

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, АЛЮМИНИЙ И МЫШЬЯК
В АЭРОЗОЛЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА**

**В.В. Гончарук¹, В.Б. Лапшин², М.А. Чичаева², И.С. Матвеева³,
А.О. Самсоны-Тодоров¹, В.В. Таранов¹, А.В. Сыроешкин²**

¹Институт коллоидной химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт
прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова", г. Москва;

³Государственный океанографический институт
им. Н.Н. Зубова, г. Москва, Россия

Поступила 30.06.2011 г.

Исследованы уровни концентраций тяжелых металлов, алюминия и мышьяка в приводном слое атмосферы. Концентрации тяжелых металлов в морских аэрозолях морей Западной части Арктики находятся в диапазоне от 0,01 до 1000 нг/м³. Данные, собранные в высокоширотных районах Северного Ледовитого океана, рассматриваются в качестве фоновых значений: наименьшие уровни концентраций характерны для Cd и Pb (~ 0,01 нг/м³), наибольшие – для Al, Fe, Zn (~ 100 нг/м³). В южной части Атлантического океана диапазон концентраций изучаемых элементов составляет от 0,1 до 1000 нг/м³. Повторяемость содержания элементов в этих регионах обусловлена естественными процессами выноса вещества и указывает на поступление тяжелых металлов в аэрозоль за счет его генерации морской поверхностью. Состав аэрозоля прибрежных районов Черного, Каспийского и Балтийского морей более изменчив: концентрации элементов составляют от 1 до 10⁶ нг/м³. При определенных гидрометеорологических условиях концентрация Ni, Fe, Cr в составе частиц аэродисперсной фазы, генерируемых морской поверхностью, превышает ПДК воздуха рабочих зон промышленных предприятий. Морской аэрозоль может являться вторичным поставщиком токсикантов в береговые зоны морей.

Ключевые слова: морской аэрозоль, мышьяк, поверхностный микрослой, тяжелые металлы.

Введение. Аэрозольные частицы субмикронного и микронного размеров присутствуют в широком диапазоне концентраций в тропосфере, включая приводный и приземной слои [1 – 9]. В той или иной географической области могут существовать частицы самого различного состава

и генезиса. Над морскими акваториями преобладает аэрозоль морского происхождения, над аридными зонами в большинстве присутствуют терригенные частицы [10 – 12]. Морские аэрозоли могут образовываться самыми различными путями: от прямого ветрового срыва капель с волнующейся поверхности моря до диспергирования водной поверхности при разрушении пузырьков [12 – 15]. Чаще существуют несколько параллельно протекающих процессов генерации аэрозольных частиц. При этом тот или иной процесс может вносить относительно больший вклад в определенных гидрометеорологических условиях. Все эти процессы непосредственно связывают дисперсный и химический составы морского аэрозоля с составом и свойствами водных масс данной акватории.

В настоящей работе описаны результаты многолетних судовых и береговых исследований элементного состава аэрозолей, генерируемых водной поверхностью Черного (2002 – 2008 гг.), Каспийского (2002 – 2006 гг.), Балтийского (2001 – 2008 гг.), Белого, Баренцева и Карского (2005 – 2007 гг.) морей, а также высокоширотных арктических районов в Северном Ледовитом океане и Южной Атлантике.

Методика эксперимента. Аэрозоль, собранный по приведенной ниже методике, представляет собой суммарную пробу всех аэродисперсных частиц, генерируемых морской поверхностью по пути следования судна. Площадь генерации аэрозолей, собранных на фильтр, зависит от модуля скорости судна и ветра, угла между векторами скорости судна и ветра, длительности пробоотбора [16]. В лабораторных условиях был проведен тест на происхождение аэрозолей [17]. Согласно нашим данным аэрозоли, собранные в экспедициях, относятся к типу морских аэрозолей.

Метод пробоотбора. Пробоотбор аэрозолей [17] проводили на аналитические фильтры Петрянова – Соколова АФА-РМП-3 (обеспечивающие 99,9%-ный сбор аэрозольных частиц с линейными размерами от 0,19 мкм) с помощью специального устройства, изготовленного в Государственном океанографическом институте (г. Москва). Пробы отбирали одновременно на три фильтра. Пробоотборником воздуха являлось устройство Karcher NT 351 ESO с максимальным расходом воздуха 78 дм³/с. С помощью расходомера G-6 контролировали расход воздуха. Средняя скорость пробоотбора составляла 16,0 ± 0,1 м³/ч. Во время экспозиция фильтров (3 – 5 ч) проводили постоянное наблюдение за метеопараметрами, такими, как направление ветра (сбор аэрозольных проб происходил строго при встречном ветре) и атмосферные явления. Аэрозоли не собирали во время выпадения дождя и снега. При судовом и береговом сборе не допускали видимого забрызгивания пробоотборника от волнующейся поверхности моря.

Метод пробоподготовки аэрозольных фильтров для анализа загрязняющих веществ. Фильтры упаковывали в химически чистые защелкивающиеся полипропиленовые пакеты и замораживали. После доставки в лабо-

раторию их инкубировали в течение одних суток в смеси плавиковой кислоты (4 см³) и царской водки (2 см³) в тефлоновых бомбах. Минерализацию образцов проводили под давлением в микроволновой печи MDS2000. Во всех опытах вели обработку и последующий анализ контрольного фильтра.

Суммарное содержание элементов в аэрозольных фильтрах определяли с помощью атомно-адсорбционного спектрометра SpectrAA-800 с электротермической атомизацией и эффектом Зеемана по протоколу фирмы "Varian" с модификациями по результатам международной интеркалибрации с лабораторией MEL МАГАТЭ [18, 19]. Источником излучения служили одноэлементные лампы полого катода SpectrAA фирмы "Varian". Величина тока ламп (мА) для элементов Cd, Cu, Ni составляла 4,0, для Pb, Mn, Fe, Zn – 5,0, для Cr – 7,0, для Al, As – 10. Ширина щели монохроматора составляла 0,5 нм, за исключением измерений Cr, Mn (0,2 нм) и Zn (1,0 нм). При этом были использованы режим коррекции базовой линии и горячий впрыск при 60°C. Длины волн (резонансные линии) и модификаторы следующие: Cd – $\lambda = 228,8$ нм, Pd(NO₃)₂+Mg(NO₃)₂+NH₄H₂PO₄; Pb – $\lambda = 283,3$ нм, Pd(NO₃)₂+Mg(NO₃)₂+NH₄H₂PO₄; Ni – $\lambda = 232,0$ нм, Mg(NO₃)₂+Pd(NO₃)₂; Cr – $\lambda = 357,9$ нм, Mg(NO₃)₂; Mn – $\lambda = 279,5$ нм, Mg(NO₃)₂; Cu – $\lambda = 327,4$ нм, Pd(NO₃)₂; Zn – $\lambda = 213,9$ нм, Mg(NO₃)₂; Al – $\lambda = 396,2$ нм, Mg(NO₃)₂; Fe – $\lambda = 248,3$ нм, Mg(NO₃)₂+Pd(NO₃)₂; As – $\lambda = 193,7$ нм, Pd(NO₃)₂.

Анализировали 3 – 5 параллельных проб. Во всех сериях измерений учитывали фоновое содержание элементов в контрольных фильтрах АФА. Объем прокачиваемого воздуха через фильтры позволял накопить элементы в количестве, значительно превышающем фоновое содержание. Средняя относительная ошибка определения параллельных проб не превышала 20% при доверительной вероятности 0,95.

Районы, в которых проводили исследования. *Моря Западной Арктики.* В 2005 – 2007 гг. в летне-осенний период были предприняты комплексные экспедиции в Западной Арктике, охватившие акватории Белого, Баренцева и Карского морей, на научно-экспедиционном судне (НЭС) "Михаил Омов", научно-исследовательском судне (НИС) "Иван Петров", ГС440. Проведены береговые работы на побережьях Кольского полуострова и полуострова Ямал. В результате собран 221 аэрозольный фильтр.

Высокоширотные области Арктики. Исследования проводили в 2006 и 2009 гг. на полярной ледовой станции "Барнео". Координаты дрейфующей станции в 2006 г.: 89°20,033' с.ш., 143°19,247' в.д.; в 2009 г.: 89°41,8' с.ш., 41°19,5' з.д. За период экспедиций собрано 24 аэрозольных фильтра.

Атлантический океан. Первая трансатлантическая экспедиция состоялась в марте – апреле 2006 г. на НИС "Академик Иоффе" по маршруту Кениг – Монтовидео – Ушуайя. Собрано 70 аэрозольных проб. Вторая эк-

спедиция проходила в октябре – ноябре 2008 г. в Южной Атлантике на НИС "Академик Сергей Вавилов" по маршруту от Монтевидео до полигона в проливе Дрейка. Собрано 120 аэрозольных фильтров.

Черное море. В 2002 – 2007 гг. были осуществлены экспедиции на Черном море в районе Голубой бухты, на "стомильном" разрезе Геленджик – открытое море, микрополигонах, а также на серии прибрежных станций от Адлера до Керченского пролива. В общей сложности собрано 167 аэрозольных фильтров.

Каспийское море. Исследования в акватории Северного Каспия проводили в ноябре 2002 г. на НИС "Метан". Экспедиция охватила северную часть Каспийского моря (стомильный разрез г. Махачкала – конечная точка с координатами 46° 25' с.ш., 50° 51' в.д. и пробег обратно). Пробы аэрозоля отбирали по всему пути следования (собрано 12 проб). В ноябре 2003 г. выполнен комплекс исследований у Дагестанского побережья (собрано 15 проб). В ходе экспедиции в 2006 г. собрано 9 проб.

Балтийское море. Исследования проводили в 2001 и 2003 гг. в Финском заливе Балтийского моря в двухмильной береговой зоне (собрано 18 аэрозольных проб). В 2004 и 2006 гг. в рейсе на НИС "Аранда" исследования охватили центральную и восточную части Финского залива (собрано 24 пробы). В июле 2008 г. состоялась береговая экспедиция в приморской части Финского залива (собрано 18 проб).

Результаты и их обсуждение. Состав аэрозолей подвержен постоянным переменам, поскольку аэрозоль всегда находится в движении вместе с турбулентными атмосферными потоками, претерпевает седиментацию и рассеивание. На рис. 1 показаны средние значения концентрации тяжелых металлов, Al и As в составе морских аэрозолей морей Западной Арктики. Полученные данные свидетельствуют о "синхронном" снижении концентрации элементов в воздухе над морем в 2006 г. по сравнению с 2005 г.

За этот период средние значения концентраций Cr и Zn практически не отличались, а для As наблюдались некоторые отличия (до одного порядка). Наиболее низкими концентрациями характеризуются Cd, As, наиболее высокими – Al, Fe, Zn. Кривые 1, 2 (см. рис. 1) находятся в диапазоне от 10^{-2} до 10^3 нг/м³.

Схожесть элементных профилей, с учетом общей аэродинамически обусловленной нестационарности состава аэрозолей, указывает на то, что элементы поступают в арктический аэрозоль в основном за счет его генерации морской поверхностью.

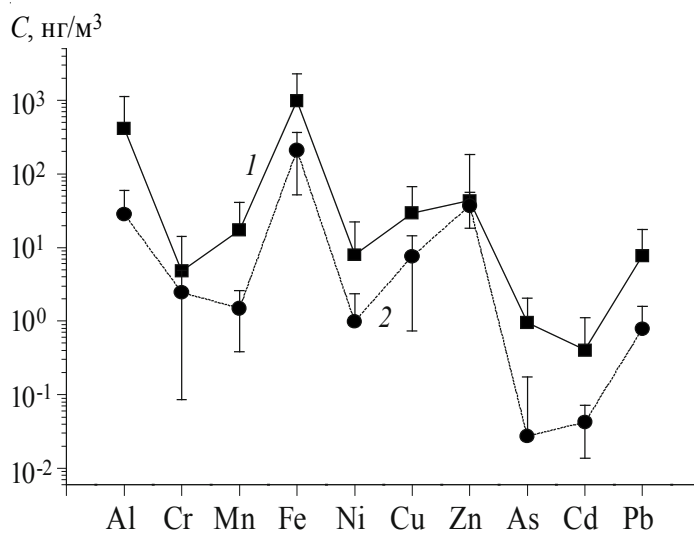


Рис. 1. Концентрации элементов в составе аэрозолей морей Западной Арктики (1 – 2005; 2 – 2006 гг.).

В южной части Атлантического океана соотношение элементов по данным элементных профилей, усредненных за период наблюдений, также характеризуется схожестью при существенном (на порядок) превышении их абсолютного содержания в 2006 г. по сравнению с 2008 г. (рис. 2). Наиболее низкими концентрациями характеризуются Cd и Mn, наиболее высокими – Al, Fe, Zn. Интервал значений, в пределах которого варьирует содержание элементов, составляет от 0,1 до 1000 нг/м³.

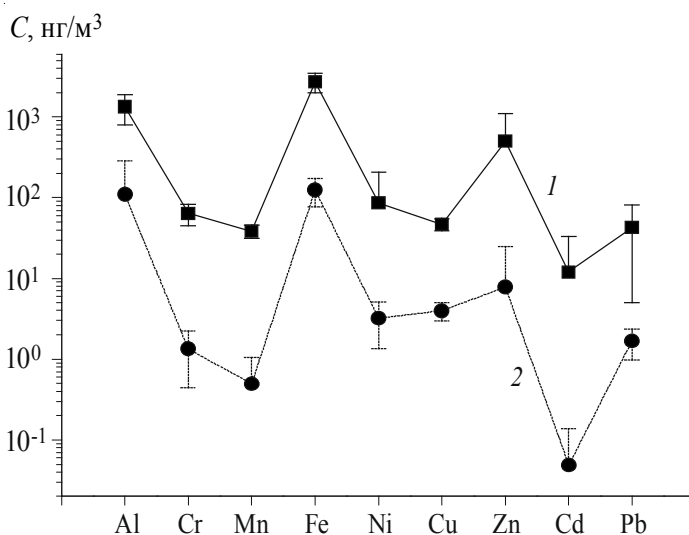


Рис. 2. Концентрации элементов в составе аэрозолей южной части Атлантического океана (1 – 2006, 2 – 2008 гг.).

Южная часть Атлантики – область прохождения глубоких и мощных атмосферных циклонов, характеризующихся изменчивостью ветровых полей [20]. В южном полушарии ($40^{\circ} - 60^{\circ}$ ю.ш.) они создают зону частых штормов. Здесь распространены волны с высокими скоростями.

В осенний период район экспедиции характеризуется волнами высотой до 16 м [21]. В связи с активностью ветро-волнового взаимодействия в районе исследований большой вклад в образование аэрозолей вносит прямой ветровой срыв капель. Кроме того, это зона столкновения водных масс холодного Фолклендского и теплого Бразильского течений, в связи с чем образуются зоны конвергенции [20]. Такие процессы отражаются и на повторяемости состава морского аэрозоля, поскольку присутствуют и действуют здесь постоянно. Одним из значимых вкладов в увеличение содержания элементов в 2006 г. по сравнению с 2008 г. может быть биогенный, зависящий от концентрации и близости к поверхности фитопланктона [22]. Для сравнения вклада различных источников было важным определить элементный состав аэрозолей в "фоновых" районах, например в высокоширотных районах Арктики.

Сведения, собранные в высокоширотных районах Северного Ледовитого океана (рис. 3), могут рассматриваться в качестве фоновых значений Северного полушария, поскольку это область смешения частиц различного происхождения (почвенных, морских, вулканических, антропогенных), поступивших за счет дальнего атмосферного переноса [23, 24].

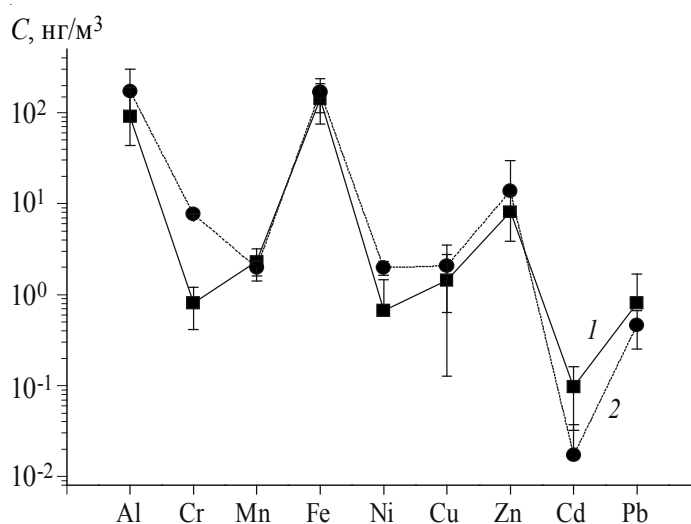


Рис. 3. Концентрации элементов в составе аэрозолей высокоширотных районов Северного Ледовитого океана (1 – 2006, 2 – 2009 гг.).

Такую трактовку подтверждает практически полное совпадение элементных профилей в 2006 и 2009 гг. (см. рис. 3). Наименьшие уровни концентраций наблюдаются у Cd и Pb ($\sim 0,01$ нг/м³), наибольшие – у Al, Fe, Zn (~ 100 нг/м³). Повторяемость содержания элементов в течение трехлетнего периода также обусловлена отсутствием рельефа у замерзшего океана (и, соответственно, отсутствием препятствий в виде горных или лесных массивов, которые могли бы вносить свой вклад в задерживание и осаждение атмосферных частиц), а также отсутствием источников генерации морского, пылевого, растительного аэрозолей на тысячи километров вокруг.

Сравнительный анализ элементных профилей, усредненных за двух – четырехлетний периоды, показывает, что изучаемые географические области выстраиваются по возрастанию уровня содержания элементов в следующий ряд: высокоширотные арктические районы – акватория Южной Атлантики – моря Западной Арктики (рис. 4). Эти области имеют самые различные климатические режимы и геохимические характеристики; общим является лишь малая антропогенная нагрузка. Формирование химического состава приводного слоя атмосферы указанных районов в большей степени определяется генерацией морского аэрозоля и диспергированием снежного покрова, что предопределило минимальные значения содержания элементов в высокоширотных арктических районах и относительно невысокую вариабельность элементных профилей за многолетний период.

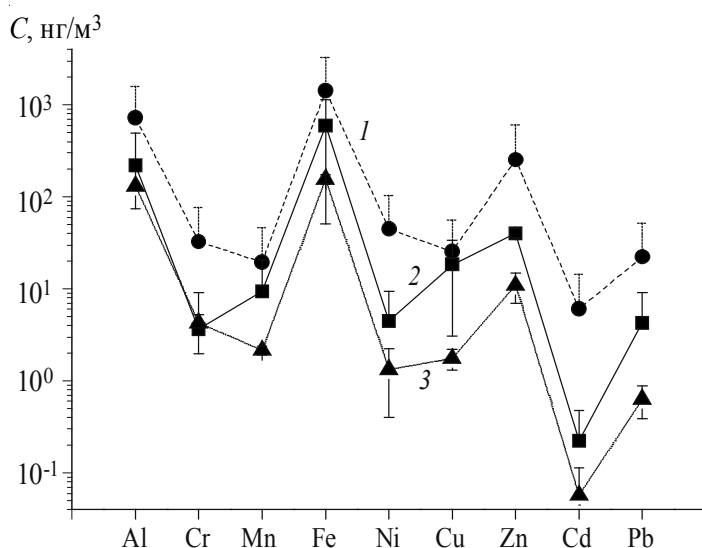


Рис. 4. Сравнение концентраций элементов в составе аэрозолей морей Западной Арктики (1), усредненные значения за 2005–2006 гг.; южной части Атлантического океана (2), усредненные значения за 2006–2008 гг.; северной приполярной области (3), усредненные значения за 2006–2009 гг.

Состав аэрозоля прибрежных районов эпиконтинентальных морей России (Черного, Каспийского и Балтийского) намного изменчивее (рис. 5 – 7): терригенные источники расположены очень близко по сравнению с описанными выше океанскими акваториями, и смена розы ветров может полностью изменить элементные профили. Даже при доминантном вкладе морского источника влияние речных и городских сточных вод, прибрежной гидродинамической неустойчивости приводит к варьированию содержания элементов в аэрозолях в пределах двух порядков в течение синоптического периода [18].

Значения концентраций элементов находятся в диапазоне от 10^2 до 10^5 нг/м³. При определенных гидрометеорологических условиях концентрации таких элементов, как Ni, Fe и Cr могут превышать ПДК для воздуха рабочих зон промышленных предприятий [18]. Важно отметить, что черноморские исследования проводили на микрополигонах вблизи побережья и на "стомильном" разрезе. Влияние на состав приводного аэрозоля оказывают не только естественные морские процессы, но и деятельность городских и портовых хозяйств. Техногенные элементы попадают в объемную морскую воду и включаются в процессы выноса морскими аэрозолями в приводный слой атмосферы [25, 26].

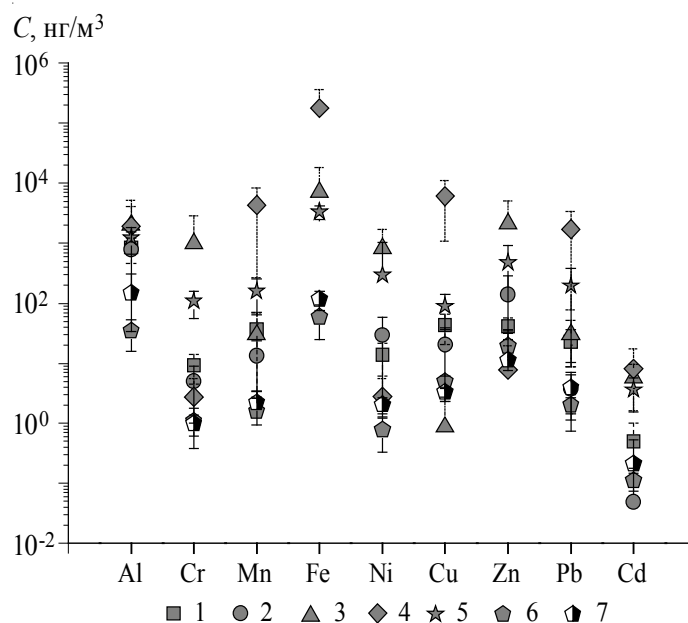


Рис. 5. Концентрации элементов в составе аэрозолей российской части Черного моря (1 – 2002, 2 – 2003, 3 – 2004, 4 – 2005, 5 – 2006, 6 – 2007, 7 – 2008 гг.).

Рассмотрим более подробно данные о динамике содержания элементов в морских аэрозолях Черного моря (см. рис. 6).

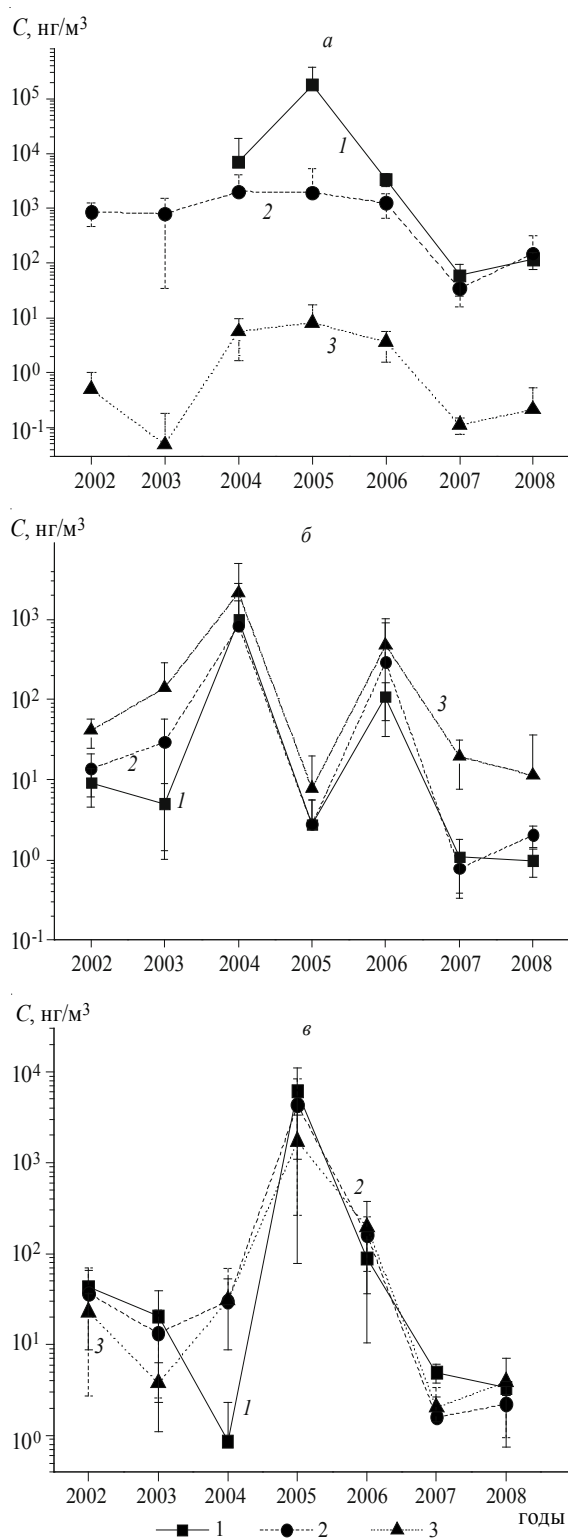


Рис. 6. Элементные профили аэрозолей Черного моря за многолетний период наблюдений: а – Fe (1), Al (2), Cd (3); б – Cr (1), Ni (2), Zn (3); в – Cu (1), Mn (2), Pb (3).

На представленном рисунке видно, что элементы группируются по степени временной изменчивости концентраций. Первую группу представляют Fe, Al, Cd (*a*); ко второй группе относятся Cr, Ni, Zn (*b*); третью группу (с максимальной вариабельностью содержания элементов (четыре порядка) составляют Cu, Mn, Pb (*в*).

"Аэрозольные" рейсы на Каспийском море, охватывающие северную часть акватории, проходили в ноябре, когда основную роль в формировании метеоусловий играют континентальные воздушные массы. Северный Каспий является на 70% мелководным, с глубинами < 5 м [27]. Средние скорости приводного ветра составляют 5 – 7 м/с, основные направления ветра – северное и северо-восточное. Ветер северного направления, частые штормовые явления и небольшие глубины формируют условия, способствующие переносу морских аэрозолей и захваченных в аэрозоль взвешенных частиц в прибрежные ландшафты. Элементные профили каспийских аэрозолей находятся в диапазоне от 10 до 10⁶ нг/м³ (рис. 7).

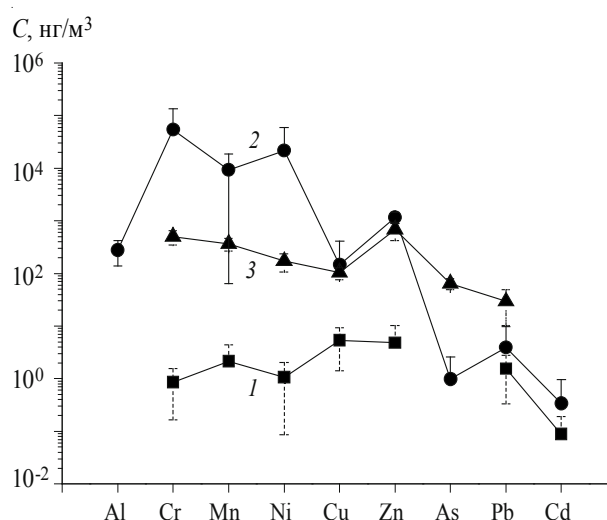


Рис. 7. Концентрации элементов в составе аэрозолей северной части Каспийского моря (1 – 2002, 2 – 2003, 3 – 2006 гг.).

Данные за разные годы значительно отличаются, разброс составляет пять порядков, что связано с изменением гидрометеорологических условий, которые влияют на интенсивность выноса аэрозольных частиц с морской поверхности. Возможны влияния, сопряженные со взмучиванием донных отложений. В отличие от открытого океана, максимальными значениями концентраций характеризуются Cr, Mn и Ni, минимальными – Cd. Межгодовая изменчивость содержания элементов в морском аэрозоле Балтийского моря также очень высока (рис. 8). Концентрация Cr находится на уровне 10 нг/м³, за исключением 2003 г., когда она повысилась на два порядка.

Подобную временную неоднородность демонстрируют также Mn, Ni и Zn. Напротив, такие элементы, как As, Pb, Cd, характеризуются близкими уровнями концентраций в период 2001 – 2008 гг. Элементные профили находятся в диапазоне от 1 до 10^4 нг/м³, занимая по уровням концентраций промежуточное положение между морями высоких широт и южными морями, рассматриваемыми в нашей работе. Интенсивные вариации по содержанию элементов могут быть объяснены значительным речным стоком в Финский залив, выносящим в него множество техногенных токсикантов, и слабым водообменом Балтики с открытым океаном (через Датские проливы) [17].

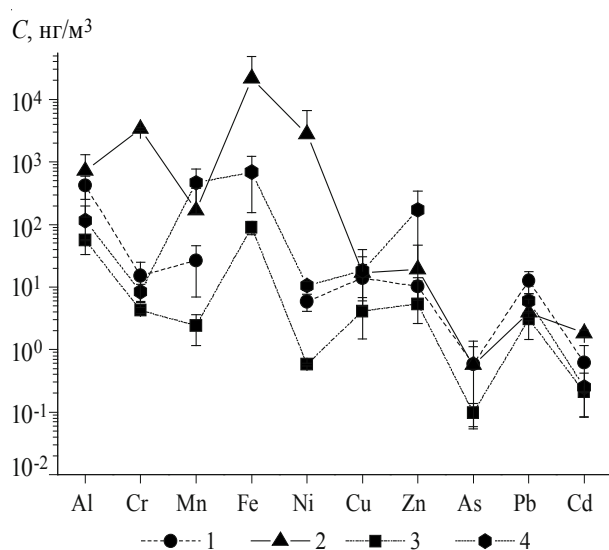


Рис. 8. Концентрации элементов в составе аэрозолей Балтийского моря (Финский залив) (1 – 2001, 2 – 2003, 3 – 2004, 4 – 2008 гг.).

Сравнение усредненных за многолетний период элементных профилей морских аэрозолей эпиконтинентальных морей европейской части России показано на рис. 9. Концентрация элементов колеблется от 1 до 10^6 нг/м³.

Каспийское море "лидирует" по содержанию Cr, однако наблюдаются относительно низкие концентрации Al, Cd. Наиболее высокие концентрации Al, Fe, Cu и Pb характерны для Черного моря, но концентрация Cr в черноморских аэрозолях достаточно низкая. Аэрозоли же Балтийского моря отличаются низкими концентрациями Cu, Zn и As. Эти моря различны по климатическим режимам, географическому положению. Общим для всех является высокое антропогенное давление на эти акватории [28].

Выводы. При сравнении уровней среднего содержания элементов в рассмотренных морях за периоды наблюдений (см. рис. 4, 9) можно прийти к заключению, что по мере движения от высоких широтных областей к акваториям южных морей России концентрации элементов в составе аэрозолей возрастают и не зависят от солености морской воды. Самые минимальные уровни содержания элементов характерны для аэрозолей высокоширотных областей, собранных на полярной станции "Барнео". Далее по возрастанию следуют моря Западной Арктики (Белое, Баренцево, Карское), причем форма элементных профилей сходна с таковой для высокоширотных аэрозолей: уровни концентраций незначительно выше, концентрации Al и Cr практически совпадают. Балтийское море (Финский залив) занимает промежуточное положение как географически, так и по уровням концентраций рассматриваемых элементов, которые приближаются к таковым Черного и Каспийского морей. Максимальными концентрациями элементов характеризуются аэрозоли Черного и Каспийского морей; элементные профили сильно изменяются от года к году и значительно отличаются от остальных морей и открытого океана.

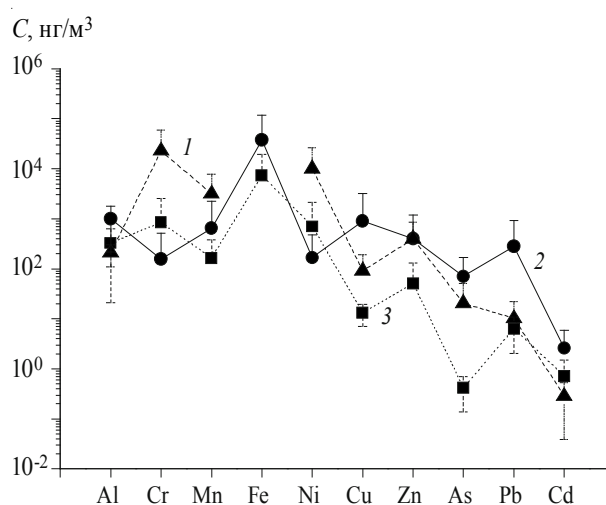


Рис. 9. Сравнение концентраций элементов в составе аэрозолей Каспийского моря (1), усредненные значения (2002 – 2006 гг.); Черного моря (2), усредненные значения (2002 – 2008 гг.); Балтийского моря (3), усредненные значения (2001 – 2008 гг.).

Морской аэрозоль, генерируемый поверхностью морей, отражает химический состав этой поверхности. Показано, что на границе раздела фаз вода – воздух (поверхностном микрослое) существует возможность концентрирования тяжелых металлов посредством фракционирования, флотационных процессов, поверхностно-активных свойств комплексов

металлов с органическими лигандами [28 – 31]. В регионах с заметной антропогенной нагрузкой на акватории, а также возрастающими выбросами бытовых и производственных отходов, сточных вод, аварийных сбросов токсикантов наблюдается повышенная концентрация загрязняющих веществ и в депонирующих средах на границах раздела фаз (дно, поверхностный микрослой). Морской аэрозоль, переносимый воздушными потоками, при определенных гидрометеорологических условиях может являться вторичным поставщиком рассматриваемых элементов в береговые зоны морей [32 – 34]. На токсичность аэрозолей, поставляемых поверхностью морей и океанов в связи с переносом из воды в воздух биотоксинов микроводорослей, указано в [35, 36].

Резюме. Досліджено рівні концентрацій важких металів, алюмінію і миш'яку в приводному шарі атмосфери. Концентрації важких металів у морських аерозолях морів Західної частини Арктики знаходяться в діапазоні від 0,01 до 1000 нг/м³. Дані, зібрані в високоширотних районах Північного Льодовитого океану, розглядаються в якості фонових значень: найменші рівні концентрацій характерні для Cd і Pb (~ 0,01 нг/м³), найбільші – для Al, Fe, Zn (~ 100 нг/м³). У південній частині Атлантичного океану діапазон концентрацій досліджуваних елементів складає від 0,1 до 1000 нг/м³. Повторюваність вмісту елементів в цих регіонах обумовлена природними процесами виносу речовини і вказує на надходження важких металів в аерозоль за рахунок його генерації морською поверхнею. Склад аерозолю прибережних районів Чорного, Каспійського та Балтійського морів більш мінливий: концентрації елементів становлять від 1 до 106 нг/м³. При певних гідрометеорологічних умовах концентрації Ni, Fe, Cr у складі часток аеродисперсних фази, що генеруються морською поверхнею, перевищують ГДК повітря робочих зон промислових підприємств. Морський аерозоль може бути вторинним постачальником токсикантів в берегові зони морів.

*V.V. Goncharuk, V.B. Lapshin, M.A. Chichaeva, I.S. Matveeva,
A.O. Samsoni-Todorov, V.V. Taranov, A.V. Syroeshkin*

HEAVY METALS, ALUMINUM AND ARSENIC IN MARINE AEROSOLS

Summary

Concentration levels of the heavy metals, aluminum and arsenic in the atmosphere surface layer have been researched. The content of the heavy metals in the marine aerosols of the western Arctic part seas are in the range of 0,01 to

1000 ng/m³. Data collected in the high-latitude Arctic Ocean regions are considered as background values: the lowest concentrations are typical for Cd and Pb (about 0,01 ng/m³), the largest are typical for Al, Fe, Zn (about 100 ng/m³). Elements concentrations range from 0,1 to 1000 ng/m³ in the Atlantic Ocean south region. Recurrence of the elements contents in these regions is caused by the natural processes of material carry-over and indicates the flow of the heavy metals to the aerosol at the expense of its generation by the sea surface. Aerosol content of the Black, Caspian and Baltic Sea coastal is more variable, the elements concentrations are ranged from 1 to 10⁶ ng/m³. Ni, Fe, Cr concentrations in the content of aerodisperse phase particles generated by the sea surface exceeds the air MPC of the industrial enterprises working areas under the certain meteorological conditions. Marine aerosol can be a secondary supplier of the toxicants in the coastal seas zones.

Список литературы

- [1] *Buseck P.R., Lypysfai M.* // PNAS. – 1999. – **96**, N 7. – P. 3372 – 3379.
- [2] *Alves C.A.* // Ann. Acad Bras Cienc. – 2008. – **80**, N 1. – P. 21 – 82.
- [3] *Polymenakou P.N., Mandalakis M., Stephanou E.G., Tselepidis A.* // Environ. Health Perspect. – 2008. – **116**, N 3. – P. 292 – 296.
- [4] *Hussein T., Kulmala M.* // Water, Air and Soil Pollution. – 2008. – **8**, N 1. – P. 23 – 34.
- [5] *Jiang D., Li X., Qiu Z. et al.* // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2004. – **260**, N 2. – P.301 – 304.
- [6] *Smolik J., Lazaridis M., Moravec P. et al.* // Water, Air and Soil Pollut. – 2005. – **165**, N 1. – P.301 – 312.
- [7] *Andreae M.O.* // Phil.Trans. R. Soc., A. – 2007. – **365**. – P. 1915 – 1923.
- [8] *Kaufman Y.J., Koren I., Remer L.A. et al.* // PNAS. – 2005. – **102**, N32. – P. 11207 – 11212.
- [9] *Henzing J.S., Olivie D.J.L., Velthoven P.F.J.* // Atmos. Chem. Phys. – 2006. – **6**. – P. 3363 – 3375.
- [10] *Савенко В.С.* // Геохимия. – 1978. – № 3. – С. 433 – 436
- [11] *Кондратьев К.Я.* Аэрозоль и климат. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 540 с.
- [12] *Кондратьев К.Я.* Атмосферный аэрозоль. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 224 с.
- [13] *O'Dowd C.D., de Leeuw G.* // Philos. Transact., A. – 2007. – P. 1753 – 1774.
- [14] *Шевченко В.П., Лисицин А.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М.: Наука, 2006. – 226 с.
- [15] *Бримблкумб П.* Состав и химия атмосферы. – М.: Мир, 1988. – 351 с.
- [16] *Пат. 2248595 РФ, МПК 7 G01V9/00 / С.Н. Бугаев, В.Б. Жмур, В.Б. Лапшин и др.* – Оpubл. 20.03.2005, Бюл. №8.
- [17] *Сыроешкин А.В., Попов П.И.* Морские аэрозоли. Токсичность, методы исследования. – М.: Медбизнесгруп, 2005. – 110 с.

- [18] *Kolesnikov M.V., Matveeva I.S., Lapshin V.B. et al. // Oceanology. – 2005. – 45, N 1. – P. 102 – 111.*
- [19] *Coquery M., Villeneuve J. P. Final report on the split sampling exercises and quality assurance activities. EU Project № ENV RM S9602. – Amsterdam: ICWC, 2001. – 51 p.*
- [20] *Леонтьева О.К. Природа и ресурсы Мирового Океана. Атлантический океан. – М.: Мысль, 1977. – 310 с.*
- [21] *Океанографическая энциклопедия. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 631 с.*
- [22] *Yoder A.J., Kennely M.A. // Oceanography. – 2006. – 19, N 1. – P. 152 – 171.*
- [23] *Anadon R., Danovaro R., Dippner J.W.// Ecosystem Approach. Marine Board Position Paper. – 2007. – 9. – P. 83.*
- [24] *Kathy S.L., Stohl A. // Science. – 2007. – 15, N 5818. – P. 1537 – 1540.*
- [25] *Симонов А.И., Альтман Э.Н. Гидрометеорология и гидрохимия морей. – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 428 с.*
- [26] http://www.igic.bas.bg/clean_black_sea
- [27] *Байдарин С.С., Косарев А.Н. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. – 256 с.*
- [28] *Artoli Y., Friedrich J., Gilbert A.J. et al. // Marine. Pollut. Bull. – 2008. – 56, N 9. – P. 1609 – 1617.*
- [29] *Савенко В.С. // Вест. Моск. ун-та, Сер.5. – 1998. – №1. – С. 28 – 32.*
- [30] *Корж В.Д. // ДАН СССР. – 1986. – 286, №6. – С.12 – 15.*
- [31] *Савенко В.С. // Там же. – 1989. – 309, №5. – С. 12 – 15.*
- [32] *Лапшин В.Б., Матвеева И.С., Яблоков М.Ю. и др. // Тр. Гос. океанограф. ин-та. – 2005. – Вып. 209. – С. 407 – 421.*
- [33] *Сыроешкин А.В., Шокина О.Н., Исаков В.А. и др. // Там же. – 2002. – Вып. 208. – С. 260 – 276.*
- [34] <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/118.pdf>
- [35] *Cheng Y. S., Zhou Y., Irvin C.M. et al. // Environ. Health Persp. – 2005. – 113. – P. 638 – 643.*
- [36] *Cheng Y. S., Mcdonald J.D., Kracko D. et al. // Environ. Sci. and Technol. – 2005. – 39, N 10. – P. 3443 – 3449.*