

УДК 551.510.42

**ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ
МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ
ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ****¹Стародымова Д.П., ²Виноградова А.А., ¹Шевченко В.П., ³Захарова Е.В.,
⁴Сивонен В.В., ⁴Сивонен В.П.**¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: d.smokie@gmail.com;*²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва;*³*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;*⁴*Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва*

Ранее опубликованные данные по микроэлементному составу приземного аэрозоля побережья Кандакшского залива Белого моря проанализированы совместно с обратными траекториями движения воздушных масс к точке пробоотбора. Для каждой пробы вычислена частота прохода воздушных масс через важнейшие источники антропогенных выбросов региона (Мончегорск, Никель, Архангельск, Кировск, Апатиты, Мурманск, Санкт-Петербург). 29 проб, отобранные в течение лета – осени 2013 г. и весны 2014 г., сгруппированы по признаку преимущественного поступления воздушных масс от определенного антропогенного источника. Из выделенных групп были исключены те пробы, которые характеризуются смешанным поступлением воздушных масс. Для каждого источника загрязнения построены графики средних концентраций микроэлементов, присутствующих в соответствующих пробах аэрозоля. Воздушные массы, проходящие через Мончегорск и Никель, характеризуются повышенными содержаниями в пробах V, Ni, Cu, Cd, Y, Архангельск и Санкт-Петербург – Zn, Sb, Pb, Кировск и Апатиты – Sr, Ba и редкоземельных элементов (РЗЭ).

Ключевые слова: атмосферный перенос, антропогенные источники, Белое море, Кольский полуостров, медь, никель, тяжелые металлы, обратные траектории, Архангельск

**IMPACT OF ANTHROPOGENIC SOURCES ON FORMATION OF TRACE-METAL
COMPOSITION OF THE WHITE SEA COASTAL NEAR-THE-GROUND AEROSOL****¹Starodymova D.P., ²Vinogradova A.A., ¹Shevchenko V.P., ³Zakharova E.V.,
⁴Sivonen V.V., ⁴Sivonen V.P.**¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, e-mail: d.smokie@gmail.com;*²*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, Moscow;*³*Lomonosov Moscow State University, Moscow;*⁴*White Sea Biological Station, Moscow*

Previously published materials of trace-element composition of the White Sea coastal near-the-ground aerosols were analyzed together with backward trajectories of air masses to sampling site. Frequency of air masses passing through the most important regional sources of anthropogenic emission (Monchegorsk, Nickel, Arkhangelsk, Kirovsk, Apatity, Murmansk, Saint-Petersburg) was calculated for every sample. 29 samples collected during summer–autumn 2013 and spring 2014 were grouped by prevailed input of air masses from certain anthropogenic sources. Samples with multi-source input of air masses were excluded from identified groups. Average trace-element concentrations occurring in aerosol samples were plotted for every emission source. Air masses passing from Monchegorsk and Nickel is defined by increased contents of V, Ni, Cu, Cd, Y, from Arkhangelsk and St.-Petersburg – by Zn, Sb, Pb, from Kirovsk and Apatity – by Sr, Ba and rare earth elements (REEs).

Keywords: atmospheric transport, anthropogenic sources, White Sea, Kola Peninsula, copper, nickel, heavy metals, backward trajectories, Arkhangelsk

Атмосферный перенос от антропогенных источников является важным путем поступления загрязняющих веществ в окружающую среду удаленных, в том числе арктических, районов [6, 8, 9, 13, 14]. Начавшись в середине 1980-х гг. [2], исследования атмосферного переноса загрязнителей сейчас приобретают особое значение для изучения воздействия антропогенных факторов на природу полярных и приполярных областей России. В ряде недавних работ опубликованы исследования по микроэлементному составу аэрозольно-

го материала, поступающего в приполярные области [4, 7]. Для интерпретации данных по геохимии аэрозольного материала, полученных при полевых измерениях, полезным является анализ распространения воздушных масс к району исследований, что обеспечивает более надежные выводы об источниках загрязняющих веществ. В настоящей работе интерпретируются имеющиеся данные по химическому составу аэрозолей с привлечением статистической обработки массива данных по перемещениям воздушных масс в районе

исследований, полученного с помощью программы HYSPLIT [15].

Материалы и методы исследования

Почти круглогодичные исследования аэрозолей на Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ (ББС МГУ) на северо-западном побережье Кандалакского залива (Белое море) ведутся с 2010 г. Станция оборудована пробоотборником UAS-310, прокачивающим воздух через фильтры, на которые оседают частицы размером менее 2,5 мкм. Точка пробоотбора (66,55° с.ш., 33,1° в.д.) удалена от локальных источников загрязняющих веществ [7, 10, 12]. Длительность отбора отдельной пробы составляет около недели. Ранее проводились исследования органического и элементного углерода в аэрозолях, отобранных на этой станции [10]. В данной работе анализировался микроэлементный состав аэрозолей, собранных в течение трех сезонов: летом – осенью 2013 г. и весной 2014 г. Первые результаты изучения вещественного и микроэлементного состава этих аэрозолей опубликованы в работе [7]. Всего анализировалось 29 проб аэрозоля. В качестве источника антропогенного загрязнения рассматривались следующие города и их окрестности: Архангельск, Санкт-Петербург, Мончегорск, Никель, Кировск и Апатиты, Петрозаводск (рис. 1). Данные по выбросам в атмосферу этих городов опубликованы, например, в [5].

Анализ атмосферного переноса в район отбора проб проводился по 5-суточным обратным траекто-

риям движения воздушных масс для каждого часа тех дней, когда отбирались пробы. С помощью программы HYSPLIT было рассчитано 5280 обратных траекторий (по 24 траектории с интервалом в один час для 220 дней), каждая точка которых характеризовалась тремя координатами, а также значениями метеорологических параметров (высота слоя перемешивания, давление и количество осадков). Весь массив траекторий был разделен на 29 групп, соответствующих периодам отбора каждой пробы аэрозолей, для которых получены данные по микроэлементному составу. Для удобства выявления преобладающих направлений переноса, с которых приходят воздушные массы на ББС МГУ, все точки траекторий для каждого периода отбора проб в отдельности были отнесены к ячейкам размером 1°x1°, а затем высчитано количество точек траекторий, попавших в конкретную ячейку. Подробно этот метод математической обработки обратных траекторий описан в работе [1]. В результате проба характеризуется матрицей, где для каждой географической ячейки обозначено количество траекторий, прошедших через эту ячейку. Это позволяет вычислить частоту прохождения воздушных масс через интересующие нас источники. Размерность ячеек не позволяет более детально рассмотреть частоту прохода воздушных масс через отдельные объекты (например, г. Кировск и Апатиты попадают в одну ячейку), однако, учитывая, что перенос воздушных масс в изучаемом районе определяется в основном действием крупных циклонов, большая детализация из-за процессов перемешивания теряет смысл.

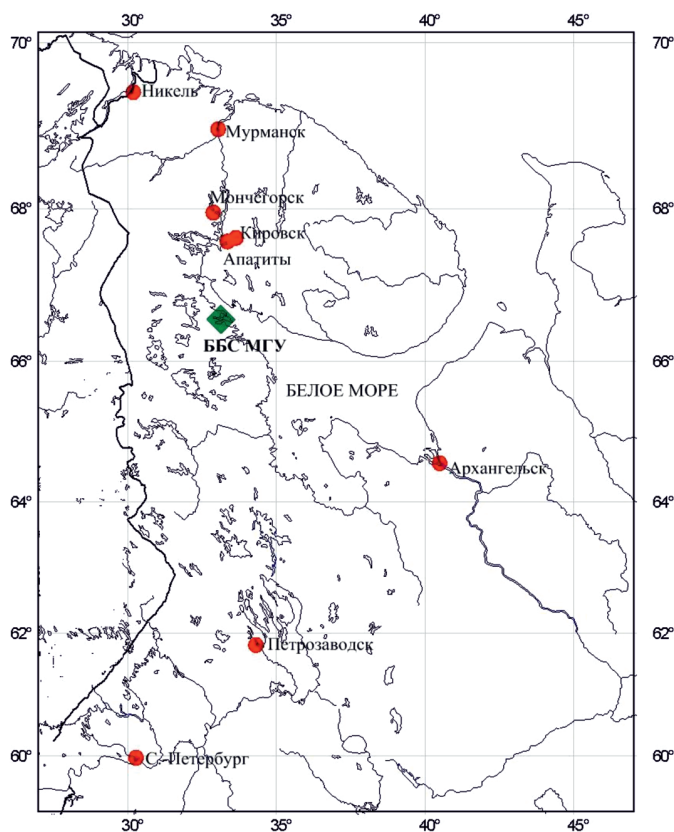


Рис. 1. Расположение точки отбора проб аэрозолей и источников антропогенных выбросов, которые использовались в расчете

Суммарное количество точек обратных траекторий, попадающих в ячейки с главными источниками антропогенных выбросов, и количество проб, при отборе которых обратные траектории не проходили через данные ячейки («нулевые» пробы*)

Источник	Координаты (с.ш., в.д.)	Сумма точек траекторий, попадающих в ячейку	Количество «нулевых» проб*
Мончегорск	67°, 32°	2708	3
Кировск и Апатиты	67°, 33°	2491	4
Мурманск	68°, 33°	1634	10
Архангельск	64°, 40°	568	17
Никель	69°, 30°	531	7
Санкт-Петербург	59°, 30°	253	21
Петрозаводск	61°, 34°	151	20

Результаты исследования и их обсуждение

Из всех выбранных источников наиболее часто воздушные массы проходят через ту ячейку, где расположен г. Мончегорск. Северное и северо-западное направление поступления воздушных масс наиболее устойчивое, поэтому только в 10% проб обратные траектории не проходили через ячейку, в которой расположен г. Мончегорск. Поступление воздушных масс с южных румбов происходило наиболее редко, поэтому количество точек траекторий, попадающих в ячейки, в которых располагаются Санкт-Петербург и Петрозаводск, минимально (таблица), а в 70% проб обратные траектории не проходили через эти ячейки.

Как уже отмечалось, длительность отбора одной пробы довольно продолжительна (около недели), поэтому почти каждая проба характеризуется более чем одним источником загрязнения. Оказалось невозможным выделить пробы, при отборе которых воздушные массы приходили исключительно со стороны Мурманска, Архангельска, Петрозаводска и др. Поэтому были рассмотрены следующие группы проб, при отборе которых воздушные массы проходили преимущественно через:

- Мончегорск и Никель (М + Н), 14 проб;
- Архангельск и Санкт-Петербург (А + С), 6 проб;
- Кировск и Апатиты (К + А), не задевая другие объекты Кольского полуострова, 2 пробы.

Для каждой из выделенных групп были рассчитаны средние содержания элементов в пробах и построены графики средних концентраций химических элементов (далее будут называться элементными профилями).

На рис. 2 представлены элементные профили для выделенных групп аэрозольных проб. Явно выделяется элементный профиль

проб группы М + Н, который характеризуется более высоким содержанием ванадия, никеля, меди, рубидия, иттрия, кадмия и цезия. Основными источниками никеля и меди в регионе являются выбросы металлургических предприятий Кольского полуострова. Другим источником меди и никеля является сжигание угля [11, 14], однако на фоне воздействия предприятий г. Мончегорска и Никеля этот источник не идентифицируется. Конфигурация элементных профилей остальных проб схожа. Группа А + С характеризуется повышенным содержанием цинка и сурьмы, тогда как для группы К + А характерны более высокие содержания стронция, бария и редкоземельных элементов (РЗЭ). Поступление этих элементов со стороны гг. Кировск и Апатиты определяется предприятиями добычи и переработки апатит-нефелиновых руд. Отметим, что среднее по выборке содержание свинца примерно такое же, как и в пробах А + С и К + А, но значительно выше, чем в пробах М + Н, несмотря на численное преобладание этих проб. Можно говорить о том, что преобладающий источник свинца не выделяется и он не расположен с северной стороны, откуда поступают воздушные массы группы М + Н. В работе [3] было показано, что свинец над европейской территорией России в значительной степени имеет происхождение из Западной Европы. Основными источниками свинца являются эмиссии автомобильного транспорта и, в меньшей степени, сжигание угля [14]. Для сурьмы самые высокие содержания получены в группе А + С, однако они незначительно выше среднего значения, в пробах М + Н значительно ниже, а в пробах К + А сурьма не определяется. Это говорит о том, что сурьма поступает с разных направлений, но от объектов Кольского полуострова поступление сурьмы низкое (главным источником поступления сурьмы является сжигание угля [11]).

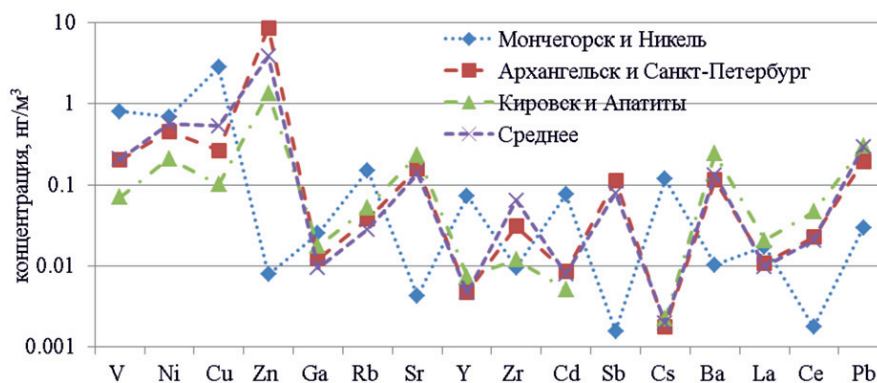


Рис. 2. Графики средних концентраций элементов в аэрозольном материале, поступающем со стороны источников: Мончегорск и Никель; Архангельск и Санкт-Петербург; Кировск и Апатиты

Выводы

Поступление воздушных масс в район ББС МГУ происходит с разных направлений, среди которых преобладающим является северное и северо-западное. Средний состав аэрозолей определяется наложением этих воздушных масс, а содержание некоторых элементов связано с конкретным направлением переноса. Поступление воздушных масс со стороны Мончегорска и Никеля определяет повышенное содержание ванадия, никеля, меди, кадмия, иттрия, цезия. Воздушные массы, приходящие со стороны Кировска и Апатитов, вызывают повышение содержания стронция, бария и РЗЭ. Источники таких элементов, как цинк, сурьма и свинец, многочисленны и не описываются тем ограниченным набором параметров, который использовался в работе.

Авторы работы благодарны А.Б. Цетлину за содействие в организации отбора проб, академику А.П. Лисицыну и доценту Д.Д. Бадюкову за ценные советы. За предоставленную возможность строить обратные траектории переноса воздушных масс, пользуясь моделью HYSPLIT на сайте <http://www.arl.noaa.gov/ready.html>, авторы признательны сотрудникам Лаборатории воздушных ресурсов Национальной администрации США по исследованию океана и атмосферы (NOAA).

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

Список литературы

1. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 5–20.
2. Виноградова А.А. Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) // Известия АН. Физика атмосферы и океана. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 437–456.
3. Виноградова А.А. Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на европейской территории России – по данным международной программы EMEP //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12. – С. 111–115.

4. Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В. Результаты исследования загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей // Доклады Академии наук. – 2002. – Т. 387, № 4. – С. 537–540.

5. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / Под ред. А.Ю. Недре. – СПб: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. – 560 с.

6. Лисицын А.П. Аридная седиментация в океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1398–1439.

7. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Сивонен В.П., Сивонен В.В. Вещественный и элементный состав приземного аэрозоля северо-западного побережья Кандалякшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. – 2016. Т. 29, № 6. – С. 488–492.

8. Шевченко В.П. Аэрозоли – влияние на осадконакопление и условия среды в Арктике: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – М., 2000. – 213 с.

9. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И., Лисицын А.П., Серова В.В. Распределение и состав аэрозолей Западной Арктики // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 355, № 5. – С. 673–676.

10. 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 Кандалякшского залива Белого моря // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 70–74.

11. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 655 с.

12. Alekseychik P., Lappalainen H.K., Petzold 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 // Geography, Environment, Sustainability. – 2016. – V. 09, № 02. – P. 75–88.

13. Barrie L.A. Occurrences and trends of pollution in the Arctic troposphere // Chemical exchange between the atmosphere and polar snow / Ed. E.W. Wolff, R.S. Bales. Berlin, Heidelberg: Springer. – 1996. – P. 93–129.

14. Pacyna E.G., Pacyna J.M., Fudala J., Strzelecka-Jastrab E., Hlawiczka S., Panasuik D., Nitter S., Pregger T., Pfeiffer H., Frederich R. Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe // Atmospheric Environment. – 2007. – Vol. 41. – P. 8557–8566.

15. 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. Amer. Meteor. Soc. – 2015. – Vol. 96. – P. 2059–2077. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.