

УДК 551.510.42

## Элементный состав приземного аэрозоля у северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря

Д.П. Стародымова<sup>1</sup>, А.А. Виноградова<sup>2</sup>, В.П. Шевченко<sup>1</sup>,  
Е.В. Захарова<sup>1</sup>, В.В. Сивонен<sup>3</sup>, В.П. Сивонен<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

<sup>3</sup>Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова  
184042, Мурманская обл., Кандалакшский р-н, пос. Приморский, Главпочтамт, а/я 20

Поступила в редакцию 17.05.2017 г.

Пробы аэрозолей PM<sub>2.5</sub> (44 фильтра), отобранные в 2013–2014 гг. на побережье Белого моря, были проанализированы на содержание микроэлементов. Все время пробоотбора было разделено на условные сезоны: один снежный, когда влияние терригенной пыли минимизировано, и два бесснежных, когда выражено влияние как антропогенных, так и терригенных источников. Для бесснежных сезонов характерен наибольший разброс концентраций элементов. Снежный сезон отличается от бесснежных преобладанием переноса с западных направлений. Анализ направлений переноса воздушных масс и аэрозольных примесей к пункту наблюдений позволил выделить несколько групп микроэлементов: естественного (La, Nd, Sr, Ga) и преимущественно антропогенного происхождения (V, Ni, Cu и Pb, Bi, Cd).

*Ключевые слова:* Белое море, аэрозоли, PM<sub>2.5</sub>, тяжелые металлы, атмосферный перенос, фоновые районы, обратные траектории; White Sea, aerosols, PM<sub>2.5</sub>, heavy metals, atmospheric transport, background regions, backward trajectories.

### Введение

Изучение элементного состава атмосферных аэрозолей в удаленных районах уже многие годы дает ценную информацию о возможном происхождении их вещества. Перенос в атмосфере играет главную роль в формировании состава аэрозоля. Источники различных микроэлементов могут располагаться на значительном (до нескольких тысяч километров) удалении от мест наблюдения [1, 2]. Атмосферный перенос является наиболее быстрым способом поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. Сведения о количестве и составе поллютантов необходимы для дальнейших оценок их распределения по звеньям пищевых цепочек, возможного влияния на различные природные компоненты, флору и фауну региона [3].

Изучение химического состава атмосферы возможно как в процессе непрерывных наблюдений на станциях мониторинга [4], так и в кратковременных

исследованиях в ходе отдельных экспедиций [5–7]. Из-за отрывочности поступающих таким путем сведений целесообразно дополнять их модельными оценками распространения загрязняющих примесей в атмосфере [8].

Белое море в целом и район Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (ББС МГУ) находятся в зоне воздействия комплексов горнодобывающей и металлургической промышленности, расположенных на Кольском п-ве (главным образом вблизи пгт Никель и г. Мончегорск) [9, 10]. Кроме того, антропогенный вклад в аэрозоль изучаемого района вносят ТЭЦ и промышленность Республики Карелия, Мурманской и Архангельской обл., а также промышленные районы зарубежной Европы за счет трансграничного атмосферного переноса [11]. Важным фактором формирования состава аэрозоля в летний период является ветровое поднятие, перевевание и перемешивание в воздухе частиц почв и пыли со свободной от снега поверхности суши.

Наличие на Кольском п-ве мощных антропогенных источников выбросов в атмосферу никеля, меди и других химических элементов уже многие годы стимулирует сопредельные страны Европы проводить мониторинг состава аэрозоля, атмосферных осадков,

\* Дина Петровна Стародымова (d.smokie@gmail.com); Анна Александровна Виноградова (anvinograd@yandex.ru); Владимир Петрович Шевченко (vshevch@ocean.ru); Екатерина Владимировна Захарова (zaharova\_katya@list.ru); Вало Валович Сивонен (sivonen2010@gmail.com); Валентина Петровна Сивонен (sivonen2010@gmail.com).

а также депонирующих сред – снега, мха и других природных объектов – на своих территориях. В частности, такие исследования осуществлялись в Финляндии в районах, расположенных вблизи границы с Россией [12, 13]. Анализ состава осадков и снега по данным Мурманского и Архангельского управлений гидрометеослужбы выполнен в [14]. Изучение состава осадков на Кольском п-ве регулярно с 1990-х гг. проводится сотрудниками Кольского научного центра РАН [15, 16]. Модельные оценки дальнего переноса антропогенных составляющих от российских источников на территорию Карелии, Кольского п-ва и Архангельской обл. выполнены в [10].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных измерений концентраций ряда химических элементов в аэрозоле в районе ББС МГУ, полученных в ходе выполнения проекта «Система Белого моря» (руководитель академик А.П. Лисицын), и их анализа с точки зрения происхождения различных составляющих в разные сезоны.

## Материалы и методы

Район исследований располагается вблизи ББС МГУ (66°34' с.ш., 33°8' в.д., рис. 1), где с 2010 г. ведется отбор проб аэрозолей [17–20]. Территория станции примыкает к Кандалакшскому заповеднику; отопление на станции электрическое, поэтому эта точка наблюдений может считаться неподверженной локальному загрязнению (расстояние до ближайшего горно-металлургического комбината «Североникель» в г. Мончегорске – около 150 км). Отбор проб аэрозолей ведется на ББС МГУ практически круглогодично, прерываясь на самые холодные зимние месяцы. В данной статье анализируются аэрозольные

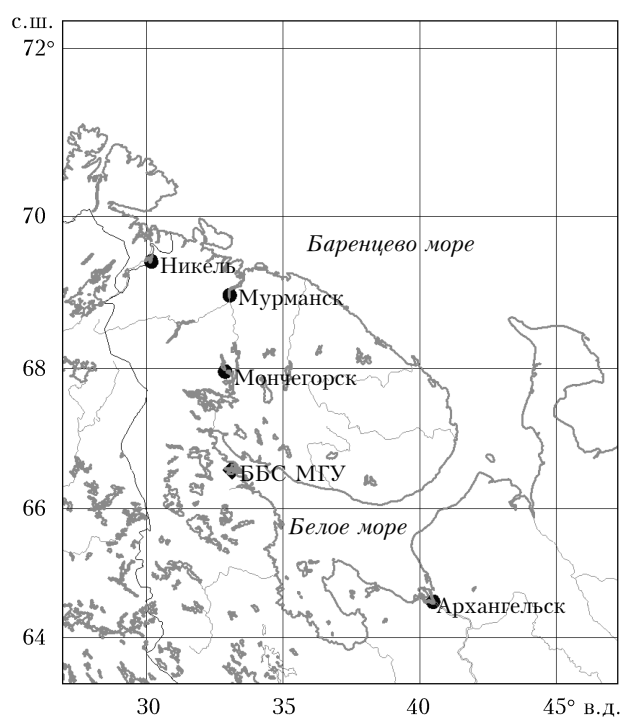


Рис. 1. Расположение места отбора проб аэрозолей

частицы размером менее 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>); длительность отбора одной пробы – около недели.

Анализировались 44 пробы аэрозоля, собранные на целлюлозные фильтры Whatman 41 в следующие периоды: 18.06–24.08.2013 г., 26.09–2.12.2013 г., 5.03–9.09.2014 г. Аэрозольные фильтры были разложены смесью концентрированных кислот и проанализированы на содержание 15 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) при помощи прибора Agilent 7500a. Стандартные образцы донных осадков СДО-1 и СДО-2 подвергались тем же процедурам, что и образцы аэрозолей.

Данные по химическому составу аэрозолей были дополнены расчетом обратных траекторий движения воздушных масс к точке пробоотбора [21] и их статистической обработкой методом, описанным в [8].

## Результаты и их обсуждение

Все время отбора аэрозольных проб было разделено на специфические условные сезоны (табл. 1): один снежный (сн), когда терригенные источники (пыль, почва) минимизированы, и два бесснежных (в 2013 и 2014 гг. – бс13 и бс14), когда выражено влияние как антропогенных, так и терригенных источников. Границами между снежным и бесснежным периодами стали усредненные даты начала и окончания климатической зимы для данной местности (середина октября и середина апреля) [22].

Отметим, что карьеры и отвалы пород в местах добычи руд – это антропогенные источники терригенного материала, которые поставляют его круглогодично. Анализ этих источников и некоторые оценки выбросов железа и алюминия Костомукшского промышленного комплекса приведены в работе [10].

К месту наблюдений также поступают аэрозоли в результате трансграничного атмосферного переноса. Этот канал поставляет антропогенный и терригенный аэрозоль, который в исследуемых материалах невозможно выделить и оценить ни суммарно, ни по частям. Грубые оценки потоков свинца и кадмия из антропогенных и терригенных источников для изучаемой территории выполнены в [23].

Концентрации микроэлементов в аэрозолях ББС МГУ характеризуются значительной временной изменчивостью. Можно выделить эпизоды одновременного возрастания или убывания концентраций практически всех элементов, которые могут быть интерпретированы как периоды усиления или ослабления пылевой нагрузки. Для некоторых групп элементов (например, для меди и никеля) присуще наличие специфических максимумов.

Для дальнейшего анализа были выбраны 11 микроэлементов, для которых получены наиболее надежные и полные (не менее 70% проб) результаты (рис. 2). Средние значения концентраций элементов в воздухе в разные сезоны и их стандартные отклонения приведены в табл. 1. Наибольший разброс измеренных значений от пробы к пробе (до 100% и выше) характерен для бесснежных сезонов, когда велика роль пылевой составляющей в формировании

Таблица 1

Средние значения концентраций микроэлементов в воздухе (аэрозоль  $PM_{2,5}$ ); в скобках указаны их стандартные отклонения для трех выделенных условных сезонов,  $mg/m^3$

Период	V	Ni	Cu	Ga	Rb	Sr	Cd	La	Ce	Nd	Pb
бс13	0,13 (0,08)	0,78 (1,14)	0,86 (1,00)	0,014 (0,009)	0,043 (0,022)	0,16 (0,08)	0,010 (0,005)	0,012 (0,010)	0,027 (0,023)	0,009 (0,007)	0,35 (0,20)
сн	0,27 (0,13)	0,45 (0,17)	0,42 (0,26)	0,006 (0,003)	0,016 (0,011)	0,09 (0,06)	0,008 (0,005)	0,007 (0,004)	0,015 (0,006)	0,002 (0,002)	0,34 (0,18)
бс14	0,18 (0,10)	0,79 (0,77)	0,79 (0,92)	0,009 (0,010)	0,058 (0,094)	0,30 (0,48)	0,026 (0,046)	0,015 (0,017)	0,034 (0,032)	0,010 (0,010)	0,48 (0,21)

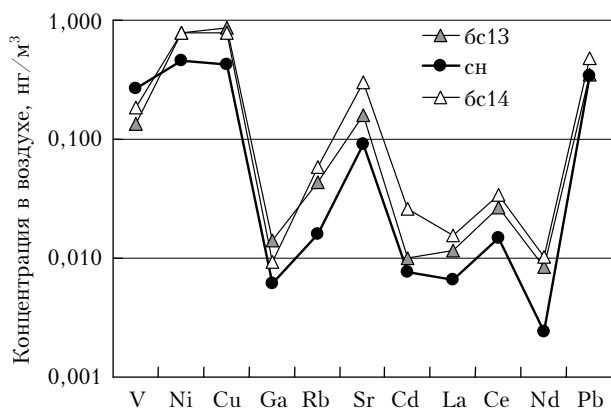


Рис. 2. Профили концентраций микроэлементов для трех условных сезонов

состава аэрозоля. В работе [24], в которой изучался летний аэрозоль  $PM_{2,5}$  в лесном районе Финляндии, содержание терригенного материала в этой фракции аэрозоля оценивается в 3%. Однако это усредненное значение, и разброс содержания терригенной пыли в тонкой фракции может быть значительным.

Сезонные различия в направлениях поступления воздушных масс в район исследований показаны на рис. 3. Хорошо видно, что снежный период отличается от обоих бесснежных преобладанием переноса воздуха с западных направлений. Основное различие между распределениями двух бесснежных сезонов – заметное преобладание в 2014 г. (по сравнению с 2013 г.) северного и северо-восточного направлений при соответствующем уменьшении частот переносов западных румбов. За все время наименее часто воздух поступал к пункту наблюдений с южного направления.

На рис. 4 приведены средние распределения направлений переноса, свойственные группам элементов или разного пространственного происхождения, или поступающих от разных источников (естественных или антропогенных). При расчетах учтены средневзвешенные значения концентраций элементов в соответствии с направлениями переноса воздушных масс для каждой пробы аэрозоля. В результате сформированы пять групп микроэлементов, атмосферный перенос которых к ББС МГУ характеризуется своими особенностями: V, Ni, Cu чаще поступают с севера; две группы включают элементы преимущественно природного происхождения – Nd, La, Ga (широкое распределение, вытянутое с юго-запада на северо-восток) и Rb и Sr (меньшая доля северо-восточного

направления переноса и большая – западного); антропогенные группы Pb–V–Bi и Cd с преимущественным переносом с юго-западного и западного направлений соответственно.

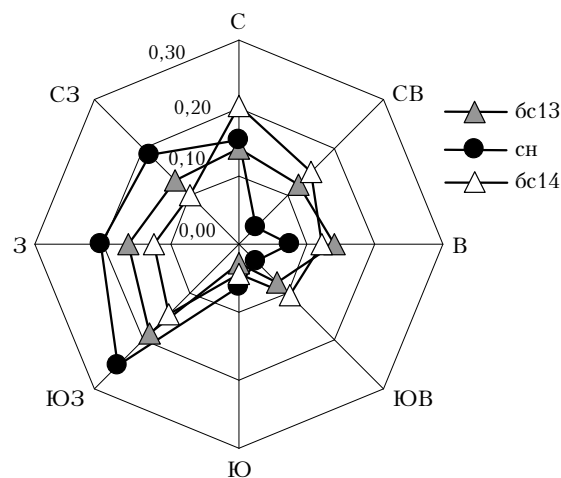


Рис. 3. Средние распределения повторяемости переноса воздушных масс по сторонам горизонта для выделенных сезонов. Цифры – доли от общего числа

Эти результаты показывают причину возможного синфазного изменения концентраций элементов одной группы, связанную с пространственной общностью атмосферного переноса. Но по ним невозможно выделить общность источника элементов, за исключением никеля и меди, мощные антропогенные источники которых локализованы сравнительно недалеко – на Кольском п-ве, что определяет основные направления поступления этих элементов и их основной источник. Хотя и для них остаются невыясненными доли вещества терригенного происхождения – как в бесснежные, так и в снежный сезоны.

По результатам корреляционного анализа с кластеризацией переменных выделяются три группы элементов, характеризующиеся значимыми корреляционными связями внутри групп, которые могут быть интерпретированы как геохимическое сродство, общность происхождения или сходные механизмы переноса. (1) Максимальные корреляции в общей выборке и отдельно по сезонам характерны для La и Nd, что, очевидно, определяется их принадлежностью к группе редкоземельных элементов (РЗЭ). К группе La–Nd примыкает Sr. Мы связали эту группу с терригенным материалом, который во многом подвержен влиянию местной пыли. (2) Между Ni и Cu также

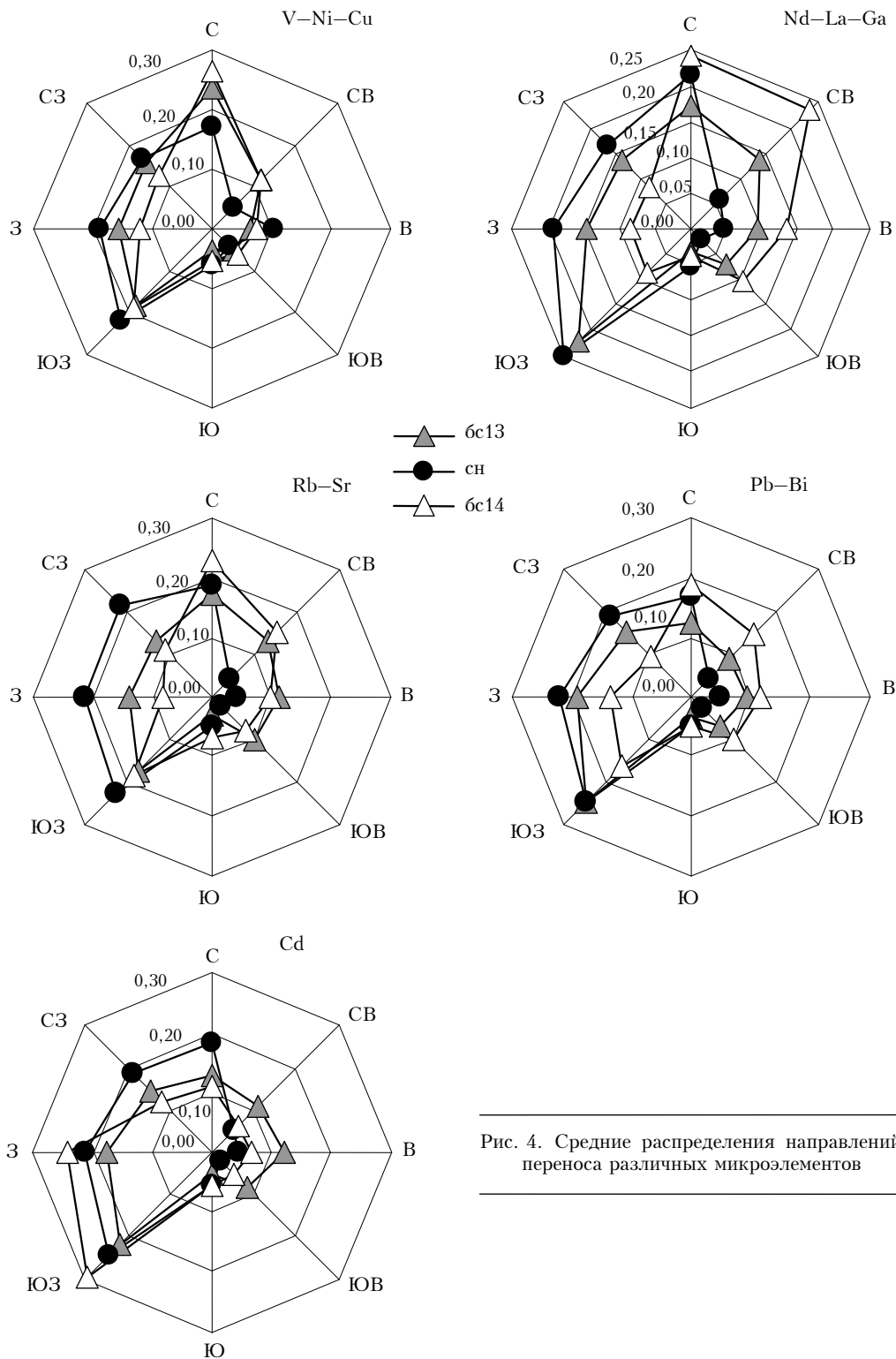


Рис. 4. Средние распределения направлений переноса различных микроэлементов

получена высокая корреляция (0,72), к этим элементам примыкает V, имеющий с ними более низкий, но значимый коэффициент корреляции. Эта группа связана с деятельностью металлургических предприятий Мураманской обл. (3) Группа Ga–Rb, которая, благодаря приверженности этих элементов к пелитовой фракции, связана с дальним атмосферным переносом.

С ней значимо коррелирует Pb. В свою очередь, Cd имеет близкие коэффициенты корреляции с группами (2) и (3). Это тяготение к разным группам хорошо соотносится с обособленностью схемы направлений поступления данного элемента (рис. 4), которая имеет общие черты как со схемой поступления Pb и Rb (с преобладанием ЮЗ направления),

Средние концентрации микроэлементов в воздухе, измеренные в полярных и приполярных районах, нг/м<sup>3</sup>

Место пробоотбора	Период	V	Ni	Cu	Cd	Pb
Северная Финляндия (Севетгярви) [13]	Лето 1997 г.		2	1,9		
Западная Финляндия (Калайоки) [12]	Лето 2007 г.	0,74	0,54	0,52	0,048	1,58
Южная Финляндия (Эхтари) [12]	2007 г.	0,71	0,41	0,56	0,074	1,67
Баренцево море [6]	Июль 2001 г.		0,3	3,8	0,023	0,13
Белое море [6]	Июль 2001 г.		0,4	7,6	0,02	0,12

так и Ni и Cu (для Cd имеет большое значение северное направление, но только в снежный сезон).

Для отдельных сезонов группировка элементов немного отличается. Для всех сезонов неизменной остается группа Ni–Cu–V. В снежный период все остальные элементы объединяются во вторую группу. Наличие коррелирующих концентраций преимущественно терригенных элементов Ga, Rb, Sr, La, Nd понятно. К этой группе в снежный сезон присоединяются антропогенные элементы (Pb, Cd, Bi), поскольку в это время все они связаны с дальним атмосферным переносом или с ближайшими открытыми горными выработками и хвостохранилищами. Разделение элементов на группы в бесснежные периоды в целом соответствует группировке, выполненной для всей выборки.

Отметим, что количество проб и в общем невелико, а при разбиении на сезоны – тем более, поэтому выводы о происхождении микроэлементов можно считать лишь предварительными, однако качественно они не противоречат общим представлениям и публикациям других авторов. Если эти данные будут подтверждаться результатами дальнейших наблюдений, можно будет сделать выводы о преимущественном переносе различных микроэлементов в район ББС МГУ при разных синоптических условиях.

В табл. 2 приведены результаты работ других авторов, в которых концентрации изучаемых нами микроэлементов в воздухе и в снеге измерялись на территориях, ближайших к Кандалакшскому заливу Белого моря.

Максимальные концентрации никеля и меди в районе ББС за весь период наблюдений в рамках данного исследования составили 4,0 и 3,4 нг/м<sup>3</sup> соответственно. Концентрации этих элементов, измеренные в Северной Финляндии, достигали 10 нг/м<sup>3</sup> при переносе воздушных масс со стороны пгт Никель [13]. Таким образом, результаты разумно соотносятся друг другу, особенно если учесть, что в нашем анализе участвуют только мелкодисперсные аэрозоли PM<sub>2,5</sub> и длительность отбора каждой пробы заведомо превосходит время существования одной и той же синоптической ситуации с каким-либо характерным направлением переноса воздушных масс.

## Заключение

Основными результатами работы являются 1) измеренные концентрации 11 микроэлементов в атмосферном аэрозоле PM<sub>2,5</sub>, 2) их разброс и 3) временные вариации в снежный и бесснежный сезоны года. Более высокие значения концентраций большинства элементов в бесснежное время года показывают важный эффект загрязнения окружающей среды при распространении пыли и почвенных частиц. Изучение этих характеристик в районе ББС МГУ, считающимся фоновым, дает представление о состоянии окружающей среды этого района, что важно для различной деятельности природоохранных организаций.

Анализ направлений переноса воздушных масс и аэрозольных примесей к пункту наблюдений дает информацию об особенностях циркуляции атмосферы и связи этих процессов с уровнем антропогенного загрязнения воздуха и наземных объектов. Выводы о происхождении микроэлементов можно считать лишь предварительными, но качественно они не противоречат общим представлениям и данным других авторов. Если эти результаты будут подтверждаться дальнейшими наблюдениями, можно будет сделать более обоснованные заключения о преимущественном переносе различных микроэлементов в район ББС МГУ при разных синоптических условиях.

Авторы статьи благодарны А.Б. Цетлину и сотруднику ББС МГУ за содействие, академику А.П. Лисицыну за поддержку исследований атмосферного переноса и ценные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 14-27-00114-П).

1. *Виноградова А.А.* Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 1993. Т. 29, № 4. С. 437–456.
2. *Лисицын А.П.* Аридная седиментация в океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 10. С. 1398–1439.
3. *Brimblecombe P.* Air composition and chemistry. Cambridge University Press, 1996. 253 p.
4. *Barrie L.A.* Occurrences and trends of pollution in the Arctic troposphere // Chemical exchange between the atmosphere and polar snow / Ed. by E.W. Wolff, R.S. Bales. Berlin; Heidelberg: Springer, 1996. P. 93–129.
5. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Куцов В.М., Ван-Малдерен Г., Мартэн Ж.-М., Ван-Грикен Р., Хуан В.В.*

- Состав аэрозолей в приземном слое атмосферы над морями западного сектора Российской Арктики // *Океанология*. 1999. Т. 39, № 1. С. 142–151.
6. Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В. Результаты исследования загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей // Докл. РАН. 2002. Т. 387, № 4. С. 537–540.
  7. Maenhaut W., Ducastel G., Leck C., Nilsson E.D., Heitzzenberg J. Multi-elemental composition and sources of the high Arctic atmospheric aerosol during summer and autumn // *Tellus B*. 1996. V. 48. P. 300–321.
  8. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13, № 4. С. 5–20.
  9. Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2008. Т. 44, № 6. С. 812–821.
  10. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Загрязнение воздушной среды в центральной Карелии при дальнем атмосферном переносе антропогенных примесей в атмосфере // Изв. РАН. Сер. географ. 2013. № 5. С. 98–108.
  11. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) [Electronic resource]. URL: <http://www.emep.int> (last access: 25.03.2017).
  12. Metal pollution in lakes surrounding the Kostomuksha ore dressing mill in northwestern Russia // Report No. 2 of Kainuu Regional Environment Centre / G. Varkonyi, R. Heikkila, J. Heikkila (eds.). 2008. 45 p.
  13. Maenhaut W., Jaffrezo J.-L., Hillamo R.E., Makela T., Kerminen V.-M. Size-fractionated aerosol composition during an intensive 1997 summer field campaign in Northern Finland // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*. 1999. V. 150. P. 345–349.
  14. Виноградова А.А., Котова Е.И. Металлы в атмосферных осадках и водах озер на северо-западе России // Экологическая химия. 2016. Т. 25, № 1. С. 52–61.
  15. Caritat P. de, Åyräs M., Niskavaara H., Chekushin V., Bogatyrev I., Reimann C. Snow composition in eight catchments in the central Barents Euro-Arctic region // *Atmos. Environ.* 1998. V. 32, N 14–15. P. 2609–2626.
  16. Дауэльтер В.А., Дауэльтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Химический состав атмосферных выпадений в зоне влияния комбината «Североникель» // Геохимия. 2008. № 10. С. 1131–1136.
  17. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Макаров В.И., Попова С.А., Сивонен В.В., Сивонен В.П. Элементный и органический углерод в атмосферном аэрозоле над северо-западным побережьем Кандалакшского залива Белого моря // Докл. АН. 2015. Т. 461, № 1. С. 70–74.
  18. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Сивонен В.П., Сивонен В.В. Вещественный и элементный состав приземного аэрозоля северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосфер. и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 488–492; Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Sivonen V.P., Sivonen V.V. Material and elemental composition of surface aerosols on the North-Western Coast of the Kandalaksha Bay of the White Sea // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 6. P. 507–511.
  19. Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Шевченко В.П., Захарова Е.В., Сивонен В.П., Сивонен В.В. Влияние антропогенных источников на формирование микроэлементного состава приземного аэрозоля побережья Белого моря // Усп. совр. естеств. 2016. № 11. С. 407–410.
  20. Alekseychik P., Lappalainen H.K., Petäjä T., Zaitseva N., Heimann M., Laurila T., Lihavainen H., Asmi E., Arshinov M., Shevchenko V., Makshtas A., Dubtsov S., Mikhailov E., Lapshina E., Kirpotin S., Kurbatova Y., Ding A., Guo H., Park S., Lavric J.V., Reum F., Panov A., Prokushkin A., Kulmala M. Ground-based station network in Arctic and Subarctic Eurasia: An overview // *Geogr., Environ., Sustain.* 2016. V. 9, N 2. P. 75–88.
  21. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // *Bull. Am. Meteor. Soc.* 2015. V. 96. P. 2059–2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1.
  22. Лисицын А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Научн. мир, 2010. С. 353–445.
  23. Виноградова А.А. Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на Европейской территории России – по данным международной программы ЕМЕП // Междунар. ж. прикл. и фундам. исслед. 2015. № 12-1. С. 111–115.
  24. Maenhaut W., Nava S., Lucarelli F., Wang W., Chia X., Kulmala M. Chemical composition, impact from biomass burning, and mass closure for PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosols at Hyuttiala, Finland, in summer 2007 // *X-Ray Spectrom.* 2011. V. 40. P. 168–171.

*D.P. Starodymova, A.A. Vinogradova, V.P. Shevchenko, E.V. Zakharova, V.V. Sivonen, V.P. Sivonen.*  
**Elemental composition of surface aerosol on the north-western Kandalaksha Bay coast of the White Sea.**

Aerosol samples PM<sub>2.5</sub> (44 pieces) collected in 2013–2014 on the White Sea coast were analyzed on trace-element concentrations. The sampling period was divided in conventional seasons: a snow-cover season with minimal influence of terrestrial dust and two snowless seasons with distinct influences of both anthropogenic and terrigenous sources. The snowless seasons are featured by the highest dispersion of element concentrations. The snow-cover season differs from snowless ones by prevalence of the western direction of transport. The direction analysis of atmospheric transport of pollutants allows distinguishing few groups of elements of natural (La, Nd, Sr, Ga) and mainly anthropogenic origin (V, Ni, Cu and Pb, Bi, Cd).