония, нитратов и нитритов в морской воде. Для более полного описания экосистемы Канарского апвеллинга, наряду с ежегодным определением кислорода и минерального фосфора, в 2006 году были получены данные по содержанию минеральных форм азота, растворенного кремния, железа, а также органических форм азота и фосфора. В связи с этим анализ этих данных приводится в статье по результатам 43 рейса СТМ «Атлантида», выполненным в июле-августе 2006 года.

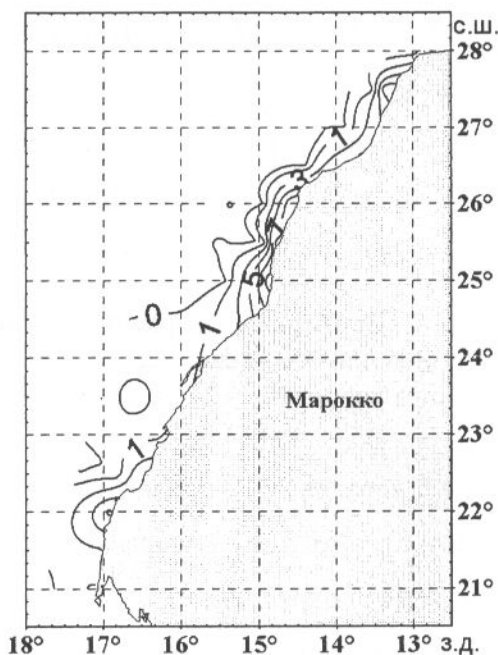
Предпочтительной формой азота при его потреблении микроорганизмами является аммонийный азот. С другой стороны он выделяется при минерализации органических веществ в океане, а также в процессе метаболизма микрогетеротрофов и зоопланктона и других морских животных. При этом аммонийный азот не накапливается в морской воде, так как происходит его дальнейшее окисление до нитритного и нитратного азота. Этими факторами объясняется непростое распределение этой формы азота в океане. В первом районе исследуемой акватории наблюдались очаги с повышенным содержанием аммонийного азота на поверхности (до $2,4 \text{ мкг-ат/л}$) (рис. 5 в). В мелководных районах перемешивание приводит к однородному вертикальному распределению аммонийного азота по всей толще воды, средние концентрации его составляли $0,3-0,4 \text{ мкг-ат/л}$, на некоторых станциях концентрация аммония возрастала у дна до $1,66 \text{ мкг-ат/л}$, что, вероятно, было обусловлено влиянием придонных процессов и диффузией из донных осадков. Наиболее характерно для вертикального распределения аммонийного азота было наличие одного или нескольких промежуточных максимумов, формирование которых

связано с продукционно-деструкционными процессами, происходящими в толще воды в исследуемой акватории.

а)



б)



в)

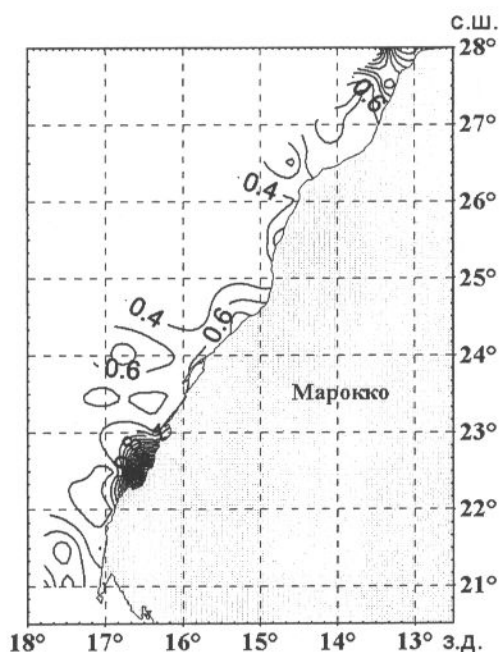


Рис. 5. Распределение на поверхности в июле 2006 г. растворенного кремния (μM) (а), нитратного азота (μM) (б), аммонийного азота (μM) (в)

Нитритный азот является промежуточным продуктом окисления аммонийного азота до нитратного, поэтому накопление его в воде не происходит, и концентрации его в морской воде, как правило, низки. На поверхности в период исследований содержание нитритного азота варьировало от следов в мористой части до 0,3 мкг-ат/л в районе апвеллинга. Для вертикального распределения нитритов наиболее характерно наличие

промежуточного максимума, однако, возможно под влиянием процессов перемешивания отмечалось нехарактерное для нитритов однородное распределение или равномерное увеличение концентрации нитритов ко дну.

Одним из основных источников азотного питания фитопланктона является нитратный азот, но в отличие от аммонийного и нитритного азота он накапливается в воде и концентрация его, как правило, на порядок превышает концентрацию первых двух форм. Повышенные концентрации нитратного азота на поверхности наблюдались в виде языков в описанной выше зоне прибрежного апвеллинга южнее мыса Юби (до 8,4 мкг-ат/л) и мыса Бохадор (до 10,2 мкг-ат/л) (рис. 5 б).

Наименьшие величины содержания нитратов наиболее характерны для верхнего перемешанного слоя, где они потребляются в процессе фотосинтеза. В исследуемом районе их концентрация в этом слое изменялась от аналитического нуля до 0,8 мкг-ат/л, при этом в толще воды под фотическим слоем с глубины 50–100 м концентрация нитратного азота резко увеличивалась (рис. 6 б). Максимум располагался на глубинах 600–800 м, где содержание азота достигало 30,6 мкг-ат/л.

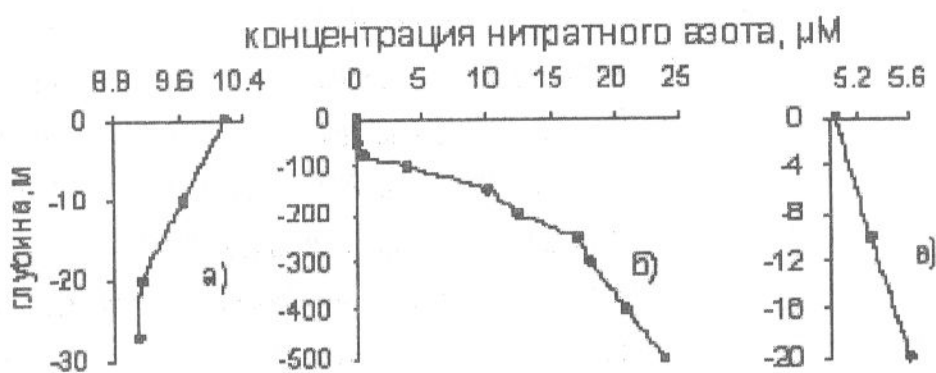


Рис. 6 Вертикальные распределения нитратного азота (μM) в районе апвеллинга севернее $23^{\circ}30'$ с.ш. (а), в мористой части акватории (б), в районе апвеллинга южнее $23^{\circ}30'$ с.ш. (в).

Такое распределение нитратов было характерно для мористой части исследуемой акватории. В районе прибрежного апвеллинга в результате перемешивания отмечалось однородное распределение нитратного азота с глубиной с концентрациями до 10,2 мкг-ат/л (рис. 6 а), при этом концентрации нитратов значительно превышали концентрацию аммония. Поступление большого количества биогенов с глубинными водами приводит к увеличению «новой» первичной продукции. В мористой части, где на поверхности преобладает аммонийная форма азота, первичная продукция образуется за счет «рециклинга».

Характер распределения растворенного кремния на поверхности в ИЭЗ Марокко повторяет картину распределения минерального фосфора и нитратного азота, при этом

концентрация растворенного кремния изменялась от 1,8 до 7,3 мкг-ат/л (рис. 5 а). Для данного района характерно наличие дополнительного источника кремния (SiO_3^{2-} -Si) вследствие приноса его северо-восточными пассатами с материка, что подтверждается резким нарушением стехиометрии Si/P, в связи с чем, в прибрежной шельфовой зоне наблюдалось увеличение концентрации растворенного кремния в поверхностном слое и, соответственно, формировался подповерхностный минимум. Для мористой части района характерно равномерное увеличение концентрации кремния с глубиной или наличие верхнего перемешанного слоя до глубины 50-150 м с дальнейшим увеличением концентрации кремния ко дну до 24 мкг-ат/л на глубине 1000 м.

Для второго района (южнее $23^{\circ}30'$ с.ш.) характерны небольшие градиенты температуры и солености на поверхности (рис. 1 а, б; рис. 2). К югу от $21^{\circ}30'$ с.ш. повышение температуры до 21°C и выше и понижение солености до 36‰ и ниже в 2004 и 2006 г.г. было связано с влиянием более теплых и менее соленых вод Северной ветви Межпассатного противотечения. Также выделялись локальные зоны апвеллинга с небольшим понижением температуры ($18-19^{\circ}\text{C}$), уменьшением солености (до 35,9 ‰), увеличением содержания биогенных элементов (фосфатов, нитратов и силикатов) на поверхности (до 1,3; 5,1 и 15,3 мкг-ат/л соответственно) и однородным распределением их с глубиной (рис. 4 в, 6 в). В 2006 г. повышенные концентрации биогенных элементов наблюдались также на станциях, где значения температуры и солености на поверхности соответствовали средним значениям их для района исследования.

Еще одним направлением в изучении пелагической экосистемы в водах ИЭЗ Марокко является оценка уровня первичной продукции и содержания хлорофилла «а», как показателей биомассы фитопланктона, что позволит оценить биологическую продуктивность вод и провести анализ функционирования трофической цепи при прогнозировании рыбопродуктивности данного района (Александров и др, 2007). Анализ многолетних данных (1994-2004 г.г.) по распределению первичной продукции и хлорофилла «а», приведенных в работе Александрова, показал, что характер этого распределения хорошо соответствует распределению температуры, солености и основных биогенных элементов на поверхности в районе севернее $23^{\circ}30'$ с.ш. В этом районе зоны интенсивного развития фитопланктона и повышенной первичной продукции имеют локальный характер, и их расположение может изменяться в различные годы. Как правило, участки повышенной биологической продуктивности расположены у берега, где наблюдается наиболее сильный апвеллинг, и для всего района достаточно четко видна закономерность постепенного снижения биологической продуктивности от прибрежной зоны к мористой части шельфа (рис. 7 а, б).

По данным АтлантНИРО на протяжении 1990-х гг. наиболее часто зоны с высокой первичной продукцией и интенсивным развитием фитопланктона отмечались в районе м. Бохадор (26°с. ш) и м. Юби (27-28°с.ш). Содержание хлорофилла «а» на мелководных и среднеглубинных станциях в слое 0-100 м (дно) составляло 75-220 мг/м² или 1,0-3,2 мг/м³, а величина первичной продукции – 1,3-4,0 гС·м⁻²·сут⁻¹ или 65-200 мгС·м⁻³·сут⁻¹, т.е. достигала величин, характерных для высокопродуктивных зон.

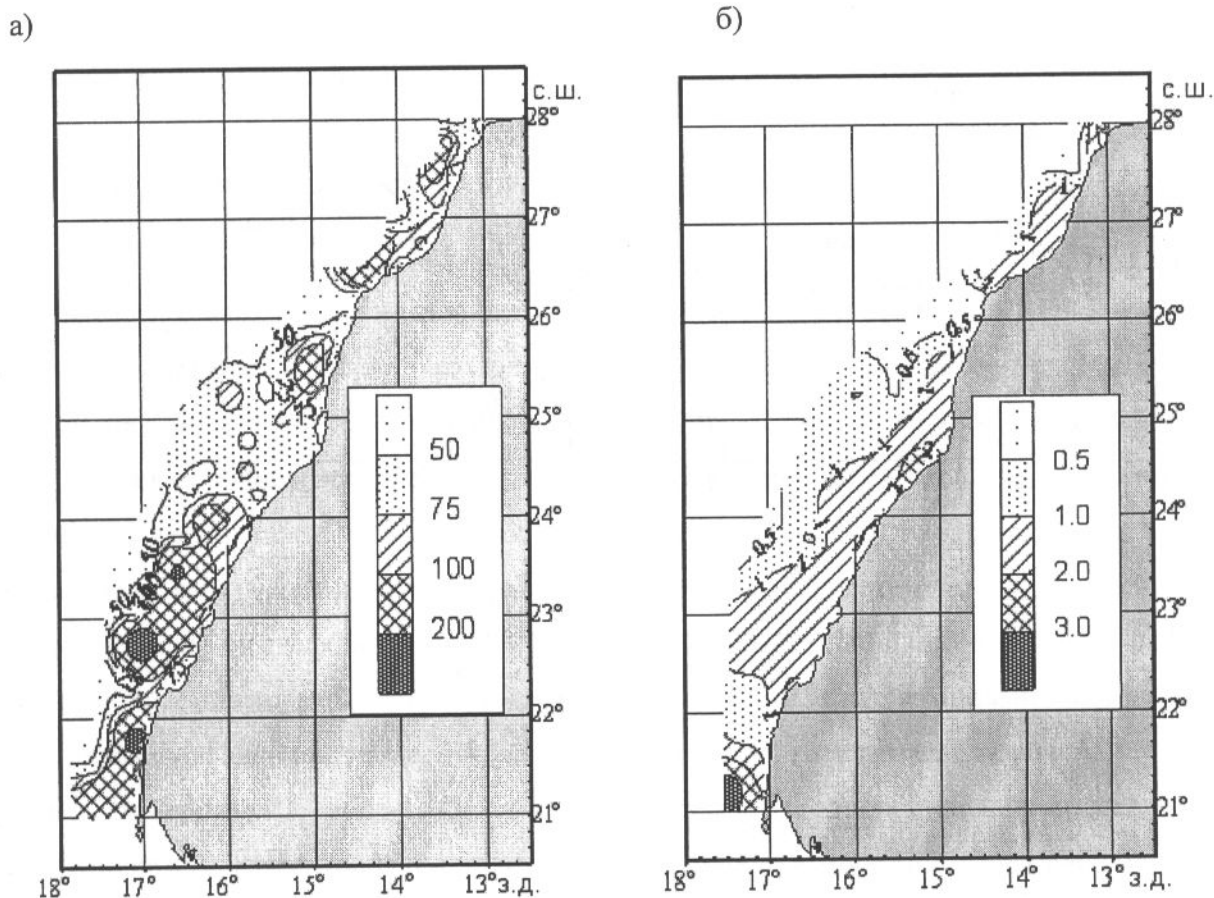


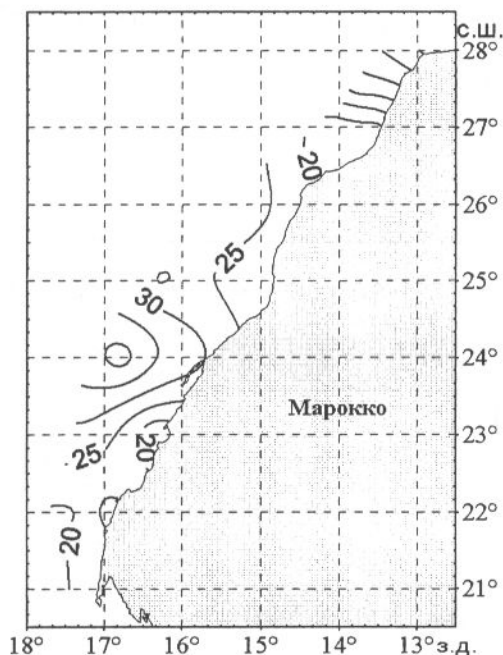
Рис. 7 Пространственное распределение в июле-августе 2004 г. на акваториях Марокко концентрации хлорофилла "а", мг/м² в слое 0-100 м (а), пространственное распределение первичной продукции планктона, гС·м⁻²·сут⁻¹ (б).

Южнее 23°30'с.ш. в июле 2004 г. содержание хлорофилла «а» на мелководных и среднеглубинных станциях в слое 0-100 м (дно) было в 1,5-2 раза выше, чем на акватории севернее 23°30'с.ш. Высокие значения хлорофилла «а» и первичной продукции соответствовали высоким показателям содержания фосфатов на поверхности, в то время как температура поверхностного слоя была достаточно высокая (выше 19-20°C).

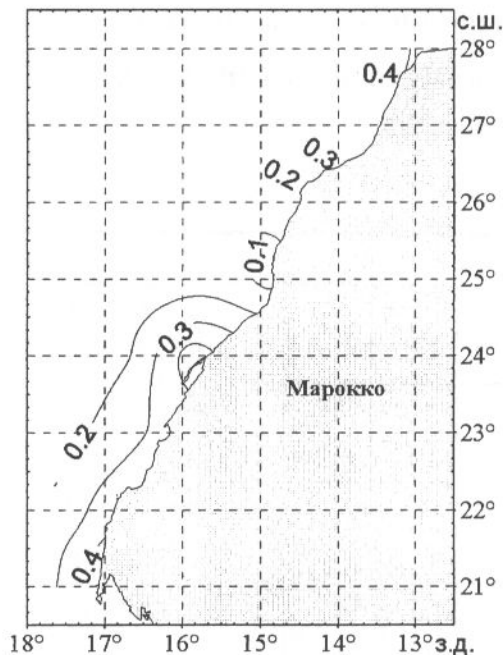
На данный момент в исследуемой акватории не существует регулярных многолетних данных по распределению железа и органических форм азота и фосфора. По данным, полученным только в июле 2006 года, можно сказать следующее. Органические

формы азота и фосфора распределены в водной толще неравномерно, их содержание изменялось от 5 до 78 мкг-ат/л и от аналитического нуля до 1,2 мкг-ат/л соответственно.

а)



б)



в)

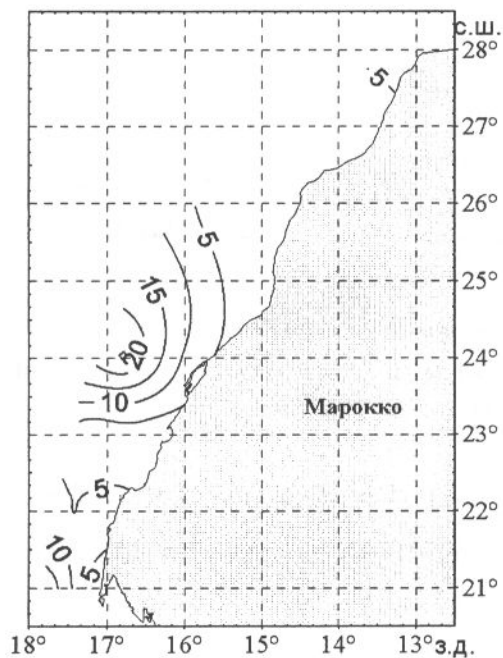


Рис. 8 Распределение на поверхности в июле 2006 г. органического азота (μM) (а), органического фосфора (μM) (б), растворенного железа ($\mu\text{кг/л}$) (в)

В большей части исследуемой акватории наблюдалось повышенное содержание органических форм азота и фосфора на поверхности, что связано с жизнедеятельностью

фитопланктона, при этом к северу от м. Кап-Блан поверхностный максимум отсутствовал (рис. 8 а, б).

В прибрежной мелководной зоне органические формы азота и фосфора распределялись более равномерно по всей глубине, в то время как для мористой части исследуемого района выделялись несколько промежуточных максимумов на глубинах 50-75 м, 150-250 м и 400 м.

В исследуемой акватории выделяются три очага с повышенным содержанием железа на поверхности (до 10 мкг/л, до 25,9 мкг/л и до 19,3 мкг/л). Два первых приурочены к описанной выше зоне апвеллинга южнее м. Юби, а третий - к району севернее м. Кап-Блан. По-видимому, такое распределение железа определяется не только океанологическими, но и гидробиологическими процессами (рис. 8 в).

Выводы

Анализ океанологических данных за летний период (1994-2006г.г.) позволяет всю исследуемую акваторию условно разделить на два района. Первый - севернее 23°30'с.ш. с высокой биологической продуктивностью, где наблюдались максимальные градиенты температуры, солености и биогенных элементов, что позволяет выделить эту зону как зону прибрежного апвеллинга. Вторым районом южнее 23°30'с.ш. характеризуется более равномерным распределением температуры и солености. При этом во втором районе в отдельные годы выделялись зоны локального подъема подповерхностных вод с пониженной температурой, соленостью и повышенными концентрациями биогенов, а также зоны с повышенной температурой и пониженной соленостью на юге района.

В прибрежной зоне шельфа наблюдается однородное распределение гидрохимических элементов в толще воды, в то время как в мористой части наблюдается вертикальное распределение характерно для данной тропической акватории.

Совокупность распределения этих элементов является хорошим индикатором при выделении биопродуктивных апвеллинговых зон. Полученные данные могут быть использованы как дополнительные показатели при анализе промыслово-биологического состояния района, а также при создании экосистемных моделей.

Литература

- Абрамов Р.В., Коль Л.В. О характере взаимодействия между океаном и атмосферой в районе прибрежного апвеллинга к северу от м. Кап-Блан. Физические и океанологические исследования в Тропической Атлантике. – М.: Наука, 1986. – С.94-111

Александров С. В. Биологическая продуктивность вод прибрежной экосистемы северо-западной Африки по показателям продукции фитопланктона и содержанию хлорофилла. Сборник трудов АтлантНИРО "Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2004-2005 годах", т. 2. "Биопродуктивность вод и экология промысловых популяций", (в печати).

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана». – М.: Изд-во ВНИРО, 2003.-202с.

Чернышков П.П., Сирота А.М., Тимохин Е.В. Структура и динамика вод в районах Канарского и Бенгальского апвеллингов и их влияние на популяции пелагических рыб. -Калининград: АтлантНИРО, 2005.-198 с.