

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 504.054 (476)
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-467-477>

Поступила в редакцию 11.05.2018
Received 11.05.2018

С. В. Какарека

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ СВИНЦА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Аннотация. Анализируются тренды содержания свинца в атмосферном воздухе фоновых территорий и городов Беларуси по данным НСМОС и их соотношения с трендами содержания свинца в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Европы и США. Показаны четкие нисходящие тренды свинца в атмосферном воздухе фоновых территорий Беларуси: сокращение среднегодовых концентраций свинца составило за период с 1990 по 2015 г. 77 %. По данным измерений на станциях ЕМЕП в Европе, имеющих непрерывный ряд наблюдений свинца, с 1990 г. среднегодовое содержание свинца в атмосферном воздухе к 2013 г. сократилось в среднем на 86 %. Выражен нисходящий тренд содержания свинца в воздухе городов Беларуси и ряда стран Европы. Наиболее значительное сокращение содержания свинца произошло в США, где среднегодовая максимальная 3-месячная концентрация сократилась с 1990 по 2016 г. на 99 %. Проанализирована связь трендов уровней содержания свинца с трендами антропогенных выбросов. Показано, что существуют различия между замеренными концентрациями свинца и расчетными значениями по моделям переноса и рассеяния, что может быть обусловлено неполнотой инвентаризации выбросов свинца в ряде стран, а также значительным вкладом других, помимо антропогенных, источников поступления свинца в атмосферу. Для выявления причин этих расхождений, которые могут быть связаны с наличием неучтенных антропогенных источников, вторичными и природными источниками и другими факторами необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова: свинец, атмосферный воздух, содержание, мониторинг, выбросы, тренды

Для цитирования. Какарека С. В. Динамика содержания свинца в атмосферном воздухе / С. В. Какарека // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 467–477. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-467-477>

S. V. Kakareka

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

TRENDS OF LEAD CONTENT IN ATMOSPHERIC AIR

Abstract. In the article, trends of lead content in atmospheric air of background territories and cities of Belarus according to NSEM data and their correlation with trends of lead content in the atmospheric air of cities and background territories of Europe and the USA are analyzed. Clear downward trends in lead content in the atmospheric air of the background territories of Belarus are shown: the average annual concentration of lead has decreased over the period from 1990 to 2015 by 77 %. According to EMEP stations measuring data having a continuous series of lead observations in atmospheric air since 1990, the mean annual lead content in atmospheric air at these stations decreased till 2013 on average by 86 %. A downward trend in the lead content was observed in the air of Belarusian cities and of some countries of Europe. The most significant decrease in lead content occurred in the USA, where the average annual maximum 3-month concentration decreased from 1990 to 2016 by 99 %. The relationship between trends in lead levels with trends of anthropogenic emissions is analyzed. Differences between the measured lead concentrations and calculated values by dispersion models are shown, which may be due to the incompleteness of the inventory of lead emissions in a number of countries, as well as the significant contribution of other sources of emission in addition to anthropogenic sources of lead emission into the atmosphere. To identify the reasons for these discrepancies, which may be related to the presence of unrecorded anthropogenic sources, secondary and natural sources, and other factors, additional research is needed.

Keywords: lead, atmospheric air, concentration, monitoring, emission, trends

For citation. Kakareka S. V. Trends of lead in atmospheric air. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 467–477 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-467-477>

Введение. Свинец является одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха. Поступая в организм человека перорально или ингаляционно, свинец попадает в кровь, что приводит к широкому спектру негативных эффектов, включая поражение центральной нервной системы,

сердечно-сосудистой системы и красных кровяных телец [1]. Нормативы содержания свинца в воздухе установлены во многих странах мира. В Евросоюзе, согласно Директиве 2008/50/ЕС, предельно допустимое содержание свинца, осредненное за год, составляет $0,5 \text{ мкг/м}^3$ [2]; это значение совпадает с рекомендованным ВОЗ предельным значением [3]. В США стандарт содержания свинца в атмосферном воздухе впервые установлен в 1978 г., который составляет $1,5 \text{ мкг/м}^3$ свинца в твердых взвешенных частицах (среднее 3-месячное). В 2008 г. допустимое содержание было снижено до $0,15 \text{ мкг/м}^3$ [4].

Существенно также и воздействие свинца на экосистемы. По имеющимся оценкам площадь экосистем на территории ЕС с превышением критической нагрузки свинца составляет более 12 % [5]. Свинец поступает в атмосферу в основном в составе аэрозольных частиц с выбросами предприятий черной и цветной металлургии, энергетики, цементной промышленности, мобильных источников. С воздушными потоками он перемещается на значительные расстояния, поскольку тонкодисперсные частицы обогащены свинцом.

Регулированию поступления свинца в окружающую среду, в том числе в атмосферный воздух, уделяется значительное внимание как на национальном, так и на международном уровне. Базовым документом в отношении свинца в Европе является Протокол по тяжелым металлам к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1998 г.), дополненный в 2013 г. [6]. Согласно Протоколу, каждая Страна принимает на себя ряд обязательств в отношении выбросов тяжелых металлов (в том числе свинца), включая сокращение объемов выбросов тяжелых металлов по отношению к исходному году путем принятия эффективных мер.

В статье анализируются тренды содержания свинца в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Беларуси по данным Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), в его соотношении с трендами содержания свинца в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Европы и США с учетом динамики выбросов свинца.

Содержание свинца в атмосферном воздухе. Замеренные среднемесячные концентрации свинца в атмосферном воздухе на станции комплексного фоновый мониторинга (СКФМ) Березинский заповедник в 1980–1986 гг. находились в диапазоне – $5,0\text{--}45,0 \text{ нг/м}^3$, среднегодовые – $15,0\text{--}23,0 \text{ нг/м}^3$ (рис. 1). В 2011–2013 гг. среднемесячные концентрации составляли $1,0\text{--}4,6 \text{ нг/м}^3$, среднегодовые – $2,1\text{--}2,7 \text{ нг/м}^3$.

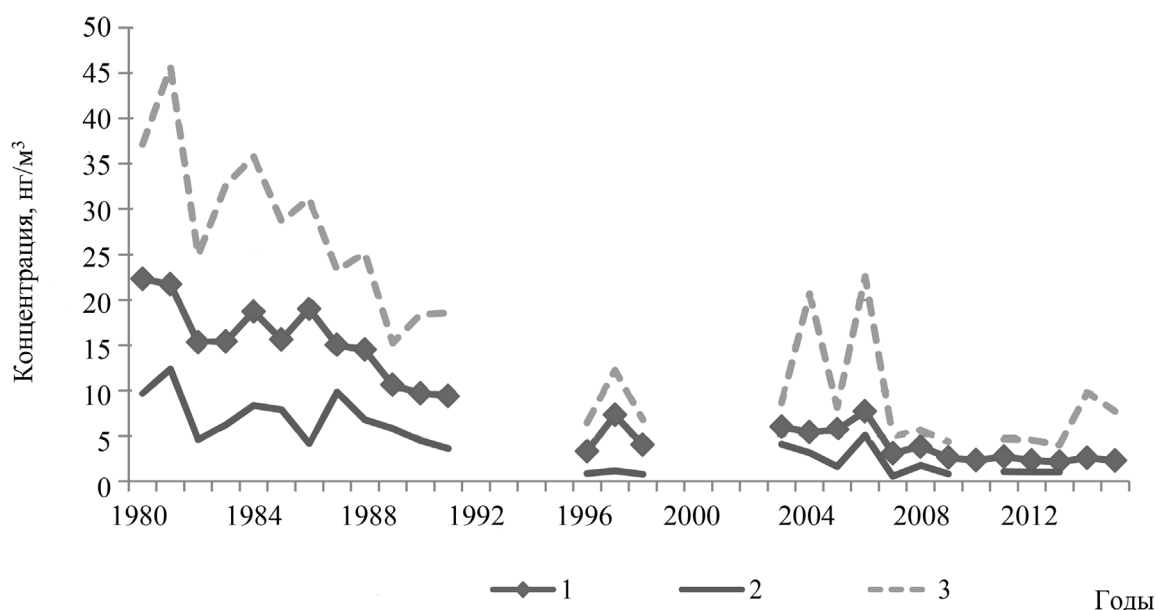


Рис. 1. Тренды содержания свинца в атмосферном воздухе по данным СКФМ Березинский заповедник: 1 – среднее годовое; 2 – минимальное среднемесячное; 3 – максимальное среднемесячное

Fig. 1. Trends of lead concentration in atmospheric air by the data of Berezinsky Biosphere Reserve Background Station: 1 – annual mean; 2 – monthly minimum; 3 – monthly maximum

С 1980 по 2015 г. сокращение содержания свинца в атмосферном воздухе составило 90 %. При этом основная часть абсолютного сокращения содержания свинца пришлась на период с 1987 по 1996 г. С 1990 по 2015 г. сокращение содержания свинца составило 77 % и с 2003 по 2015 г. – 62 %.

В рамках Совместной программы наблюдения и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе (Программа ЕМЕП) измерения содержания свинца в атмосферном воздухе начаты в 1973 г.; в 1990–1994 гг. измерения осуществлялись на 11 станциях в Чехии, Словакии, Великобритании, Дании, Норвегии, Латвии, Германии [7]. Наиболее высокие концентрации характерны для станций Kosecice (CZ0003R) и Svratouch (CZ0001R) (Чехия), Stara Lesna (SK0004R) (Словакия), минимальные – Banchory (GB0091R) (Великобритания), Чорок (SK0002R) (Словакия). Среднегодовая концентрация свинца, осредненная по всем станциям ЕМЕП, составила в 1990 г. 22,5 нг/м³.

В 1995–2000 гг. измерения выполнялись на 25–34 станциях в 12 странах. В этот период существенно сократился как нижний уровень диапазона колебаний (до 0,5–0,7 нг/м³ на станции Spitsbergen, Zeppelinfjell (NO0042G) (Норвегия)), так и верхний (максимальные значения среднегодовых концентраций свинца достигали на станции Stara Lesna (SK0004R) – 30,9 нг/м³). Средняя по всем станциям концентрация составила в 1995 г. 11,0 нг/м³, в 2000 г. – 8,2 нг/м³. В 2001–2010 гг. в целом продолжался тренд к сокращению содержания свинца: осредненные по всем станциям концентрации сократились до 3,6 нг/м³ в 2010 г.

В 2011–2013 гг. по Программе ЕМЕП измерения осуществлялись на 39–40 станциях в 18 странах. Замеренные среднегодовые концентрации составили от 0,08 до 9,2 нг/м³. Средняя концентрация по всем станциям ЕМЕП составила 2,6–3,4 нг/м³ [8–10]; общее сокращение среднегодового содержания за период с 1990 по 2013 г. составило 89 %, с 2000 по 2013 г. – 60 %.

Осложняет анализ трендов разное количество станций, выполняющих измерения в различные периоды, и разная полнота рядов наблюдений. В связи с этим дополнительно проанализированы данные станций, имеющих наиболее полные ряды измерений свинца.

Насчитывается 4 станции, имеющие непрерывный ряд наблюдений свинца в атмосферном воздухе с 1990 г.: Svratouch (CZ0001R), Westland (DE0001R), Kollumerwaard (NL0009R) и Banchory (GB0091R). Диапазон среднегодового содержания свинца в атмосферном воздухе на этих станциях составил в 1990 г. 6,7–41,5 нг/м³; в 2013 г. – 1,2–4,9 нг/м³; сокращение составило в среднем 86 % (рис. 2).

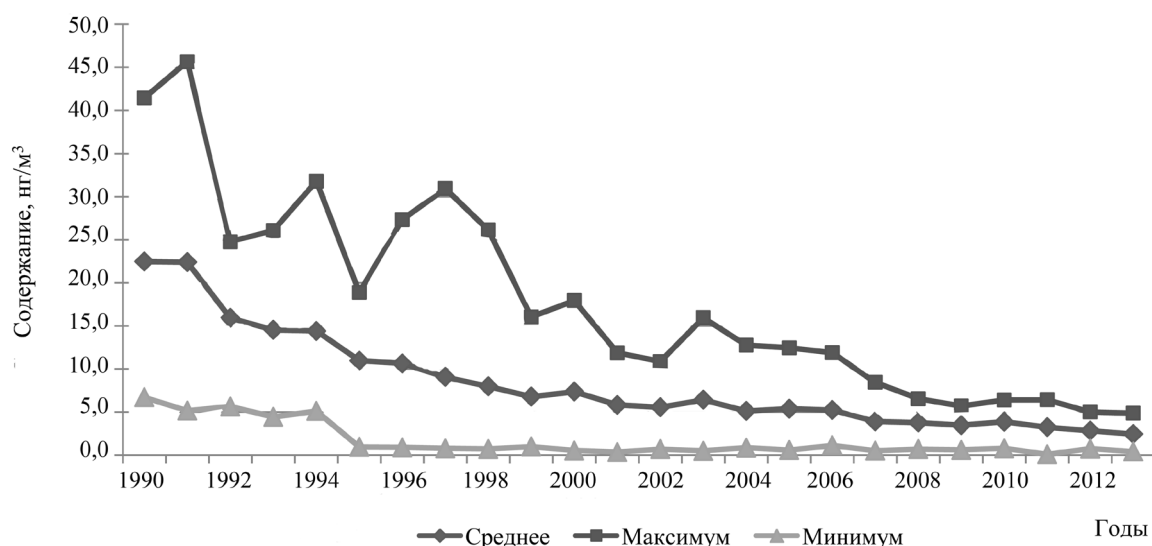


Рис. 2. Тренды среднегодового содержания свинца в атмосферном воздухе фоновых территорий Европы (по данным Программы ЕМЕП) [7]

Fig. 2. Trends of average annual lead concentration in the atmospheric air of background territories of Europe (by the data of EMEP Program) [7]

Насчитывается 13 станций, имеющих непрерывный ряд наблюдений с 2000 г. По данным этих станций, среднегодовое содержание свинца в атмосферном воздухе сократилось за период с 2000 по 2013 гг. на 65 %. Сокращение наблюдалось во всех странах, где проводились измерения. Темпы его несколько различались. Так, на станциях Германии среднее содержание свинца в воздухе сократилось за указанный период с 6,9 до 2,6 нг/м³, Чехии – с 9,8 до 4,9 нг/м³, Дании – с 4,9 до 1,8 нг/м³, Финляндии – с 1,1 до 0,4 нг/м³, Великобритании – с 2,1 до 1,2 нг/м³, Латвии – с 15,5 до 2,3 нг/м³.

В целом более высокие средние концентрации свинца в воздухе характерны в средней и южной частях Европы по сравнению с северной. Эта закономерность отмечена в литературе: так, согласно [8], наименьшие концентрации (менее 1,0 нг/м³) характерны для северных стран, в то время как наиболее высокие уровни замерены в странах Бенилюкса и Венгрии, где концентрации находятся в диапазоне между 6 и 7 нг/м³. Более интенсивное сокращение наблюдалось в странах с высокими средними концентрациями: Германии, Дании, Чехии, Литве.

Таким образом, тренды фоновых концентраций свинца в атмосферном воздухе Европы и Беларуси весьма сходны; общее сокращение среднегодовых концентраций за период с 1990 по 2013 г. составляет более 80 %, за период с 2000 по 2013 г. – более 60 %.

Свинец в атмосферном воздухе городов. С 2003 г. в Беларуси выполняется мониторинг свинца в атмосферном воздухе в городах: анализируются накопленные за месяц аэрозольные фильтры (20-минутный ручной отбор 2–3 раза в сутки). В 2003–2015 гг. мониторинг выполнялся на 27–33 станциях 19 городов.

Диапазон среднемесячных концентраций свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2003–2005 гг. составил 7,8–498,7 нг/м³. Диапазон среднегодовых концентраций за указанный период – 14,8–223,8 нг/м³. В 2007–2010 гг. среднемесячные концентрации свинца в атмосферном воздухе городов варьировали в диапазоне 1,3–773,5 нг/м³, среднегодовые – в диапазоне 21,8–239,7 нг/м³. Диапазон среднемесячных концентраций свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2011–2015 гг. – 0,6–462,9 нг/м³. Диапазон среднегодовых концентраций составил за указанный период 5,1–174,1 нг/м³.

В целом характерны значительные вариации среднемесячных и среднегодовых концентраций, что осложняет выявление трендов. Однако для большинства городов он может быть описан как нисходящий. Средняя по всем постам концентрация свинца в воздухе составила в 2003 г. 75,7 нг/м³, в 2013 – 25,4 нг/м³, в 2015 – 28,1 нг/м³. Таким образом, сокращение за 2003–2015 гг. составило 63 %.

Осредненная по станциям с наиболее полным рядом наблюдений (20 станций) средняя годовая концентрация свинца сократилась с 74,8 нг/м³ в 2003 г. до 28,9 нг/м³ в 2015 г. (сокращение на 61 %), максимальная месячная – со 136,6 до 53,5 нг/м³ (сокращение на 61 %); таким образом, максимальные и средние годовые концентрации сокращаются с практически одинаковой скоростью (рис. 3).

По сравнению со среднегодовыми концентрациями в Березинском заповеднике, среднегодовое содержание свинца в воздухе городов в 2003–2005 гг. было выше в среднем более чем в 16 раз, в 2013–2015 гг. – в 11,4 раза; таким образом, можно отметить некоторое сокращение разрыва между средними фоновыми и городскими концентрациями свинца в воздухе.

В странах Европы мониторинг свинца в атмосферном воздухе проводится более 30 лет. Доступные в базе данных мониторинга атмосферного воздуха в Европе AirBase [9] результаты с 1982 г., однако до начала 2000-х количество станций было незначительным и сильно колебалось по годам. Кроме того, количество станций весьма различается по странам.

Анализ среднегодовых концентраций по базе данных AirBase [9] показал, что характерен большой разброс значений концентраций. Результаты измерений на станциях в таких странах, как Болгария, Греция, Мальта, Словения на 1–2 порядка выше, чем результаты измерений в Дании, Эстонии, Ирландии. В связи с этим сложно проследить общие тренды за весь период наблюдений. Сокращение концентраций выражено в Болгарии, Ирландии, Испании, Румынии, Нидерландах, Дании, Финляндии (табл. 1).

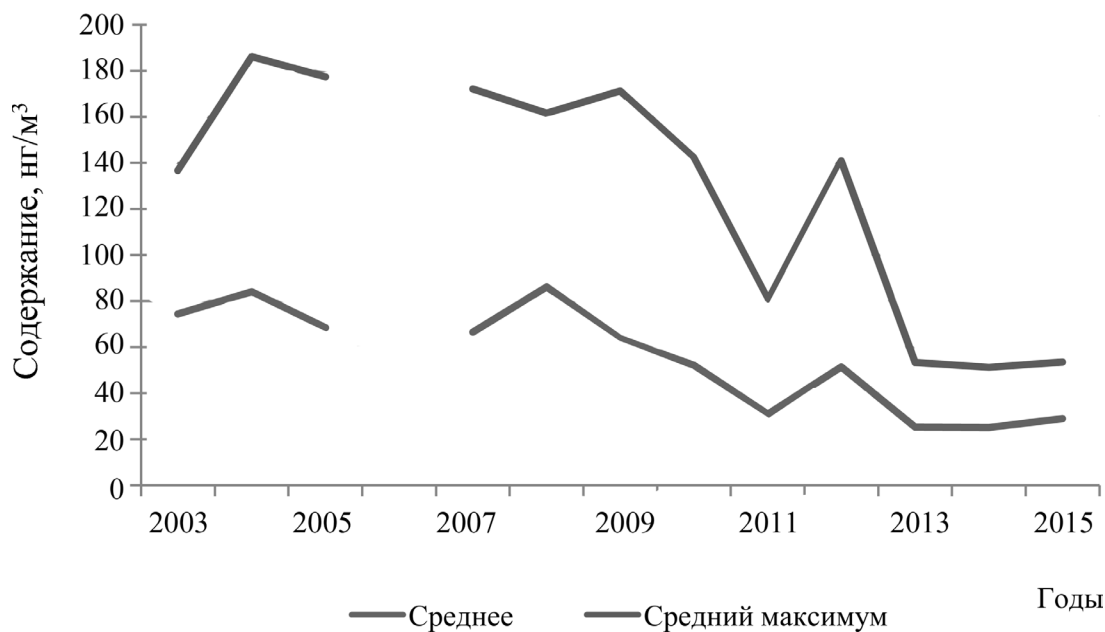


Рис. 3. Тренды содержания свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси
 Fig. 3. Trends of lead concentration in atmospheric air of cities of Belarus

Т а б л и ц а 1. Среднегодовое содержание свинца в атмосферном воздухе на станциях мониторинга качества атмосферного воздуха в Европе, нг/м³ [9]

Table 1. Average annual lead concentration in atmospheric air at ambient air quality monitoring stations in Europe, ng/m³ [9]

Страна	Количество станций	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Нидерланды	3		10	10	11	8	7	7	6	8	8	7	8	7
Болгария	4	339	429	374	254	237	220	285	300	236	256	310	508	119
Польша	9					25	31	33	47	32	34	40	30	28
Дания	6	17	16	13	14	9	9	8	5	5	5	4	5	5

Так, для Нидерландов по трем станциям, проводящим измерения свинца в воздухе с 2001 г., можно отметить сокращение среднегодового содержания свинца с 10 до 7 нг/м³. В Болгарии среднегодовое содержание свинца сократилось с 403 нг/м³ в 1998 г. до 119 нг/м³ в 2012 г.; в Дании – с 17,0 в 2001 г. до 5,0 нг/м³ в 2012 г. В Польше за период с 2004 по 2012 г. среднегодовые концентрации свинца не имели тренда. Можно также отметить, что средние замеренные концентрации свинца в воздухе на станциях Польши близки средним концентрациям в городах Беларуси: в 2010 г. средняя концентрация по данным 91 станции составила 32 нг/м³, в 2011 г. по данным 79 станций – 27 нг/м³, в 2012 г. по данным 94 станций – 24 нг/м³.

Сравнение значений среднего содержания свинца в атмосферном воздухе в городах Беларуси и стран ЕС показало, что результаты измерений свинца в городах Беларуси укладываются в диапазон среднегодовых концентраций стран Европы. Однако необходимо учитывать методические различия мониторинга свинца в Беларуси и ЕС: в частности, в Беларуси измеряется содержание свинца в общей пыли, в ЕС, согласно требованиям Директив ЕС, свинец должен измеряться в ВЧ10, что не исключает возможные отклонения от этого требования, а также наличие других методических отличий [10, 11].

Тренды содержания свинца в атмосферном воздухе в США оцениваются исходя из динамики среднегодовой максимальной 3-месячной (размерность – как у национального стандарта качества

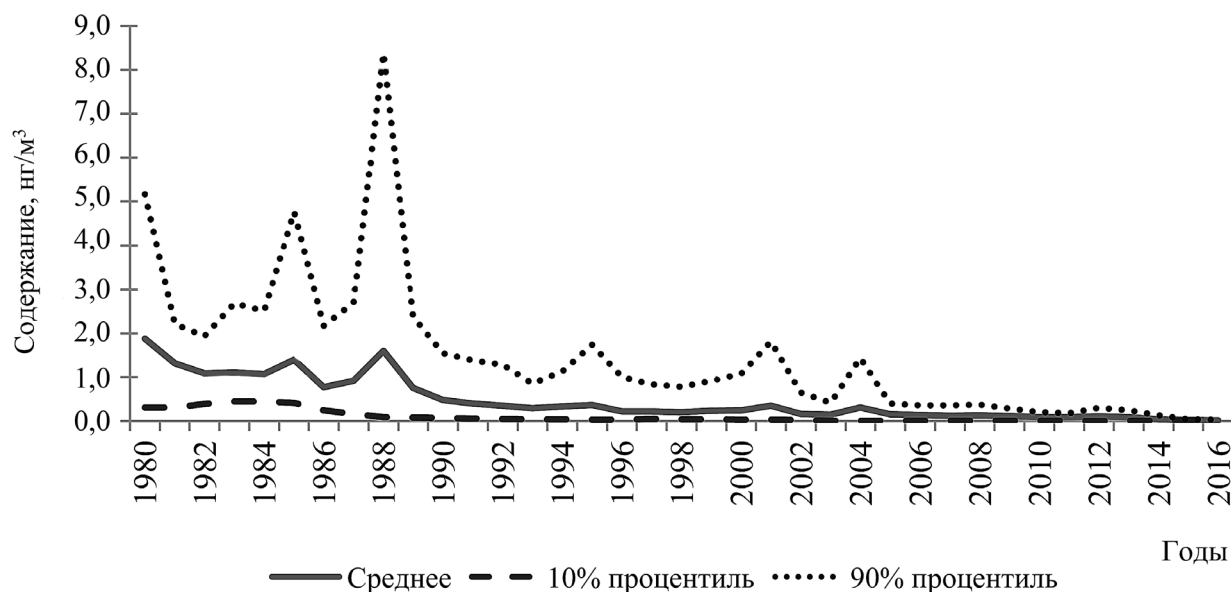


Рис 4. Тренды содержания свинца в атмосферном воздухе в США с 1980 по 2016 г. [12]

Fig. 4. Trends of lead concentration in atmospheric air in the USA from 1980 to 2016 [12]

атмосферного воздуха в отношении свинца) [12]. С 1980 по 2016 г. произошло сокращение содержания свинца на 99 % (по данным 7 станций) – с 1,88 до 0,018 мкг/м³ (рис. 4). С 1990 по 2016 г. сокращение составило 99 % (по данным 18 станций) – с 1,68 до 0,022 мкг/м³. С 2000 по 2016 г. сокращение составило 93 % (по данным 28 станций), с 2010 по 2016 г. – 77 % (по данным 108 станций).

Динамика сокращения концентраций свинца в атмосферном воздухе в США была весьма неравномерной; так, с 1993 по 1998 г. годовые максимумы сократились с 2,30 до 0,321 мкг/м³. Примерно в этот же период (1991–1998 гг.) наблюдается и наиболее быстрое сокращение содержания свинца в атмосферном воздухе на станциях ЕМЕП. Из-за специфической размерности напрямую сопоставить замеренные концентрации в США и Европе затруднительно, однако можно говорить о более значительном сокращении содержания свинца в воздухе в США за описываемый период.

Тренды выбросов свинца. Тренды концентраций свинца в атмосферном воздухе зависят от динамики многих факторов, включая изменения антропогенных и вторичных выбросов, поступление с трансграничным и региональным переносом, изменения в землепользовании и т. д. Традиционно основное внимание уделяется при интерпретации трендов изменениям выбросов.

Выбросы свинца в Беларуси на протяжении большей части рассматриваемого периода сокращались: согласно отчетам в Программу ЕМЕП, они сократились с 794 т в 1990 г. до 46 т в 2000 г. и 8,4 т в 2015 г. Общее сокращение за период с 1990 до 2015 г. составило 99 %, с 2000 до 2015 г. – 81 %. Основное сокращение, происходившее с 1990 по 1996 г., связано с исключением из использования этилированного бензина; на этот источник в начале 1990-х приходилось более 90 % всех выбросов свинца [13].

В последние 30 лет произошло значительное сокращение выбросов свинца в Европе: так, в 28 странах ЕС (ЕС-28) выбросы свинца сократились с 23,142 тыс. т в 1990 г. до 5,037 тыс. т в 2000 г., 2,066 тыс. т в 2010 г. и 1,79 тыс. т в 2015 г. (рис. 5) [13]. Общее сокращение выбросов составило: с 1990 по 2015 г. – 92 %, с 2000 по 2015 г. – 64 %.

Основная причина сокращения выбросов свинца – отказ от использования этилированного бензина, мероприятия по снижению выбросов в цветной и черной металлургии, пылегазоочистка на угольных электростанциях. Сокращение выбросов сопровождается снижением содержания свинца в атмосферном воздухе и атмосферных осадках.

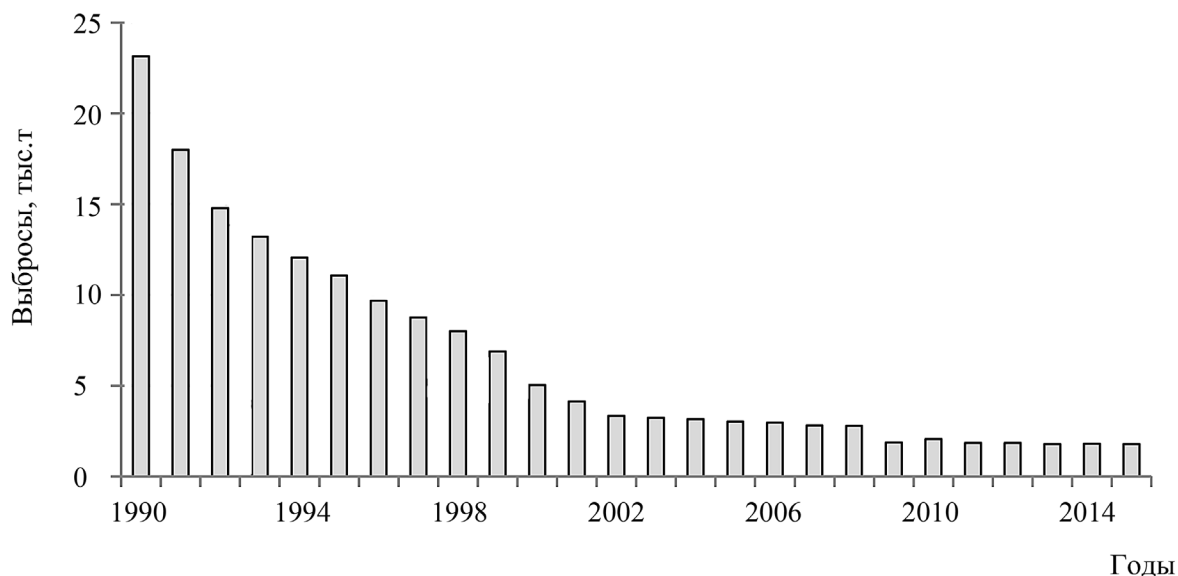


Рис. 5. Тренды выбросов свинца в странах ЕС (по данным WebDab) [13]

Fig. 5. Trends of lead emissions in EC (by data of WebDab) [13]

За период с 1970 по 2011 г. национальные выбросы свинца в США сократились с 200,4 тыс. т до 0,8 тыс. т [14–16]; к 2014 г. по данным Национальной инвентаризации выбросов (NEI) выбросы свинца сократились до 0,651 тыс. т (рис. 6). Таким образом, за период с 1980 до 2014 г. сокращение выбросов свинца в США составило 99 %, с 1990 по 2014 г. – 85,6 %, с 1998 по 2014 г. – 81,9 %. Главная причина сокращения выбросов (как и в Европе) – отказ от использования этилированного бензина в автомобильном транспорте. В настоящее время наиболее крупным источником выбросов является авиационный транспорт, где этилированный бензин по-прежнему используется.

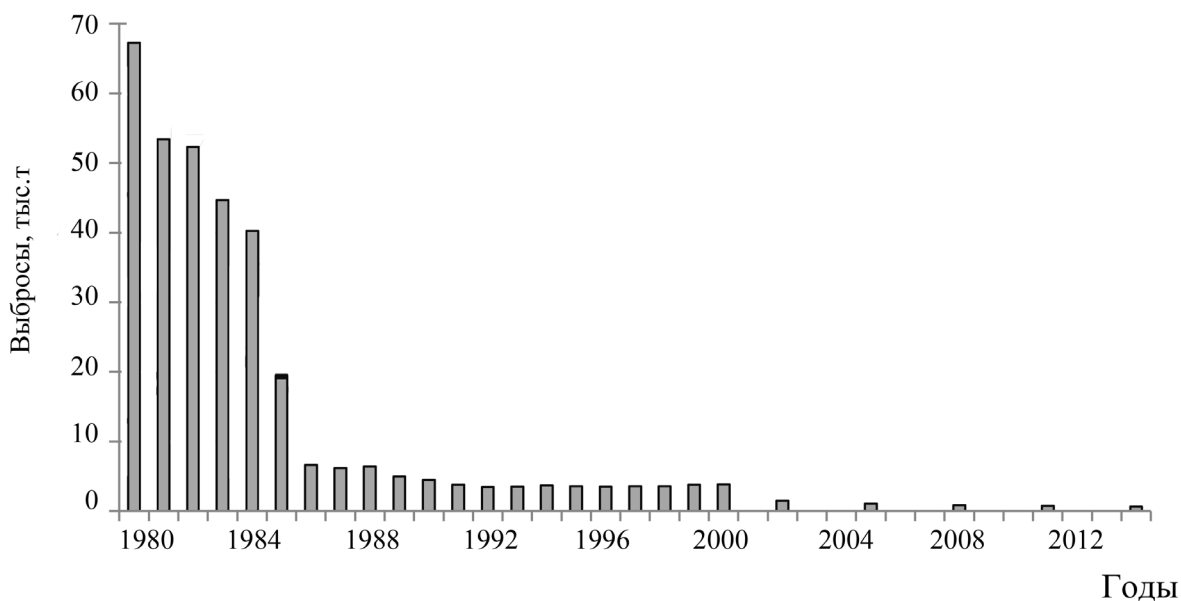


Рис. 6. Тренды выбросов свинца в США с 1980 по 2014 г. [14–16]

Fig. 6. Trends of lead emissions in USA from 1990 to 2014 [14–16]

Основное (по абсолютным значениям) сокращение выбросов свинца в США, в отличие от Европы, происходило в 1970–1980-е годы. Многолетний ход относительного сокращения содержания свинца в воздухе в США хорошо укладывается в многолетнюю динамику выбросов свинца в этой стране.

Обсуждение результатов. Применительно к свинцу можно отметить сходство основных тенденций изменения его содержания в атмосферном воздухе фоновых и городских территорий Беларуси, стран Европы и США, а также четкую связь с многолетней динамикой антропогенных выбросов этого загрязнителя.

Однако как в Беларуси, так и в Европе темпы сокращения содержания свинца в воздухе фоновых территорий в целом ниже скорости сокращения выбросов; еще более выражены эти различия для городов, в связи с чем, в частности, возникает проблема расхождения расчетных и замеренных концентраций свинца при моделировании его рассеяния и переноса в рамках Программы ЕМЕП.

Так, согласно расчетам Метеорологического синтезирующего центра «Восток» Программы ЕМЕП (МСЦ-В) с использованием дисперсионных моделей [17] (в настоящее время используется Региональная модель атмосферного переноса MSCE-НМ, являющаяся трехмерной эйлеровой моделью), сокращение антропогенных выбросов свинца в 1990–2012 гг. привело к сокращению расчетных выпадений свинца почти на 90 %, однако реальное замеренное сокращение выпадений было меньше: общее сокращение содержания свинца в атмосферном воздухе Европы по данным моделирования составило за период 1990–2012 гг. 78 %, при этом за первую половину периода (1990–2001 гг.) сокращение составило 56 %, за вторую – 50 %. Для стран ЕС отмечено более значительное сокращение концентраций (80 %), и менее значительное – для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА) (76 %); в некоторых странах по результатам моделирования получен рост расчетных концентраций.

Сравнение замеренных и расчетных концентраций свинца для 19 станций ЕМЕП с длинным рядом наблюдений показало, что среднегодовое замеренное сокращение составляет около 9 % в год, расчетное – около 7 %; замеренные выпадения сокращаются примерно на 7 % в год, расчетные – на 8 %. Темпы сокращения более высоки в Западной Европе по сравнению с Восточной [17].

Проведенные в рамках Программы ЕМЕП исследования показали, что состояние воздушной среды Беларуси, как и многих других стран, атмосферные воздействия на почвы, воды, экосистемы в существенно большей степени определяются трансграничным поступлением загрязняющих веществ, чем выбросами от «собственных» источников. По оценкам Программы ЕМЕП, доля трансграничной составляющей в выпадениях свинца на территорию Беларуси в последние годы составляет около 57–67 %. Основной вклад в поступление свинца принадлежит странам-соседям: Польше, Украине, Российской Федерации. На территорию Беларуси годовой поток свинца составлял в 2000–2001 гг. 132 т/год; он сократился к 2015 г. до 51,4 т/год, при этом выпадения свинца от собственных источников не имели выраженного тренда, что не соответствует трендам выбросов свинца на территории Беларуси [18].

Одной из причин имеющихся различий трендов выбросов и концентраций свинца в атмосферном воздухе может быть недостаточная полнота и точность инвентаризаций выбросов свинца. По некоторым странам и в первую очередь СНГ информация о выбросах свинца весьма неполная. В частности, для Украины в WebDab [13] имеются официальные данные о выбросах свинца лишь за период с 2001 по 2015 г. Они сократились за этот период на 87 % (с 633 т в 2001 г. до 84 т в 2015 г.). Для Российской Федерации доступны данные о выбросах свинца за период с 1990 по 2006 г. (сократились на Европейской территории России (ЕТР) за это время на 90 % – с 3591 т в 1990 г. до 355 т в 2006 г.) (табл. 2). Тренд выбросов свинца в некоторых странах, в частности в Польше, сильно отличается от общеевропейского. Для моделирования переноса и рассеяния свинца в рамках Программы ЕМЕП Центр по инвентаризации и проектирования выбросов выполняет заполнение пробелов в рядах выбросов [19]. Однако при сопоставлении полученных результатов с ранее выполненными экспертными оценками выбросов свинца [20] в некоторых случаях возникают сомнения в их обоснованности.

Таблица 2. Тренды выбросов свинца в некоторых странах Европы за период 1990–2015 гг. по данным [13, 19], тыс. т

Table 2. Trends of lead emissions in some countries of Europe from 1990 to 2015 [13, 19], thous. t

Страна / Год	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Беларусь	0,794	0,147		0,050	0,070	0,0084
Германия	2,250	0,712	0,403	0,286	0,220	0,220
Франция	4,296	1,478	0,282	0,172	0,135	0,111
Великобритания	2,892	1,535	0,155	0,109	0,064	0,065
Литва	0,150	0,092	0,007	0,004	0,005	0,004
Латвия	0,262	0,144	0,156	0,170	0,164	0,003
Польша	0,586	0,590	0,470	0,492	0,528	0,508
ЕТР	3,591	2,426	2,352	0,355	0,0321 ¹ / 0,184 ²	0,211 ²
Украина	3,878 ²	2,417 ²	0,633 ³	0,304	0,159	0,084

¹Данные на 2009 г. ²Экспертные оценки [17]. ³Данные на 2001 г.

Отмечается [17, 19], что различия между замеренными концентрациями свинца и расчетными значениями могут быть обусловлены также значительным вкладом других, помимо антропогенных, источников поступления свинца в атмосферу, сокращение поступления от которых было существенно меньше. Уровни загрязнения атмосферного воздуха свинцом обусловлены как первичными антропогенными выбросами в атмосферу, а также природными и вторичными выбросами, вклад которых к настоящему времени плохо изучен. Хотя первичные выбросы свинца повсеместно снижаются вследствие принятых мер по ограничению выбросов, роль вторичных выбросов может возрастать и они могут даже доминировать [19].

В частности, наряду с первичными антропогенными выбросами свинец выделяется в атмосферу в результате ветровой повторной суспензии пыли, выделения морской соли, вулканической активности, лесных пожаров и биогенных выбросов [21, 22]. Антропогенные выбросы свинца в атмосферу в течение длительного периода приводят к долговременному накоплению осаждаемого свинца и увеличению его содержания в верхнем слое почв, водных объектов и т. д. Таким образом, ветровая ресуспензия свинца с поверхностей наземных и водных сред может в значительной степени способствовать загрязнению атмосферного воздуха и частично компенсировать возможную недооценку антропогенных выбросов [23]. Оценки повторной суспензии свинца, используемые в настоящее время для оценки загрязнения воздуха, характеризуются значительной неопределенностью. Для улучшения оценки вторичных выбросов необходима детальная информация о современных концентрациях свинца в верхнем горизонте почв.

Выводы. Свинец может быть отнесен к поллютанатам, регулирование атмосферных выбросов которых наиболее успешно. Об этом свидетельствуют наблюдаемые во многих странах нисходящие тренды содержания свинца в атмосферном воздухе и атмосферных осадках, коррелирующиеся с трендами выбросов свинца в атмосферу. Однако наблюдаются, особенно в последнее десятилетие, различия в трендах антропогенных выбросов свинца и его концентраций (замеренных и расчетных) в атмосферном воздухе, которые могут быть связаны как с недостатками инвентаризации выбросов свинца, так и с наличием неучтенных антропогенных источников, вторичных и природных источников и другими факторами. Для объяснения наблюдаемых различий необходимы дополнительные исследования.

Благодарности. Выражаю признательность Государственному учреждению «Центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за предоставленные данные мониторинга свинца в атмосферном воздухе Беларуси.

Acknowledgments. Author is grateful to the State Institution “Center for Hydro-Meteorology, Radioactive Pollution Control and Environmental Monitoring” for the provided data on lead monitoring in the atmospheric air of Belarus.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Toxicological profile for lead / U. S. Department of Health and Human Services. – Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999. – 640 p.
2. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe // Official Journal of the European Union. – 2008. – L. 152. – 44 p.
3. Air Quality Guidelines for Europe / World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen. – Second Edition. – World Health Organization, 2000. –288 p. – (WHO Regional Publications, European Series, № 91).
4. National ambient air quality standards for lead. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-lead-pb>. – Date of access: 26.10.2017.
5. Slootweg, J. Progress in the modelling of critical thresholds and dynamic modelling, including impacts on vegetation in Europe: CCE Status Report 2010 / J. Slootweg, P. Maximilian, J. Hettelingh. – Netherlands, National Institute for Public Health and the Environment, 2010. – 8 p.
6. Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on heavy metals with amendments adopted at the 31st session of the Executive Body. – United Nations, 2013. – 40 p.
7. EBAS database. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ebas.nilu.no>. – Date of access: 25.10.2017.
8. Aas, W. Heavy metals and POP measurements 2013. EMEP/CCC-Report 3/2015 / W. Aas, P. Bohlin-Nizzetto. – Kjeller, Norway: Norwegian Institute for Air Research, 2015. – 145 p.
9. AirBase – The European air quality database [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-2>. – Date of access: 25.10.2017.
10. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air // Official Journal. – 2005. – L 23. – P. 3–16.
11. Guerreiro, C. Air quality status and trends in Europe / C. Guerreiro, V. Foltescu, F.de Leeuw // Atmospheric Environment. – 2014. – Vol. 98. – P. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.017>
12. National Trends in Lead Levels. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.epa.gov/air-trends/lead-trends>. – Date of access: 25.10.2017.
13. WebDab – EMEP database [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase. – Date of access: 26.04.2018.
14. National Air Pollutant Emission Trends, 1900 – 1998 EPA-454/R-00-002. March 2000. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000ETJA.PDF?Dockkey=2000ETJA.PDF>. – Date of access: 25.10.2017.
15. National Air Quality and Emissions Trends Report Special studies. 2003 Special Studies Edition. EPA 454/R-03-005 [Electronic resource]. – Режим доступа: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-11/documents/trends_report_2003.pdf. – Date of access: 25.10.2017.
16. Report on the Environment Lead Emissions [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.epa.gov/roe>. – Date of access: 25.10.2017.
17. Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012. EMEP/CCC-Report 1/2016 / Norwegian Institute for Air Research. – Kjeller, Norway, 2016. – 105 p.
18. EMEP-MSCE data of heavy metals for the EMEP region. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.msceast.org/index.php/pollution-assessment/emep-domain-menu/data-hm-pop-menu>. – Date of access: 26.04.2018.
19. Joint CEIP/MSCE-E technical report on emission inventory improvement for heavy metals modeling: EMEP Technical Report 01/2017 / O. Travnik [et al.]. – Vienna, 2017. – 43 p.
20. Estimation of Heavy Metal Emission Fluxes on the Territory of the NIS / S. Kakareka [et al.] // Atmospheric Environment. – 2004. – Vol. 38, N. 40. – P. 7101–7109. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.079>
21. Nriagu, J. O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals / J. O. Nriagu // Nature. – 1989. – Vol. 338, N. 6210. – P. 47–49. <https://doi.org/10.1038/338047a0>
22. Pacyna, J. M. Global Budgets of Trace Metal Sources / J. M. Pacyna, M. T. Scholtz and Y.-F. Li // Environmental Reviews. – 1995. – Vol. 3, N. 2. – P. 145–159. <https://doi.org/10.1139/a95-006>
23. Re-suspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA / M. A. S. Laidlaw [et al.] // Atmospheric Environment. – 2012. – Vol. 49. – P. 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.030>

References

1. U. S. Department of Health and Human Services. *Toxicological profile for lead*. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1999. 640 p.
2. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal of the European Union*, 2008, L 152. 44 p.
3. *Air Quality Guidelines for Europe / World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen. (WHO Regional Publications, European Series, № 91)*. Second Ed. World Health Organization, 2000. 288 p.
4. *National ambient air quality standards for lead*. Available at: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-lead-pb> (Accessed 26 October 2017).
5. Slootweg J., Maximilian P., Hettelingh J. *Progress in the modelling of critical thresholds and dynamic modelling, including impacts on vegetation in Europe. CCE Status Report 2010*. Hettelingh. – Netherlands, National Institute for Public Health and the Environment, 2010. 8 p.

6. *Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on heavy metals with amendments adopted at the 31st session of the Executive Body*. United Nations, 2013. 40 p.
7. *EBAS database*. Available at: <http://ebas.nilu.no> (Accessed 20 October 2017).
8. Aas W., Bohlin-Nizzetto P. *Heavy metals and POP measurements 2013. EMEP/CCC-Report 3/2015*. Kjeller, Norway, Norwegian Institute for Air Research, 2015. 145 p.
9. *AirBase – The European air quality database*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-2> (Accessed 25 October 2017).
10. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. *Official Journal*, 2005, L 23, pp. 3–16.
11. Guerreiro C. B. B., Foltescu V., Leeuw F. Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment*, 2014, vol. 98, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.017>
12. *National Trends in Lead Levels*. Available at: <https://www.epa.gov/air-trends/lead-trends> (Accessed 25 October 2017).
13. *WebDab – EMEP database*. Available at: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase (Accessed 26 April 2018).
14. *National Air Pollutant Emission Trends, 1900–1998*. EPA-454/R-00-002. March 2000. Available at: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000ETJA.PDF?Dockey=2000ETJA.PDF> (Accessed 25 October 2017).
15. *National Air Quality and Emissions Trends Report Special studies. 2003 Special Studies Edition*. EPA 454/R-03-005. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-11/documents/trends_report_2003.pdf (Accessed 25 October 2017).
16. *Report on the Environment Lead Emissions*. Available at: <https://www.epa.gov/roe> (Accessed 25 October 2017).
17. *Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012*. EMEP/CCC-Report 1/2016., Kjeller, Norway, Norwegian Institute for Air Research, 2016. 105 p.
18. *EMEP-MSCE data of heavy metals for the EMEP region*. Available at: <http://www.msceast.org/index.php/pollution-assessment/emep-domain-menu/data-hm-pop-menu> (Accessed 26 April 2018).
19. Travnikov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Tista M., Wankmueller R. *Joint CEIP/MSCE technical report on emission inventory improvement for heavy metals modeling*. Technical Report CEIP 1/2017. Vienna, 2017. 43 p.
20. Kakareka S., Gromov S., Pacyna J., Kukharchyk T. Estimation of Heavy Metal Emission Fluxes on the Territory of the NIS. *Atmospheric Environment*, 2004, vol. 38, no. 40, pp. 7101–7109. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.079>
21. Nriagu J. O. *A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals*. *Nature*, 1989, vol. 338, no. 6210, pp. 47–49. <https://doi.org/10.1038/338047a0>
22. Pacyna J. M., Scholtz M. T., Li Y.-F. *Global Budgets of Trace Metal Sources*. *Environmental Reviews*, 1995, vol. 3, no. 2, pp. 145–159. <https://doi.org/10.1139/a95-006>
23. Laidlaw M. A. S., Zahran S., Mielke H. W., Taylor M. P., Filippelli G. M. *Re-suspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA*. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 49, pp. 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.030>

Інфармацыя аб аўторэ

Какарэка Сяргей Вітальевіч – доктар тэхн. навук, доцент, зав. лаб. трансгранічнага забруднення, Інстытут прыродопольвання, Нацыянальная акадэмія навук Беларусі (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: sk001@yandex.ru

Information about the author

Sergey V. Kakareka – D. Sc. (Engineering), Assistant Professor, Head of the Laboratory, Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru