

## □ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

югу, что позволит получить новые и ценные сведения о наземной флоре и растительности Антарктиды и закрыть пока еще остающиеся на карте Антарктиды «белые пятна». Необходимо пояснить также, что изучение растительного мира внутриконтинентальных районов Антарктиды не только проливает свет на историю заселения суши в постгляциальный период и позволяет дополнить наши знания о распространении тех или иных видов живых организмов на земном шаре, но и дает возможность предвидеть характер и формы возможной растительной жизни на других планетах со сходными крайне суровыми условиями обитания, например на

Марсе или на спутниках Юпитера, хоть это и звучит пока довольно фантастично.

*Автор выражает искреннюю признательность руководству и сотрудникам ПМГРЭ и РАЭ за предоставленную возможность участия в экспедиции и неизменную поддержку и помощь в ходе ее проведения. Особая благодарность экипажу и командиру вертолета Ка-32 компании «Авиалифт» Н.Ф. Воронову.*

*М.П. Андреев (Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург).  
Фото автора*

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 47-м РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК ИОФФЕ»

В 47-м рейсе НИС «Академик Иоффе» по маршруту судна от п. Ушуайя до п. Гданьск с 26 марта по 7 мая 2015 г. были продолжены многолетние работы Института океанологии РАН (лаборатории физико-химических исследований) по изучению аэрозолей приповерхностного слоя и поверхностных вод Атлантического океана и прилегающих морей. Цель исследования — определить влияние климатических особенностей и фронтальных зон Атлантического океана на распределение осадочного вещества и органических соединений (в том числе загрязняющих веществ) в приповерхностном слое атмосферы и в поверхностных водах. Экспедиция была организована ИО РАН за счет средств и в рамках программы №14-50-00095 «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы» по разделу «Взаимодействие геосфер и минеральные ресурсы Мирового океана» (руководитель А.П. Лисицын).

При этом в задачи исследования входило изучение:

- изменчивости гранулометрического состава приводного аэрозоля с помощью счетчика аэрозольных частиц;
- изменчивости количественного и качественного состава приводного аэрозоля, полученного сетевым методом;
- распределения и состава водной взвеси в поверхностных водах;
- распределения продукционных характеристик поверхностного слоя вод (взвешенного органического углерода, пигментов);
- загрязненности поверхностных вод нефтепродуктами.

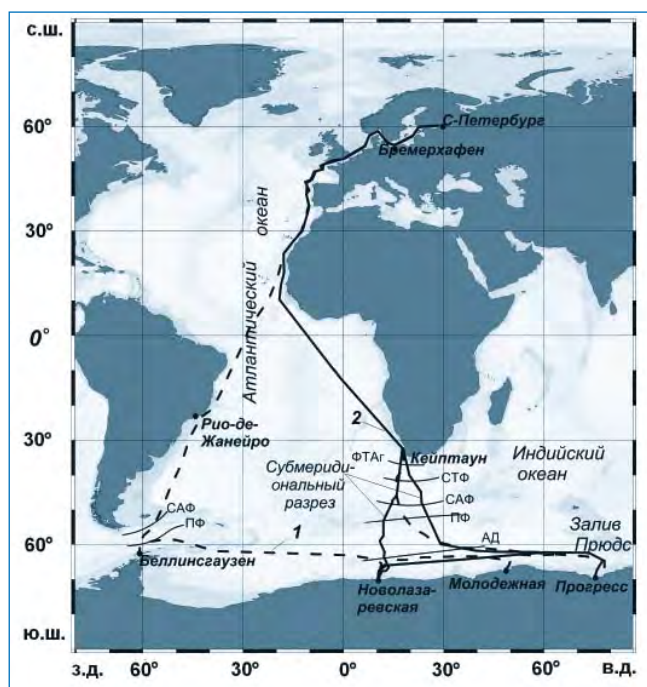
Маршрут НИС «Академик Иоффе» проходил через фронтальные зоны Южной, Центральной и Северо-Восточной Атлантики. Поэтому исследованиями были охвачены как влажные умеренные гумидные и экваториальные области, отличающиеся низким содержанием взвешенного вещества в атмосфере, так и аридные, где резко возрастают атмосферные потоки. Кроме того судно пересекло районы, где доминируют природные процессы формирования аэрозолей и поверхностных вод, и потенциально загрязненные шельфовые области.

Любой химически устойчивый переносимый ветром материал перемещается в атмосфере в процессе движения воздушных масс и в соответствии с погодными условиями. Было установлено, что вклад аэрозолей в формирование осадочного материала близок к вкладу

речного осадочного вещества за пределами маргинальных фильтров рек. Многие годы считалось, что эоловый материал имеет существенное значение только в аридных зонах суши и что главное значение имеют эвапориты (осадочные породы, состоящие из таких минералов, как каменная соль и гипс, образующиеся при испарении соленой воды в жарком сухом климате), а в ходе рассеяния — пески. При этом значительную роль играет биогенный материал, а также минералы-маркеры аридных зон.

Фронтальные зоны в океане изучали в основном физическими методами. Геохимический подход применяли гораздо реже. Кроме того, практически отсутствуют данные о влиянии фронтальных зон на распределение загрязняющих веществ в море, особенно для таких сое-

Схема маршрутов в Атлантическом и Южном океанах: 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). СФ – северный субтропический фронт, САФ – субантарктический фронт, ПФ – полярный фронт, АД – зона антарктической дивергенции, ФТАг – фронт течения Агульес, ЮЭТ – южное экваториальное течение, ССФ – северный субтропический фронт, КА – Канарский апвеллинг.



динений, как углеводороды (УВ), имеющие как природное, так и антропогенное происхождение. В то же время было установлено, что концентрирование фторсодержащих органических соединений в поверхностных водах Атлантики происходит во фронтальных зонах.

Подобные исследования по ходу движения судна успешно выполнялись ранее в экспедициях в центральных районах Северного Ледовитого, Атлантического и Южного океанов по маршрутам НЭС «Академик Федоров», НЭС «Академик Трешников» и НИС «Академик Мстислав Келдыш». Во втором этапе 57-й РАЭ по маршруту 34-го рейса НЭС «Академик Федоров» определялось распределение органических соединений и взвеси в поверхностных водах, а также концентрации взвеси и органических соединений во взвеси (хлорофилл, липиды, УВ, взвешенный органический углерод — ВОУ) на разрезе через Атлантический океан до пролива Ла-Манш. Изучаемые параметры в этих водах подвержены изменчивости, связанной с меандрированием фронтальных зон.

На шельфе Пиренейского п-ова (33–44° с.ш.) наблюдалось резкое увеличение концентраций УВ (до 116 мкг/л, 2,3 ПДК для нефтяных УВ). На граничных станциях этой области содержание УВ увеличивалось в среднем в 7 раз, а состав УВ указывал на трансформированные нефтяные УВ, обусловленные локальным нефтяным загрязнением поверхностных вод.

В 47-м рейсе НИС «Академик Иоффе» были получены данные по гранулометрическому составу аэрозолей с помощью счетчика аэрозольных частиц AeroTrak (США). Размер аэрозольных частиц в большой мере определяет весь набор свойств, присущих аэрозольному веществу, но аэрозоль крайне редко имеет частицы одинакового размера. При движении судна на север из п. Ушуйя при юго-восточном ветре происходило последовательное увеличение количества аэрозолей с максимумом в заливе Эль-Ринкон на рейде порта Бая-Бланка. Здесь количество частиц 0,3 мкм колебалось в диапазоне от 2200 до 44987, в среднем 38313 частиц на литр. Меньшая изменчивость характерна для частиц 1 и 5 мкм. Стандартное отклонение для частиц 0,3, 1

и 5 мкм составило (в процентах от средней величины) 55, 34 и 77 % соответственно. Обусловлено это как изменением скорости ветра — от 4,7 до 15,5 м/с, так и его направлением от 164,5 до 263°. С удалением от берега количество аэрозолей в атмосфере уменьшалось из-за циркумконтинентальной зональности в их распределении. С выходом из территориальных вод Аргентины количество частиц в атмосфере достигло довольно постоянных значений. Минимум аэрозолей был зафиксирован на 14° ю.ш. из-за смены ветрового режима при скорости ветра 5 м/с.

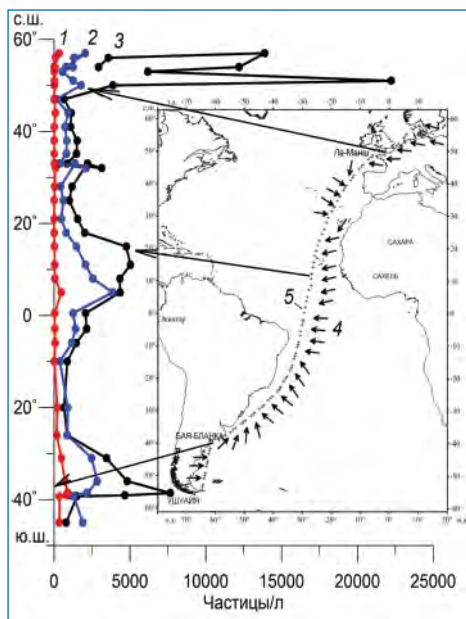
В Северном полушарии увеличение количество частиц происходило в области 4–15° с.ш., находящейся под влиянием переноса аэрозолей из аридных областей Западной Африки (пустынь Сахара и Сахель). В атмосфере Центральной Атлантики наблюдался и второй максимум, приуроченный к 32° с.ш., обусловленный, скорее всего, региональным увеличением потоков аэрозолей с Канарских о-вов. Региональный перенос подтверждается также в бимодальном распределении значений мутности атмосферы. Если при трансграничном переносе аэрозолей из Африки в большей степени происходило увеличение частиц 0,3 мкм, то при локальном переносе аэрозолей наблюдался синхронный рост всех измеряемых частиц (0,3, 1 и 5 мкм) с высоким значением коэффициента корреляции:  $r(0,3-1 \text{ мкм}) = 0,95$ . При смене направления ветра в этой области количество аэрозолей резко уменьшалось: с 17761 до 4622 частиц/л, т.е. почти в 4 раза.

При подходе судна к проливу Ла-Манш прошел дождь, и в атмосфере содержание аэрозолей снизилось до 3466 частиц/л. Затем их количество начало увеличиваться, наиболее резко (в 5 раз) в узком участке пролива Па-де-Кале, где достигло — 111239 частиц/л — максимальной концентрации, установленной для аэрозолей 0,3 мкм в рейсе. В западной части Северного моря, несмотря на прошедший дождь, количество частиц в атмосфере также оставалось довольно высоким — в среднем 31395 частиц/л. В южной части Балтийского моря содержание аэрозолей в атмосфере уменьшилось. Примечательно, что минимальные концентрации приурочены к прибрежной части Гданьской бухты, так как в гумидных областях количество аэрозолей снижалось.

Гранулометрический состав аэрозолей и количество частиц в них изменяется скачкообразно и в широких пределах. Однако во всех пробах доминировала фракция 0,3 мкм. При этом в Южном полушарии на долю фракции 0,3 мкм приходилось 80 % от суммы из-за влияния литогенной части аэрозолей. Концентрация частиц 1 мкм составила 12,5 %, а для частиц 5 мкм — всего 2,5 %.

В заливе Эль-Ринкон на рейде Бая-Бланка доля частиц 0,3 мкм достигала 96 %; в пробе с максимальным количеством аэрозолей, сформированных под влиянием потока из африканских аридных областей, — 92,4 %. Связано это с тем, что в моде первичной нуклеации частицы образуются при конденсации паров или в результате химических реакций, поэтому они малы. Эти частицы могут коагулировать, образуя несколько более крупные, которые возникают при диспергировании веществ на земной поверхности. Самыми малыми из аэрозольных частиц являются ядра Айткена. Их диаметры находятся в диапазоне 0,008 до 0,2 мкм. Подавляющая часть этих ядер — вторичные частицы, образовавшиеся в результате химических реакций в атмосфере. Скорость диффузии таких мельчайших частиц доста-

Изменчивость гранулометрического состава аэрозолей в приземном слое атмосферы по маршруту НИС «Академик Иоффе»: 1 – 0,3 мкм/10, 2 – 1 мкм, 3 – 5 мкм  $\times 10$ . На врезке: 4 – преимущественное направление ветра, 5 – маршрут судна.





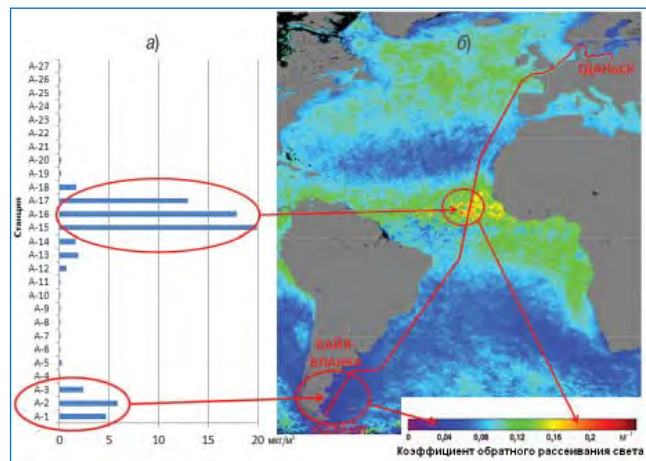
Постановка сетей для сбора аэрозолей (верхний снимок) и вид сетей на баке НИС «Академик Иоффе» в области, находящейся под влиянием потоков из африканских пустынь (нижний снимок).  
Фото З.Ю. Реджеповой.

точно велика, что создает предпосылку для их коагуляции. Ранее считали, что большие частицы, имеющие диаметр от 0,2 до 2 мкм, заключают в себе подавляющую часть массы атмосферного аэрозольного вещества, которое образуется, скорее всего, при конденсации и коагуляции. Однако, согласно полученным данным, в атмосфере Атлантики преобладали частицы 0,3 мкм. В отдельных районах, особенно в Северном полушарии, частицы, превышающие 5 мкм, отсутствовали (в частности, в проливе Ла-Манш).

Кроме того, в 47-м рейсе НИС «Академик Иоффе» пробы аэрозолей отбирали при помощи сетей, установленных на баке судна.

После анализа этих проб оказалось, что повышенные их концентрации так же, как при регистрации аэрозолей с помощью счетчика частиц, приурочены к южной части разреза (до 5,832 мкг/м<sup>3</sup>), а максимальные — к

Вид проб, отобранных вблизи Южной Америки (проба А-2, а) и в Северной Атлантике (проба А-15, б).  
Фото З.Ю. Реджеповой.



Распределение концентраций аэрозолей в приводном слое атмосферы, собранных сетевым методом — (а), и осредненная карта аэрозолей, полученная с помощью спутника AquaModis в апреле 2002–2014 гг. — (б).

области влияния потоков из африканских пустынь (до 19,890 мкг/м<sup>3</sup>).

Необходимо обратить внимание, что, согласно спутниковым данным, в южной части разреза содержание аэрозолей в атмосфере не превышало 0,04 м<sup>-1</sup>, а прямые измерения аэрозолей установили повышенное их количество. Несовпадение концентраций указывает на несовершенство алгоритма расчета космических сканеров. Содержание аэрозолей в этой области обусловлено тем, что в Патагонии находится центр формирования континентального воздуха умеренных широт — Южно-Атлантического антициклона. Большое распространение здесь имеет экваториальный тип циркуляции с мощной конвекцией воздушных масс (в результате конвергенции происходит схождение пассатов) и субэкваториальный тип с сезонными сменами экваториальных и тропических воздушных масс (пассатно-муссонный тип).

Пробы, отобранные в южной и центральной частях разреза, отличались не только по количеству вещества, но и визуально по цвету, из-за разного минерального состава формирующих их аэрозолей. Из Южной Америки с аэрозолями поступают в основном цеолиты, а из африканских пустынь — полевои шпат и кварц. Наиболее низкое содержание установлено в Южном полушарии при смене направления ветра (0,012 мкг/м<sup>3</sup>) и при подходе к проливу Ла-Манш (0,015 мкг/м<sup>3</sup>) после дождя.

Таким образом, предварительный анализ показывает, что распределение счетных концентраций аэрозолей в целом повторяет распределение весовых концентраций. Содержание аэрозолей, полученных с помощью счетчика частиц и собранных сетями, изменялось синхронно и в широких пределах. Связано это с тем, что атмосфера — самая подвижная и переменчивая из геосфер Земли, в которой быстро меняются потоки вещества, обусловленные движением воздушных масс.

В заключение необходимо отметить, что в результате попутных исследований по маршруту судна на трансатлантическом разрезе получены новые данные о концентрациях осадочного вещества в приводном слое атмосферы и поверхностных водах от атлантического сектора Южного океана до северных районов Атлантики. Прямые исследования количественного распределения, состава и свойств золотого вещества при пересечении климатических зон показали, что главное значение для этого типа рассеянного осадочного вещества имеют

не пески, а тонкие алевриты и пелиты, поступающие в результате дальнего переноса. Проведение в дальнейшем подробного исследования отобранных проб и определения специфических маркеров в аэрозолях и в водной взвеси открывает возможность не только понять их генезис, но также изучить биогеохимические циклы различных соединений в открытых районах океана. Это не только приводит к простой констатации количества

вещества (для загрязнений при сравнении с величиной ПДК), что обычно делают в мониторинговых исследованиях, но и дает возможность определить их количественный вклад в осадочные геохимические процессы.

*И.А. Немировская, А.Н. Новигатский,  
З.Ю. Реджепова (ИО РАН)*

### СЕЗОН КИТА

#### О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА» ПО ГРАНТУ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

В минувшем сезоне сотрудники Национального парка «Русская Арктика» продолжили работы при поддержке Русского географического общества в рамках проекта «Сохранение популяций редких видов морских млекопитающих и белого медведя на особо охраняемых природных территориях северо-востока баренцево-морского региона», включавшего в себя весеннюю судовую экспедицию в мае и летние стационарные исследования на островах Нортбрука и Гукера в июне–августе 2015 г.

В ходе весеннего этапа наша группа посетила Землю Александры, воспользовавшись рейсом НЭС «Михаил Сомов», провела судовые наблюдения. В полдень к югу от архипелага отмечен гренландский кит, моржи, тюлени. Весной же возобновили мониторинг белого медведя. Согласно разработанной ранее методике регистрировались места встреч и особенности поведения, визуально оценивалась упитанность и физическое состояние встреченных хищников, собирались пробы биоматериала для последующего молекулярно-генетического анализа, животные по возможности фиксировались на фото и видео. Нужно отметить, что протокол встреч был разработан нами совместно с представителями других арктических ООПТ и специалистов из исследовательских институтов (см.: РПИ. 2014. № 17. С. 46–47). Теперь на всех особо охраняемых территориях специалисты будут фиксировать встречи по единой методике, что даст возможность для сравнения и анализа данных, в дальнейшем можно будет сформировать единую базу. За весенне-летний период база данных парка уже пополнилась 50-ю встречами, всего более 70 медведей, включая медвежат. В дальнейшем мы также обработа-

ем полевые отчеты других групп, в т.ч. работавших на круизных судах, и у нас будет более полная картина. Из интересных наблюдений отметим, что у медведей четко сформировалось охотничье поведение, ориентированное на добычу морских птиц. Медведи, приходящие в бухту Тихая, регулярно добывали люриков в колонии на каменистой осыпи, а в период слета птенцов кайр со скалы Рубини, воспользовавшись тем, что птицы оказались в ледовых капканах в бухте, забитой льдами, охотились и на кайр в море.

В целом на архипелаге в летний сезон 2015 г., по данным ААНИИ, ледовая обстановка в районе Земли Франца-Иосифа была легче среднемноголетней за предшествующие 40 лет. Общая ледовитость в июне–июле была на 20–30 % ниже климатической нормы, а в августе — уже на 90 %. В пределах самого архипелага льды распределялись неравномерно, к югу от центра Земли Франца-Иосифа кромка сохранялась до середины августа, а в бухте Тихая занесенные сюда в конце июля местные льды циркулировали до конца лета. Безусловно, ледовая обстановка повлияла на особенности распределения местной ледолюбивой фауны и млекопитающих, и морских птиц.

В этом сезоне были продолжены мониторинг лежбищ и исследования атлантического моржа (см.: РПИ. 2013. № 14. С. 8–9). В связи с сохранением дрейфующих льдов в архипелаге обследованные лежбища использовались моржами весьма ограниченно. К концу июля звери так и не вышли на пляж зал. Гунтера, лишь периодически посещали лежбище на о. Мертвого тюленя, предпочитая залегать на плавучих льдах. Согласно разработанной схеме мониторинга на лежбище о. Мертвого тюленя в бухте Тихая была установлена

Гренландские киты в акватории Земли Франца-Иосифа. Фото А. Бомбош (A. Bombosch).

