

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ****EARTH SCIENCES**

УДК 550.4:504.5(476)

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-5-404-412>

Поступило в редакцию 29.08.2024

Received 29.08.2024

**С. В. Какарека, О. Ю. Круковская***Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь***РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА СЕРЫ И ОКСИДОВ АЗОТА  
В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ***(Представлено академиком В. Ф. Логиновым)*

**Аннотация.** Разработаны алгоритмы решения задачи получения полных рядов данных, характеризующих интенсивность выбросов загрязняющих веществ от источников в разрезе секторов экономики, за период с 1950 по 2020 г. Впервые получены научно обоснованные оценки выбросов в Беларуси диоксида серы и оксидов азота от основных стационарных источников выбросов за этот период. Установлено, что валовые выбросы диоксида серы непрерывно возрастали в период с 1950 по 1980 г. и увеличились за этот период почти в 39 раз (с 22,3 до 862,4 тыс. т), что обусловлено ростом сжигания каменного угля и мазута и развитием нефтепереработки. Затем отмечался десятилетний период умеренного сокращения выбросов в среднем на 2,9 % в год. С 1991 г. начался период быстрого сокращения выбросов (в среднем на 19,4 % в год) до уровня 80,7 тыс. т в 2000 г. В последующий период выбросы характеризовались в основном медленным сокращением до среднего уровня 45–55 тыс. т/год. Выбросы оксидов азота отмечались быстрым ростом в первые три десятилетия рассматриваемого периода (с 13,5 тыс. т в 1950 г. до 134,5 тыс. т в 1979 г.), что связано с общим ростом потребления топлива. В 1980-е годы отмечен медленный спад до 112,2 тыс. т в 1991 г., сменившийся более интенсивным сокращением в последующие годы. В 2000 г. наблюдался наиболее низкий начиная с середины 1960-х годов уровень выбросов – 53,1 тыс. т. В последующий период происходили в основном колебания уровней выбросов оксидов азота. Показано, что полученные оценки выбросов диоксида серы и оксидов азота существенно более точные, чем имеющиеся оценки исторических выбросов в рамках Комплексной системы данных о выбросах (CEDS).

**Ключевые слова:** выбросы, ретроспективная оценка, диоксид серы, диоксид азота

**Для цитирования.** Какарека, С. В. Ретроспективная оценка выбросов диоксида серы и оксидов азота в атмосферный воздух от стационарных источников на территории Беларуси / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2024. – Т. 68, № 5. – С. 404–412. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-5-404-412>

**Sergey V. Kakareka, Olga Yu. Krukowskaya***Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF SULFUR DIOXIDE AND NITROGEN OXIDE EMISSIONS FROM  
STATIONARY SOURCES IN BELARUS***(Communicated by Academician Vladimir F. Loginov)*

**Abstract.** Algorithms for extrapolating series of statistical data and filling data gaps have been developed. For the first time scientifically valid estimates of sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions from major stationary emission sources in Belarus have been obtained for the period from 1950 to 2020. Scientifically valid estimates of sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions from major stationary sources over this period in Belarus were obtained for the first time. It was found that sulfur dioxide emissions continuously increased from 1950 to 1980 and grew almost 39 times during this period (from 22.3 to 862.4 thousand tons) attributed to increased combustion of coal, fuel oil and oil refining development. Subsequently, there was

a decade of moderate emission reduction on average by 2.9 % per year. Started in 1991, there was a period of a rapid emission reduction (on average by 19.4 % per year) until reaching 80.7 thousand tons in 2000. In the subsequent period, emissions were mainly characterized by a slow decrease to an average level of 45–55 thousand tons per year. Nitrogen oxide emissions showed a rapid growth in the first three decades of the analyzed period (from 13.5 thousand tons in 1950 to 134.5 thousand tons in 1979), which is connected with an overall increase in fuel consumption. In the 1980s, there was a slow decrease up to 112.2 thousand tons in 1991, followed by more intensive reductions in the following years. In 2000, the lowest level of nitrogen oxide emissions since the mid-1960s was observed – 53.1 thousand tons. Subsequent periods were mainly marked by fluctuations in nitrogen oxide emission levels. The obtained results are significantly more accurate than the existing estimates of historical emissions within the Comprehensive Emissions Data System (CEDS).

**Keywords:** emissions, retrospective assessment, sulfur dioxide, nitrogen oxides

**For citation.** Kakareka S. V., Krukowskaya O. Yu. Retrospective assessment of sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions from stationary sources in Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2024, vol. 68, no. 5, pp. 404–412 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-5-404-412>

**Введение.** Национальные кадастры выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов поддерживаются в большинстве стран мира. На основе национальных кадастров и национальной отчетности формируются глобальные и региональные базы данных о выбросах в рамках таких международных соглашений, как Рамочная конвенция об изменении климата ИРСС (база МГЭИК) и Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [1]. В то же время эти базы данных не полностью удовлетворяют потребности модельного сообщества. Одним из существенных недостатков является ограниченный временной охват этих баз данных. В частности, база данных о выбросах в рамках Программы ЕМЕП WebDab содержит достаточно полную информацию о выбросах основных и специфических загрязняющих веществ только для периода с 1990 года. В связи с этим возникают проблемы с информационным обеспечением моделирования изменений химического состава атмосферы.

В последние годы разработан ряд глобальных кадастров выбросов большого временного охвата. Так, в [2] разработан набор исторических данных для фазы 5 Проекта взаимного сравнения связанных моделей (CMIP5), который включает глобальные оценки антропогенных выбросов и выбросов от открытого горения за 1850–2000 гг. Данные CMIP5 являются компиляцией «наилучших имеющихся оценок» из множества источников, включая EDGAR-HYDE [3], RETRO [4].

Наиболее полной базой данных о ретроспективных выбросах является Комплексная система данных о выбросах (CEDS) (A Community Emissions Data System), которая содержит оценки глобальных выбросов в атмосферу за индустриальную эпоху (с 1750 по 2014 г.) в разрезе категорий источников и стран. Однако содержащиеся в ней оценки выбросов нуждаются в верификации, поскольку для периода до 1990 года получены во многих случаях с использованием недостаточно обоснованных экстраполяций.

Цель работы – разработка алгоритмов решения задачи получения исторических рядов выбросов диоксида серы и оксидов азота от основных категорий стационарных источников на территории Беларуси за период с 1950 по 2020 г.

**Материалы и методы исследования.** *Общая методология получения рядов выбросов.* Выбросы оценивались в годовом разрезе. Расчет выбросов выполнялся с использованием общепринятой методологии и базировался на информации об экономической деятельности в основных секторах и удельных показателях выбросов.

Основная расчетная формула:

$$E_{i,n} = \sum P_{j,n} F_{i,j,n},$$

где  $E_{i,n}$  – выбросы вещества  $i$  в год  $n$ , т/год;  $P_{j,n}$  – интенсивность деятельности в секторе  $j$  в год  $n$ , т/год (ГДж/год);  $F_{i,j,n}$  – удельный выброс вещества  $i$  в секторе  $j$  в год  $n$ , г/т (г/ГДж).

Расчет выбросов за анализируемый период включал решение следующих задач:

сбор информации, характеризующей производственную активность в основных видах хозяйственной деятельности – источниках выбросов загрязняющих веществ, за исследуемый период;

разработка алгоритмов и процедур заполнения имеющихся пробелов в производственно-статистических данных и получение полных рядов данных;

сбор информации об удельных показателях выбросов загрязняющих веществ с учетом их возможного изменения за анализируемый период;  
выполнение расчета выбросов, верификация.

*Сбор производственно-статистической информации.* К основным стационарным источникам выбросов диоксида серы и оксидов азота относятся сжигание топлива в топливосжигающих установках (в энергетике, жилищно-коммунальном секторе, сельском и лесном хозяйстве и других секторах), нефтепереработка, металлургическая промышленность, производство строительных материалов, производство минеральных удобрений.

Исходными данными при расчете выбросов являлись:

для стационарного сжигания топлива – объем сжигаемого топлива по секторам и видам;

для промышленных процессов – объем производства основных видов продукции.

Основные использованные источники производственно-статистической информации:

1950–1979 гг. – сборники Минстата БССР и СССР за указанный период, справочники, другие публикации. Основная информация об интенсивности деятельности за этот период получена из статистических ежегодников «Народное хозяйство СССР», «Народное хозяйство БССР», юбилейных сборников, статистических сборников по отраслям [5; 6];

1980–1989 гг. – сводные данные Национального статистического комитета [7], дополненные информацией из статистических сборников Минстата БССР и СССР;

1990–2020 гг. – сводные данные Национального статистического комитета [7].

Выявлено, что полнота доступных статистических данных неодинакова в разные периоды для разных видов деятельности. Так, данные по производству стали есть практически для всего времени, исключение составляют два периода: 1976–1979 и 1981–1984 гг. Данные по производству чугуна доступны только с 1990 г. Ряд объемов производства цемента по полноте схож с рядом для производства стали. Для объема производства азотных удобрений нет данных для периодов 1966–1969 гг., 1984 г. и 1991–1994 гг.

Данные о производстве и использовании топлива до 1980 г. весьма отрывочны. Фактически более-менее полные ряды данных имеются только для добычи топливного торфа, отчасти – нефти. Наиболее ранние детальные данные по топливному балансу имеются для 1975 и 1980 гг. [5; 6]. Для более раннего периода имеются лишь данные о структуре топливного баланса Беларуси [8].

Пробелы в данных о промышленном производстве в основном заполнялись путем интерполяции значений между граничными значениями периода с пробелом. Использовались также данные предприятий, доступные в открытых источниках (нефтепереработка, металлургическая промышленность, производство удобрений).

Поскольку для добычи топливного торфа имелись наиболее полные годовые данные, потребление топлива по видам (природный газ, уголь, мазут, дрова) в 1950, 1955, 1960, 1965 и 1970 гг. определялось как произведение объема добычи топливного торфа, деленное на долю торфа в топливном балансе по опубликованным данным и умноженное на долю того или иного вида искомого топлива. Потребление топлива в промежуточные годы определялось путем интерполяции граничных значений. На рис. 1 приведен реконструированный ряд потребления топлива стационарными источниками за период с 1950 года.

В результате обработки статистической информации подготовлена база данных, содержащая данные по производству основных видов промышленной продукции и потреблению основных видов топлива для периода 1950–1989 гг., которая по формату совместима с базой статистических данных за 1990–2020 гг., подготовленной и обновляемой в рамках ежегодной оценки выбросов (European Environment Agency) в соответствии с методологией (EMEP/EEA).

*Удельные показатели выбросов.* Удельные показатели выбросов характеризуют выделение загрязняющих веществ на единицу сожженного топлива, потребления сырья или производства продукции и определяются используемыми технологиями производства и методами снижения выбросов.

Анализ доступной информации о технологиях в энергетике, промышленности и сельском хозяйстве показал, что на данном этапе могут быть использованы в расчетах удельные показатели выбросов, единые для всего исследуемого периода.

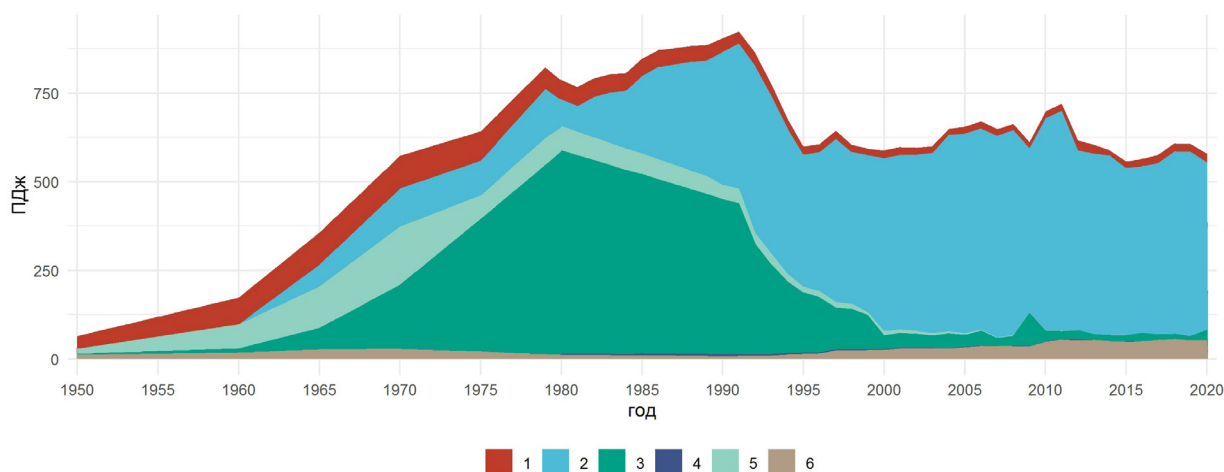


Рис. 1. Реконструированный ряд валового потребления топлива стационарными источниками в Беларуси с 1950 по 2020 г., ПДж: 1 – торф, 2 – газ природный, 3 – мазут, 4 – дизельное топливо, 5 – уголь, 6 – дрова и прочая биомасса

Fig. 1. Reconstructed series of gross fuel consumption by stationary sources in Belarus from 1950 to 2020, PJ: 1 – peat, 2 – natural gas, 3 – heavy fuel oil, 4 – diesel, 5 – coal, 6 – wood and biomass

Основные использованные источники информации об удельных показателях выбросов – Руководство по инвентаризации и проектированию выбросов ЕМЕП/ЕЕА [9], база данных об удельных показателях выбросов ЕМЕП, Руководство AP-42 Агентства по охране окружающей среды США [10], результаты собственных исследований. Удельные показатели выбросов, использованные в расчетах, в агрегированном виде приведены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1. Удельные показатели выбросов диоксида серы и азота при стационарном сжигании, использованные в расчетах выбросов, кг/ГДж

Table 1. Emission factors of sulfur dioxide and nitrogen oxides emissions from stationary combustion used in emission calculations, kg/GJ

Топливо Fuel	Удельный показатель выбросов SO <sub>2</sub> Specific emission factor SO <sub>2</sub>		Удельный показатель выбросов NO <sub>x</sub> Specific emission factor NO <sub>x</sub>	
	Энергетика, жилищно-коммунальное хозяйство и другие отрасли Energy, housing and utilities and other industries	Бытовой сектор Household sector	Энергетика, жилищно-коммунальное хозяйство и другие отрасли Energy, housing and utilities and other industries	Бытовой сектор Household sector
Уголь	1,00725	0,96	0,21	0,11
Торф топливный	0,095	0,095	0,243	0,11
Дрова и древесное топливо	0,07	0,07	0,08	0,05
Мазут	1,29	0,864	0,14	0,05
Другое жидкое топливо	0,05	0,05	0,065	0,05
Природный газ	0	0	0,05	0,05
Сжиженный газ	0	0	0,04	0,04

Расчет ретроспективных выбросов загрязняющих веществ выполнялся с использованием программного модуля подготовки национальных выбросов для Программы ЕМЕП, дополненного базами данных о деятельности за 1950–1989 гг. в СУБД MS Access.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты ретроспективной оценки выбросов диоксида серы и оксидов азота от основных стационарных источников выбросов с 1950 по 2020 г. приведены на рис. 2.

*Диоксид серы.* Валовые выбросы диоксида серы непрерывно возрастали с 1950 (когда они составляли 22,3 тыс. т) по 1980 г. (до 862,4 тыс. т) (рис. 2), что обусловлено ростом сжигания каменного угля и мазута и ростом объемов нефтепереработки. Затем последовал десятилетний

Т а б л и ц а 2. Удельные показатели выбросов диоксида серы и азота от производственных процессов, использованные в расчетах выбросов, г/т

T a b l e 2. Emission factors of sulfur dioxide and nitrogen oxides emissions from production processes used in emission calculations, g/ton

Код сектора Sector code	Сектор Sector	Удельный показатель выбросов, г/т Specific emission factor, g/t	
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
030303	Производство чугуна и литых изделий	1,72	0,285
030311	Производство цемента	0,214	2,01
030312	Производство извести	0,316	2,01
030313	Производство асфальтобетона	0,0177	0,0356
030314	Производство стекла	1,96	2,93
030319	Производство кирпича	0,166	0,142
040101	Переработка нефти	0,9	0,296
090203	Сжигание попутного газа в факеле	0,0808	0,0151
040207	Производство стали	0,06	0,419
040602	Целлюлозно-бумажное производство	2	1

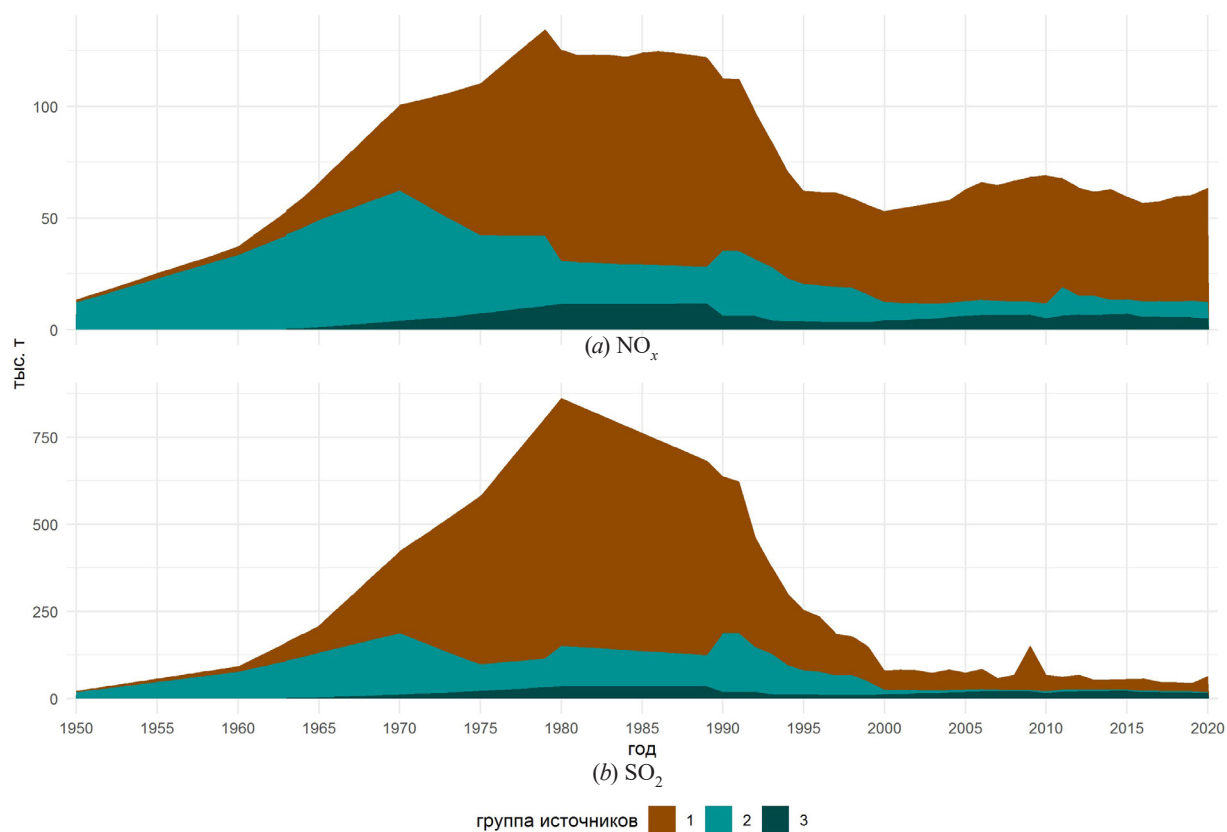


Рис. 2. Динамика выбросов оксидов азота (а) и диоксида серы (б) и от стационарных источников с 1950 по 2020 г., тыс. т: 1 – энергетика и промышленные процессы, 2 – жилищно-коммунальное хозяйство и бытовой сектор, 3 – переработка, транспортировка и распределение топлив

Fig. 2. Dynamics of nitrogen oxides (a) and sulfur dioxide (b) emissions from stationary sources from 1950 to 2020, thousand tons: 1 – energy and industrial processes, 2 – household sector and communal services, 3 – processing, transportation and distribution of fuels

период сокращения выбросов, продолжившийся вплоть до стабилизации на уровне 60–80 тыс. т/год начиная с 2000 г. Основной причиной снижения уровня выбросов диоксида серы в этот период явилось сокращение использования в качестве топлива каменного угля и мазута. В последующий период выбросы характеризовались в основном медленным сокращением до уровня 45–55 тыс. т/год по мере дальнейшего замещения в топливном балансе каменного угля и мазута природным газом, с пиком в 2009 г. вследствие резкого увеличения в данном году использования мазута электростанциями.

Полученные оценки по направлению динамики соответствуют статистическим данным [1; 7], согласно которым произошло сокращение выбросов между 1980 и 2000 г. в 5,2 раза. Вместе с тем по данным статистического учета наблюдается более низкий максимум годовых выбросов в течение рассматриваемого периода (761 тыс. т.), что объясняется применением в выполненной нами работе более широкого перечня категорий источников, включая бытовое сжигание топлива и малые установки сжигания, не учитываемые статистикой о выбросах. Кроме того, в представленной в данном исследовании оценке выявлено более раннее начало периода сокращения выбросов.

За рассматриваемый период структура выбросов диоксида азота от стационарных источников с учетом значительных изменений в топливном балансе в разрезе видов топлив претерпела значительные изменения. В 1950-х годах 64,9 % выбросов  $\text{SO}_2$  от рассматриваемых источников было связано со сжиганием торфа и топливных брикетов. В последующие годы по мере роста потребления мазута его вклад в выбросы диоксида серы увеличивался, достигнув на максимуме в 1990 г. 88,6 %. К настоящему времени сжигание мазута формирует 53,4 % выбросов  $\text{SO}_2$ .

*Оксиды азота.* Выбросы оксидов азота характеризовались быстрым ростом до 1979 г. (с 7,5 до 134,5 тыс т/год), связанным с общим ростом потребления топлива (рис. 2). В 1980-е годы рост прекратился, далее наблюдалось сохранение уровня выбросов (122,1–124,3 тыс. т) вплоть до начала 1990-х годов, когда произошло относительно резкое снижение количества выбрасываемых  $\text{NO}_x$  от стационарных источников в стране. После 2000 г. выбросы характеризуются слабовыраженной и неустойчивой тенденцией к росту. Максимум в этот период отмечен в 2010 г. (69,7 тыс. т), минимум – в 2017 г. (57,4 тыс. т). Получена сходная динамика с данными статистического учета, абсолютные уровни выбросов отличаются в силу более полного учета источников в представленной в данном сообщении инвентаризации.

Изменение структуры выбросов оксидов азота соответствует динамике топливного баланса страны за рассматриваемый период. В 1950 г. 77,8 % выбросов  $\text{NO}_x$  было связано со сжиганием торфа и топливных брикетов. К 1970 г. вклад торфа снизился до 22,4 %, произошло увеличение вклада угля (34,2 %) и мазута (25,3 %). По мере роста потребления мазута, со сжиганием этого вида топлива стала связана большая часть выбросов  $\text{NO}_x$  от стационарных источников. Максимум вклада мазута в выбросы  $\text{NO}_x$  отмечен в 1980 г. (64,3 %). В настоящее время практически половина (45,8 %) выбросов  $\text{NO}_x$  от стационарных источников обусловлена процессами, напрямую не связанными со сжиганием топлива, среди видов топлива наибольший вклад в выбросы  $\text{NO}_x$  вносит природный газ, составляющий основу топливного баланса страны.

В динамике выбросов оксидов азота и диоксида серы от стационарных источников в Беларуси наблюдаются сходные черты, связанные со значительным сходством в источниках выбросов, наиболее выраженные до начала 2000-х годов. В частности, наблюдался интенсивный рост с начала рассматриваемого периода вплоть до конца 1970 – начала 1980-х годов, сменившийся сокращением сначала малой интенсивности, усилившейся в начале 1990-х годов, и последующей стабилизацией. Выявленные различия в динамике выбросов этих поллютантов состоят в большей интенсивности межгодового изменения для диоксида серы. После 2000 г. межгодовые колебания выбросов диоксида серы находились в диапазоне от –55,4 до +122,1 %, тогда как оксидов азота – от –6,2 до +8,5 %. Принимаемые меры, изменение структуры используемого топлива и общеэкономические изменения привели к сокращению выбросов в конце рассматриваемого периода относительно выявленного максимума в 2,1 раз для оксидов азота и в 15,8 раз для диоксида серы.

Анализ показал, что оценки выбросов диоксида серы в наборах данных CEDS близки нашим оценкам лишь для небольших отрезков временного ряда: с 1995 по 1999 г. и с 2010 по 2014 г. (рис. 3). Весь период с 1950 г. и вплоть до конца 1970-х годов согласно оценкам CEDS выбросы диоксида серы от стационарных источников в Беларуси составляли более 400 тыс. т; максимальных значений (около 1 млн т) выбросы достигли в 1973 г. Основные источники выбросов – энергетика, промышленное сжигание топлива, бытовое сжигание, металлургия. Оценки выбросов для большей части этого периода явно завышены, и в особенности для 1950–1960-х годов. Согласно нашим оценкам, выбросы диоксида серы до начала 1960-х не превышали 80 тыс. т, до начала 1970-х – 400 тыс. т. Максимального уровня – свыше 800 тыс. т выбросы достигли в 1979–1983 гг. Основной вклад в выбросы серы вносит сжигание мазута и угля, а также нефтепереработка, интенсивность которых быстро возрастала в 1960–1970-е годы и достигла максимума в начале 1980-х годов. До этого основное место в топливном балансе занимал торф; он содержит мало серы и выбросы диоксида серы при сжигании этого топлива невелики.

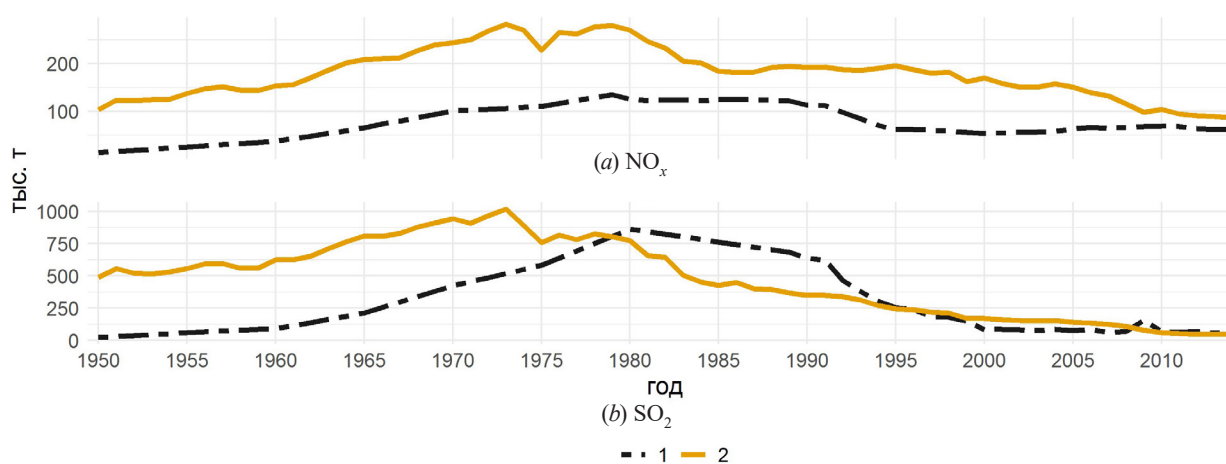


Рис. 3. Выбросы оксидов азота (а) и диоксида серы (б) на территории Беларуси от стационарных источников согласно набору данных CEDS (1) и выполненным расчетам (2), тыс. т

Fig. 3. Nitrogen oxides (a) and sulfur dioxide (b) emissions in Belarus from stationary sources according to the CEDS dataset (1) and calculations performed (2), thousand tons

Оценки выбросов оксидов азота от стационарных источников практически для всего периода с 1950 года в CEDS завышены относительно полученных в настоящем исследовании оценок (рис. 3). Современные выбросы в CEDS выше примерно на 1/3 (86 тыс. т против 62 тыс. т по нашим оценкам). Различия в оценках для периода с 1990-х – до середины 2000-х годов составляют 2–3 раза. Различаются как уровни выбросов, так и их тренды.

Согласно CEDS, выбросы оксидов азота постепенно росли с 1950 по 1973 г. (со 103,4 тыс. т в 1950 г. до 282,6 тыс. т в 1973 г.). После некоторого спада они достигли нового максимума (279,7 тыс. т в 1979 г.), снизились до 181,6 тыс. т в 1986 г., к 1990 г. несколько возросли (до 192 тыс. т). Выбросы оксидов азота согласно CEDS монотонно сокращались после 1990 г.; в 1990 г. они достигли одного из максимумов (159 тыс. т), после чего относительно равномерно снижались вплоть до 2014 г. Тренды NO<sub>x</sub> практически не коррелируют с трендами SO<sub>2</sub> и CO, что также вызывает сомнения.

По нашим оценкам, выбросы NO<sub>x</sub> от стационарных источников в начале 1950-х годов составляли лишь 13,5–22,9 тыс. т, что в 5–7 раз меньше, чем по оценкам CEDS. Максимального уровня выбросы достигли в 1979 г. (134,5 тыс. т/год), впоследствии начался период резкого сокращения, продолжавшийся до 2000 г. (53,1 тыс. т); а далее происходит медленный рост выбросов.

**Заключение.** Таким образом, выполненные расчеты впервые позволили получить научно обоснованные оценки выбросов в Беларуси диоксида серы и оксидов азота от основных стационарных источников выбросов за период с 1950 по 2020 г., что суммарно позволило реконструиро-

вать ряд протяженностью 71 год. Установлено, что наиболее совершенная к настоящему времени система оценивания исторических выбросов CEDS – коллективный труд многих научных групп – содержит оценки выбросов загрязняющих веществ невысокой точности применительно к Беларуси. Источниками основных погрешностей оценок выбросов в CEDS являются: недостаточно точные данные о деятельности в современный период; экстраполяция современных характеристик деятельности на прошлое (например, производства стали, использования угля как топлива и др.); экстраполяция на Беларусь без учета развития экономики трендов деятельности по секторам, характерных для других стран Европы.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение полученных оценок выбросов, дополнение их оценками пространственно распределенных выбросов.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках задания Подпрограммы 1 «Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (№ госрегистрации 20192480).

**Acknowledgements.** The study has been performed within the Task of the Subprogram 1 “Natural resources and their rational use” of the State Program of Scientific Investigations “Natural Resources and Environment” for 2021–2025 (State registration No. 20192480).

### Список использованных источников

1. The Emissions Database / EMEP Centre on Emissions Inventory and Projections [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata>. – Date of access: 14.03.2023.
2. Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application / J. Lamarque [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2010. – Vol. 10, N 15. – P. 7017–7039. <https://doi.org/10.5194/acp-10-7017-2010>
3. A 1°×1° resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890–1990 / J. A. van Aardenne [et al.] // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2001. – Vol. 15, N 4. – P. 909–928. <https://doi.org/10.1029/2000gb001265>
4. Schultz, M. G. Reanalysis of the tropospheric chemical composition over the past 40 years: Final report / M. G. Schultz. – 2007. – 122 p.
5. Топливо-энергетический баланс Белорусской ССР: стат. сб. / Центр. стат. упр. при Совете Министров Белорус. ССР. – Минск, 1977. – 247 с.
6. Топливо-энергетический баланс Белорусской ССР: стат. сб. / Центр. стат. упр. Совета Министров Белорус. ССР. – Минск, 1982. – 172 с.
7. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации [Электронный ресурс] / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://dataportal.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 22.01.2022.
8. Экономическая география Белоруссии / под общ. ред. С. М. Мельничука. 3-е изд., перераб. и доп. – Минск, 1982. – 224 с.
9. EMEP/EEA. 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories [Electronic resource] // European Environment Agency, Copenhagen. – 2019. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-energy-industries/view>. – Date of access: 02.05.2020.
10. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources [Electronic resource] // EPA. U. S. Environmental Protection Agency. – Mode of access: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources>. – Date of access: 14.03.2023.

### References

1. *The Emissions Database / EMEP Centre on Emissions Inventory and Projections*. Available at: <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata> (accessed 14 March 2023).
2. Lamarque J.-F., Bond T. C., Eyring V., Granier C., Heil A., Klimont Z., Lee D., Liousse C., Mieville A., Owen B., Schultz M. G., Shindell D., Smith S. J., Stehfest E., Aardenne J. A., Cooper O. R., Kainuma M., Mahowald N., McConnell J. R., Naik V., Riahi K., van Vuuren D. P. Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, vol. 10, no. 15, pp. 7017–7039. <https://doi.org/10.5194/acp-10-7017-2010>
3. van Aardenne J. A., Dentener F. J., Olivier J. G. J., Goldewijk C. G. M. K., Lelieveld J. A 1°×1° resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890–1990. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, vol. 15, no. 4, pp. 909–928. <https://doi.org/10.1029/2000gb001265>
4. Schultz M. G. *Reanalysis of the tropospheric chemical composition over the past 40 years: Final report*. 2007. 122 p.
5. *Fuel and energy balance of the Byelorussian SSR: statistical yearbook*. Minsk, 1977. 247 p. (in Russian).
6. *Fuel and energy balance of the Byelorussian SSR: statistical yearbook*. Minsk, 1982. 172 p. (in Russian).
7. Interactive information and analytical system for dissemination of official statistical information. *National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Available at: <https://dataportal.belstat.gov.by/> (accessed 22 January 2022) (in Russian).



8. Melnichuk S. M., ed. *Economic Geography of Belarus*. 3rd ed. Minsk, 1982. 224 p. (in Russian).

9. EMEP/EEA. 2019. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-energy-industries/view> (accessed 2 May 2020).

10. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources. *EPA. U. S. Environmental Protection Agency*. Available at: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources> (accessed 14 March 2023).

### Информация об авторах

*Какарека Сергей Витальевич* – д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sk001@yandex.ru.

*Круковская Ольга Юрьевна* – канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: o-krukowskaya@tut.by.

### Information about the authors

*Kakareka Sergey V.* – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru.

*Krukowskaya Olga Yu.* – Ph. D. (Geography), Senior Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o-krukowskaya@tut.by.