

Рус.: УДК 551.510.41

Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России

Виноградова Анна Александровна¹, Котова Екатерина Ильинична²

¹ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия; anvinograd@yandex.ru*

² *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Российской академии наук, Архангельск, Россия; ecopp@yandex.ru*

Аннотация

Метод статистики траекторий переноса воздушных масс и атмосферных примесей применен для оценки концентраций в воздухе двух тяжелых металлов – свинца и кадмия – в нескольких районах севера Европейской России. Использование данных ЕМЕР об эмиссиях этих металлов в атмосферу с территории всей Европы позволило наиболее полно учесть источники загрязнения и разделить вклады европейской территории России (1) и остальных стран Европы (2) в загрязнение окружающей среды севера Европейской России в 2010—2014 годах. В отдельные годы и сезоны вклад зарубежной Европы может быть значителен (до 50 % и выше), но в целом север Европейской России загрязняется от антропогенных источников этих металлов, расположенных в России.

Показано, что пространственные, внутри- и межгодовые различия этого загрязнения могут составлять несколько порядков. Пространственные различия уровня загрязнения атмосферы и окружающей среды разных районов севера Европейской России определяются разной удаленностью этих районов от источников выбросов. Внутригодовые вариации концентраций анализируемых металлов определяются различиями (в разные сезоны) скорости осаждения этих примесей на поверхность по пути дальнего переноса в атмосфере. Межгодовые вариации уровня загрязнения различных северных районов определяются изменением условий циркуляции атмосферы год от года.

Ключевые слова: дальний атмосферный перенос, метод статистики траекторий, тяжелые металлы, антропогенное загрязнение, трансграничный перенос, север европейской России.

Eng.

Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России

Vinograova Anna A.¹, Kotova Ekaterina I.²

¹ *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia; anvinograd@yandex.ru*

² *N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, Russia; ecopp@yandex.ru*

Abstract:

Air masses and pollution transport to some Northern regions of European Russia were studied with trajectory statistics. We used EMEP data on lead and cadmium emissions to the atmosphere from Europe in 2010-2014. This dataset is most suitable for current investigation aiming to separate the contributions to pollution of the Northern Russia environment from sources of European part of Russia (1) and from the rest European territories (2). In some years at some points contributions (2) may be sizable (up to 50% and more), but as a whole the North of European Russia is polluted by the own Russian anthropogenic sources.

As calculated, spatial, seasonal, and interannual variations in environmental pollution may be as high as 10 times and more. Spatial variations are determined by different distances between investigation points and the main sources of pollutants. Seasonal variations in air concentrations depend on the difference in deposition velocities for different seasons. Interannual variations in pollution level in Northern regions are caused by diversity of atmospheric circulation pattern, and (in less degree) by emission differences from year to year.

Key words: long-range atmospheric transport, method of trajectory statistics, heavy metals, anthropogenic pollution, transboundary transport, the North of European Russia

Введение

Изучение антропогенного воздействия через атмосферу на окружающую среду северных районов России остается весьма актуальным и в настоящее время, несмотря на довольно большое число отдельных публикаций, и обзоров, посвященных этому вопросу (например, [2, 4, 10, 13,15]). Преодоление чисто научных проблем, связанных с описанием дальнего переноса примесей воздушными потоками, ставит далее экологические задачи изучения состояния окружающей среды и пищевых цепочек в удаленных и труднодоступных районах. Также возникает необходимость обсуждения и оценок различных экономико-социальных аспектов трансграничного воздействия на окружающую среду, вытекающих из

невозможности ограничить перенос загрязнений пространством конкретных территорий, в частности, конкретных государств [9, 11, 16].

В настоящее время можно весьма условно считать северные районы Евразии фоновыми в отношении антропогенного воздействия на их окружающую среду. Дальний перенос антропогенных загрязнений и наличие мощных промышленных комплексов в самой Арктике оказывают свое воздействие. Усовершенствование методов исследований, появление новых данных об эмиссиях примесей в атмосферу, большие межгодовые вариации в процессах циркуляции атмосферы – все это создает все новые условия для расчетов, равно как и новые условия реального существования окружающей среды изучаемых районов. Учет и сопоставление разных (в пространственном отношении) источников тяжелых металлов на материалах, наиболее близких к настоящему времени, – задача данной работы.

Северо-запад России – регион, находящийся под воздействием морского воздуха Атлантики, приносящего осадки и загрязнения из зарубежной Европы, а также под влиянием российских промышленных районов, расположенных на европейской территории России (ЕТР) и, в частности, на Кольском полуострове. В данном исследовании развиваются подходы, предложенные в предыдущих работах авторов (из последних отметим [2, 3]) сходной тематики, где оценки загрязнения тех же северных районов страны проводились, основываясь на данных российской статистики об эмиссиях антропогенных примесей в атмосферу за 2010 год [7]. Использование информации о пространственном распределении эмиссий свинца и кадмия, обобщенной для всей Европы в отчетах и материалах ЕМЕП [12], позволяет выделить и сравнить вклады Европейской России и остальной части Европы в загрязнение (через атмосферу) этими двумя металлами северных районов ЕТР. Наиболее современный подход авторов, описанный в [1], позволяет сделать оценки, не усредненные за десятилетие (как это было выполнено ранее), а проанализировать межгодовые вариации вкладов разных территорий Европы в загрязнение изучаемых районов.

Исходная информация и методика расчетов

Работа посвящена анализу дальнего переноса в атмосфере двух тяжелых металлов (ТМ) – Pb и Cd – к нескольким пунктам, расположенным на севере европейской территории России (ЕТР) на некотором удалении от крупных источников антропогенных атмосферных эмиссий. *Пункты для изучения* были выбраны на Кольском п-ове (Кол – 67° с.ш., 38° в.д.), в Архангельской области (Арх – 62° с.ш., 48° в.д.), в Ненецком заповеднике (НЗ – 67° с.ш.,

53° в.д.) и на архипелаге Земля Франца-Иосифа (ЗФИ – 81° с.ш., 56° в.д.). Они расположены на разных широтах и на разном удалении от западной границы России.

Данные об эмиссиях в атмосферу с территории Европы выбирались из базы ЕМЕР, открытой для интерактивного использования через Интернет [12]. База содержит всю информацию об антропогенных выбросах свинца, кадмия и ртути, официально представленную секретариатом Конвенции о Трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и участниками Конвенции. Наши исследования касаются только свинца и кадмия – пассивных (по пути переноса) в химическом отношении примесей, переносимых на большие расстояния преимущественно на аэрозольных частицах субмикронного размера. На рис. 1 показаны пространственные распределения эмиссий Pb и Cd в 2012 году по территории, входящей в анализ ЕМЕР.

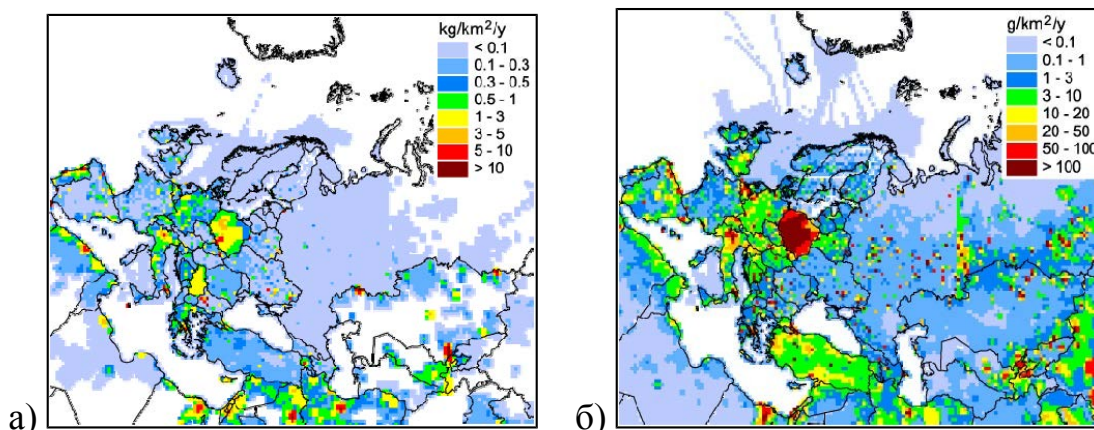


Рис. 1 – Эмиссии свинца (а) и кадмия (б) с территории, рассматриваемой в рамках программы ЕМЕР в 2012 году (по данным [14])

К сожалению, данные ЕМЕР об эмиссиях ТМ в атмосферу представлены в виде суммарных эмиссий за год, что не дает возможности учесть их внутригодовые изменения. Поскольку оба металла имеют ещё и составляющую почвенного происхождения, реальные летние эмиссии должны, по крайней мере, отличаться от зимних. Эти различия в данной работе учесть невозможно, хотя в рамках ЕМЕР ведутся исследования по оценке доли металлов, поступающей в атмосферу за год в результате поднятия и перевевания почвенных частиц и пыли.

Методика оценки влияния именно на северные районы учитывает только источники, расположенные севернее 52° с.ш. (см. далее), поэтому сравнение эмиссий ТМ с разных территорий также будем проводить для этой части

Европы. В среднем (за 2010—2014 гг.) эмиссии со всей территории Европы (по данным ЕМЕР) были около 45,5 т свинца и 4,15 т кадмия в месяц. Разброс от года к году составил около 9 % и 21% от этих величин, соответственно. При этом эмиссии только с территории ЕТР были около 11 т свинца и 2,3 т кадмия в месяц с разбросом по годам около 45 %. Таким образом, в 2010—2014 гг. с территории ЕТР эмиссии в атмосферу составляли в среднем около 25 % свинца и 64 % кадмия от выбросов всей Европы. Однако, вариации эмиссий ТМ от года к году в данных ЕМЕР, как нам представляется, могут отражать не только реальные изменения выбросов в атмосферу, но также разную степень полноты информации, предоставленной различными странами и организациями в разные годы.

По таблице видно, что годовые эмиссии свинца в атмосферу с территории ЕТР в 2010 году, по данным двух источников информации (ЕМЕР и российской статистики), близки и составляли примерно 1/6–1/5 часть от эмиссии свинца источниками всей Европы, расположенными севернее 52 параллели. Данные ЕМЕР об эмиссиях кадмия с территории ЕТР в 2010 году заметно расходятся с данными российской статистики (это примерно 1/2 и 1/5, соответственно, от его эмиссии с территории всей Европы).

Таблица – Суммарные годовые эмиссии свинца и кадмия с разных территорий (вся Европа или ЕТР) севернее 52°с.ш. по данным ЕМЕР и РФ, т/год.

Массив данных	Европа, ЕМЕР [12]	ЕТР, ЕМЕР [12]	ЕТР, РФ [7]
Годы	2010-2014	2010	2010
Pb	547	90	102
Cd	50	26	11

Метод статистики траекторий движения воздушных масс и атмосферных примесей, переносимых на субмикронных аэрозольных частицах, был развит авторами ранее, и его последняя версия подробно описана в [1]. Обратные траектории рассчитывались с помощью модели HYSPLIT4 по результатам реанализа метеорологических данных на сайте Лаборатории воздушных ресурсов ARL NOAA [11]. Для каждого изучаемого пункта рассчитывались ежедневные 5-суточные обратные траектории (старт в 00 часов UTC на высоте 50 м, шаг расчетов 1 час) для января (зима) и июля (лето) для каждого года с 2010 по 2014.

Концентрация примеси C_{ij} в приземном воздухе рассматриваемого пункта, созданная в результате выбросов Q_{ij} примеси на поверхности в ячейке сетки с координатами (ij) , вычисляется по формуле:

$$C_{ij} = Q_{ij} \times Z_{ij}. \quad (1)$$

здесь Z_{ij} – функция чувствительности к потенциальным источникам примеси в ячейке (ij) – подробнее в [1]. Величина ее рассчитывается по массиву обратных траекторий и определяется не только количеством траекторий, прошедших через ячейку (ij), но и выведением примеси на поверхность по мере переноса к изучаемому пункту. Эффективность последнего процесса, в свою очередь, зависит от качества поверхности, над которой происходит перенос примеси, от характеристик атмосферы по пути переноса (высота слоя перемешивания, количества и качества осадков, инверсии температуры и т.д.), от длины пути и длительности переноса.

Предполагается перенос ТМ в атмосфере как пассивной примеси на аэрозольных частицах субмикронного размера. Поскольку сухое осаждение и осаждение осадками по мере дальнего переноса аэрозоля в атмосфере способствуют сжатию спектра размеров его частиц к диапазону 0,1—1 мкм [6], эффективные скорости осаждения на поверхность для Pb и Cd не различались и считались постоянными вдоль каждой траектории переноса. Обычно скорость осаждения такой примеси на поверхность ниже (на порядок и более) зимой, чем летом. Поэтому концентрация примеси в воздухе в удаленном от источников районе выше зимой, чем летом (если эмиссии источников неизменны в течение года, как это предполагается в данном исследовании). Сезонные различия величины Z для какого-то одного пункта исследований для одной и той же ячейки сетки могут быть значительны: зимой она может быть на несколько порядков больше, чем летом (за исключением ячеек, самых ближайших к изучаемым пунктам).

Все расчеты производились на географической сетке 1×1 градус на территории в пределах 52—75° с.ш. и 4—60° в.д., поскольку вклад более южных районов в загрязнение Севера России незначителен [1].

Для каждого месяца, суммируя вклады от всех ячеек, рассчитанные по формуле (1), получаем среднюю (за этот месяц) концентрацию примеси в воздухе в районе конкретного пункта, для которого строились обратные траектории.

В качестве показателей загрязнения окружающей среды вблизи рассматриваемых пунктов вычислялись средние (за месяц) значения концентраций в приземном воздухе свинца и кадмия, а также их потоки на поверхность и концентрации в осадках.

Основные результаты

Внутригодовые вариации загрязнения. Для рассматриваемых районов севера ЕТР характерно более высокое содержание свинца и кадмия в воздухе в зимний период по сравнению с летом [3], что связано с большим временем жизни ТМ в атмосфере в холодное время и, соответственно, с более эффективным переносом загрязнений из южных районов. Лишь в 2013 году специфические условия циркуляции атмосферы привели к тому, что, по расчётам, в районе Ненецкого заповедника концентрации обоих металлов в приземном воздухе в июле были выше, чем в январе.

Пространственные вариации загрязнения. Наименьшее количество рассматриваемых металлов содержится в воздухе удаленного архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), где даже максимальные значения концентраций свинца и кадмия составили лишь 0,047 нг/м³ и 0,006 нг/м³, соответственно, зимой 2012 года. В целом по рассматриваемым пунктам максимальные концентрации ТМ в воздухе зимой – до 20 нг/м³ свинца на Кольском п-ве (2014 г.) и до 9 нг/м³ кадмия в Архангельской области (2013 г.).

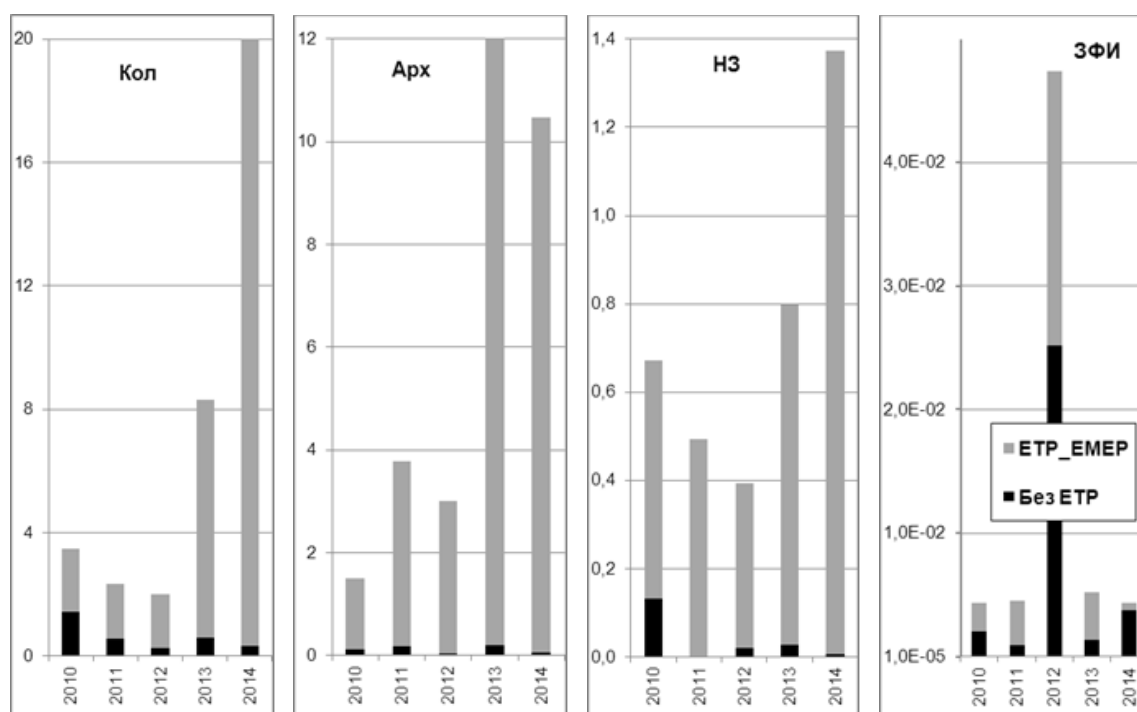


Рис. 2 – Концентрации свинца в воздухе рассматриваемых пунктов в январе, формируемые эмиссиями на ЕТР и в остальной Европе (по ЕМЕР), нг/м³

Межгодовые вариации зимних концентраций свинца в воздухе рассматриваемых пунктов и соотношения вкладов ЕТР и остальной Европы в эти концентрации велики, что демонстрирует рис. 2 по оценкам для января.

Летом российские источники вносят основной вклад в загрязнение свинцом и кадмием окружающей среды на севере ЕТР, вклад зарубежной Европы (значительно более удаленных источников) менее 1 %. Только на Кольском п-ове летом 2010 года вклад зарубежной Европы в концентрацию свинца в воздухе составил 60 % (не показано на рисунках), что связано с аномально устойчивым антициклоном над ЕТР, в результате чего в июле-августе 2010 года в центре ЕТР наблюдались мощные пожары, а загрязнения с этой территории в Арктику почти не поступали [2, 5, 8].

В районе ЗФИ (наиболее удаленном от всех источников загрязнений) соотношение вкладов ЕТР и зарубежной Европы меняется скачками (рис. 3) как зимой, так и летом, что связано с вариациями циркуляции атмосферы от года к году. Относительный вклад европейских стран в концентрацию свинца в воздухе ЗФИ в рассматриваемые годы составлял от 20 % (2011) до 85 % (2014) зимой и от 1 % (2010, 2014) до 50 % (2011) летом. Зима 2012 года выделяется аномально высоким поступлением на ЗФИ загрязнений из зарубежной Европы и из Европы в целом.

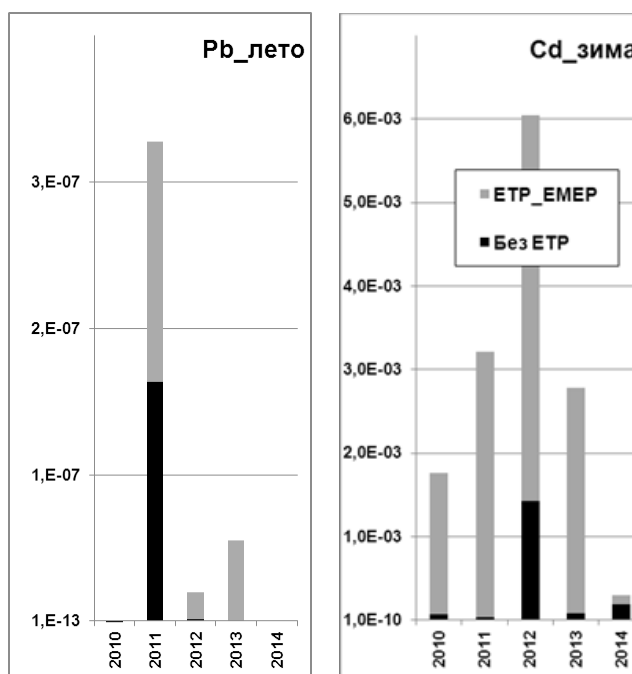


Рис. 3 – Концентрации свинца летом и кадмия зимой в воздухе на ЗФИ, формируемые эмиссиями на ЕТР и в остальной Европе (по ЕМЕП), $\text{нг}/\text{м}^3$

Соотношения вкладов источников ЕТР и зарубежной Европы в загрязнение рассматриваемых районов антропогенным кадмием, приведенные на рис. 3, не столь определены, как для свинца, поскольку, как отмечалось выше, эмиссии кадмия с территории Европейской России по

данным [7] и [12] заметно различаются (таблица). Но при всех оценках доля российских источников в загрязнении кадмием северных районов ЕТР летом превышает 90 % от вклада всех источников Европы, расположенных севернее 52 параллели.

Комментарии и выводы

Загрязнения, выпадающие из атмосферы при сухом осаждении на поверхность или с осадками, по-разному воздействуют на природные среды и объекты, такие как почвы, растения, пресные и соленые воды и др., в разные сезоны. Поэтому для изучения комплексного антропогенного влияния на окружающую среду в разное время года важна оценка различных характеристик загрязнения, в частности, концентрации примесей в осадках. Пространственные распределения концентраций ТМ в осадках зависят также от пространственных вариаций количества осадков в разные сезоны. Эти вопросы обсуждались в предыдущих работах авторов [2, 3], где были выполнены соответствующие оценки. Подчеркнём, что использование более полных данных об эмиссиях рассматриваемых ТМ от всей Европы даст более высокие значения этих показателей для свинца и кадмия, но соотношения вкладов европейской России и зарубежной Европы в них останутся такими же, каковы они в атмосферных концентрациях этих металлов.

Пространственные, внутри- и межгодовые различия загрязнения природных сред на севере европейской России могут составлять несколько порядков. При этом пространственные различия уровня загрязнения определяются разной удаленностью изучаемых районов от источников выбросов. Внутригодовые вариации концентраций анализируемых металлов определяются различиями (в разные сезоны) скорости осаждения этих примесей на поверхность по пути дальнего переноса в атмосфере. Межгодовые вариации уровня загрязнения различных северных районов определяются в основном изменением условий циркуляции атмосферы год от года и, в меньшей степени, вариациями величины атмосферных выбросов.

Благодарности

Авторы благодарны организаторам Программы ЕМЕР и Лаборатории атмосферных ресурсов (ARL NOAA) за формирование информации и предоставление ее для открытого пользования на их сайтах.

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., Иванова Ю. А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом // Геофизические процессы и биосфера, 2016. Т. 15. № 4. – С. 5—17.

3. Виноградова А. А., Котова Е. И., Топчая В. Ю. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов в районы севера европейской территории России // География и природные ресурсы. 2017. № 1. – С. 108—116.

4. 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. АН. Физика атмосферы и океана, 2008. Т. 44. № 6. – С. 812-821.

5. Виноградова А. А., Смирнов Н. С., Коротков В. Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 годов на территории России и поступление черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана, 2016. Т. 29. № 6. – С. 482—487.

6. Гальперин М., Софиев М., Гусев А., Афиногенова О. Подходы к моделированию трансграничного загрязнения атмосферы Европы тяжелыми металлами. Отчет 7/95. М.: ЕМЕП/МСЦ-В, 1995. – 85 с.

7. 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.

8. Топчая В. Ю., Виноградова А. А. Антропогенная нагрузка свинцом и кадмием на окружающую среду Калининградской области РФ – по данным программы ЕМЕП // Фундаментальные исследования, 2014. № 12–7. – С. 1463—1467. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36384> (дата обращения 14.03.2018).

9. Ситнов С. А. Оптическая толща аэрозоля и общее содержание оксида углерода над европейской территорией России в период массовых пожаров лета 2010 г.: взаимосвязь изменчивости загрязнений и метеорологических величин // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2011. Т. 47. № 6. – С. 774—789.

10. AMAP. Arctic Pollution 2002. Oslo, Norway: AMAP, 2002. – 111 p.

11. ARL NOAA. Atmospheric Resource Laboratory NOAA [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arl.noaa.gov> (дата обращения 29.08.2017).

12. ЕМЕП Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP) [Электронный ресурс].

URL:http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled_country_year.html (дата обращения 17.10.2017).

13. Hirdman D., Sodemann H., Eckhardt S., Burkhardt J. F., Jefferson A., Mefford T., Quinn P. K., Sharma S., Strom J., Stohl A. Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output // *Atmos. Chem. Phys.*, 2010. V. 10. N 2. – P. 669—693.

14. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Varygina M., Aas W. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment // *EMEP Status Report 2/2014. MSC-E&CCC*, 2014. – 71 pp. [Электронный ресурс].

URL:http://www.msceast.org/reports/2_2014.pdf (дата обращения 13.02.2018).

15. Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report. Oslo, Norway: AMAP, 2004. – 192 p.

16. Travnikov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Varygina M., Aas W., Uggerud H.T., Mareckova K., Wankmueller R. Long-term Changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010) // *EMEP Status Report 2/2012*. – 63 p. URL: http://www.msceast.org/reports/2_2012.pdf (дата обращения 20.02.2018).

Spisok literatury

1. Vinogradova A. A. Distancionnaya ocenka vliyaniya zagryazneniya atmosfery na udalennye territorij // *Geofizicheskie processy i biosfera*. 2014. T. 13. № 4. – S. 5-20.

2. Vinogradova A. A., Ivanova Yu. A. Tyazhelye metally v atmosfere nad severnym poberezh'em Evrazii: mezhgodovye variacii zimoj i letom // *Geofizicheskie processy i biosfera*. 2016. T. 15. № 4. – S. 5-17.

3. Vinogradova A. A., Kotova E. I., Topchaya V. Yu. Atmosfernyj perenos antropogennyx tyazhelyx metallov v rajony severa evropejskoj territorii Rossii // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2017. № 1. – S. 108-116.

4. Vinogradova A. A., Maksimenkov L. O., Pogarskij F. A. Atmosfernyj perenos antropogennyx tyazhelyx metallov s territorii Kol'skogo poluostrova na poverxnost' Belogo i Barenceva morej // *Izv. AN. Fizika atmosfery i okeana*. 2008. T. 44. № 6. – S. 812-821.

5. Vinogradova A. A., Smirnov N. S., Korotkov V. N. Anomal'nye pozhary 2010 i 2012 godov na territorii Rossii i postuplenie chernogo ugleroda v Arktiku // *Optika atmosfery i okeana*. 2016. T. 29. № 6. – S. 482-487.

6. Gal'perin M., Sofiev M., Gusev A., Afinogenova O. Podxody k modelirovaniyu transgranichnogo zagryazneniya atmosfery Evropy tyazhelymi metallami. Otchet 7/95. M.: EMEP/MSC-V, 1995. – 85 s.

7. Ezhegodnik vybrosov zagryaznyayushhix veshhestv v atmosferyj vozdux gorodov i regionov Rossijskoj Federacii za 2010 god / Pod red. A.Yu. Nedre. SPb: OAO «NII Atmosfera», 2011. – 560 s.

8. Topchaya V. Yu., Vinogradova A. A. Antropogennaya nagruzka svincom i kadmiem na okruzhayushhuyu sredu Kaliningradskoj oblasti RF – po dannym programmy EMER // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 12–7. – S. 1463-1467. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36384>.

9. Sitnov S. A. Opticheskaya tolshha ae'rozolya i obshhee sodержание oksida ugleroda nad evropejskoj territoriej Rossii v period massovyx pozharov leta 2010 g.: vzaimosvyaz' izmenchivosti zagryaznenij i meteorologicheskix velichin // Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana. 2011. T. 47. № 6. – С. 774–789.

10. AMAP. Arctic Pollution 2002. Oslo, Norway: AMAP, 2002. – 111 p.

11. ARL NOAA. Atmospheric Resource Laboratory NOAA. URL: <http://www.arl.noaa.gov>.

12. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP). URL: http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled_country_year.html.

13. Hirdman D., Sodemann H., Eckhardt S., Burkhart J. F., Jefferson A., Mefford T., Quinn P. K., Sharma S., Strom J., Stohl A. Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. N 2. – P. 669-693.

14. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Varygina M., Aas W. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment // EMEP Status Report 2/2014. MSC-E&CCC, 2014. – 71 pp. URL: http://www.msceast.org/reports/2_2014.pdf.

15. Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report. Oslo, Norway: AMAP, 2004. – 192 p.

16. Travnikov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Varygina M., Aas W., Uggerud H.T., Mareckova K., Wankmueller R. Long-term Changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010) // EMEP Status Report 2/2012. – 63 p. URL: http://www.msceast.org/reports/2_2012.pdf.