

ISSN 1561-8323 (Print)

ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 504.054 (476)

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-96-103>

Поступило в редакцию 19.10.2018

Received 19.10.2018

С. В. Какарека*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ СВИНЦА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

(Представлено академиком В. Ф. Логиновым)

Аннотация. Приведены новые результаты анализа удельного содержания свинца в пылевых выбросах в Европе и его связи с загрязнением атмосферного воздуха свинцом для объяснения наблюдаемых различий в трендах выбросов свинца и его содержания в атмосферном воздухе. Приведены новые результаты анализа удельного содержания свинца в пылевых выбросах в Европе и его связи с загрязнением атмосферного воздуха свинцом для объяснения наблюдаемых различий в трендах выбросов свинца и его содержания в атмосферном воздухе. Выявлена тесная связь тренда содержания свинца в атмосферном воздухе с трендом удельного содержания свинца в пылевых выбросах. Предложен показатель удельного содержания свинца в пылевых выбросах (удельный выброс свинца) в качестве индикатора воздействия различных производственных секторов на воздушную среду. Рассчитанное отношение выбросов свинца к валовым выбросам пыли (удельное содержание свинца в пыли) в странах ЕС-28 сократилось с 3014,2 мг/кг в 1990 г. до 1096,5 мг/кг в 2000 г. и 530,5 мг/кг в 2015 г. Показано, что сокращение загрязнения атмосферного воздуха свинцом происходит в основном за счет сокращения загрязнения аэрозолей свинцом. Проанализирован возможный вклад недостаточно полно учитываемых источников в загрязнение атмосферного воздуха свинцом. Показано, что наиболее вероятным среди предполагаемых недостаточно учтенных источников выбросов свинца является истирание тормозов моторных транспортных средств.

Ключевые слова: свинец, атмосферный воздух, пыль, выбросы

Для цитирования. Какарека, С. В. Интерпретация наблюдаемых уровней содержания свинца в атмосферном воздухе / С. В. Какарека // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 96–103. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-96-103>

Sergey V. Kakareka*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

INTERPRETATION OF THE OBSERVED LEVELS OF THE LEAD CONCENTRATION IN AMBIENT AIR

(Communicated by Academician Vladimir F. Loginov)

Abstract. New results of the analysis of the specific content of lead in dust emissions in Europe and its connection with air pollution by lead are given to explain the observed differences in trends of lead emission and its content in ambient air. A close correlation has been revealed between trend in lead content in atmospheric air and trend of the specific content of lead in dust emissions. The relative content of lead in dust emissions (specific lead emission) is proposed as an indicator of the impact of various industrial sectors on the air. The calculated ratio of lead emissions to total dust emissions (specific lead content content in dust) in the EU-28 decreased from 3014.2 mg/kg in 1990 to 1096.5 mg/kg in 2000 and 530.5 mg/kg in 2015. It is concluded that lead pollution in the atmosphere decreased mainly due to the reduction in lead content in aerosols. The possible contribution of insufficiently accounted sources to ambient air pollution by lead has been analyzed. It is shown that the most likely among the expected insufficiently accounted sources of lead emissions is the wear of the brakes of motor vehicles.

Keywords: lead, atmospheric air, particulate, emission

For citation: Kakareka S. V. Interpretation of the observed levels of the lead concentration in ambient air. *Doklady National'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 96–103 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-96-103>

Введение. Свинец является одним из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, оказывающим многообразное негативное воздействие на здоровье, включая поражение центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и красных кровяных телец [1]. Регулированию поступления свинца в окружающую среду, в том числе в атмосферный воздух, уделяется большое внимание как на национальном, так и на международном уровне.

Предпринятые в последние 20–30 лет меры позволили существенно сократить выбросы свинца в Европе. Так, в 28 странах ЕС (ЕС-28) выбросы свинца сократились с 23,142 тыс. т в 1990 г. до 1,79 тыс. т в 2015 г. [2]; общее сокращение выбросов составило 92 %. Сокращение выбросов сопровождается снижением содержания свинца в атмосферном воздухе и атмосферных осадках. Общее сокращение среднегодового содержания свинца в атмосферном воздухе фоновых территорий по данным станций ЕМЕП за период с 1990 по 2013 г. составило 89 %.

Однако отмечается [3; 4], что как в Европе в целом, так и в Беларуси темпы сокращения содержания свинца в воздухе фоновых территорий 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.

Уровни загрязнения атмосферного воздуха свинцом обусловлены как влиянием относительно хорошо изученных антропогенных источников выбросов в атмосферу, так и природными и вторичными источниками выбросов, вклад которых к настоящему времени плохо изучен. Различия между замеренными концентрациями свинца и расчетными значениями по моделям рассеяния могут быть обусловлены недостаточной точностью оценок выбросов для ряда категорий антропогенных источников, а также вкладом природных источников поступления свинца в атмосферу. 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 [5; 6].

Цель работы – оценка возможного влияния недостаточно полно учитываемых источников выбросов свинца на его содержание в атмосферном воздухе с учетом форм его нахождения в выбросах. Предложенный подход основан на том, что преобладающая часть свинца поступает в воздух в составе твердых частиц.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось по данным о выбросах свинца и пыли в Европе WebDab по секторам источников (1990–2015 гг.) и данным мониторинга свинца и взвешенных частиц в атмосферном воздухе фоновых территорий и городов по Программе ЕМЕП AIRBASE и HCMOC (1990–2014 гг.).

Методы: оценка среднего содержания свинца в пылевых выбросах по странам Европы и категориям источников; оценка среднего содержания свинца в ВЧ10 по станциям ЕМЕП и AIRBASE, выполняющим параллельные измерения свинца и ВЧ10; корреляция содержания свинца и пыли в выбросах.

В частности, пыль производства цветных металлов содержит свинец Pb^{2+} (соли свинца), металлический (элементарный) свинец и сульфиды свинца. Отмечается [7], что пыль установок по производству первичного свинца содержат свинец в основном в форме $PbSO_4$ и $PbO \cdot PbSO_4$. При сжигании угля на электростанциях 86–92 % свинца выбрасывается связанным на частицах [8]; оставшаяся часть содержится в парогазовой форме (разделяемая на элементарный свинец PbO и окисленный свинец Pb^{2+}). Особая группа источников выбросов свинца – выхлопные газы автомобилей и других передвижных средств, использующих бензин, содержащий антидетонационные присадки: тетраэтил и тетраметилсвинец в сочетании с добавками, облегчающими вынос свинца из двигателя (1,2-дихлорэтан и 1,2-дибромэтан). Отмечается, что более 90 % по массе выбросов автомобильного свинца вследствие использования этилированного бензина осуществляются в форме неорганических твердых частиц (например, бромхлорид свинца $[PbBrCl]$) и <10 % – в форме органо-свинцовых паров (алкилов свинца) [1].

Таким образом, доминирующая часть свинца выбрасывается в атмосферу в составе твердых частиц и находится в атмосфере в составе атмосферной пыли. В связи с этим содержание свинца в атмосферной пыли может выступать индикатором источников его поступления и путей миграции. При этом источник выбросов, чтобы его можно было отнести к основным источникам загрязнения воздуха свинцом, должен быть существенным по массе выброса, характеризоваться высоким содержанием свинца в выбрасываемой пыли и широким географическим распределением.

Результаты и их обсуждение. *Тренды содержания свинца в пылевых выбросах.* В последние 20–30 лет произошло значительное сокращение выбросов свинца в Европе (рис. 1). В ЕС-28 вы-

бросы 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. Общее сокращение выбросов составило: с 1990 по 2015 г. – 92 %, с 2000 по 2015 г. – 64 % [2].

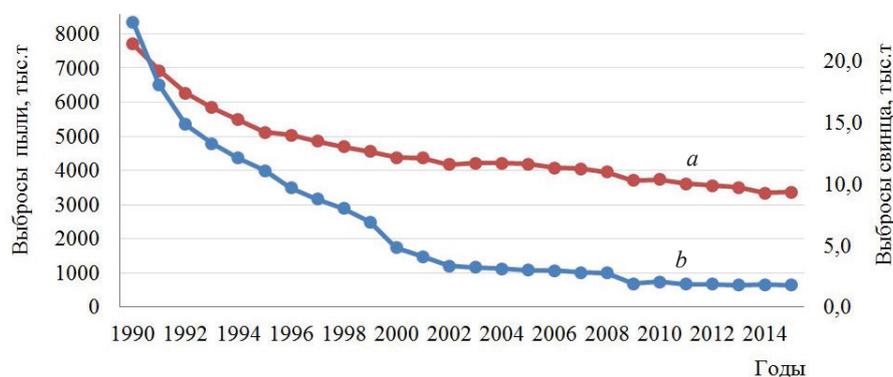


Рис. 1. Тренды валовых выбросов пыли (a) и свинца (b) в странах ЕС-28 [2]

Fig. 1. Trends of total dust (a) and lead (b) emission in EC-28 [2]

Выбросы ВЧ в Европе сократились с 7,7 млн т в 1990 г. до 4,38 млн т в 2000 г., 3,73 млн т в 2010 г. и 3,37 млн т в 2015 г. Сокращение за период 1990–2015 гг. составило 56 %, с 2000 по 2015 г. – 23 %. Таким образом, темпы сокращения выбросов свинца существенно превышают темпы сокращения выбросов пыли. Это обусловлено опережающим сокращением содержания свинца в пылевых выбросах по сравнению с сокращением выбросов пыли.

Рассчитанное отношение выбросов свинца к валовым выбросам пыли (удельный выброс свинца или удельное содержание свинца в пыли) в странах ЕС-28 сократилось с 3014,2 мг/кг в 1990 г. до 1096,5 мг/кг в 2000 г. и 530,5 мг/кг в 2015 г. Сокращение с 1990 по 2015 г. составило 82 %, с 2000 по 2015 г. – 63 % (что очень близко к темпам сокращения выбросов свинца) (рис. 2).

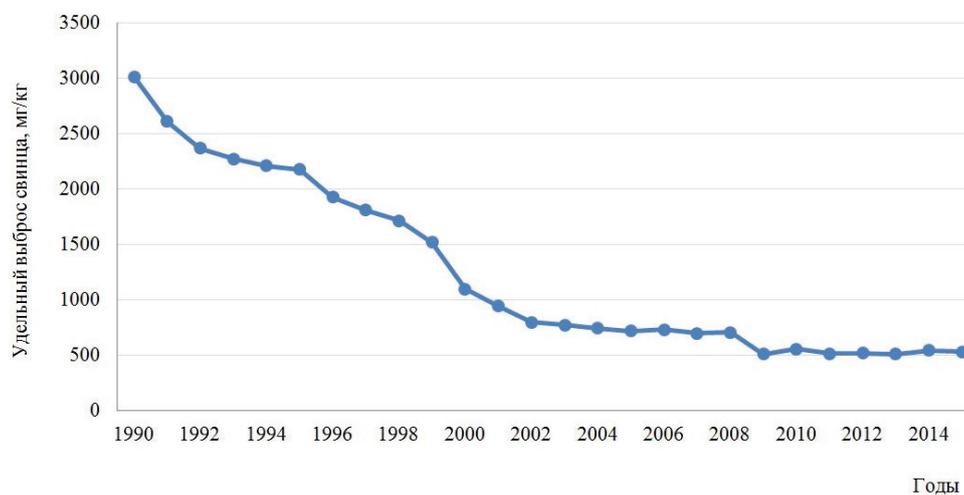


Рис. 2. Тренды среднего содержания свинца в валовых пылевых выбросах в Европе (ЕС-28)

Fig. 2. Trends of mean content of lead in total dust emission in Europe (EC-28)

Наибольшие изменения в содержании свинца в пылевых выбросах характерны для дорожного транспорта: с 36,3 г/кг в 1990 г. оно снизилось до 1,02 г/кг в 2015 г. (табл. 1). Близкие значения сокращения характерны и для внедорожного (авиационного) транспорта (с 1,29 г/кг в 1990 г. до 0,036 г/кг в 2015 г.). Для других категорий изменения существенно меньше. Однако учитывая, что доля дорожного транспорта в валовых выбросах свинца составляла в Европе в 1990 г. 78 %, и снизилась до 16 % к 2015 г., именно снижение содержания свинца в выбросах этого сектора в основном и обусловило изменения общего среднего содержания свинца в пыли и выбросов свинца.

Т а б л и ц а 1. Изменение среднего содержания свинца в пылевых выбросах в странах ЕС-28 по категориям источников, мг/кг

Table 1. Changes of the mean lead content in dust emissions in the EC-28 countries by emission source categories, mg/kg

Сектор источников Industrial sector	1990	1995	2000	2005	2010	2014	2015
Энергетика	309,3	452,5	435,9	465,8	701,8	945,4	964,4
Черная металлургия	2900,2	3448,4	3591,0	5245,6	6314,4	6054,8	5275,6
Цветная металлургия	28650,7	40292,6	45262,0	53064,4	55011,6	85132,7	78000,9
Производство минеральных продуктов	1610,5	2143,5	1931,9	2011,8	1852,3	2136,4	2158,6
Прочее стационарное сжигание	279,5	690,7	658,8	576,3	601,5	529,8	469,2
Дорожный транспорт	36317,7	15416,2	4377,0	895,2	908,0	1002,5	1025,9
Легковые автомобили	147551,3	62559,9	18345,7	1596,5	1130,1	1335,6	1409,1
Легкие грузовики	19355,4	5939,1	2157,7	273,6	258,3	292,9	325,9
Тяжелые грузовики	1170,6	663,9	188,7	177,0	293,3	373,7	429,0
Мотоциклы	48755,1	24420,5	10731,9	985,3	913,5	1037,4	1108,1
Истирание тормозов	2360,8	2278,0	2183,4	2079,6	2108,8	2152,3	2158,2
Внедорожный транспорт	1292,5	455,2	63,6	21,5	30,8	34,7	36,4
Внутренняя авиация – полет	151984,6	28144,4	24081,0	19151,8	19077,2	17598,0	16817,4
Сжигание муниципальных отходов	107718,6	57505,0	30203,5	54139,4	155151,2	175515,9	219118,7
Общее среднее	3014,2	2174,1	1096,5	717,8	554,3	541,0	530,5

Таким образом, существенное снижение содержания свинца в пылевых выбросах произошло лишь в некоторых секторах, в первую очередь связанных с транспортом. В то же время в большинстве секторов существенных изменений содержания свинца в пылевых выбросах не произошло, а в ряде секторов отмечается рост содержания металлов в пыли (черная и цветная металлургия, производство минеральных продуктов, стационарное сжигание топлива, сжигание отходов).

Тренды концентраций свинца и пыли в атмосферном воздухе. Имеется 7 станций Программы ЕМЕП, выполняющих параллельные измерения свинца и ВЧ10 с 1999 г. (1 – в Австрии, и 6 – в Германии) (рис. 3) [9]. За этот период среднегодовое содержание свинца в атмосферном воздухе сократилось с 9,1 до 3,6 нг/м³, среднегодовое содержание ВЧ10 в воздухе на этих же станциях изменилось незначительно (1999 г. – 16,4 мкг/м³, 2014 г. – 16,1 мкг/м³); общее среднегодовое содержание свинца в ВЧ10 уменьшилось с 532,5 до 222,6 мг/кг – примерно в 2,5 раза (табл. 2), что близко сокращению среднего содержания свинца в воздухе. Таким образом, сокращение загрязнения атмосферного воздуха свинцом происходит в основном за счет сокращения загрязнения аэрозолей свинцом.

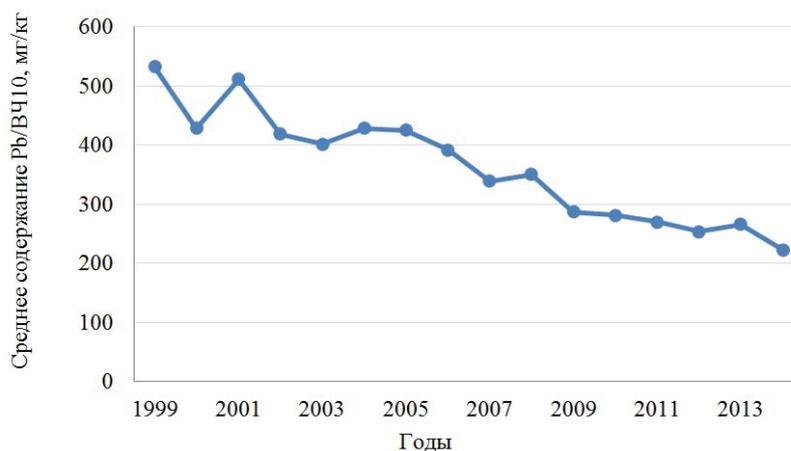


Рис. 3. Динамика среднегодового содержания свинца в пыли в атмосферном воздухе на станциях Программы ЕМЕП [9]

Fig. 3. Dynamics of the annual mean specific lead content in ambient air particulate at EMEP stations [9]

Т а б л и ц а 2. Динамика среднегодового содержания ВЧ10, свинца и содержания свинца в ВЧ10 на станциях Программы ЕМЕП

Table 2. Dynamics of the annual mean content of PM10, lead and lead content in PM10 at the EMEP stations

Показатель Index	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Среднее содержание ВЧ10, мкг/м ³	16,4	17,8	15,6	17	19,7	15,3	17,9	18,2	16,3	14,8	15,6	16,3	16,9	14,8	13,8	16,1
Среднее содержание Pb, нг/м ³	9,1	7,79	7,95	7,21	7,7	6,54	7,39	6,89	5,1	4,9	4,37	4,54	4,57	3,75	3,54	3,64
Среднее содержание Pb, мг/кг ВЧ10	532,5	429	511	418	402	428	425	392	339	351	287	282	270	254	266	223

Рассчитан коэффициент линейной корреляции среднегодового содержания свинца и ВЧ10 по всем станциям ЕМЕП, выполняющим параллельные измерения этих компонентов (табл. 3). Выявлена существенно более тесная связь содержания свинца в воздухе от содержания свинца в пыли по сравнению с содержанием пыли.

Т а б л и ц а 3. Корреляция среднегодового содержания свинца и ВЧ10 в атмосферном воздухе на станциях Программы ЕМЕП (1999–2014 гг.) [9]

Table 3. Correlation of the annual mean lead and PM10 content in the ambient air at the EMEP stations (1999–2014)

Показатель Index	Свинец, нг/м ³ Lead, ng/m ³	ВЧ10, мкг/м ³ PM10, μ/m ³	Свинец, мг/кг ВЧ10 Lead, mg/kg PM10
Свинец, нг/м ³	1	–	–
ВЧ10, мкг/м ³	0,450	1	–
Свинец, мг/кг ВЧ10	0,847	0,011	1

Только единичные ряды наблюдений свинца и ВЧ10 в городах Европы, доступные в AIRBASE [10], начинаются ранее 2002 г., что осложняет выявление трендов. Характерны значительные межгодовые колебания значений концентраций и различия между станциями.

Средние концентрации ВЧ10 колеблются в диапазоне 12,6–57,7 мкг/м³, свинца – 0,01–5,76 мкг/м³, т. е. содержание свинца в воздухе варьирует вследствие колебаний его содержания в пыли. В большинстве стран концентрации свинца в пыли – в диапазоне 147–967 мг/кг (13 стран), в 5 странах – в диапазоне 1188–26084 мг/кг, и в 2 странах (Словакия, Мальта) – 56727–164273 мг/кг. В последних двух (Словакия, Мальта), вероятно, ошибки в размерности, либо аналитические. В Польше среднее содержание свинца в воздухе и пыли повышенное (в 2–3 раза выше, чем в Чехии, Голландии, Латвии); вероятно влияние локальных источников. Корреляция содержания пыли и свинца практически отсутствует. Без четырех стран с максимальными концентрациями корреляция более высокая.

Наиболее высокие средние концентрации свинца в воздухе в Беларуси характерны для г. Жлобин (среднее за 2007–2013 гг. – 111,4 нг/м³). Для этого города характерны максимальные выбросы свинца от антропогенных источников, составляющие 2–4 т/год. Корреляция среднемесячного содержания ВЧ и свинца в воздухе на станции мониторинга в Жлобине приведена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Коэффициент линейной корреляции содержания ВЧ и свинца в атмосферном воздухе по данным мониторинга в г. Жлобин (2007–2013 гг.)

Table 4. The coefficient of linear correlation of the content of PM and lead in atmospheric air according to monitoring data in Zhlobin (2007–2013)

Показатель Index	Pb, нг/м ³	ВЧ, мкг/м ³	Pb, мг/кг
Pb, нг/м ³	–		
ВЧ, мкг/м ³	0,183	–	
Pb, мг/кг	0,833	–0,244	–

Содержание свинца в воздухе тесно коррелирует с его содержанием в пыли ($R = 0,833$); связь содержания свинца в воздухе с содержанием ВЧ практически отсутствует ($R = -0,183$).

Один из вероятных недостаточно учтенных источников выбросов свинца – выбросы свинца в растениеводстве с пылью при обработке почвы [11]. Выбросы свинца и ВЧ от сельского хозяйства в странах ЕС-28 приведены в табл. 5. Согласно имеющимся оценкам, выбросы свинца при больших выбросах пыли невелики, соответственно удельные выбросы свинца составляют лишь 3,84 г/т пыли в 1990 г. и 0,86 г/т в 2015 г. Даже если принять, что данные о содержании свинца в пыли занижены, и использовать данные Норвегии по относительному содержанию (14,7 г/т свинца в 1990 г., 6,5 г/т в 2015 г.), а также учесть, что в городах, промзонах почвенная и другая пыль обогащена свинцом, это не позволит объяснить наблюдаемые в атмосферном воздухе содержания свинца в ВЧ как в городах, так и на фоновых территориях.

Т а б л и ц а 5. Выбросы свинца от обработки почвы, ЕС-28 [2]

T a b l e 5. Lead emissions from tillage, EU-28 [2]

Год Year	Выбросы свинца, тыс. т Lead emissions, thousand tons	Выбросы пыли, тыс. т Dust emissions, thousand tons	Содержание свинца в пыли, г/т Lead content in dust, g/t
1990	0,002537	661,5	3,84
1995	0,002138	583,6	3,66
2000	0,001175	594,9	1,97
2005	0,000539	551,0	0,98
2010	0,000487	560,2	0,87
2014	0,000493	571,7	0,86
2015	0,000493	570,4	0,86

Таким образом, вклад сельского хозяйства (обработка почвы) в выбросы свинца незначителен и пока нет достаточных оснований говорить о значительном влиянии почвенной пыли на измеряемые концентрации свинца в воздухе.

Истирание тормозов. В последние годы значительное внимание уделяется изучению истирания автомобильных тормозов как источнику выбросов свинца в атмосферу [12–15]. Так, согласно исследованиям, выполненным в Дании [12], дорожный транспорт является источником 53 % выбросов свинца в стране, при этом практически все выбросы свинца приходятся на истирание тормозов. Однако значительные методические сложности пока не позволяют учитывать этот источник на регулярной основе при инвентаризации выбросов свинца. Лишь в некоторых странах истирание тормозов включено в перечень отчетности по свинцу для предоставления данных в Программу ЕМЕП, в частности, в Германии [13] (табл. 6).

Т а б л и ц а 6. Выбросы свинца и содержание свинца в пыли от истирания тормозов (по данным оценок в Германии) [2; 13]

T a b l e 6. Lead emissions and lead content in dust from of brake wear (by estimates in Germany) [2; 13]

Год Year	Выбросы пыли, тыс. т Dust emissions, thousand tons	Выбросы свинца, тыс. т Lead emissions, thousand tons	Содержание свинца в пыли, г/т Lead content in dust, g/t
1990	12,668	0,065	5128,7
1995	14,603	0,072	4946,1
2000	15,926	0,078	4925,0
2005	16,249	0,082	5023,4
2010	16,735	0,084	5015,0
2014	17,462	0,088	5032,5
2015	17,805	0,090	5044,2

Согласно инвентаризации выбросов свинца в Германии, истирание тормозов является в настоящее время одним из основных источников выбросов свинца в данной стране: его вклад в валовые выбросы увеличился с 3 % в 1990 г. до 38 % в 2015 г., при этом валовые выбросы свинца от данной категории увеличились на 38 %. Среднее содержание свинца в выбросах от истирания

тормозов практически не изменилось (1990 г. – 5128,7 мг/кг, 2015 г. – 5044,2 мг/кг), и примерно в 2,5 раза выше, чем в среднем по ЕС-28. Результаты инвентаризации базируются на данных измерений свинца в воздухе в тоннелях. Приняв указанные удельные выбросы свинца от данной категории, получим выбросы свинца от истирания тормозов в ЕС-28 – 331,5 т в 1990 г. и 461,2 т в 2015 г., что составит 27 % от валовых выбросов свинца в этом году. В целом этот источник представляется более обоснованным в качестве фактора, обуславливающего расхождение замеренных и моделированных концентраций свинца в воздухе.

Закключение. Показано, что удельное содержание свинца в пылевых выбросах может быть использовано в качестве индикатора воздействия источника выбросов на воздушную среду.

Выявлена тесная связь содержания свинца в атмосферной пыли с содержанием свинца в пылевых выбросах Европейского региона и определен преобладающий вклад уровней содержания свинца в атмосферной пыли в изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха свинцом для фоновых и городских территорий.

Уменьшение содержания свинца в пылевых выбросах в Европе привело к близкому по значению сокращению содержания свинца в атмосферной пыли и валового содержания свинца в атмосферном воздухе, причем основное сокращение содержания свинца в пыли вызвано резким сокращением выбросов хлоридов и бромидов свинца автотранспортом вследствие запрета использования этилированного бензина в странах Европы.

Выявленные связи содержания свинца в пылевых выбросах и атмосферной пыли могут быть использованы для прогноза загрязнения атмосферного воздуха, а также ретроспективных оценок и поиска источников выбросов свинца, недостаточно полно учитываемых в настоящее время. Источник выбросов в качестве потенциального вкладчика в повышенные содержания свинца в атмосферном воздухе должен иметь широкое географическое распространение, относиться к крупным источникам по массе выброса и иметь высокий удельный выброс свинца. К таким источникам относится истирание тормозов автомобильных транспортных средств, но оно остается малоизученным и инвентаризация его сопряжена со значительными методическими сложностями.

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. 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.
3. Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012. EMEP/CCC-Report 1/2016. Kjeller, 2016. – 107 p.
4. Joint CEIP/MS-C-E technical report on emission inventory improvement for heavy metals modeling: Technical Report CEIP 1/2017 / O. Travníkov [et al.]. – Vienna, 2017. – 43 p.
5. 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>
6. Pacyna, J. M. Global Budgets of Trace Metal Sources / J. M. Pacyna, M. T. Scholtz, Y.-F. Li // *Environmental Reviews*. – 1995. – Vol. 3, N 2. – P. 145–159. <https://doi.org/10.1139/a95-006>
7. Czaplicka, M. Lead Speciation in the Dusts Emitted from Non-Ferrous Metallurgy Processes / M. Czaplicka, L. Buzek // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2011. – Vol. 218, N 1–4. – P. 157–163. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0631-6>
8. Lead emission and speciation of coal-fired power plants in China / Sh. Deng [et al.] // *Zhongguo Huanjing Kexue/China Environmental Science*. – 2013. – Vol. 33. – P. 1199–1206.
9. EBAS database [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ebas.nilu.no>. – Date of access: 25.10.2017.
10. 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: 25.09.2018.
11. 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>
12. Heavy metals emission for Danish road transport: NERI Technical Report no. 780. – 2010. – 103 p.
13. German Informative Inventory Report [Electronic resource]. – Mode of access: <https://iir-de.wikidot.com>. – Date of access: 25.06.2018.
14. Grigoratos, T. Brake wear particle emissions: a review / T. Grigoratos, G. Martini // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2015. – Vol. 22. – P. 2491–2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>
15. Świetlik, R. Evaluation of Traffic-Related Heavy Metals Emissions Using Noise Barrier Road Dust Analysis / R. Świetlik, M. Strzelecka, M. Trojanowska // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2013. – Vol. 22, N 2. – P. 561–567.

References

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. *WebDab – EMEP database*. Available at: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase (accessed 26 April 2018).
3. *Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012*. EMEP/CCC-Report 1/2016. Kjeller, 2016. 107 p.
4. Travníkov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Tista M., Wankmueller R. *Joint CEIP/MS-C-E technical report on emission inventory improvement for heavy metals modeling*. Technical Report CEIP 1/2017. Vienna, 2017. 43 p.
5. 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>
6. Pacyna J. M., Scholtz M. T., Y.-F. Li. Global Budgets of Trace Metal Sources. *Environmental Reviews*, 1995, vol. 3, no. 2, pp. 145–159. <https://doi.org/10.1139/a95-006>
7. Czaplicka M., Buzek L. Lead Speciation in the Dusts Emitted from Non-Ferrous Metallurgy Processes. *Water, Air and Soil Pollution*, 2011, vol. 218, no. 1–4, pp. 157–163. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0631-6>
8. Deng Sh., Zhang F., Liu Y., Shi Y.-J., Wang H.-M., Zhang C., Wang X.-F., Cao Q. Lead emission and speciation of coal-fired power plants in China. *Zhongguo Huanjing Kexue/China Environmental Science*, 2013, vol. 33, pp. 1199–1206.
9. *EBAS database*. Available at: <http://ebas.nilu.no> (accessed 25 October 2017).
10. *AirBase – The European air quality database*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aireporting-2> (accessed 25 October 2017).
11. 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>
12. *Heavy metals emission for Danish road transport / NERI Technical Report no. 780*. 2010. 103 p.
13. *German Informative Inventory Report*. Available at: <https://iir-de.wikidot.com> (accessed 25 June 2018).
14. Grigoratos T., Martini G. Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, vol. 22, no. 4, pp. 2491–2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>
15. Świetlik R., Strzelecka M., Trojanowska M. Evaluation of Traffic-Related Heavy Metals Emissions Using Noise Barrier Road Dust Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 561–567.

Информация об авторе

Какарека Сергей Витальевич – д-р техн. наук, заведующий лабораторией. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sk001@yandex.ru.

Information about the author

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