

УДК 551.510.42

АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА СВИНЦОМ И КАДМИЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ РФ – ПО ДАННЫМ ПРОГРАММЫ ЕМЕР

¹Топчая В.Ю., ²Виноградова А.А.

¹ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН,

Атлантическое отделение, Калининград, e-mail: piwis@mail.ru;

²ФГБУН «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова» РАН, Москва,

e-mail: anvinograd@yandex.ru

Калининградская область Российской Федерации (КО РФ) – анклав РФ среди других европейских государств, оказывающих значительную антропогенную нагрузку на ее окружающую среду. Трансграничный перенос антропогенных примесей в атмосфере – один из каналов загрязнения природной среды. В работе оценены вклады ряда европейских государств и всей Европы в целом в загрязнение окружающей среды КО РФ при трансграничном переносе тяжелых металлов (свинец и кадмий) в атмосфере. Исходными данными для расчетов являются результаты количественных оценок годовых потоков антропогенных Pb и Cd «страна на страну», полученные в рамках программы ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) и представленные на сайте www.msceast.org. Опираясь на данные для Белоруссии, Литвы, Польши и Балтийского моря, рассчитаны потоки антропогенных свинца и кадмия на территорию КО РФ со стороны разных стран и территорий Европы. Средние годовые трансграничные антропогенные потоки на единицу площади КО РФ от всей Европы в 2000-х годах составляли $(0,44 \pm 0,05)$ кгPb/км² и $(0,031 \pm 0,02)$ кгCd/км², суммарные годовые потоки (трансграничный + ветровой + собственный) оценены величинами $(0,94 \pm 0,15)$ кгPb/км² и $(0,043 \pm 0,04)$ кгCd/км².

Ключевые слова: окружающая среда, тяжелые металлы, трансграничный атмосферный перенос, Калининградская область РФ

ANTHROPOGENIC LOADS BY PB AND CD TO THE ENVIRONMENT OF KALININGRAD REGION, RF – FROM EMEP DATA

¹Topchaya V.Y., ²Vinogradova A.A.

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Atlantic Branch, Kaliningrad, e-mail: piwis@mail.ru;

²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, e-mail: anvinograd@yandex.ru

Kaliningrad Region of Russian Federation (KR RF) is situated as a single enclave between other European countries that load its environment. Transboundary atmospheric transport is one of the main channels for anthropogenic environmental pollution. The work estimates the influence of some countries and Europe in general by lead and cadmium on KR RF. The basic data are taken from EMEP Reports (www.msceast.org) presenting “country to country” heavy metal (HM) atmospheric fluxes. Relying on Pb and Cd flux values for Belarus, Lithuania, Poland, and the Baltic Sea, as the nearest territories, the impacts from different countries were calculated. The mean annual transboundary fluxes to the surface of KR RF from whole Europe in the 2000s are evaluated as $(0,44 \pm 0,05)$ kgPb/km² and $(0,031 \pm 0,002)$ kgCd/km². The total annual fluxes (transboundary + wind resuspended + in-country) are $(0,94 \pm 0,15)$ kgPb/km² and $(0,043 \pm 0,04)$ kgCd/km².

Keywords: environment, heavy metals, transboundary atmospheric transport, Kaliningrad Region RF

Трансграничный перенос антропогенных примесей в атмосфере – один из каналов поступления загрязнений природной среды. Калининградская область Российской Федерации (КО РФ) расположена среди других европейских государств, отдельно от основной территории РФ. Очевидно, на окружающую среду и экосистемы КО РФ должна оказывать значительное влияние человеческая деятельность на территориях зарубежных стран Европы. Это вопрос не только экологической, но и политической значимости.

Основное направление европейской международной научной программы ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) состоит именно в оценке антропогенного воздействия стран Европы

друг на друга. При этом используются как данные официальной статистики стран-участников и модельные подходы, учитывающие временную изменчивость атмосферной циркуляции, так и результаты инвентаризации источников и реального мониторинга состава атмосферы в рамках самой ЕМЕР. Модельные оценки для стран Европы, включая европейскую территорию России (ЕТР), выполняются Метеорологическим синтезирующим центром «Восток» (MSC-E), который ежегодно публикует соответствующие отчеты ЕМЕР на своем сайте [5]. Однако численные оценки, получаемые MSC-E для ЕТР в целом, не могут быть использованы для КО РФ ввиду ее удаленности и изолированности.

В настоящей работе предпринята попытка оценить вклады ряда европейских государств и всей Европы в загрязнение окружающей среды КО РФ при трансграничном переносе тяжелых металлов (ТМ) в атмосфере. В [2] нами уже была показана перспективность использования таких данных для оценок антропогенного воздействия на небольшие районы Европы на примере Костомукшского заповедника в Карелии.

Антропогенные трансграничные потоки

В этой части использовались таблицы количественных оценок годовых потоков антропогенных свинца (Pb) и кадмия (Cd) «страна на страну» из [7]. Непосредственно к границе Калининградской области примыкают Литва (на северо-востоке), Польша (на юге), очень близко расположена Белоруссия (на востоке), а на севере и северо-западе территория КО РФ выходит к Балтийскому морю (рис. 1). Эти четыре окружающие территориальные единицы рассматривались нами как территории-акцепторы тяжелых металлов, для которых есть оценки в [7]. Предполагалось, что для любой страны-эмиттера средний (по этим четырем территориям) поток примеси на единицу площади приблизительно соответствует потоку этой примеси на единицу площади КО РФ. Рассчитывались вклады следующих территорий-эмиттеров: ближайших стран (Белоруссия, Германия, Латвия, Литва, Польша, Чехия, Швеция – рис. 1), а также ЕТР и Европы в целом в загрязнение свинцом и кадмием окружающей среды КО РФ. Значения площадей этих территорий брались из [3].



Рис. 1. Географическое положение КО РФ, а также стран-эмиттеров (выделены цветом) и стран-акцепторов (заштрихованы)

Полученные потоки Pb и Cd на всю территорию КО РФ со стороны рассматриваемых эмиттеров показаны на диаграмме (рис. 2). Наибольший вклад (конечно, после всей Европы) в загрязнение природы КО РФ вносит Польша. Наоборот, ЕТР, эмиссии свинца и кадмия с которой велики (больше, чем у Польши) вносит совсем незначительный вклад в загрязнение окружающей среды КО РФ из-за своей удаленности и преимущественно западного переноса воздушных масс над Европой.

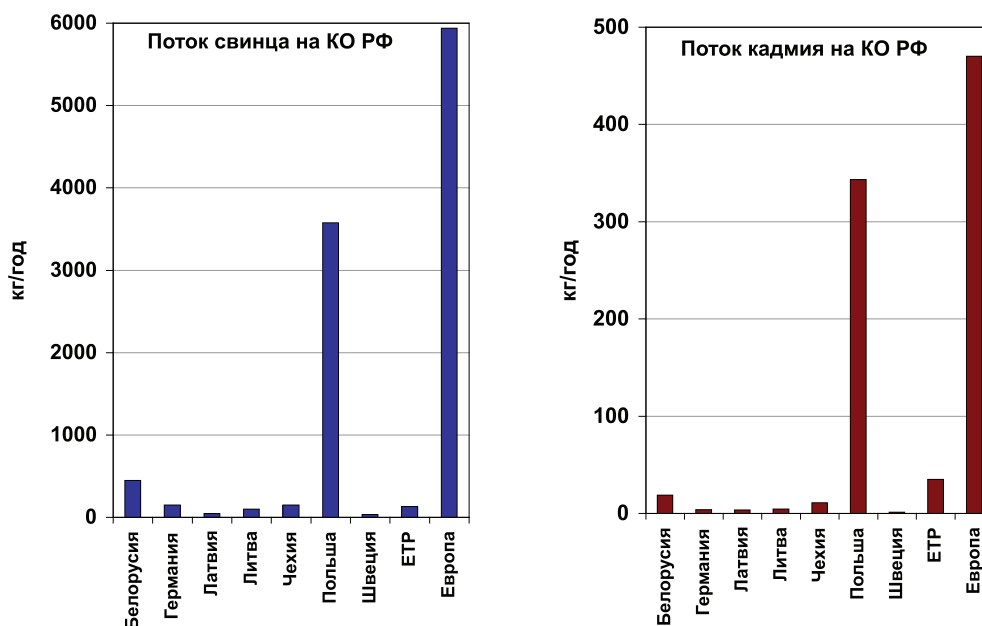


Рис. 2. Потоки антропогенных свинца и кадмия на территорию КО РФ со стороны разных стран и территорий Европы (эмиттеров) в 2005 г.

Для сравнения с другими территориями рассчитаны средние трансграничные антропогенные потоки на единицу площади КО РФ от всей Европы, которые в 2005 году составили 0,39 кгPb/км²/год и 0,031 кгCd/км²/год. Отметим, что потоки этих металлов из атмосферы на поверхность, измеряемые при непосредственном мониторинге, должны быть заведомо больше. Условно говоря, «дополнительными» потоками являются собственный антропогенный поток, т.е. поток примеси, выброшенной своими антропогенными источниками и оседающей на своей же территории, а также ветровой поток, являющийся результатом ветрового поднятия аэрозолей с поверхности, в состав которых входят как изначально природные, так и ранее выпавшие антропогенные составляющие.

Собственные потоки

Собственный поток антропогенной примеси зависит от эмиссии собственных источников, от эффективности горизонтального адвективного выноса примеси воздушными массами за границы рассматриваемой территории, а также от площади территории.

Если оценивать долю антропогенной эмиссии, оседающую на своей же территории, то она тем больше, чем больше площадь территории. КО РФ по площади меньше всех ближайших рассмотренных нами территориальных образований, однако, из субъектов РФ она характеризуется наивысшей плотностью населения и высоким уровнем развития промышленности [3]. В результате с площади всего чуть больше 15 тыс. км² выбрасывается в атмосферу 26 кг/год антропогенного свинца [4] (информации по эмиссии Cd с территории КО РФ нам найти не удалось). Исходя из данных [7] для ближайших прибрежных стран Балтии – Литвы и Латвии – со сходной атмосферной циркуляцией, а также с учетом их большей площади, для КО РФ можно положить долю собственного потока антропогенного свинца на поверхность, приблизительно в 10% от эмиссии. Тогда собственный поток на всю территорию КО РФ составит 2,6 кг/год антропогенного свинца (плотность потока 0,00017 кг/км²/год). Для ближайших стран собственные потоки оценены в [7].

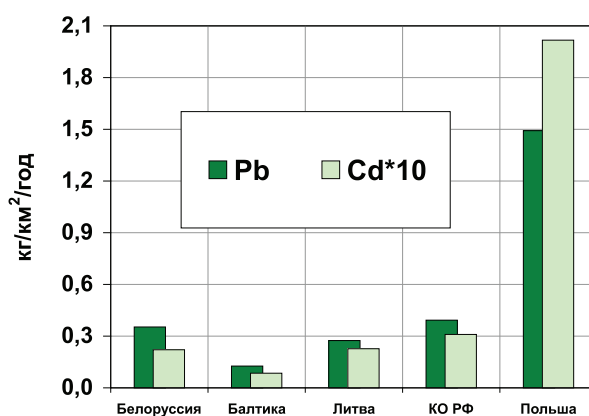


Рис. 3. Антропогенная нагрузка (сумма трансграничного и собственного потоков Pb и Cd) на территории КО РФ и ближайших стран в 2005 г. Значения для Cd увеличены в 10 раз для соответствия масштабов

Из рассмотренных ближайших стран наибольшая антропогенная нагрузка оказывается на природные объекты Польши (рис. 3), что является следствием ее центрального положения в Европе и больших собственных антропогенных выбросов ТМ в атмосферу. Загрязнение окружающей среды Калининградской области значительно меньше и близко к загрязнению Белоруссии и Литвы.

Ветровые потоки и суммарные

Ветровой поток (результат ветрового перевывания почв и пыли) на поверхность, по данным [7] для Литвы, Латвии и Бело-

русии несколько преобладает над антропогенным для свинца (около 0,5 кг/км²/год) и более чем вдвое меньше антропогенного потока для кадмия (около 0,012 кг/км²/год). Эти величины оценены в [7] при сравнении измеряемых (на станциях ЕМЕР) и антропогенных потоков. Мы предполагаем, что приблизительно таковы же и ветровые потоки Pb и Cd на территории КО РФ. Отношение ветровых потоков Pb/Cd получается 41,7. Это вполне разумно соотносится с отношениями кларковых содержаний Pb/Cd в почвах земного шара (62,5 [8]) и в городских почвах (60,6 [1]). Также это не

противоречит данным Росгидромета [6] за 1990–2000-е годы, по которым разброс отношения содержаний Pb/Cd в почвах фоновых районов ЕТР составляет от 15 до 70, причем меньшие значения характерны для центральных, более загрязненных территорий.

Тогда трансграничный, ветровой и собственный потоки свинца и кадмия из атмосферы на территорию КО РФ прибли-

зительно соотносятся так, как показано на рис. 4, и суммарные годовые потоки в 2005 году составляют около 0,89 кгPb/км² и 0,043 кгCd/км². Для свинца преобладает ветровой поток, а для кадмия – наоборот, трансграничный, что обусловлено как разным пространственным распределением эмиссий этих ТМ, так и их разным содержанием в почвах. Собственный поток свинца очень мал, а кадмия – не известен.

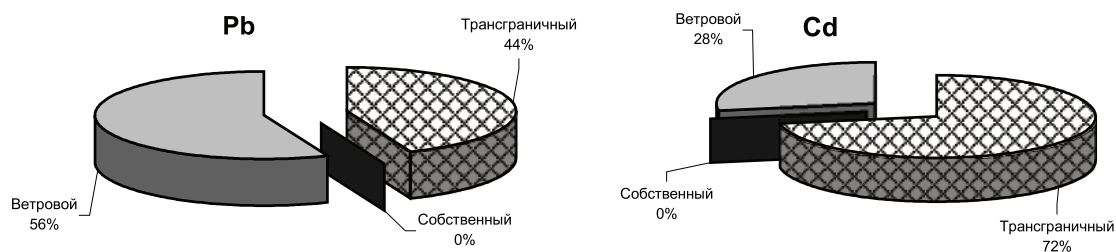


Рис. 4. Соотношение трех потоков свинца и кадмия на территорию КО РФ за год

Межгодовые вариации

Анализ межгодовых различий потоков свинца на поверхность на территории КО РФ по обзорам MSC-E, аналогичным [7], за период 2004–2009 гг. показал, что вариации трансграничного потока не превышают 10% от среднего за эти годы. Все качественные выводы, сделанные выше, сохраняются и при усреднении за шесть лет. Для кадмия межгодовые вариации меньше, что может быть обусловлено близостью значительных источников кадмия в Польше [7]. Для 2000-х годов в целом средние трансграничные потоки на КО РФ оцениваются в $(0,44 \pm 0,05)$ кгPb/км²/год и $(0,031 \pm 0,002)$ кгCd/км²/год, а средние суммарные (ветровой + трансграничный + собственный) – $(0,94 \pm 0,15)$ кгPb/км²/год и $(0,043 \pm 0,004)$ кгCd/км²/год.

Нормы ПДК для потоков тяжелых металлов на поверхность не установлены, поэтому сравнение полученных результатов с какой-то реперной планкой невозможно. Расчет средних концентраций ТМ в воздухе и в осадках, которые измеряются на станциях Росгидромета, по использованным в работе годовым данным затруднен большой сезонной изменчивостью этих показателей.

Заключение

Предложенный подход к оценкам трансграничного атмосферного переноса загряз-

нений с использованием данных ЕМЕР и MSC-E может быть применен к любой небольшой территории Европы.

Приведенные в работе оценки дают качественное представление о формировании потоков тяжелых металлов из атмосферы на поверхность на территории Калининградской области РФ. Оценены трансграничные антропогенные потоки свинца и кадмия со стороны соседних стран и европейской территории России (максимально влияние Польши), а также Европы в целом.

Сопоставлены вклады трансграничного и ветрового потоков в формирование нагрузки свинцом и кадмием через атмосферу на окружающую среду КО РФ: для Pb преобладает трансграничный поток, а для Cd, наоборот, – ветровой.

К сожалению, оценки сезонных вариаций потоков ТМ на поверхность в рамках предложенного подхода невозможны. Однако полученные годовые показатели важны для долговременных экономических и экологических оценок, а также для моделирования распределения антропогенных ТМ по звеньям трофических цепей и прогнозирования антропогенного воздействия на экосистемы вод и суши юго-восточной Балтики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № № 14-35-50665 мол_нр, 14-05-00059 а), а также РНФ (грант № 14-17-00547).

Список литературы

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в городских почвах. – М.: Логос, 2014. – 312 с.
2. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24. – № 6. – С. 493–501.
3. Географический Атлас Офицера. – Изд. доп. – М.: УНИИНТЕХ, 2008. – 424 с.
4. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2007 год. – СПб., 2008. – 204 с.
5. Метеорологический синтезирующий центр «Восток» URL: <http://www.msceast.org>.
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2008 г. – М.: Росгидромет, 2009. – 182 с.
7. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Aas W. Heavy metals: transboundary pollution of the environment // EMEP Status Report 2/2007. – June 2007. – 85 p.
8. Taylor, S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1964. – Vol. 28. – № 8. – P. 1,273–1,285. doi: 10.1016/0016-7037(64)90129-2.

References

1. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Khimicheskiye elementy v gnrjdskich pochvakh* [Chemical elements in city soils] Moscow, Logos, 2014. 312 p.
2. Vinogradova A.A., Ivanova Yu.A., *Atmos. Ocean. Optics*, 2011, Vol. 24, no. 6. pp. 493–501.

3. *Geograficheskiy Atlas Ofitsera*, Moscow, UNINTEKH, 2008. 424 p.
4. *Yezhegodnik vebrosov zagryaznyayuschikh veschestv v atmosferyni vozdukh gorodov I regionov Rossiyskoy Federatzii* [2007 Annual Emissions of Pollution into the Atmosphere of Towns and Regions of the Russian Federation] St. Petersburg, NII Atmosphere, 2008. 204 p.
5. Meteorological Synthesizing Centre – East, Available at: <http://www.msceast.org>.
6. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2008 god* [The review of environmental state and pollution in Russian Federation in 2008] Moscow, Roshydromet, 2009. 182 p.
7. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Aas W., Heavy metals: transboundary pollution of the environment, EMEP Status Report 2/2007, June 2007. 85 p.
8. Taylor, S.R. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, Vol. 28, no. 8, 1,273. doi: 10.1016/0016-7037(64)90129-2.

Рецензенты:

Огородников Б.И., д.х.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории аэрозолей ГНЦ РФ «Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова» госкорпорации «Росатом», г. Москва;

Гордеев В.В., д.г.-м.н., главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» Российской академии наук, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 26.12.2014.