

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЗВЕСИ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ
АТЛАНТИЧЕСКОГО И ЮЖНОГО ОКЕАНОВ
(ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 57-й РАЭ)**

*д-р геол.-минерал. наук И.А.НЕМИРОВСКАЯ,
канд. геол.-минерал. наук М.Д.КРАВЧИШИНА, ст. науч. сотр. В.А.АРТЕМЬЕВ,
науч. сотр. А.В.ТРАВКИНА*

Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН (ИО РАН), г. Москва, e-mail: nemir@ocean.ru

По маршруту НЭС «Академик Федоров» (второй этап 57-й РАЭ, февраль-май 2012 г.) в поверхностных водах проведены исследования взвеси и органических соединений: хлорофилла, липидов, углеводов. Установлено, что в Южном океане и в западной части Атлантического океана на содержание изучаемых компонентов основное влияние оказывают гидробиологические факторы. В Восточной Атлантике, на шельфе Пиренейского п-ова поступление загрязняющих веществ приводит к резкому увеличению концентраций липидов и углеводов.

Ключевые слова: взвесь, хлорофилл «а», липиды, углеводороды, температура, поверхностные воды, гидрологические фронты.

ВВЕДЕНИЕ

Во втором этапе 57-й РАЭ (февраль–май 2012 г., 34-й рейс НЭС «Академик Федоров») с целью изучения взвеси и органических соединений во взвеси (хлорофилла А, липидов и углеводов – УВ) был проведен отбор проб в поверхностных водах по маршруту движения судна (рис. 1). Подобные работы в поверхностных водах были начаты в Арктике в 1998–2000 гг. (14 и 15-й рейсы НЭС «Академик Федоров» [Кравчишина, 2009; Лисицын, 2001; Немировская, 2004; Немировская, Новигатский, 2004]), а затем продолжены в Антарктике в 2001, 2005, 2008 и 2010 гг. в 46, 48, 53 и 55-й РАЭ [Немировская, 2004; Немировская, 2006; Немировская, Артемьев, 2012; Немировская, Чернявский, 2011].

В океанологии взвесью принято считать частицы разнообразного происхождения, пассивно взвешенные в морской воде и имеющие размеры от 0,5 мкм до 1 мм. В океане в 1 л воды содержится 5–6 млн частиц (биогенных и терригенных). В верхнем деятельном слое Мирового океана ежегодно возникает около 110 млрд т взвеси, что во много раз превышает поступление взвеси с континентов [Лисицын, 2001; Кравчишина, 2009]. Исследования по биогеохимии океана показали, что процессы седиментации определяются работой биоса (взвесеобразующими компонентами), прежде всего биофильтраторами (планктонными и донными) [Лисицын, 2001]. 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 [Вернадский, 2001]. Концепция «живого океана» – это одно из важнейших открытий в океанологии XX века [Лисицын, 2001].

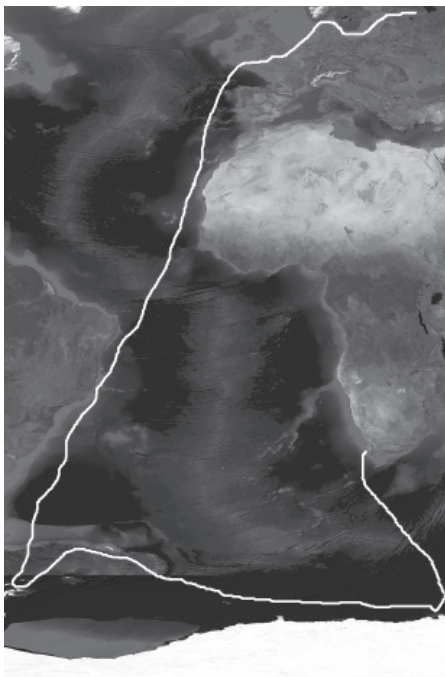


Рис. 1. Схема отбора проб в поверхностных водах по маршруту судна в 34-м рейсе НЭС «Академик Федоров».

До настоящего времени при исследовании морских вод, в том числе Южного океана, главное внимание уделялось их гидрологическим характеристикам [Антипов, Клепиков, 2011; Белкин, 1993; Клепиков и др., 1985; Маслеников, 2003; Balks et al., 2002; Deacon, 1982; Jacobs, 1986; Orsi et al., 1995]. Изучение вещественного и химического состава взвеси необходимо при решении основных вопросов литологии, морской геологии и экологии, а также для развития методов исследования микро- и наночастиц. Изучение изменчивости во времени и пространстве количества органических соединений – липидов и хлорофилла «а» – необходимо для понимания процессов, формирующих и поддерживающих функционирование морских экосистем, а УВ – для оценки загрязненности поверхностных вод нефтепродуктами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробы воды отбирали на ходу судна с подветренной стороны. Одновременно с отбором проб морской воды регистрировали координаты, а с помощью судовой метеостанции «MILOS-520» получали данные по температуре воды, воздуха и скорости ветра, которые автоматически измерялись с дискретностью 1 мин. Для интерпретации полученных материалов использовали значения температуры, взятые с 10-минутным интервалом. Границы фронтов уточняли по значениям температуры поверхностного слоя океана.

Содержание взвеси определяли на борту судна оптическим методом по показателю ослабления света морской водой (C) при $\lambda = 530$ нм с помощью прозрачномера ПУМ–А, разработанного в лаборатории оптики океана (ИО РАН) [Артемьев и др., 2008]. Кроме того, взвесь выделяли из воды методом мембранной фильтрации на предварительно отмытые (4-процентный раствор HCl осч) поликарбонатные ядерные фильтры (размер пор 0,45 мкм) под вакуумом 0,4 атм. Между показателем ослабления света и концентрацией взвеси для поверхностных вод Южного и Атлантического океанов была установлена линейная зависимость: $r^2 = 0,86$ при $n = 120$ [Немировская, Артемьев, 2012]. Поэтому оптические данные, которые получают оперативно в морских условиях, можно использовать для оценки концентрации взвеси.

Для изучения органических соединений их выделяли фильтрацией из воды при 0,2 атм на предварительно прокаленные при 450 °С стекловолкнистые фильтры GF/F (эффективный размер пор 0,7 мкм). Определение концентрации хлорофилла «а» проводилось флуориметрическим методом на приборе Trilogy 1.1 фирмы Turner Design (США), предварительно откалиброванном на кафедре биофизики биологического факультета МГУ. Для экстракции хлорофилла «а» фильтры GF/F помещали в 90-процентный раствор ацетона и выдерживали в темноте при $t = +4$ °С в течение

12–16 ч. Для коррекции концентрации хлорофилла «а» с учетом феопигмента экстракт подкисляли 1н HCl и снова определяли интенсивность флуоресценции. Расчет концентраций фитопигментов проводился по формулам [UNESCO, 1994].

Липиды (суммарная фракция, извлекаемая органическими растворителями) выделяли из подсушенных на воздухе проб взвесей метиленхлоридом на ультразвуковой бане «Сапфир» при 35 °С, а УВ – с помощью колоночной хроматографии на силикагеле гексаном. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии) и УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на судовом спектрофотометре IR-435 Shimadzu (Япония). В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37,5 % изookтана, 37,5 % гексадекана и 25 % бензола [Руководство..., 1993]. Чувствительность метода – 3 мкг/мл экстракта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В поверхностных водах (по ходу движения НЭС «Академик Федоров») было сделано пять разрезов (деление на разрезы было достаточно условным). Первый субмеридиональный разрез протягивался от порта Кейптаун до 60° ю.ш., несмотря на то, что на 50° ю.ш. судно из-за плохих погодных условий отклонилось от южного направления; второй субширотный разрез – от 40° в.д. до залива Прюдс (ст. Прогресс). Третий широтный разрез проходил возле берегов Антарктиды – от залива Прюдс (ст. Прогресс) до бухты Ардли (ст. Беллинсгаузен); четвертый разрез – через пролив Брансфилд в прибрежные воды Южной Америки (до Рио-де-Жанейро). Пятый разрез протягивался через Атлантический океан в Северное море до Датских проливов (порт Бремерхафен).

СУБМЕРИДИОНАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ

Исследования были начаты сразу после выхода судна из п. Кейптаун, что практически совпало с северной границей фронта течения Агульяс (ФТАг) – 35° 17' ю.ш. (рис. 2), которое приносит теплые воды из северных районов Индийского океана. Южной границей течения считается субтропический фронт (СТФ) – 40° 54' ю.ш. Значения показателя ослабления света изменялись в начале разреза, так же как в 2010 г. [Немировская, Артемьев, 2012], в противофазе с температурой. По мере пересечения течения, значения показателя ослабления света колебались в интервале 0,208–0,722 и в среднем составили 0,325 м⁻¹ (табл. 1). По сравнению с февралем–мартом 2010 г. значения *C* (в среднем 0,441 м⁻¹) уменьшились и изменялись в меньшем интервале (табл. 1). Это самый интенсивный фронт, с большими градиентами температуры, отделяющий теплые воды течения Агульяс от более холодных поверхностных субантарктических вод.

Поступление к поверхности более холодных вод, богатых биогенами, приводит к увеличению их продуктивности, росту биогенной взвеси и, как следствие, величины *C*. Повышение продуктивности вод между ФТАг и СТФ подтверждают изменения концентраций хлорофилла «а», которые колебались в интервале 0,13–1,71 мкг/л.

Южнее СТФ начинается Субантарктическая зона, южной границей которой является субантарктический фронт (САФ). Постепенное уменьшение концентрации хлорофилла «а», скорее всего, обусловлено начинающимся выхолаживанием вод, сопровождающимся снижением их продуктивности. После прохождения САФ судно вошло в Субантарктическую фронтальную зону мезотрофных вод, которые характеризуются низкими концентрациями фитопланктона – продуцента биогенного

Таблица 1

**Концентрации органических соединений (мкг/л)
и значения показателя ослабления света (м^{-1}) в поверхностных водах**

Дата	Район	n^*	УВ	Липиды	n	Хлорофилл «а»	n	C
			Интервал средняя			Интервал средняя		Интервал средняя
2012 г. 57-я РАЭ,								
02– 09.03.	Субмеридианальный разрез	20 _р ^{**} 20 _в	<u>8–21</u> 11 <u>6–18</u> 12	<u>12–31</u> 18 <u>10–24</u> 18	21	<u>0,129–1,714</u> 0,424	21	<u>0,206–0,722</u> 0,441
09– 13.03	Субширотный разрез	11 _р 11 _в	<u>5–21</u> 8 <u>6–24</u> 14	<u>9–43</u> 14 <u>14–54</u> 25	11	<u>0,201–4,237</u> 1,170	11	<u>0,228–0,904</u> 0,519
17.03– 17.04	Разрез вдоль антарктического побережья	31 _р 31 _в	<u>3–15</u> 7 <u>5–27</u> 11	<u>5–29</u> 12 <u>9–46</u> 23	32	<u>0,004–4,161</u> 1,088	32	<u>0,174–1,216</u> 0,368
22– 29.04	Разрез от Антарктиды до Южной Америки	20 _в	<u>5–12</u> 6	<u>9–17</u> 11	27	<u>0,164–0,670</u> 0,317	27	<u>0,118–0,395</u> 0,239
05– 26.05	Разрез через Атлантику	51 _в	<u>5–165</u> 35	<u>2–116</u> 19		<u>0,057–1,021</u> 0,384	51	<u>0,209–0,784</u> 0,280
15– 17.05	Аномальная область Атлантики	8 _{вз}	<u>55–116</u> 77	<u>93–165</u> 127		<u>0,068–0,556</u> 0,192	8	<u>0,196–0,420</u> 0,303
2010 г. 55-я РАЭ								
27.02– 05.03	Субмеридианальный разрез	9 _р 9 _в	<u>6–29</u> 18 <u>7–25</u> 12	<u>16–40</u> 32 <u>11–44</u> 19	5	<u>0,059–3,196</u> 0,830	31	<u>0,19–0,88</u> 0,39
10– 18.04	Субмеридианальный разрез	14 _р 14 _в	<u>3–15</u> 6 <u>5–24</u> 8	<u>4–47</u> 12 <u>4–24</u> 6	14	<u>0,064–2,390</u> 0,505	51	<u>0,18–0,51</u> 0,26
18– 24.04	Бенгельский апвеллинг	7 _в	<u>2–11</u> 6	<u>5–27</u> 18	7	<u>0,050–0,192</u> 0,122	16	<u>0,26–4,72</u> 1,56
24– 30.04	Юго-Восточная Атлантика	18 _в	<u>2–35</u> 10	<u>17–137</u> 33	18	<u>0,024–0,180</u> 0,070	42	<u>0,10–0,60</u> 0,18
30.04– 08.05	Восточная Атлантика	23 _в	<u>3–44</u> 10	<u>14–91</u> 34	23	<u>0,051–1,686</u> 0,303	35	<u>0,13–0,83</u> 0,23
08– 10.05	Шельф Западной Европы	5 _в	<u>10–44</u> 23	<u>42–91</u> 67	5	<u>0,122–0,962</u> 0,505	9	<u>0,35–1,60</u> 0,670
11– 20.05	Северное, Балтийское моря	9 _в	<u>13–102</u> 52	<u>60–190</u> 122	9	<u>0,213–2,247</u> 1,042	20	<u>0,37–1,91</u> 0,646

Примечания: * – количество проб; ** – р – растворенные, в – во взвеси.

вещества и главного источника биогенного материала водной взвеси. В этом районе значения показателя ослабления остаются довольно низкими ($0,2–0,3 \text{ м}^{-1}$) так же, как концентрации хлорофилла ($0,1–0,2 \text{ мкг/л}$, рис. 2), кремния и минеральной формы

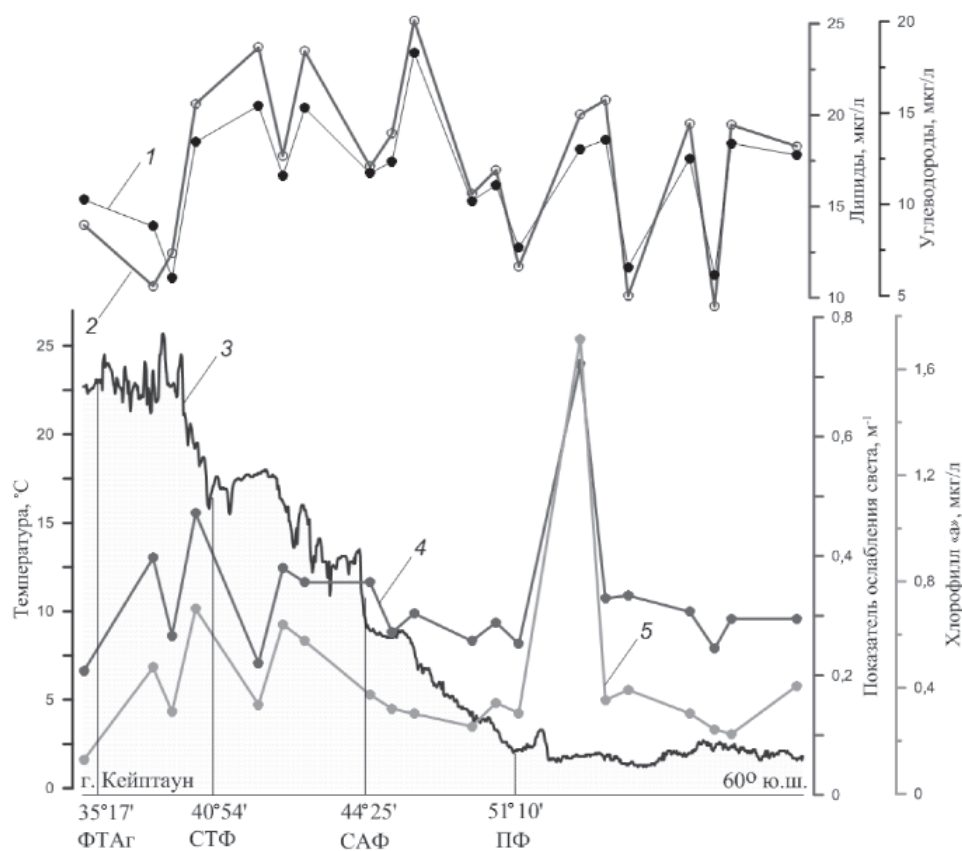


Рис. 2. Распределение УВ (1), липидов (2), температуры (3), показателя ослабления света (4), хлорофилла «а» (5) в поверхностных водах океана на субмеридиональном разрезе от порта Кейптаун до 60° ю.ш.

ФТАг – фронт течения Агульяс, СТФ – субтропический фронт, САФ – субантарктический фронт, ПФ – полярный фронт.

фосфора. По мере приближения к полярному фронту (ПФ) они начинают расти и достигают максимальных значений сразу за границей этого фронта. В этом же районе наблюдались наиболее высокие значения C и хлорофилла «а». Примечательно, что на протяжении всего разреза оптические характеристики взвеси и концентрации фитопигмента меняются синфазно. Их максимумы, расположенные за ПФ, были установлены также в 16-м рейсе НЭС «Академик Федоров», где содержание хлорофилла «а» составило 1,12 мкг/л, при фоновом значении 0,1–0,2 мкг/л [Демидов и др., 2007]. В 2010 г. значения C достигали 0,5 м⁻¹, при среднем 0,325 м⁻¹ (табл. 1). Это явление отражается также на спутниковой карте распределения хлорофилла «а». По визуальным наблюдениям в этом районе в ночное время отмечалось массовое скопление флуоресцирующих микроводорослей. После 57° ю.ш. судно пересекло южную границу антарктического течения и вошло в высокоширотные воды, где значения C и концентрация хлорофилла «а» достигли постоянных значений: 0,27 м⁻¹ и 0,3 мкг/л соответственно.

Концентрации липидов и УВ в начале субмеридионального разреза изменялись в противофазе с распределением показателя ослабления света и хлорофилла «а», что, возможно, обусловлено влиянием нефтяных загрязнений, поступающих от п. Кейптаун. Кроме того на их поступление в поверхностные воды влияет эоловый перенос с африканского материка и в особенности циркуляции атмосферных потоков на 40° ю.ш. [Немировская, 2004]. Концентрации УВ изменялись в сравнительно узком диапазоне, и практически совпадали с результатами, полученными в феврале–марте 2010 г. (табл. 1). Их содержание ниже величины ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л и соответствует средним концентрациям УВ в пелагических районах Мирового океана [Немировская, 2004]. Существующая корреляция между концентрациями липидов и УВ ($r = 0,85$) может свидетельствовать в пользу того, что УВ уже в достаточной степени трансформированы. Примечательно, что в их распределении так же, как для взвеси и хлорофилла, наблюдается максимум в районе 55° ю.ш. (рис. 2), связанный с очагом вихревых образований.

СУБШИРОТНЫЙ РАЗРЕЗ: ОТ 40° в.д. ДО ЗАЛИВА ПРЮДС

В Индийском океане в зоне мезотрофных вод между 40 и 55° в.д., в море Космонавтов происходит очень слабый вынос холодных вод на север [Масленников, 2003]. Циркуполярная глубинная вода смещается на юг и близко подходит к матерiku. Поверхностная температура уменьшается от 1,9 до 1,5 °С, что приводит к увеличению концентрации биогенных элементов в поверхностных водах и создает благоприятные условия для продукции фитопланктона. Последнее способствует увеличению значений показателя ослабления и концентраций хлорофилла «а»: от 0,3 до 0,52 м⁻¹ и от 0,2 до 0,78 мкг/л соответственно (рис. 3).

При подходе к заливу Прюдс наблюдался резкий рост значений *S* и хлорофилла «а», которые увеличивались по сравнению с более северными мезотрофными водами в среднем в 2 и 10 раз соответственно (табл. 1). Согласно спутниковым данным, содержание хлорофилла «а» в заливе Прюдс возрастало в 5 раз по сравнению с прилегающими водами. Это сказывается и на количественном распределении взвеси. Ранее также был зафиксирован рост концентраций взвеси в поверхностных прибрежных водах залива Прюдс (до 2–4 мг/л) [Атлас Антарктики, 1969]. Аномальное повышение продуктивности вод обусловлено гидрологическими факторами. В районе залива Прюдс сформирована область циклонического круговорота, заполненная высокоширотными водами с температурой 0,4–1,2 °С, т.е. сильно трансформированной глубинной водной массой [Атлас Антарктики, 1969; Масленников, 2003; Orsi et al., 1995]. 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, вызывая уменьшение толщины льда либо препятствуя замерзанию полыней. Под действием солнечного света происходит быстрый прогрев поверхностного слоя, что вызывает бурное развитие криофильного фитопланктона – диатомовых водорослей. В целом, согласно нашим данным, на первом и втором разрезах наблюдалась линейная зависимость ($r^2 = 0,88$) между величинами *S* и концентрациями хлорофилла «а» (рис. 4). Следовательно, значения этих параметров определяются одними и теми же факторами и основу взвеси составляет фитопланктон.

На субширотном разрезе содержание липидов и УВ изменялось синхронно с показателем ослабления света и концентрациями хлорофилла «а» (рис. 3). Однако

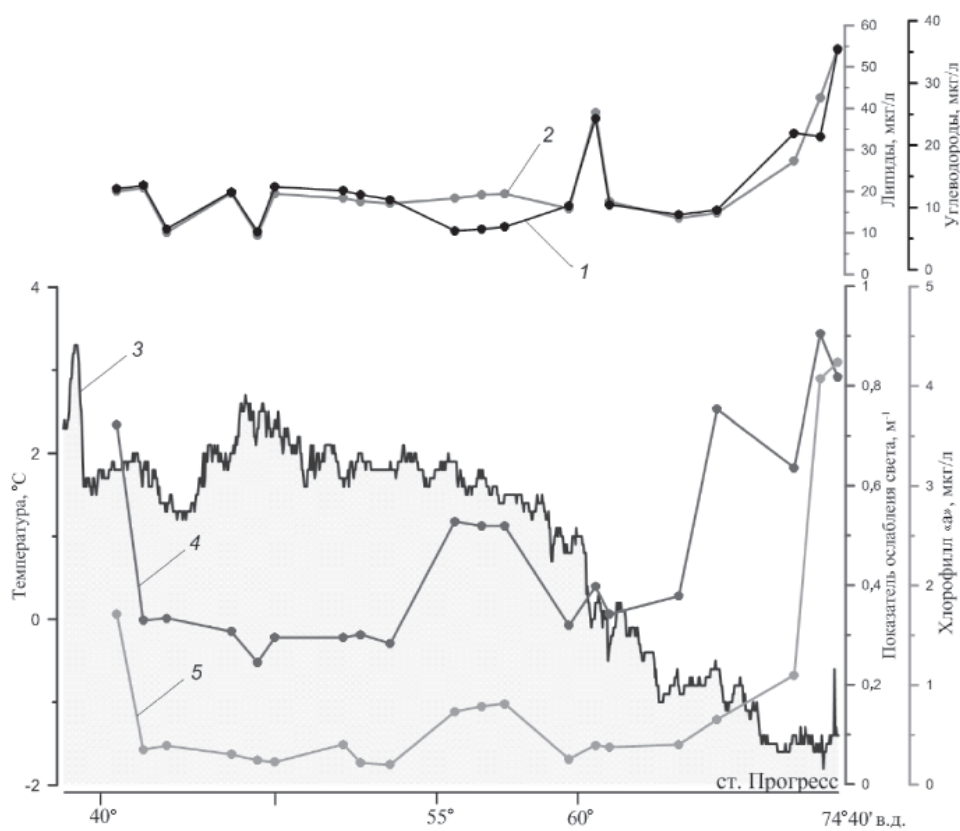


Рис. 3. Распределение УВ (1), липидов (2), температуры (3), показателя ослабления света (4), хлорофилла «а» (5) в поверхностных водах океана на субширотном разрезе от 40° в.д. до станции Прогресс.

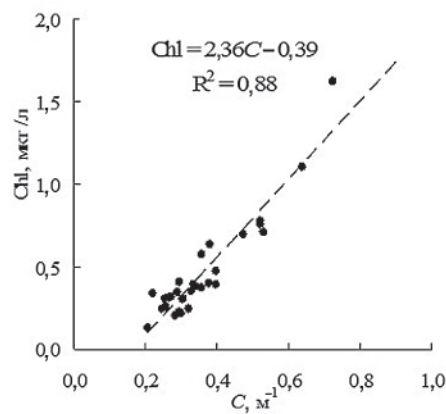


Рис. 4. Зависимость между распределением хлорофилла «а» и показателем ослабления света.

в отличие от последних увеличение их концентраций здесь происходит в меньшей степени. Особенно это характерно для УВ, так как при биосинтезе организмами они не являются доминирующей фракцией в составе липидов [Немировская, 2004]. В прибрежных водах у сезонной границы льдов происходит интенсивное развитие фитопланктона, сопровождаемое высокими величинами первичной продукции, хлорофилла «а», а также липидов и УВ. Поэтому существуют локальные максимумы (особенно на 74° в.д.) в заливе Прюдс для всех изучаемых соединений.

ШИРОТНЫЙ РАЗРЕЗ ОТ ЗАЛИВА ПРИЮДС ДО БУХТЫ АРДЛИ

На разрезе вдоль антарктического побережья маршрут судна проходил южнее 60° ю.ш., в основном в высокоширотных водах. Поверхностная температура на разрезе, вплоть до моря Уэдделла, менялась в узком интервале: от $-1,8$ до $+0,5$ °С. Большую роль в неравномерности распределения температуры играют вертикальные движения в круговоротах, которые образуются при контакте вод различных типов. В северной части разреза с высокоширотными водами контактируют воды антарктического циркулярного течения (АЦТ), что приводит к формированию вторичной фронтальной зоны; в южной части – с водами антарктических склоновых фронтов. Изменения гидрологических параметров имеют мезо- и микромасштабный характер. Значения показателя ослабления света и хлорофилла «а» подвержены локальной изменчивости, что обусловлено не только гидрологическими факторами. При подходе к берегам Антарктиды часто наблюдается понижение температуры, вызванное стоковыми ветрами, которые дуют почти с постоянной скоростью с материка в сторону океана. Ветровое воздействие приводит к сгону поверхностной воды от кромки припайного льда в открытое море и подъему глубинных водных масс, богатых биогенными элементами. Но из-за быстрого обмена вод фитопланктонное сообщество не успевает развиваться, что приводит к низким значениям концентрации хлорофилла «а» и показателя ослабления (табл. 1). Одновременно стоковые ветра могут приносить и эоловый материал.

В районе ст. Молодежная были зарегистрированы самые суровые климатические условия в этом рейсе, вызванные стоковыми ветрами. При скорости ветра 21,5 м/с температура воздуха понизилась от $-3,6$ до $-20,2$ °С, что в пересчете на климатический фактор составило -51 °С. В этих условиях выходящие на поверхность глубинные воды очень быстро охлаждались. На расстоянии 400–500 м от припайного льда на поверхности воды появлялось ледяное сало. Концентрации хлорофилла «а» и значение S составили 0,3 мкг/л и 0,23 м⁻¹ соответственно. Эти данные хорошо согласуются со средними величинами для открытых районов Южного океана [Демидов и др., 2007; Немировская, Артемьев, 2012].

Далее по разрезу с появлением полей битого льда все исследуемые соединения во взвеси начали постепенно расти. В Ленинградском заливе моря Лазарева, несмотря на уменьшение температуры, значения показателя ослабления света и концентрации хлорофилла «а» оказались достаточно высокими, так как пробы отбирали среди ломаного льда. При движении судна лед разрушается и с его подошвы смываются колонии криофильных микроводорослей, что обычно приводит к повышению количества взвеси и органических соединений во взвеси.

По мере продвижения к морю Уэдделла, на фоне постепенного повышения температуры, концентрации хлорофилла «а» и значения S монотонно уменьшались и достигали средних величин для поверхностных вод открытого океана – 0,3 мкг/л и 0,23 м⁻¹. В целом эти значения сохранялись в море Уэдделла до границы с морем

Скоша. Понижение температуры в этом районе, местами до $-1,4^{\circ}\text{C}$, связано с циклоническим круговоротом моря Уэдделла, который является основным поставщиком айсбергов, образующихся на восточной стороне Антарктического полуострова [Масленников, 2003]. В этом районе на относительно небольшой акватории присутствуют все виды фронтов, свойственных циркумполярной Антарктике [Jacobs, 1986; Orsi et al., 1995], и сформировались идеальные условия для активного развития фитопланктонного сообщества. Последнее вызвало резкое увеличение концентраций хлорофилла «а» (до $4,2\text{ мкг/л}$) и в меньшей степени показателя ослабления света ($0,4\text{ м}^{-1}$).

Средние концентрации липидов и УВ в поверхностных водах прибрежных районов Антарктики (7–11 и 12–23 соответственно, табл. 1) практически не изменились по сравнению с более ранними данными и соответствуют их фоновым значениям [Немировская, Артемьев, 2012; Немировская, Чернявский, 2011]. Последнее подтверждает также низкие величины стандартного отклонения, которые составляют для липидов 35, а для УВ – 45 % от средней концентрации.

СУБМЕРИДИОНАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ОТ ПРОЛИВА БРАНСФИЛД ДО ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

В начале этого разреза судно пересекло пролив Дрейка, западную часть моря Скоша и участок юго-западной Атлантики, где расположены основные антарктические течения и фронты: АЦТ, ПФ и САФ. Изучаемые параметры в этих водах подвержены изменчивости, связанной с меандрированием фронтальных зон. Значения S менялись от $0,19$ до $0,44\text{ м}^{-1}$, хлорофилл «а» – от $0,160$ до $1,136\text{ мкг/л}$. Однако в меньшей степени, чем на субширотном разрезе и на разрезе вдоль побережья Антарктиды (табл. 1). Примечательно, что в начале разреза происходило синхронное изменение содержания взвеси и хлорофилла «а». Однако при подходе к Рио-де-Жанейро с увеличением доли терригенной взвеси их концентрации изменялись в противофазе. Необходимо подчеркнуть, что не выявлено сезонной изменчивости взвеси в этом районе, так как значения показателя ослабления света (в среднем $0,239\text{ м}^{-1}$, табл. 1) практически совпали с данными, полученными в ноябре 2008 г. (26-й рейс НИС «Академик Иоффе»), – $0,26\text{ м}^{-1}$.

РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН (ОТ БЕРЕГОВ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ ДО ДАТСКИХ ПРОЛИВОВ)

В начале разреза в олиготрофных водах Бразильского течения содержание взвеси и органических соединений было низким и значения S изменялись в диапазоне от $0,12$ до $0,16\text{ м}^{-1}$, концентрации УВ не превысили 7 мкг/л (рис. 5). Локальный максимум на 5° ю.ш., вызванный увеличением взвеси во фронтальной зоне Южного Пассатного течения, не привел к росту концентраций УВ. Только в районе термического экватора (ТЭ) наблюдалось синхронное увеличение содержания УВ и значений S . Севернее этого фронта начинается зона «чистой» воды Гвинейского залива со средним показателем ослабления света $0,11\text{ м}^{-1}$. В этом районе отмечаются наиболее низкие концентрации аэрозолей в воздухе [Немировская, 2004], присущие экваториальной гумидной зоне [Немировская, Артемьев, 2012].

После прохождения Северного Субэкваториального фронта (15° с.ш.) значения показателя ослабления воды вновь начали расти за счет насыщенных взвесью вод Африканского (Западно-Сахарского) апвеллинга. Значения показателя ослабления скачкообразно менялись от $0,18$ до $0,42\text{ м}^{-1}$, с минимумом поверхностной температуры 21°C . Из-за терригенного характера взвеси в этом районе [Немировская, Артемьев,

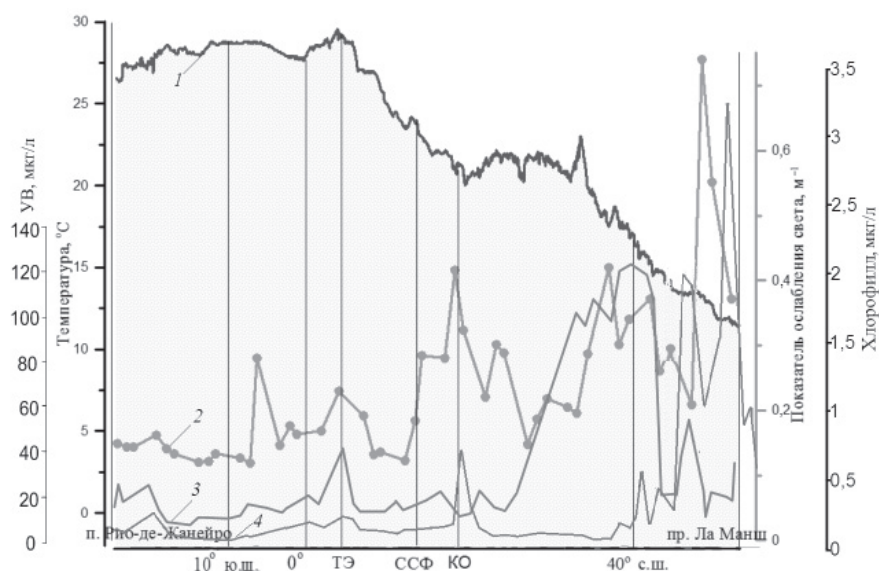


Рис. 5. Распределение температуры (1), показателя ослабления света (2), УВ (3) и хлорофилла А (4) на разрезе: п. Рио-де-Жанейро – Датские проливы.

ТЭ – термический экватор, ССФ – Северный субэкваториальный фронт, КО – Канарские о-ва.

2012] содержание УВ_в оставалось довольно низким – 15 мкг/л. Следует отметить, что в мае 2012 г. судно пересекало эту фронтальную зону на 3° западнее и значения C изменялись более резко (от 0,41 до 0,83 м⁻¹) из-за более резкого уменьшения здесь поверхностной температуры – до 20 °С. Примечательно, что между Канарскими островами (КО, рис. 5) образовался локальный минимум значений $C = 0,15$ м⁻¹, в то время как до и после островов значения C составили соответственно 0,29 и 0,19 м⁻¹. Севернее 38° с.ш. Канарское течение переходит в Северо-Атлантическое, которое приносит холодные продуктивные воды северной Атлантики к европейским берегам. С 36 по 43° с.ш. судно двигалось в зоне смешения вод этих двух течений, и значение C увеличилось до 0,34 м⁻¹. В Бискайском заливе значения C хаотически менялись от 0,21 в южной до 0,74 м⁻¹ в северной части, при входе в Ла-Манш составили 0,41 м⁻¹. Измерение показателя ослабления света сильно усложняли попадающие в кювету фитопланктон, водоросли и медузы. Необходимо обратить внимание на то, что в Бискайском заливе, в каналах и в Северном море весной 2012 г. средние значения показателя ослабления света оказались существенно ниже измеренных весной 2010 г. (табл. 1). Обусловлено это, скорее всего, тем, что исследования в мае 2010 г. были проведены во время весеннего цветения водорослей, а в 2012 г. цветение пошло на спад, так как сдвиг по времени между отбором проб составил 8 сут.

На шельфе Пиренейского п-ова (33–44° с.ш.) наблюдалось резкое увеличение концентраций липидов и УВ (до 165 и 116 мкг/л соответственно, табл. 1). При этом доля УВ в составе липидов возросла до 86 %, т.е. липиды состояли практически из УВ, а средняя концентрация УВ – 77 мкг/л превысила ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л. На граничных станциях этой области содержание УВ увеличивалось в среднем в 7 раз. В составе УВ в низкомолекулярной области преобладали алканы $n\text{-C}_{18}$, $n\text{-C}_{22}$.

а в высокомолекулярной – $n-C_{24}-C_{26}$, что характерно для трансформированных нефтяных УВ. Кроме того, на разрезе через Атлантический океан наблюдалась зависимость между распределением значений C и хлорофилла «а» ($r = 0,78$) и полностью отсутствовали связи в распределении этих параметров и УВ: $r(\text{УВ-хл.}) = -0,031$, $r(\text{УВ-}C) = 0,13$. Все это может указывать на локальное нефтяное загрязнение поверхностных вод. В мае 2010 г. увеличение содержания УВ наблюдалось на шельфе Западной Европы (табл. 1) [Немировская, Артемьев, 2012]. Однако более высокие их концентрации (до 102 мкг/л, 2 ПДК) были установлены в поверхностных водах Северного и Балтийского морей, где также отмечали повышенную их долю в составе липидов и органического углерода. Следовательно, в наиболее судоходных районах Восточной Атлантики происходит рост концентраций УВ, обусловленный, скорее всего, нефтяным загрязнением поверхностных вод.

Таким образом, использование (в дополнение к гидрофизическому) геохимического подхода по определению показателя ослабления света, хлорофилла «а», взвеси, УВ, липидов позволило существенно расширить понимание процессов, происходящих в поверхностном слое вод. При этом полученные данные можно считать мониторинговыми, поскольку подобные работы в Южном и Атлантическом океанах ранее проводились авторами многократно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрологические фронты, являясь разделами между поверхностными водными массами, служат также границами биогеохимических зон, для которых характерен различный сезонный ход основных биопродукционных параметров, в том числе содержания хлорофилла «а» на поверхности.

Синхронное изменение концентраций взвеси и хлорофилла «а» свидетельствует о том, что их изменчивость в поверхностных водах в Южном океане определяется одними и теми же факторами и основу взвеси составляют автохтонные биогенные соединения. Фоновые концентрации в прибрежных районах Антарктиды составили для хлорофилла «а» 1,1 мкг/л, для показателя ослабления света (который определяет содержание взвеси) – $0,37 \text{ м}^{-1}$, для УВ – 10 мкг/л.

Изменение гидробиологических параметров (температуры, продукции фитопланктона при льдообразовании) оказывает влияние на распределение взвеси и хлорофилла «а» в большей степени, чем на содержание липидов и УВ. Напротив, в судоходных районах в восточной части Атлантического океана, особенно возле берегов Европы, поступление загрязняющих веществ приводит к увеличению концентраций УВ в большей степени по сравнению с хлорофиллом и взвесью.

Авторы благодарят Д.А. Ульянова за помощь в отборе проб и обработке результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской антарктической экспедиции, Президиума РАН (программа № 23П), гранта РФФИ № 11-05-00087-а, гранта Президента РФ № НШ-618.2012.5 для поддержки исследований под руководством ведущих ученых, проекта Минобрнауки РФ (Соглашение № 8767), проекта ОНЗ РАН «Микро- и наночастицы в Мировом океане».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. И.Е.Фролова. М.: Paulsen, 2011. С. 280–290.

Артемов В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В. Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света // Комплексные исследования Мирового океана: Проект «Меридиан». Ч. 1. Атлантический океан. М.: Наука, 2008. С. 165–172.

Атлас Антарктики. Л.: Гидрометеиздат, 1969. Т. 2. 598 с.

Белкин И.М. Фронтальная структура Южной Атлантики // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: Наука, 1993. С. 40–53.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.

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.

Клепиков В.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Особенности гидрологии // Северный Ледовый и Южный океаны / Под ред. А.Ф.Трешникова, С.С.Сальникова. Л.: Наука, 1985. С. 65–87.

Кравчишина М.Д. Взвешенное вещество Белого моря и его гранулометрический состав. М.: Научный мир, 2009. 264 с.

Лисицын А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 31–74.

Лисицын А.П., Фролов И.Е. Высокоширотная экспедиция в Баренцево море // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 19–30.

Масленников В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: ВНИРО, 2003. 295 с.

Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Научный мир, 2004. 328 с.

Немировская И.А. Органические соединения в снежно-ледяном покрове Восточной Антарктиды // Геохимия. 2006. № 8. С. 891–901.

Немировская И.А., Артемов В.А. Пространственная изменчивость взвеси и органических соединений в Индийском и Атлантическом секторах южного океана // ДАН. 2012. Т. 442. № 6. С. 814–820.

Немировская И.А., Новигатский А.Н. Распределение органических соединений и взвеси в морских льдах Восточной Антарктиды // ДАН. 2004. Т. 397. № 5. С. 651–660.

Немировская И.А., Чернявский Н.Г. Исследование органических соединений в водах и снежно-ледяном покрове юго-восточного сектора Антарктики // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 8–18.

Руководство по методам анализа морских вод. РД 52.10. 243–92. / Под ред. Орадовского С.Г. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.

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. Vol. 14 (4). P. 319–326.

Deacon G.E.R. Physical and biological zonation in the Southern Ocean // Deep-Sea Res. 1982. Vol. 29. № 1A. P. 1–15.

Jacobs S. The Antarctic slope fronts // Antarct. J.U.S. 1986. Vol. 25. № 5. P. 123–125.

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. Vol. 42. P. 641–673.

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.

I.A.NEMIROVSKAYA, M.D.KRAVCHISHINA, V.A.ARTEM'EV, A.V.TRAVKINA

VARIABILITY OF SUSPENDED PARTICULATE MATTER AND ORGANIC COMPOUNDS IN THE SURFACE WATERS OF THE ATLANTIC AND SOUTHERN OCEANS (BASED ON RESEARCH DATA OF 57th RAE)

Suspended particulate matter and organic compounds (such as chlorophyll «a», lipids and hydrocarbons) were studied in surface water layer along the route of R/V «Akademik Fedorov» (second part of 57th Russian Antarctic Expedition, February–May 2012). Found that in the Southern Ocean and in the western Atlantic Ocean hydrobiological factors are mostly influenced on the concentration of the researched components. The pollution in the eastern Atlantic on the shelf of Iberian Peninsula leads to a sharp increase in the concentration of lipids and hydrocarbons.

Keywords: suspended particulate matter, chlorophyll A, lipids, hydrocarbons, temperature, surface water, hydrological fronts.