

УДК 550.47:556.54

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕСИ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ВО ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОНАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО И ЮЖНОГО ОКЕАНОВ

© 2016 г. И. А. Немировская, М. Д. Кравчишина

Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва

e-mail: nemir@ocean.ru, kravchishina@ocean.ru

Поступила в редакцию 02.06.2015 г.

После доработки 22.06.2015 г.

В феврале–мае 2012 и 2014 гг. в поверхностном слое воды Атлантического и Южного океанов проведены исследования концентрации взвеси и взвешенных форм органических веществ: углеводов, липидов, хлорофилла “а”. Установлено, что в Южном океане и западной части Атлантического океана на распределение концентраций изучаемых компонентов основное влияние оказывает положение фронтальных зон. При формировании ледового покрова в Южном океане изменение температуры воды и развитие фитопланктона на границе раздела лед–вода приводит в поверхностном водном слое к увеличению концентраций взвеси и хлорофилл “а” и в меньшей степени – липидов и углеводов. Эпизодическое резкое увеличение концентраций углеводов, вызванное антропогенным загрязнением, наблюдалось на локальных участках акваторий в Восточной Атлантике, Северном и Балтийском морях.

DOI: 10.7868/S0030157416010123

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных достижений океанологии является установление многообразия, которое опровергло концепцию “гомогенизированного океана” [7]. Фронты и фронтальные зоны относятся к числу наиболее интересных явлений в океане, так как здесь резко возрастают пространственные градиенты основных термодинамических характеристик по сравнению с их фоновым распределением [16]. Для определения влияния фронтальных зон на распределение осадочного вещества (природного и антропогенного) в феврале–июне 2012 и 2014 гг. (34-й рейс НЭС “Академик Федоров” и 2-й рейс НЭС “Академик Трешников”, 57- и 59-я Российские атлантические экспедиции – РАЭ) по ходу движения судов выполнен отбор проб воды для изучения концентрации взвеси и основных компонентов органического вещества (ОВ) – $C_{орг}$, липидов, алифатических углеводов (УВ) и хлорофилла “а” (хл “а”) в поверхностных водах Атлантического и Южного океанов (рис. 1). Исследованиями были охвачены различные климатические зоны этих океанов, а также шельфовые районы Атлантики (включая некоторые прилегающие моря), испытывающие интенсивное антропогенное влияние.

До настоящего времени при исследовании океанских вод главное внимание уделялось изучению гидрологических параметров [2, 3, 10, 16, 18,

19, 21]. Геохимический подход использовали гораздо реже [11–14, 22]. Мало данных, касающихся влияния фронтальных зон на распределение загрязняющих веществ в океане [11, 12, 17, 20]. В первую очередь это актуально для таких соединений как УВ, которые могут быть как природными соединениями, так и антропогенными.

Идеи о тесном взаимодействии в природе живого и неживого вещества были разработаны в начале XX века В.И. Вернадским, который считал, что “живые организмы... являются огромной геологической силой” [4]. Концепция “живого океана” – это одно из важнейших открытий в океанологии XX века [7]. Исследования по биогеохимии океана показали, что процессы седиментации определяются работой биоса (взвесеобразующими компонентами), прежде всего биофильтраторами (планктонными и донными). Изучение существенного (в том числе и химического) состава взвеси необходимо при решении основных вопросов морской геологии и экологии, для развития методов исследования микро- и наночастиц, а УВ, в частности, для оценки загрязненности поверхностных вод нефтепродуктами [6, 11, 20].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Взвесь выделяли из воды стандартным методом мембранной фильтрации на предварительно

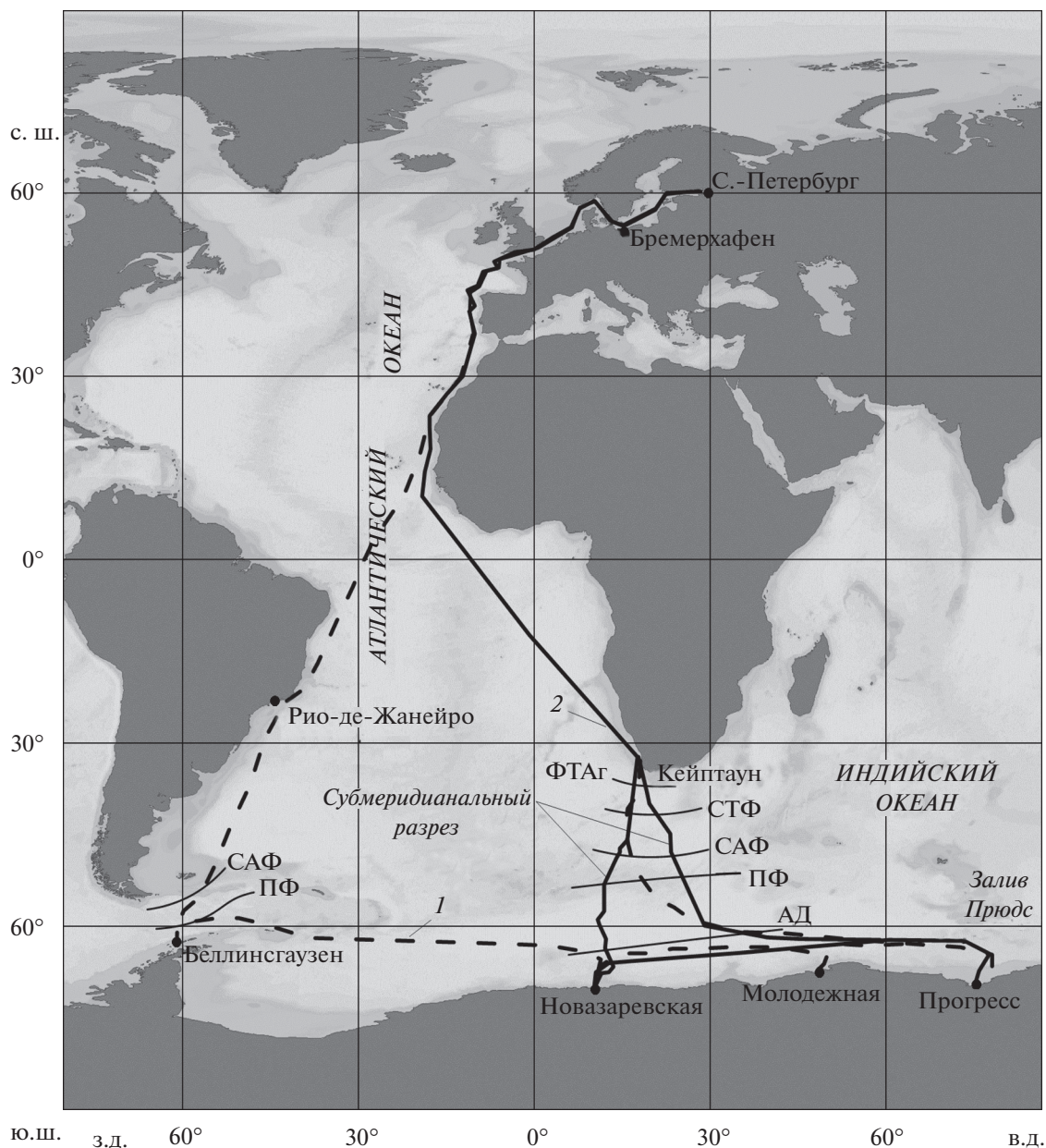


Рис. 1. Схема маршрутов экспедиций: 1 – 32-й рейс НЭС “Академик Федоров”, февраль–май 2012 г. (57-я РАЭ) и 2 – 2-й рейс НЭС “Академик Трешников”, февраль–июнь 2014 г. (59-я РАЭ). СТФ – северный субтропический фронт, САФ – субантарктический фронт, ПФ – полярный фронт, АД – зона антарктической дивергенции, ФТАг – фронт течения Агульяс.

отмытые (НСІ ОСЧ 4%) поликарбонатные ядерные фильтры (0.45 мкм) под вакуумом 400 мБар, для определения в дальнейшем ее концентрации гравиметрическим методом с точностью до ± 0.001 мг, соотнося с объемом профильтрованной воды.

Для изучения органических соединений взвесь выделяли фильтрацией из воды под вакуумом ≤ 200 мБар на предварительно прокаленные при $t = 450^\circ\text{C}$ стекловолкнистые фильтры

GF/F фирмы Whatman (эффективный размер пор 0.7 мкм).

Определение концентрации хл “а” проводилось флуориметрическим методом (с экстрагированием в 90% ацетоне) на флуориметре Trilogy 1.1 (Turner Designs, США) в судовой лаборатории. Для коррекции концентрации хл “а” с учетом феофитина “а” экстракт подкисляли 1н НСІ и снова определяли интенсивность флуоресценции. Минимальный предел обнаружения хл “а” –

0.02 мкг/л; погрешность измерения $\leq 5\%$. Подробнее о методике в работах [6, 23].

Липиды (суммарная фракция, извлекаемая органическими растворителями) выделяли из подсушенных на воздухе проб взвесей метилхлоридом на ультразвуковой бане “Сапфир” при $t = 35^\circ\text{C}$, а УВ – с помощью колоночной хроматографии на силикале гексаном. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии) и УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на спектрофотометре IRAffinity-1 фирмы Shimadzu. В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37.5% изооктана, 37.5% гексдекана и 25% бензола [15]. Чувствительность метода – 3 мкг/мл экстракта.

Состав алканов определяли методом капиллярной газожидкостной хроматографии (колонка длиной 30 м, жидкая фаза ZB-5) на хроматографе Intersmat GC 121-2 фирмы Shimadzu, оснащенным пламенно-ионизационным детектором при программировании $t = 100\text{--}320^\circ\text{C}$ со скоростью $8^\circ/\text{мин}$.

Концентрацию $C_{\text{орг}}$ определяли методом высокотемпературного сожжения с регистрацией выделявшегося CO_2 автоматическим кулонометрическим методом [9] на отечественном анализаторе углерода АН 7529. При концентрации 30–100 мкг С/л точность составляет $\pm 15\%$, пределы измерений 5–500 мкг С/л.

Визуальное изучение проб взвеси, собранной на ядерных фильтрах, выполнено при помощи сканирующего электронного микроскопа VEGA-3sem фирмы TESCAN (Чехия) с системой рентгеноспектрального микроанализа Oxford INCA Energy 350 (Великобритания).

Одновременно с отбором пробы морской воды, регистрировались координаты, температура и соленость воды, температура воздуха и скорость ветра по данным судовой метеостанции “MILOS-520”; проводилось визуальное описание состояния морской поверхности и ледяного покрова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ОВ в поверхностных водах – это интегральный показатель, величина которого в основном зависит от трофности вод, соотношения скоростей продукционно-деструкционных процессов и внесения загрязнений в результате усиливающейся деятельности человека [1, 11]. Элементный и биохимический состав ОВ меняется в зависимости от интенсивности первичного продуцирования, а также от интенсивности преобразования ОВ вторичными продуцентами [1].

В Южном океане гидрологическая структура поверхностных вод имеет ярко выраженный фронтальный характер [2, 5, 11, 19, 21]. Поэтому

полученные данные были разделены и представлены в виде отдельных разрезов. Для удобства сопоставления данных 2012 и 2014 гг. была принята следующая классификация квазиширотных фронтов в Южном океане [2, 19]: фронт течения Агульяс (ФТАг), субтропический (СТФ), Субантарктический (САФ) и Полярный (ПФ) (рис. 1). Эти фронты представляют собой сложную систему взаимодействующих между собой вихревых образований, областей конвергенций и дивергенций. Кроме этих фронтов в Южном океане существуют Антарктическая дивергенция (АД) – $65^\circ\text{--}68^\circ$ ю.ш., которая принимается за южную границу Антарктической зоны. АД располагается на границе смены направления движения преобладающих поверхностных течений с западного на восточное. По разным источникам существуют еще три относительно слабых фронта. Первый – южная ветвь Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), которая располагается в пределах $56^\circ\text{--}57^\circ$ ю.ш., второй – Антарктическая граница ледовитости (АГЛ) между 60° и 62° ю.ш., третий – Антарктический склоновый фронт (АСФ), занимающий положение у бровки континентального шельфа [18]. Границы фронтов уточняли по значениям температуры поверхностного слоя океана (ТПО) и солености.

В марте 2012 и 2014 гг. (осень южного полушария) начало разреза ($35^\circ 17'$ ю.ш.) совпало с северной границей ФТАг, которое несет теплые воды из северных районов Индийского океана. Южной границей течения считается STF [2, 10]. В области ФТАг подъем к поверхности относительно холодных глубинных вод, обогащенных биогенными элементами, создавал благоприятные условия для первичной продукции, и вследствие этого вызывал увеличение концентраций взвеси и хл “а” (рис. 2а). В этой области наблюдалась корреляция между распределением солености и температуры воды ($r = 0.89$).

В субантарктической климатической зоне, южной границей которой является САФ, постепенное выхолаживание поверхностных вод сопровождалось понижением их продуктивности и уменьшением концентраций взвеси и хл “а”. Антарктическая фронтальная зона мезотрофных вод характеризуется низкой биомассой фитопланктона – главного продуцента биогенного материала водной взвеси. В этом районе концентрации всех изученных соединений остаются низкими (рис. 2а). По мере приближения к ПФ они начинают расти, и достигают максимальных значений сразу после пересечения этого фронта. Здесь наблюдалось массовое развитие флуоресцирующих микроводорослей.

Характер распределения основных изучаемых параметров в поверхностных водах 2012 и 2014 гг. не изменился. В 2014 г. в Южном океане было

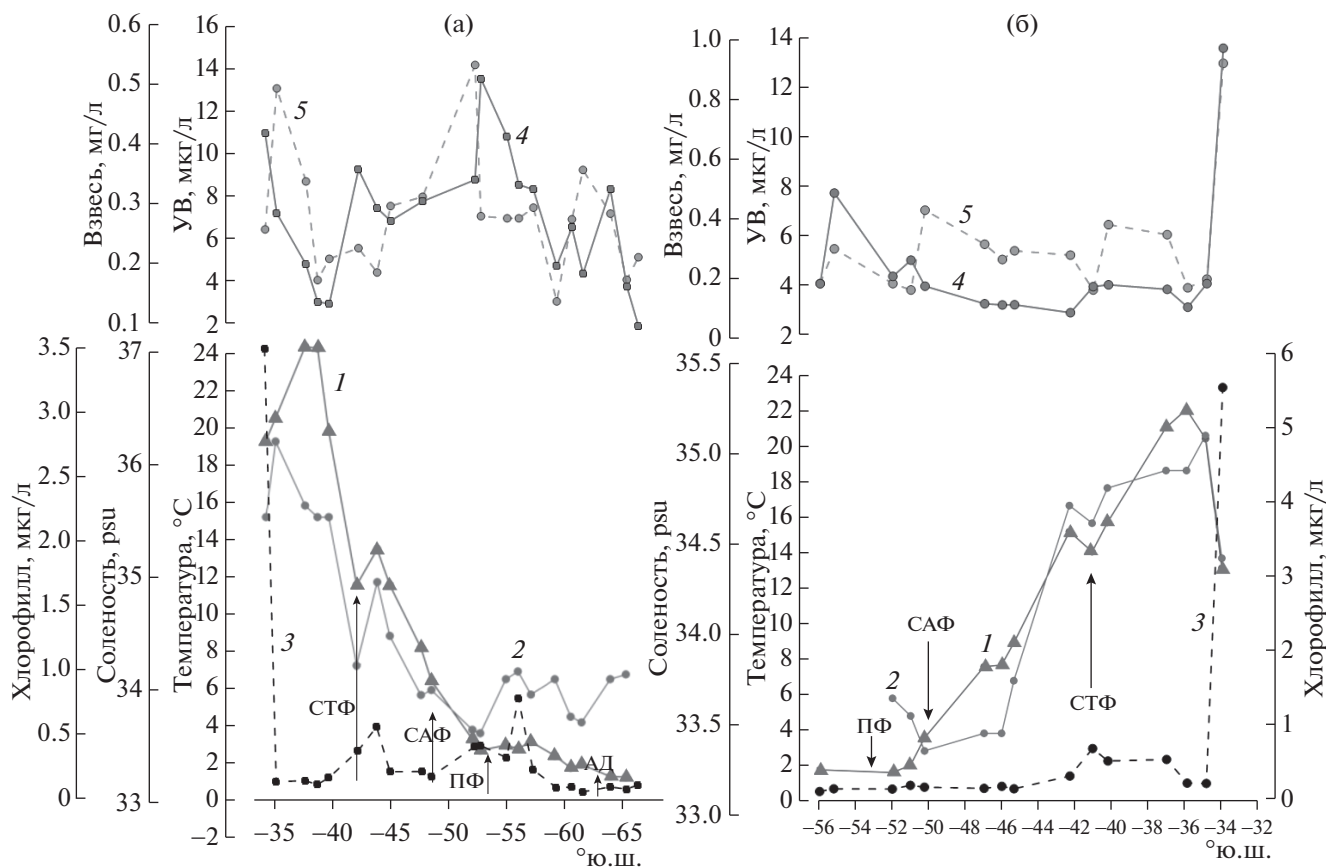


Рис. 2. Распределение в поверхностных водах: 1 – температуры, °С; 2 – солености, psu; 3 – хл “а”, мкг/л; 4 – взвеси, мг/л; 5 – УВ, мкг/л на субмеридианальных разрезах в Южном океане: (а) – в марте, (б) – в апреле 2014 г. (59-я РАЭ). Стрелками обозначено среднее многолетнее положение основных гидрологических фронтов: СТФ – северный субтропический фронт, САФ – субантарктический фронт, ПФ – полярный фронт, АД – зона антарктической дивергенции.

сделано 2 субмеридиональных разреза в марте (от п. Кейптаун до ледового барьера моря Лазарева) и в апреле–мае (от залива Прюдс моря Космонавтов до порта Кейптаун). Близкое распределение основных изучаемых компонентов привело к тому, что рис. 2а является почти зеркальным отражением рис. 2б. Сдвиг начала проведения исследований на 5 дней в марте 2014 г. по сравнению с мартом 2012 г. привел к уменьшению концентраций хл “а” в 1.5 раза (таблица). Значения концентраций взвеси в марте 2012 и 2014 гг. практически совпали и соответствовали таковым в марте 2010 г. – в среднем 0.54 мг/л [12].

В 2012 г. вблизи залива Прюдс (море Содружества) наблюдалось скачкообразное увеличение концентрации взвеси и хл “а” (в среднем в 2 и 10 раз соответственно) по сравнению с концентрациями этих соединений в мезотрофных водах, расположенных к северу от этой акватории. Здесь температура поверхностного слоя уменьшалась от 0.9 до –0.6°С. Максимальная концентрация взвеси установлена при минимальной температуре воды. В районе залива Прюдс сформирована

область циклонического круговорота, заполненная высокоширотными водами с температурой 0.4–1.2°С, то есть сильно трансформированной глубинной водной массой [2, 10, 21]. Проникновению этих вод в залив способствует профиль дна: при средней глубине шельфового склона 500 м, в центре проходит глубоководный желоб (700–800 м). По этому желобу глубинные воды поднимаются к поверхности, приводя к уменьшению толщины льда, либо вовсе препятствуют замерзанию полыней. Вследствие этого под действием солнечного света происходит бурное развитие криофильного фитопланктона – различных видов диатомовых водорослей. В целом, на разрезе в Южном океане наблюдалась линейная зависимость ($r^2 = 0.88$) между концентрациями взвеси и хл “а”. В прибрежных водах залива у сезонной границы льдов интенсивное развитие фитопланктона приводило к высоким концентрациям хл “а” и в меньшей степени – липидов и УВ.

В 2012 г. был выполнен разрез к югу от 60° ю.ш. вдоль побережья Восточной Антарктики. На этом разрезе концентрации взвеси и хл “а” подверже-

ны значительной изменчивости, что связано не только со сменой гидрологических условий. При подходе к берегам Антарктиды, как правило, наблюдается понижение температуры воды, вызванное стоковыми ветрами, которые дуют почти с постоянной скоростью с материка в сторону океана, поставляя со стороны материка аэрозольный материал [10]. Ветровое воздействие приводит к сгону поверхностной воды от кромки припайного льда в открытое море и подъему глубинных водных масс, обогащенных биогенными элементами. Тем не менее, из-за быстрого обмена водных масс, фитопланктонное сообщество не успевает развиваться, что приводит к низким концентрациям изучаемых соединений (таблица). При появлении полей битого льда на вдольбереговом разрезе концентрации исследуемых органических соединений во взвеси возрастали, поскольку с подошвы разрушившихся льдин смывались колонии криофильных микроводорослей.

В море Уэдделла на фоне постепенного повышения температуры концентрации хл “а” и взвеси уменьшались и достигали средних величин для поверхностных вод открытого океана — 0.3 мкг/л и 0.25 мг/л соответственно. На границе моря Уэдделла и моря Скоша в пределах относительно небольшой акватории выделяются все виды фронтов, свойственных циркумполярной Антарктике [2, 18, 19, 22], и сформировались условия для активного развития фитопланктона. Отмечалось резкое увеличение концентраций хл “а” (до 4.2 мкг/л) и взвеси (до 1.28 мг/л).

Средние концентрации липидов и УВ в поверхностных водах прибрежных районов Антарктики (7–11 и 12–23 мкг/л соответственно) соответствовали их фоновым значениям в океане и практически не изменились по сравнению с данными за предшествующие годы [11]. Однако довольно высокие величины стандартного отклонения: для липидов 35%, а для УВ — 45% от средней концентрации указывают на влияние биогеохимических процессов на их образование.

В апреле 2012 г. по маршруту от берегов Антарктического полуострова до Южной Америки судно пересекло пролив Дрейка, западную часть моря Скоша и участок юго-западной Атлантики (рис. 1). Примечательно, что в начале разреза происходило синфазное изменение концентраций взвеси и хл “а”. При подходе к порту Рио-де-Жанейро увеличилась доля терригенной составляющей во взвеси и, соответственно, концентрации взвеси и хл “а” изменялись в противофазе.

В Атлантическом океане в мае 2012 г. в олиготрофных водах Бразильского течения концентрации взвеси и органических соединений были низкими, концентрации УВ не превышали 7 мкг/л (рис. 3). Во фронтальной зоне Южного Пассатного течения (5° ю.ш.) установлен локальный мак-

симум концентрации взвеси, который, однако, не повлек роста концентрации УВ (рис. 3, нижняя вставка). В районе термического экватора (ТЭ) наблюдалось синфазное увеличение концентрации УВ и взвеси.

Севернее этого фронта, начинается зона “чистой” воды Гвинейского залива со средней концентрацией взвеси 0.17 и 0.14 мг/л в 2012 г. и 2014 гг. соответственно. В этом районе отмечалось пониженное содержание аэрозолей в воздухе, что характерно для экваториальной гумидной зоны [7, 12]. После прохождения Северного Субэкваториального фронта (15° с.ш.) концентрация взвеси возросла в области Африканского (Западно-Сахарского) апвеллинга. По мере понижения температуры воды, концентрации взвеси и хл “а” значительно варьировали, а концентрация УВ оставалась низкой — 15 мкг/л. Следует отметить, что в мае 2010 г. судно пересекло эту фронтальную зону на 3° западнее и рост концентрации взвеси был выражен еще заметнее, вследствие более резкого уменьшения поверхностной температуры — до 20° С [12].

В мае 2012 г. на шельфе Пиренейского п-ова (33°–44° с.ш., аномальная область, таблица) наблюдалось резкое увеличение концентраций УВ (до 116 мкг/л). При этом доля УВ в составе липидов возросла до 86%, а средняя концентрация УВ (77 мкг/л) превысила ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л). На периферии этой области концентрации УВ увеличивались в среднем в 7 раз. В составе УВ в низкомолекулярной области преобладали алканы $n-C_{18}$, $n-C_{22}$, а в высокомолекулярной — $n-C_{24}$ - C_{26} (рис. 3, верхняя врезка), что характерно для трансформированных нефтяных УВ.

В северном полушарии на изученном разрезе в Атлантике наблюдалась корреляционная зависимость между концентрациями взвеси и хл “а” ($r_{вз-хл} = 0.78$) и полностью отсутствовали связи в распределении этих параметров и УВ: $r_{хл-УВ} = -0.031$, $r_{вз-УВ} = 0.13$. Последнее может косвенно указывать поступление УВ с нефтяным загрязнением.

В феврале 2014 г. вблизи Канарского апвеллинга на двух станциях концентрация УВ достигла 76–91 мкг/л и превышала ПДК для нефтяных УВ в 1.5–1.8 раз. Кроме того, доля УВ в составе липидов, несмотря на повышенную концентрацию последних (118–147 мкг/л), увеличилась до 64% по сравнению с фоновыми значениями в составе липидов для океана (32%). В мае 2014 г. концентрация УВ в этом районе была в 5 раз ниже значений, измеренных в феврале того же года (в среднем до 4 мкг/л, таблица). Ранее здесь также неоднократно были зафиксированы мелкомасштабные флуктуации концентраций УВ, превышающие ПДК [12].

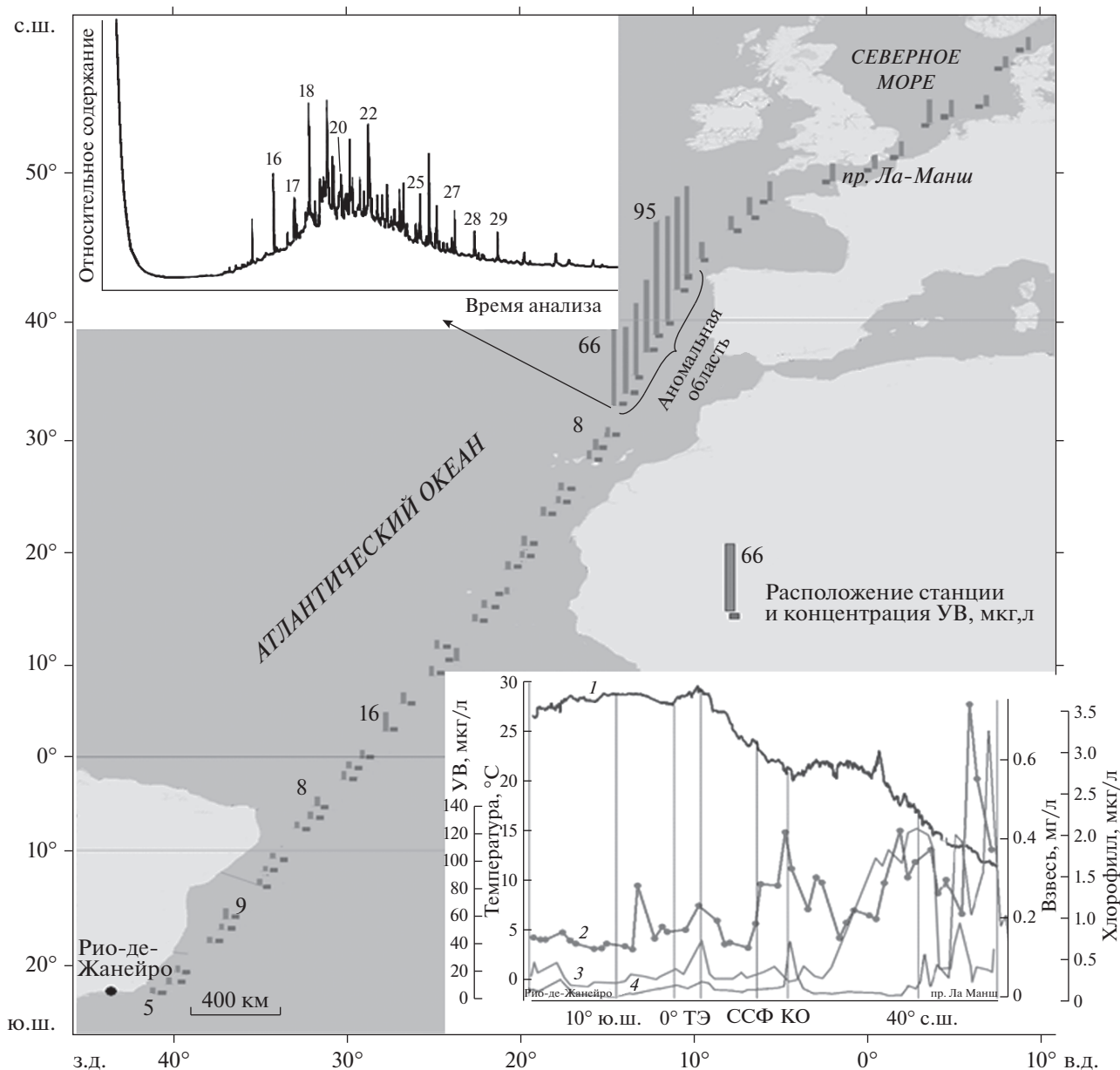


Рис. 3. Изменение концентраций УВ (мкг/л) в поверхностных водах на разрезе от порта Рио-де-Жанейро до пролива Ла-Манш в мае 2012 г. (57-я РАЭ). На верхней врезке – состав алканов в аномальной области вблизи побережья Европы; на нижней врезке: 1 – распределение температуры, °С, 2 – взвеси, мг/л, 3 – хл “а”, мкг/л и 4 – УВ, мкг/л на этом разрезе. ТЭ – термический экватор, ССФ – Северный субэкваториальный фронт, КО – Канарские о-ва.

В Северном и Балтийском морях поверхностные воды отличались не только повышенными концентрациями взвеси и хл “а” (таблица), но и значительной пространственной изменчивостью их значений. Это явление характерно для шельфовых морей. Состав воды Северного моря определяют три фактора: с юго-запада поступает вода из пролива Ла-Манш, с севера – вода Северо-Атлантического течения, с юга (от материка) – воды, насыщенные частицами речного и эолового

генезиса. Гидрологический режим Балтийского моря в значительной мере зависит от интенсивности водообмена с Северным морем и речных выносов. Вследствие чередования множества фронтальных зон в этих морях, по пути следования судна происходило частое изменение концентрации хл “а” и взвеси (рис. 4). Несмотря на обилие нефтедобывающих платформ и интенсивное судоходство, содержание УВ в поверхностных водах, как в феврале, так и в мае 2014 г. соот-

Содержание органических соединений (мкг/л) и взвеси (мг/л) на разрезах в поверхностных водах Атлантического и Южного океанов

Дата	Район	n*	УВ	Липиды	n	хл "а"	n	Взвесь
			Интервал средняя			Интервал средняя		Интервал средняя
2012 г., 57 РАЭ								
Атлантический океан								
05–26.05	Разрез через Атлантику (без аномальной области)	51	$\frac{2-16}{19}$	$\frac{5-65}{35}$	51	$\frac{0.06-1.02}{0.38}$	49	$\frac{0.17-1.14}{0.43}$
15–17.05	Аномальная область	8	$\frac{55-116}{77}$	$\frac{93-165}{127}$	8	$\frac{0.07-0.56}{0.19}$	8	$\frac{0.33-0.77}{0.49}$
Южный океан								
02–09.03	Субмеридиальный разрез	20 _p **	$\frac{8-21}{11}$	$\frac{12-31}{18}$	21	$\frac{0.13-1.71}{0.42}$	21	$\frac{0.17-0.40}{0.26}$
		20	$\frac{6-18}{12}$	$\frac{10-24}{18}$				
09–13.03	Субширотный разрез	11 _p	$\frac{5-21}{8}$	$\frac{9-43}{14}$	11	$\frac{0.20-4.24}{1.17}$	11	$\frac{0.17-0.63}{0.40}$
		11	$\frac{6-24}{14}$	$\frac{14-54}{25}$				
17.03–17.04	Разрез вдоль антарктического побережья	31 _p	$\frac{3-15}{7}$	$\frac{5-29}{12}$	32	$\frac{0.004-4.16}{1.09}$	32	$\frac{0.14-1.28}{0.38}$
		31	$\frac{5-27}{11}$	$\frac{9-46}{23}$				
22–29.04	Разрез от Антарктиды до Ю. Америки	20	$\frac{5-12}{6}$	$\frac{9-17}{11}$	27	$\frac{0.16-0.67}{0.32}$	25	$\frac{0.10-0.43}{0.23}$
2014 г., 59 РАЭ								
10–11.02	Северное море, пролив Ла-Манш	2	$\frac{10-12}{}$	$\frac{32.8-40}{}$	2	$\frac{0.3-1.0}{0.7}$	2	$\frac{0.5-5.5}{3.0}$
27.05–07.06	Пролив Ла-Манш–Северное и Балтийское моря	17	$\frac{5-24}{22}$	$\frac{20-74}{41}$	19	$\frac{0.2-2.7}{1.12}$	14	$\frac{0.3-1.2}{0.6}$
2014 г., 59 РАЭ								
Восточная Атлантика								
15–18.02	Побережье Европы	11	$\frac{3-42}{11}$	$\frac{7-52}{23}$	11	$\frac{0.2-1.2}{0.48}$	10	$\frac{0.1-0.2}{0.19}$
21–26.05		14	$\frac{1-7}{4}$	$\frac{3-42}{11}$	14	$\frac{0.05-1.05}{0.40}$	14	$\frac{0.11-0.84}{0.32}$
19–21.02	Канарский апвеллинг	7	$\frac{5-91}{29}$	$\frac{26-147}{62}$	7	$\frac{0.13-2.3}{1.25}$	7	$\frac{0.19-0.53}{0.3}$
18–21.05		10	$\frac{2-11}{4}$	$\frac{3-20}{8}$	9	$\frac{0.13-3.5}{0.7}$	10	$\frac{0.07-1.0}{0.3}$

Таблица. Окончание

Дата	Район	n*	УВ	Липиды	n	хл "а"	n	Взвесь
			Интервал средняя			Интервал средняя		Интервал средняя
21–23.02	Гвинейский залив	5	$\frac{6-16}{9}$	$\frac{14-34}{25}$	7	$\frac{0.08-0.17}{0.12}$	7	$\frac{0.09-0.21}{0.16}$
12–18.05		12	$\frac{0-14}{4}$	$\frac{2-30}{7}$	12	$\frac{0.07-0.18}{0.12}$	12	$\frac{0.09-0.23}{0.12}$
24.02–02.03	Юго-Восточная Атлантика	17	$\frac{4-16}{9}$	$\frac{8-42}{21}$	18	$\frac{0.04-0.18}{0.08}$	18	$\frac{0.08-0.27}{0.13}$
08–11.05		14	$\frac{0-8}{4}$	$\frac{3-21}{14}$	14	$\frac{0.06-0.63}{0.23}$	14	$\frac{0.09-0.23}{0.12}$
02–03.03	Бенгельский апвеллинг	3	$\frac{6-11}{9}$	$\frac{25-33}{20}$	3	$\frac{0.28-3.49}{2.22}$	3	$\frac{0.42-0.74}{0.53}$
03–7.05		3	$\frac{5-6}{6}$	$\frac{23-43}{36}$	3	$\frac{3.0-5.5}{3.9}$	3	$\frac{0.63-0.68}{0.66}$
Южный океан								
07–11.03	Субмеридианальный разрез	13	$\frac{3-14}{7}$	$\frac{8-43}{20}$	14	$\frac{0.10-0.77}{0.29}$	13	$\frac{0.13-0.51}{0.30}$
23.04–02.05		27	$\frac{4-13}{6}$	$\frac{9-40}{15}$	27	$\frac{0.10-0.67}{0.23}$	27	$\frac{0.09-0.48}{0.19}$
10–15.04	Субширотный разрез у берегов Антарктики	11	$\frac{3-22}{6}$	$\frac{9-29}{20}$	14	$\frac{0.06-0.65}{0.15}$	14	$\frac{0.10-0.24}{0.14}$

* n – Количество проб.

** 20_p – Определение УВ в растворенной форме, в остальных пробах УВ определяли во взвеси.

ветствовало фоновым концентрациям, характерным для шельфовых акваторий: 22 мкг/л [13]. Аналогичными исследованиями, выполненными авторами в октябре того же года по маршруту судна (130-й рейс НИС "Профессор Штокман") от порта Архангельск до порта Калининград через Белое, Баренцево, Норвежское и Балтийское моря, установлены близкие концентрации всех изучаемых соединений. Для УВ они составили в среднем 12 мкг/л, для взвеси – 0.77 мг/л и для хл "а" – 2.3 мкг/л.

В мае 2010 г. в Северном и Балтийском морях (по маршруту следования судна от порта Кейптаун до порта Санкт-Петербург, 55-я РАЭ), наоборот, концентрация УВ возростала более, чем в 2 раза по сравнению с атлантической водой и достигала 102 мкг/л [12]. Средняя концентрация УВ (52 мкг/л) была сопоставима с величиной ПДК для нефтяных УВ. Концентрация хл "а" увеличивалась незначительно по сравнению с ростом концентрации УВ. Все эти факты дают основание полагать, что в мае 2010 г. в южной части Север-

ного и Балтийского морей авторами зафиксированы последствия нефтяного загрязнения.

ВЫВОДЫ

Гидрологические фронты, являясь разделами между поверхностными водными массами с различными гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками, служат границами различных биогеохимических зон. Для этих зон характерен различный сезонный ход основных биопродукционных параметров, в том числе, концентраций хл "а", липидов и УВ.

Практически на всей исследованной акватории Южного океана переход фитопланктонного сообщества от позднелетнего состояния к осеннему сопровождался уменьшением концентраций взвеси и органических соединений в поверхностных водах.

Синфазное изменение концентраций взвеси и хл "а" в поверхностных водах Южного океана указывает на преобладание во взвеси автохтонных биогенных компонентов. Изменение темпе-

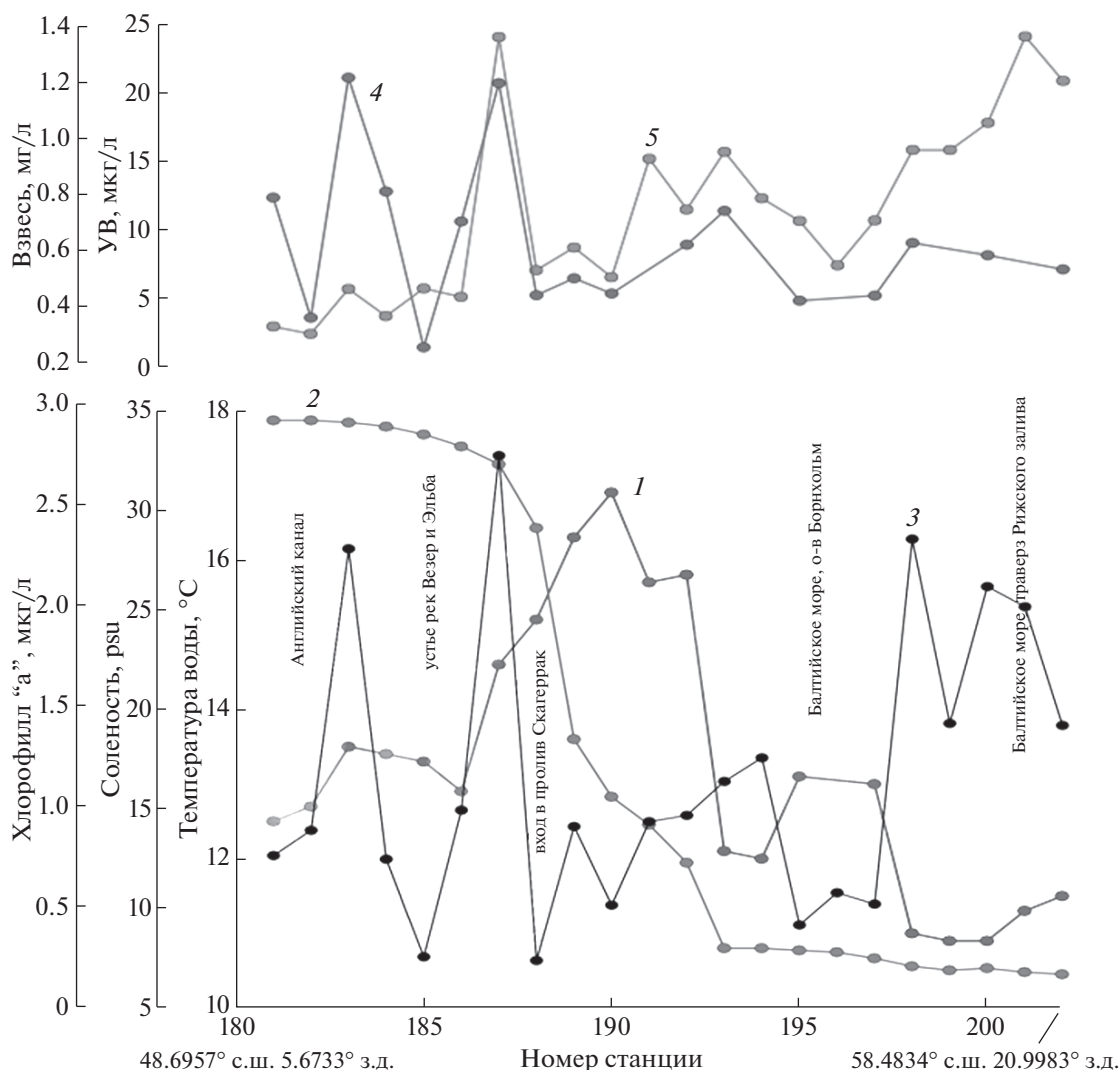


Рис. 4. Изменчивость изученных характеристик в поверхностных водах на разрезе пролив Ла-Манш – Балтийское море в мае–июне 2014 г. (59-я РАЭ): 1 – температуры, °С; 2 – солёности, psu; 3 – хл “а”, мкг/л; 4 – взвеси, мг/л; 5 – УВ, мкг/л.

ратуры воды и развитие фитопланктона при формировании ледового покрова приводят к заметному росту концентраций взвеси и хл “а” и в меньшей степени – липидов и УВ.

В судоходных районах восточной части Атлантического океана, особенно вблизи побережья Европы, поступление загрязняющих веществ приводит к увеличению концентраций УВ в большей степени по сравнению с динамикой концентраций взвеси и хл “а”, создавая тем самым локальные зоны антропогенного загрязнения.

Авторы благодарят академика А.П. Лисицына за ценные замечания к рукописи статьи, В.А. Артемьева, А.Б. Горницкого, Л.В. Демину, А.А. Недоспасова, З.Ю. Реджепову и Г.И. Сычкову за помощь в отборе проб и проведении анализов.

Обработка материалов выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ (проект № 14-50-

00095). Интерпретация данных проведена в рамках Государственного задания ИО РАН на 2015–2017 гг. по теме № 0149-2014-0038.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Органическое вещество Белого моря. В книге Белое море Т. 2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 492–598.
2. Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Термическая структура верхнего слоя океана между Африкой и Антарктидой по данным океанографических работ ААНИИ 2004–2010 гг. // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Океанография и морской лед / Под ред. Фролова И.Е. М.: Paulsen, 2011. С. 280–290.
3. Белкин И.М. Фронтальная структура Южной Атлантики // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: Наука, 1993. С. 40–53.

4. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.
5. *Демидов А.Б., Ведерников В.И., Шеберстов С.В.* Пространственно-временная изменчивость хлорофилла "а" в атлантическом и индийском секторах Южного океана в феврале–апреле 2000 г. по спутниковым и экспедиционным данным // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 4. С. 546–558.
6. *Кравчишина М.Д., Лисицын А.П., Буренков В.И., Копелевич О.В.* Основные закономерности распределения хлорофилла "а" в Белом море // *Система Белого моря*. Т. 3. М.: Научный мир, 2013. С. 190–198.
7. *Лисицын А.П.* Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер земли. *Мировой океан* Т. 2. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
8. *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. 1–4.
9. *Люцарев С.В.* Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // *Океанология*. 1986. Т. 26. Вып. 4. С. 704–708.
10. *Масленников В.В.* Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: ВНИРО, 2003. 295 с.
11. *Немировская И.А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
12. *Немировская И.А., Артемьев В.А.* Взвесь и компоненты органического вещества в поверхностных водах Южного и Атлантического океанов // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 1. С. 36–46.
13. *Немировская И.А., Кравчишина М.Д., Артемьев В.А.* 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 (95). С. 31–43.
14. *Немировская И.А., Чернявский Н.Г.* Исследование углеводородов в водах и снежно-ледяном покрове юго-восточного сектора Антарктики // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 1. С. 8–18.
15. *Руководство по методам анализа морских вод*. РД 52.10.243-92. / Под ред. Орадовского С.Г. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
16. *Федоров К.Н.* Физическая природа и структура океанских фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.
17. *Balks M.R., Paetzold R.F., Kimble J.H.* Effects of hydrocarbons spills on the temperature and moisture regimes of Creosols in the Ross Sea region // *Antarctic Science*. 2002. V. 14 (4). P. 319–326.
18. *Deacon G.E.R.* Physical and biological zonation in the Southern Ocean // *Deep-Sea Res.* 1982. V. 29. № 1A. P. 1–15.
19. *Jacobs S.S.* On the nature and significance of the Antarctic Slope Fronts // *Mar. Chem.* 1991. V. 35. Part 1. P. 9–24.
20. *Lohmann R., Belkin I.M.* Organic pollutants and ocean fronts across the Atlantic Ocean: A review // *Progress in Oceanography*. 2014. V. 128. P. 172–184.
21. *Orsi A.H., Whitworth III, Nowlin Jr W.D.* On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current // *Deep-Sea Res.* 1995. Part 1. 42. P. 641–673.
22. *Pinturier-Geiss L., Laureillard J., Riaux-Gobin C. et al.* Lipids and pigments in deep-sea surface sediments and interfacial particles from the Western Crozet Basin // *Mar. Chem.* 2001. V. 75. P. 249–266.
23. UNESCO. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements, IOC/SCOR manual and guides. Paris: UNESCO Publ., 1994. № 29. P. 128–134.

Variability of Suspended Particulate Matter and Organic Compounds Concentrations in the Frontal Zones of the Atlantic and South Oceans

I. A. Nemirovskaya, M. D. Kravchishina

The researches of suspended particulate matter (SPM) concentrations and particulate forms of organic compounds (hydrocarbons, lipids, chlorophyll "a") were carried out in February and May 2012 and 2014 in the surface water layer of the Atlantic and South oceans. It was revealed that the distributions of the studied components concentrations were basically influenced by the position of frontal zones in the South Ocean and the western Atlantic Ocean (southern Hemisphere). At formation of ice cover in the Southern Ocean changes in water temperature and phytoplankton growth at the ice–water interface leads to increased concentrations of SPM and chlorophyll "a" in the surface water layer and to a lesser extent — of lipids and hydrocarbons. Episodic sharp increases in the concentrations of hydrocarbons caused by anthropogenic pollution were observed in local areas in the eastern Atlantic waters, North Sea and Baltic Sea.