

УДК 504.3.064-034

О. Ю. КРУКОВСКАЯ, С. В. КАКАРЕКА

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: o-krukowskaya@tut.by

ФАКТОРЫ СРЕДНЕСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ ПЕРВИЧНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В БЕЛАРУСИ

Загрязнение воздуха является значительной экологической угрозой для здоровья человека. Твердые частицы (далее – ТЧ), которые включают множество компонентов и фракций по размеру, представляют собой важный загрязнитель атмосферного воздуха с точки зрения здоровья, регулируемый во многих странах. Измерению и регулированию подлежат, как правило, суммарная масса частиц, а также количество и масса частиц двух фракций, выделяемых по аэродинамическому диаметру – до 10 мкм (ТЧ10) и до 2,5 мкм (ТЧ2,5). В составе пылевого загрязнения пропорции частиц различных размеров значительно различаются в зависимости от локальных условий и источников поступления.

Воздействие на здоровье частиц обусловлено химическим составом и уровнем проникновения в дыхательные пути. Причинная или вероятная причинная связь между длительным воздействием мелких фракций твердых частиц и общей, сердечно-сосудистой, респираторной и смертностью от рака легких была подтверждена в эпидемиологических исследованиях. Вклад повышенного содержания тонкодисперсных твердых частиц в глобальное бремя болезней оценивается в 4,2 млн смертей (в 2015 г.), являясь пятой по значимости причиной смертности [1].

В рамках НСМОС измерения содержания ТЧ2,5 не распространены широко. Замеры выполняются на двух постах мониторинга – в Минске и Жлобине, где регулярно фиксируются превышения гигиенических нормативов содержания. В частности, в 2023 г. среднегодовое содержание в Жлобине составило 48 мкг/м³ (1,2 ПДК), в Минске – 40 мкг/м³ (1 ПДК) [2]. Следует отметить, что в настоящее время используется недифференцированный норматив содержания в атмосферном воздухе ТЧ10 и ТЧ2,5 – 40 мкг/м³.

В настоящее время наблюдается широкая вариабельность нормативов среднегодового содержания ТЧ2,5 в атмосферном воздухе в различных странах: 35 мкг/м³ – в Китае, 25 мкг/м³ – в Российской Федерации, странах Европейского союза, Великобритании, Южной Кореи, 15 мкг/м³ – в Японии, на Тайване, в США (вторичный стандарт), 10 мкг/м³ –

в Сингапуре, 9 мкг/м^3 – в США (первичный стандарт). Рекомендованный ВОЗ безопасный уровень содержания ТЧ_{2,5} составляет 5 мкг/м^3 . Поскольку данный норматив достигается в настоящее время лишь в отдельных регионах планеты, в качестве промежуточных рекомендуется использовать целевые показатели 35, 25, 15 и 10 мкг/м^3 [3]. Некоторые страны (США, Китай) используют или разрабатывают дифференцированные нормативы для различных территорий. В Китае в рамках концепции «единой атмосферы» прорабатывается вопрос об использовании более строгих нормативов содержания тонкодисперсных твердых частиц в регионах, где уже удастся устойчиво соблюдать действующий стандарт [4].

Принятие обоснованных управленческих решений в связи с негативными эффектами от повышенного содержания тонкодисперсных твердых частиц в Беларуси осложнено ограниченными данными даже о первичном их поступлении. В работе представлены результаты анализа оценки выбросов тонкодисперсных частиц ТЧ_{2,5} на территории Беларуси за период с 2010-го по 2023 г., подготовленные в рамках обязательств Республики Беларусь как стороны Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [5]. Оценка выполнялась на национальном уровне в разрезе категорий источников с использованием методов различного уровня детализации. Временное разрешение оценки – 1 год. Более детально методология подготовки представлена в [5; 6].

Согласно полученным результатам, годовые выбросы ТЧ_{2,5} в 2010–2023 гг. находились в диапазоне 31,3–40,9 тыс. т. За рассматриваемый период не выявлено единого направления динамики суммарных выбросов. Локальный минимум отмечен в 2016 г., максимум – в 2012 г. Суммарное сокращение за период составило 2,6 %. В последние годы значительный прирост наблюдался в 2021 г., когда относительно предыдущего года выбросы увеличились на 4,3 тыс. т, в последующие годы отмечен менее интенсивный спад (рисунок 1).

Наибольший вклад (46,2 % в среднем за период) в суммарные выбросы ТЧ_{2,5} вносят источники, относящиеся к обобщенной категории «прочее стационарное сжигание топлива», включающие выбросы от стационарного сжигания топлива в сельском и лесном хозяйстве, бытовом секторе (население), а также непромышленными организациями. Бытовой сектор, выбросы которого оцениваются в Беларуси в настоящее время только в рамках представленной оценки, вносит преобладающий вклад в показатели выбросов обобщенной категории. За рассматриваемый период выбросы ТЧ_{2,5} от этой категории находились в диапазоне от 13,4 до 22,1 тыс. т, минимум отмечен в 2016 г., максимум – в 2011 г. Экстремумы связаны с изменением поступления от бытового сектора, обусловленным структурой используемого топлива. В частности, в 2011 г. населением

использовано наибольшее количество твердого топлива в рассматриваемом периоде. За счет изменения структуры топлива суммарные выбросы в расчете на единицу израсходованного топлива в секторе характеризуются вариабельностью 13,4 %, различие между значениями данного показателя в годы экстремумов составляет 53 %.

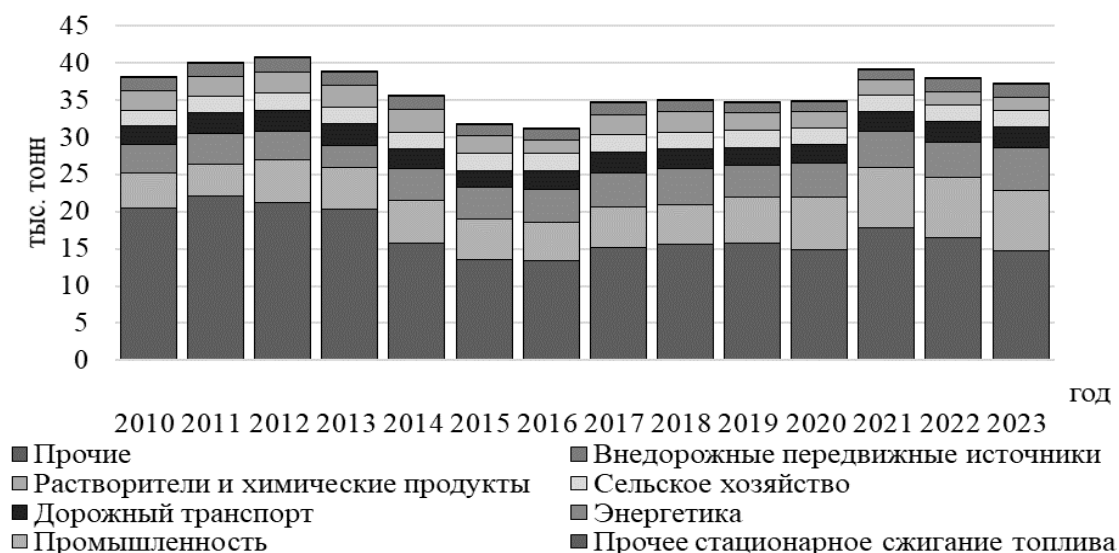


Рисунок – Динамика выбросов ВЧ_{2,5} в Беларуси в разрезе обобщенных категорий

Вместе с тем наблюдается тенденция к сокращению выбросов в абсолютном и относительном выражении от обобщенной категории «прочее стационарное сжигание топлива» с 20,4 тыс. т (или 53,5 % суммарных выбросов ТЧ_{2,5}) в 2010 г. до 14,7 тыс. т (или 39,4 %) в 2023 г. Для других значимых обобщенных категорий, таких как «промышленность» и «энергетика», наоборот, отмечен рост выбросов ТЧ_{2,5}.

Обобщенная категория «дорожный транспорт» характеризуется слабо выраженной тенденцией к росту выбросов рассматриваемого загрязняющего вещества (среднее значение в 2010–2011 гг. составило 2,6 тыс. т, в 2022–2023 гг. – 2,7 тыс. т). От внедорожных передвижных источников, включающих сельскохозяйственную технику и железнодорожный транспорт, в среднем в рассматриваемом периоде выбрасывалась 1,6 тыс. т ТЧ_{2,5} в год.

Выбросы ВЧ_{2,5} составили за рассматриваемый период в среднем 47,5 % от общего количества выброшенных твердых частиц. Межгодовая вариабельность данного показателя – 3,7 %. Соотношение размерных фракций выбросов твердых частиц неоднородно для различных источников выбросов, что затрудняет использование единого осредненного показателя

пересчета суммарных выбросов на отдельные фракции. Среднее за рассматриваемый период значение доли ТЧ_{2,5} в общих выбросах ТЧ для рассматриваемых обобщенных категорий находилось в диапазоне от 11,9 % для сельского хозяйства до 100 % для авиации и распределенных источников. Кроме того, в рамках обобщенных категорий этот показатель меняется год от года. Наибольшая вариабельность отмечена для обобщенных категорий «отходы» и «прочее стационарное сжигание топлива».

Среднесрочная динамика сформировалась в наибольшей степени за счет все еще значительной, но имеющей тенденцию к сокращению роли бытового сжигания топлива в сочетании с возрастающим вкладом процессов сжигания топлива как в энергетической отрасли, так и в промышленности в связи с изменением структуры потребляемого топлива.

Полученная оценка представляет собой необходимую базу для изучения загрязнения воздуха, значимый потенциал которой лежит в использовании для интерпретации наблюдаемых значений, моделирования концентраций загрязняющих веществ. На основании сведений о выбросах от отдельных категорий источников возможна разработка и применение адресных, научно обоснованных мер по обеспечению безопасного содержания тонкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chen, J. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis / J. Chen, G. Hoek // *Environment international*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.envint.2020.105974.
2. Ежегодник состояния атмосферного воздуха. 2023. – URL: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2023/> (дата обращения: 12.12.2024).
3. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – 2021. – 300 p.
4. Zhao, B. Challenges and perspectives of air pollution control in China / B. Zhao, S. Wang, J. Hao // *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. – 2024. – Vol. 18 (68). – DOI: 10.1007/s11783-024-1828-z.
5. Belarusian emission inventory data informative inventory report to CLRTAP/EMEP 2025. – 2025. – 89 p.
6. Какарека, С. В. Отчетность о выбросах загрязняющих веществ в рамках обязательств по конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния: методология и результаты / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская, А. В. Мальчихина // *Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г.* – Минск : БГТУ, 2019. – С. 246–251.