

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ И НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В АВГУСТЕ–СЕНТЯБРЕ 2006 г.

Н.В.ГОРЮНОВА, В.П.ШЕВЧЕНКО

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

*С помощью современных методов анализа нами был изучен элементный состав проб, собранных методом фильтрации воздуха в ходе рейса на л/к «Капитан Драницын» в Баренцево, Карское моря, море Лаптевых в августе–сентябре 2006 г. Представлены результаты анализов снежных проб, отобранных в том же рейсе в море Лаптевых. Сделаны выводы о происхождении нерастворимых частиц в пробах.*

Атмосфера – один из каналов обмена и перераспределения вещества на Земле. Тот факт, что атмосфера содержит взвешенные в воздухе частицы аэрозоля, оказывает существенное влияние на качество воздуха, дальность видимости, оптические свойства атмосферы и на климат [9]. Во многих районах Мирового океана осаждающие на водную поверхность аэрозоли являются важным источником осадочного вещества [1]. В северной полярной области [6] возможен перенос атмосферных аэрозолей на расстояния до 10000 км и более за 5–10 суток, при котором происходит перемешивание и перераспределение аэрозолей различного происхождения (в том числе устойчивых антропогенных экотоксикантов).

Изучение аэрозолей Арктики предполагает не только оценку экологических и климатических последствий антропогенного воздействия крупных источников загрязнения в Северном полушарии, но и выявляет роль эолового переноса как одного из факторов поступления осадочного материала в Арктику [2, 3, 8]. Такие исследования проводятся нами в рамках проекта № 323 Международного полярного года 2007/08 «CRYOEOL».

Для определения элементного состава воздух прокачивался через фильтры АФА-ХА-20 (20 см<sup>2</sup> – площадь рабочей поверхности) с помощью вакуумного насоса, установленного на баке судна. Фильтры, изготовленные из ацетат-целлюлозы, специально предназначены для химического анализа аэрозолей [4]. Использование данных фильтров позволило собрать в ходе экспедиции не только крупные аэрозольные частицы, но и субмикронные, в том числе частицы морской соли.

Отбор проб снега производился на расстоянии минимум несколько сотен метров от лагеря против ветра (рис. 1). Отбиралось несколько проб свежевыпавшего пушистого снега (верхние 2 см), каждую пробу в три литровые банки или полиэтиленовые пакеты. При комнатной температуре снег растапливался и фильтровался через ядерные фильтры Nuclepore диаметром 47 мм с диаметром пор 0,4 мкм на установке прямой фильтрации для определения концентрации взвеси и изучения ее состава методами оптической и сканирующей электронной микроскопии.

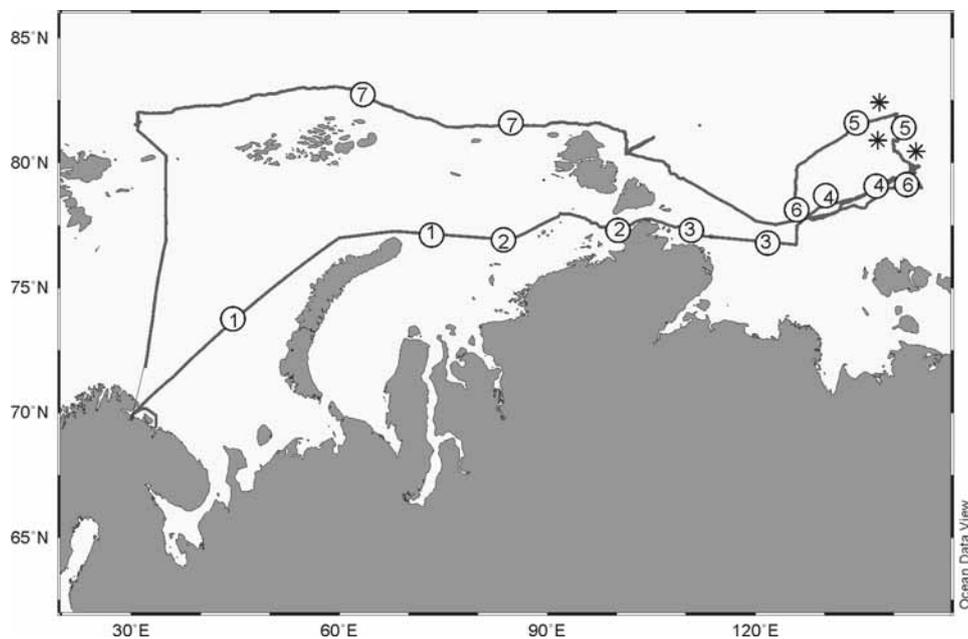


Рис. 1. Схема отбора проб в ходе экспедиции на л/к «Капитан Драницын» в августе–сентябре 2006 г. Обозначены начало, конец и номер пробы. — ледовые станции

Были предприняты меры по исключению загрязнения во время отбора проб: при отборе воздушной взвеси предотвращалось попадание продуктов сгорания из трубы судна; для отбора снежных проб использовались одноразовые полиэтиленовые перчатки и пробоотборники, пробы после отбора и в течение всего процесса фильтрации не имели контакта с окружающей средой.

После экспедиции выполнялся инструментальный нейтронно-активационный анализ, твердые частицы в снежных пробах были проанализированы с помощью сканирующего микроскопа JSM-U3 (Япония).

Схема отбора проб и маршрут хода судна представлены на рис. 1.

Концентрации изученных элементов варьировали в широких пределах: Na от 790 до 4985 нг/м<sup>3</sup>, Ca от 53,2 до 886 нг/м<sup>3</sup>, Co от 0,08 до 1,2 нг/м<sup>3</sup>, Ni от 0,10 до 218 нг/м<sup>3</sup>, Se от 0,10 до 0,63 нг/м<sup>3</sup>, As от 0,34 до 1,18 нг/м<sup>3</sup>, Br от 0,04 до 1,06 нг/м<sup>3</sup>, Sr от 10,7 до 33 нг/м<sup>3</sup>, Sb от 0,23 до 0,80 нг/м<sup>3</sup>, Ba от 10,6 до 57 нг/м<sup>3</sup>.

Для того чтобы оценить источники химических элементов, были рассчитаны коэффициенты обогащения относительно среднего состава земной коры (КО) по формуле:

$$КО = (\text{Эл}/\text{Fe}) \text{ пробы} / (\text{Эл}/\text{Fe}) \text{ коры},$$

где Эл и Fe — концентрации данного элемента и железа в пробе и земной коре соответственно (рис. 2). Здесь мы рассматриваем Fe как индикатор терригенного материала и принимаем его содержание в земной коре равным 39200 мкг/г [14].

Наиболее высокие содержания Na (4985 мкг/м<sup>3</sup>), характерного элемента морской соли, были отмечены в пробе № 2, отобранной, когда судно шло по открытой воде и скорость ветра была довольно высокой (в среднем 11 м/с). Высокими

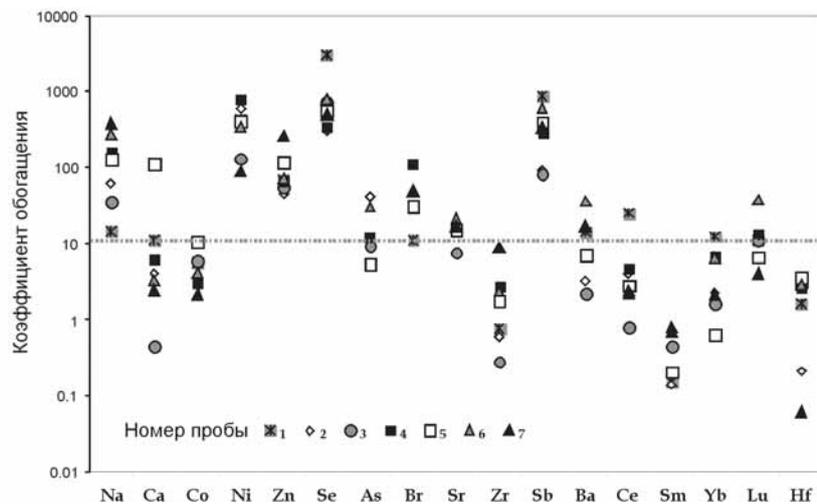


Рис. 2. Коэффициенты обогащения проб аэрозолей, собранных методом фильтрации

концентрациями Na отличаются пробы № 1, 3, отобранные также при прохождении по открытой воде. Данные пробы характеризуются достаточно высоким коэффициентом обогащения Na относительно среднего состава земной коры (максимальное значение 61). Проба № 1 отмечается повышенным содержанием Ca, коэффициент обогащения 11. В данном случае можно сделать вывод о существенном вкладе частиц морской соли в формирование состава аэрозолей на данном участке. Это может происходить в ходе генерации солевых аэрозольных частиц при лопании пузырьков в тонком поверхностном микрослое морской воды [5, 10]. При входе в зону с тонким молодым льдом возможен перенос мелких частиц из районов с открытой морской водой. Среднее содержание Na и Ca в пробах может варьировать – в первую очередь это зависит от метеорологических условий в период отбора проб (табл. 1). Исходя из таблицы, в Центральной Арктике Na и Ca, скорее всего, имеют терригенное происхождение, аналогично случаю, описанному в данной работе, – высокие концентрации данных элементов в пробах, отобранных в момент прохождения судном ледового участка пути, могут быть объяснены попаданием в пробы терригенного аэрозоля.

Таблица 1  
3

Район, время	Число проб	Na	Ca	Co	Ni	Se	As	Источник
Центральная Арктика, 08.1991–11.1991	7	20	3	0,19	<0,18	<0,2	0,02	[12]
Карское море, 09.1993	14	24,9	–	0,004	–	0,005	–	[7]
Норвежское и Гренландское моря, 07.1996–08.1996	5	1517	155	–	19,1	0,28	0,64	[7]
Баренцево, Карское моря, море Лаптевых 08.2006–09.2006	7	2000	361	0,45	94,3	0,23	0,49	Данная работа

Значения коэффициента обогащения Se в отобранных пробах, значительно превышающие 10 (максимальное – в пробе № 1 – 3000), могут быть объяснены влиянием как природного, так и антропогенного источников [13]. Наиболее существенным природным процессом поставки селена в атмосферу является образование органических соединений в результате жизнедеятельности фитопланктона, когда биогеохимическое поведение селена близко к поведению серы [11]. Антропогенными источниками селена являются: сжигание угля, нефтепродуктов, древесины и деятельность горнодобывающей и металлургической промышленности, особенно выплавка меди [11]. Поэтому значительное обогащение аэрозолей селеном служит одним из надежных индикаторов того, что источником загрязненных аэрозолей являются медно-никелевые комбинаты. Для Карского моря наиболее существенным источником селена является Норильский регион (пробы № 1, 2, 7). Проба № 2 отличается достаточно высоким содержанием Ni (171 нг/м<sup>3</sup>), коэффициент обогащения Ni относительно среднего состава земной коры достаточно высок (596). Вероятно, основной источник загрязнения отобранных проб находится в районе крупного промышленного центра – Норильска. Кроме того, проба отличается высоким содержанием As (1,19 нг/м<sup>3</sup>), коэффициент обогащения 40, что свидетельствует о его антропогенном происхождении. Данная картина загрязнения характерна для этой части Арктики [7], в отличие от Центральной Арктики (табл. 1), где влияние загрязнения из Норильского региона (соединениями серы, селена, меди, никеля, кобальта, сурьмы, мышьяка, свинца, цинка, ртути) прослеживается слабо. Что касается редкоземельных элементов, то коэффициент обогащения Се, Sm, Yb, Lu практически во всех пробах не превышает 10, что свидетельствует о терригенном источнике поставки вещества.

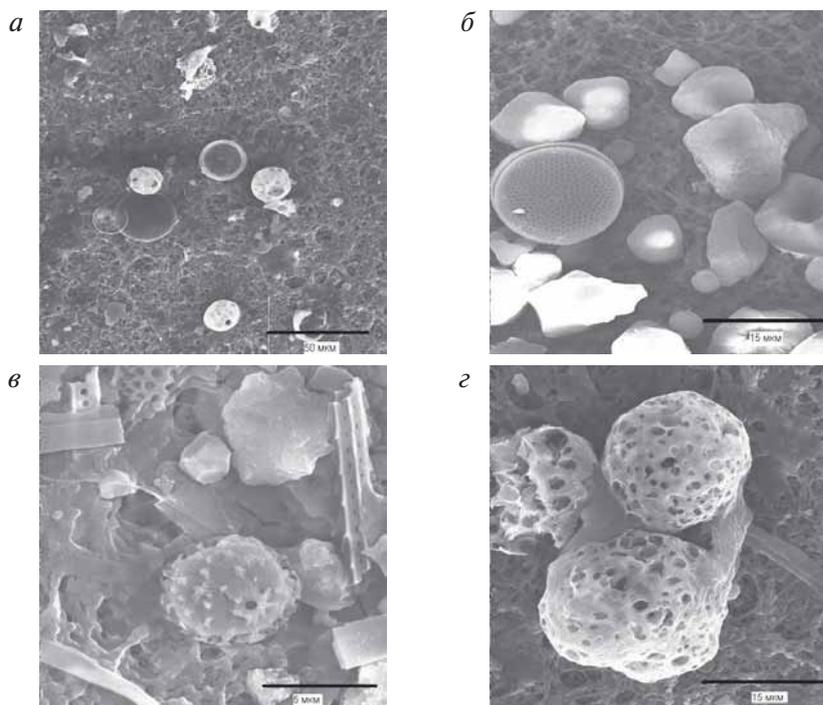


Рис. 3. Вещественный состав проб снега, отобранных в экспедиции на л/к «Капитан Драницын»: а – общий вид проб, б – диатомовая водоросль и минеральные частицы, в – спора, г – летучий пепел

Данные по КО позволяют разделить химические элементы на 3 группы [7, 8]: 1) характерные для земной коры (Fe, Sm, Eu, Yb, Lu, Ce, Hf); 2) морские (Na, Br); 3) смешанного морского, терригенного и антропогенного происхождения (Ca, Co, Ni, Zn, Se, As, Sb).

Пробы снега отличаются низкими концентрациями нерастворимых частиц, характерными для фоновых районов (средняя концентрация вещества в пробах – 0,41 мг/л). При детальном рассмотрении проб под электронным микроскопом обнаружены сферы сгорания и летучий пепел, проба № 2 отличается по наличию сфер сгорания и сажевых частиц, что еще раз подтверждает загрязнение пробы продуктами переработки руды на Норильском горно-металлургическом комбинате. Во всех пробах было обнаружено незначительное количество минеральных частиц и биогенного детрита, типичные арктические виды диатомовых водорослей: *Thalassiosira hyalina*, *Navicula directa*, *Thalassiosira nordenskioldii*, споры и пыльца растений (рис. 3). Роль снега в осаждении вещества очень значительна [7]: он захватывает мельчайшие частицы из атмосферы и является одним из основных переносчиков вещества на поверхность льда.

Коэффициент обогащения Na, Ca, Ni, Co, Zn, Se, As, Br, Sb высок в пробах, отобранных на морском участке пути, что свидетельствует о морском происхождении аэрозолей. Частицы морской соли обогащены многими микроэлементами в результате фракционирования в поверхностном микрослое морской воды.

Значительное обогащение рассматриваемого аэрозоля Ni, Co, Zn, Se, As, Sb, на наш взгляд, связано в данном случае как с атмосферным заносом в район наблюдений, так и с повышенным содержанием этих элементов (причины могут быть как антропогенного, так и естественного характера) в поверхностном микрослое морской воды и фракционированием его при выносе в приземный слой атмосферы.

*Авторы благодарны академику А.П.Лисицыну за ценные советы и замечания, признательны начальникам экспедиции И.А.Дмитренко, Б.В.Иванову за поддержку, А.Н.Чаркину за помощь в ходе отбора проб, В.В.Зерновой за помощь в определении видов диатомовых водорослей. Отдельное спасибо всем, кто оказывал помощь в экспедиционных исследованиях и лабораторной обработке материалов.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы NABOS, Программы фундаментальных исследований № 16, часть 2 «Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия», русско-германской лаборатории имени Отто Шмидта, проекта «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли», РФФИ (грант № 07-05-00691).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.
2. Лисицын А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 31–74.
3. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 15–48.
4. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968. 74 с.
5. Савенко В.С. Факторы, определяющие распространенность химических элементов в океаническом аэрозоле // Доклады Академии наук. 1994. Т. 339. № 5. С. 670–674.
6. Северный Ледовитый и Южный океаны. Серия: География Мирового океана / Под ред. А.Ф.Трешникова и С.С.Сальникова. Л.: Наука, 1985. 501 с.

7. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
8. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И., Серова В.В. Состав морского аэрозоля в западной части Северного Ледовитого океана // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34. № 5. С. 664–668.
9. Brimblecombe P. Air Composition and Chemistry. Cambridge University Press, 1996. 253 p.
10. Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T. et al. The atmospheric input of trace species to the World ocean // Global Biogeochem. Cycles. 1991. Vol. 5. № 3. P. 193–259.
11. Ellis W.G., Jr., Arimoto R., Savoie D.L. et al. Aerosol selenium at Bermuda and Barbados // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. № D7. P. 12673–12685.
12. Maenhaut W., Ducastel G., Leck C. et al. Multielemental composition and sources of the high Arctic atmospheric aerosol during summer and autumn // Tellus. 1996. Vol. 48 B. P. 300–321.
13. Mosher B.W., Duce R.A., Prospero J.M., Savoie D.L. Atmospheric selenium: Geographic distribution and ocean to atmosphere flux in the Pacific // J. Geophys. Res. 1987. Vol. 92. № D11. P. 13277–13287.
14. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Vol. 3. The Crust. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 1–64.

N.V.GORYUNOVA, V.P.SHEVCHENKO

**STUDY OF AEROSOLS AND PARTICULATE MATTER IN SNOW  
ON DRIFTING ICE IN THE WESTERN PART OF THE RUSSIAN ARCTIC  
IN AUGUST–SEPTEMBER 2006**

*Article contains results of studies of elemental composition of the aerosol samples using modern methods of analyses. Samples were collected in the Barents, Kara and Laptev Sea during the cruise of i/b «Kapitan Dranitsyn» in August – September 2006. Results of analysis of particulate matter in snow cover in the Laptev Sea are presented also. Conclusions about origin of particulate matter are made.*