

А. Шияр, Ю. В. Королева

**УРОВНИ ВЫБРОСОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ
ИСТОЧНИКОВ NO_x И SO₂ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАНЦИИ
ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА ДЪЯБЛА-ГУРА (ПОЛЬША)**

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

Поступила в редакцию 12.06.2023 г.

Принята к публикации 11.07.2023 г.

doi: 10.5922/gikbfu-2023-2-8

97

Для цитирования: Шияр А., Королева Ю. В. Уровни выбросов и идентификация источников NO_x и SO₂ в юго-восточной части Балтики по результатам наблюдений на станции фонового мониторинга Дьябла-Гура (Польша) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2023. №2. С. 97–110. doi: 10.5922/gikbfu-2023-2-8.

Целью данного исследования было изучение уровней выбросов и выявление источников загрязнения NO_x и SO₂ по данным, полученным на станции в заповеднике Дьябла-Гура в северо-восточной части Польши. Для анализа использовались данные почасовой концентрации NO_x и SO₂ и метеорологические переменные (скорость и направление ветра) за четыре года (2018–2021). Для анализа данных и выявления источников выбросов были построены графики временных рядов, розы ветров и загрязняющих веществ, применены методы «условной функции вероятности» и «обратных траекторий». Средняя концентрация NO_x и SO₂ за исследуемый период составила 2,12 мкг/м³ и 0,27 мкг/м³ соответственно. Полученные результаты показали закономерность суточных и месячных колебаний с пиками в утренние часы, а также в начале и конце года (январь и декабрь соответственно). Основные источники выбросов NO_x и SO₂, проявляющиеся в холодные периоды, расположены к югу от станции мониторинга.

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, загрязнение воздуха, идентификация источников, рецепторная модель

Введение

Загрязнение воздуха и изменение климата являются важнейшими экологическими проблемами в настоящее время и будут таковыми также в ближайшие десятилетия [9]. Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение воздуха ежегодно приводит к смерти примерно 7 миллионов человек и выступает причиной каждой восьмой преждевременной смерти [3], что делает его крупнейшим в мире экологическим риском для здоровья. Число глобальных исследований состава, характеристик и переноса загрязнителей воздуха растет благодаря доступности технологий мониторинга и глобальных данных *in situ* и реанализа.



NO_x (оксиды азота) и SO₂ (диоксид серы) — значительные и наиболее вредные загрязнители воздуха, которые обуславливают целый ряд проблем окружающей среды и здоровья человека [12]. Загрязнение воздуха NO_x происходит из-за антропогенных факторов, причем наиболее значительный вклад вносят транспорт и производство энергии. Сжигание ископаемого топлива в транспортных средствах и на электростанциях — основной источник выбросов NO_x. Выбросы SO₂ в основном относятся к побочным продуктам сжигания ископаемого топлива, особенно на угольных электростанциях. Свой вклад в выбросы SO₂ вносят также промышленные процессы, такие как выплавка металлов и производство бумаги [4; 10].

Высокие уровни содержания NO_x и SO₂ в воздухе способны оказывать значительное негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Они могут участвовать в атмосферных химических реакциях, приводящих к образованию аэрозолей и кислотных дождей, негативно влиять на качество воздуха, климатическую систему и здоровье человека, а также способствовать подкислению наземных и морских экосистем. Несмотря на предпринимаемые усилия, уровни NO_x и SO₂ в юго-восточной части Балтийского региона по-прежнему вызывают беспокойство [15].

На концентрацию загрязняющих веществ в воздухе влияют различные факторы, такие как перенос, химические реакции и осаждение. Определение местных и удаленных источников выбросов с помощью моделирования рецепторов является важной областью в управлении загрязнением воздуха. Методы моделирования рецепторов разнообразны и применяются в очень широком диапазоне ситуаций. Среди наиболее важных аспектов моделирования рецепторов — способность идентифицировать и характеризовать источники выбросов, что, возможно, было бы трудно или невозможно осуществлять другими способами [2; 13; 16].

Наиболее широко используемыми моделями рецепторов для идентификации источников загрязнения воздуха являются условная функция вероятности / Conditional probability function (CPF) и обратных траекторий. Эти две модели рецепторов имеют свои сильные стороны и ограничения, и выбор способа зависит от таких факторов, как вопрос исследования, имеющиеся данные и характеристики рассматриваемого источника загрязнения воздуха [16].

В данном исследовании мы стремимся определить источники выбросов и изучить временные изменения уровней NO_x и SO₂ по результатам данных фонового мониторинга в юго-восточной Балтии — в заповеднике Дьябла-Гура, используя модели рецепторов (функцию условной вероятности — CPF и модель траекторий) в период с 2018 по 2021 г.

Материалы и методы. Изучаемая территория

Региональная станция фонового мониторинга Дьябла-Гура Европейской программы мониторинга и оценки (ЕМЕП) расположена на северо-востоке Польши в Варминско-Мазурском воеводстве (54° 9' 0" с. ш., 22° 4' 0" в. д., 157 м. н. у. м.) в Пуще Борецкой (рис. 1).

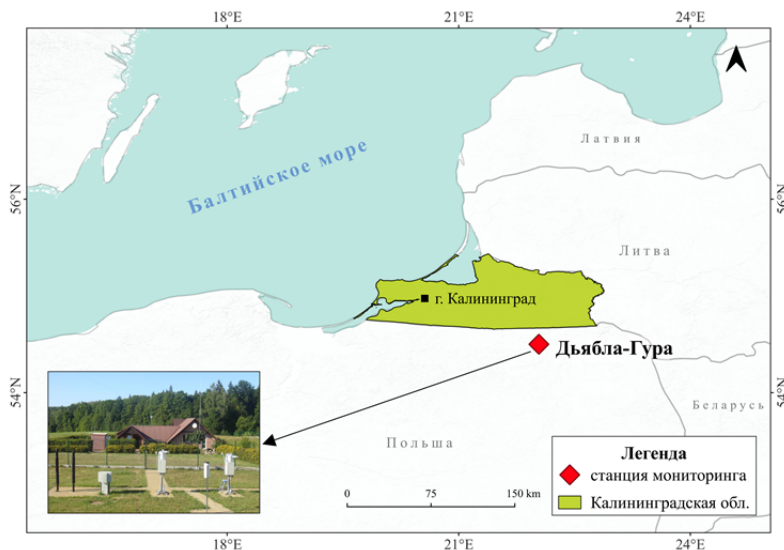


Рис. 1. Расположение территории исследования

Вблизи станции нет локальных источников загрязнения (дорог, жилых домов, промышленных предприятий) [7]. Выбор этой станции обусловлен близостью к российской границе (менее чем 20 км от границы Калининградской области), что позволит нам получить общую картину уровней NO_x и SO_2 в регионе, поскольку ни одна станция региона не регистрирует непрерывно данные о часовых концентрациях обоих загрязнителей.

Для целей настоящего исследования были собраны данные почасовых концентраций NO_x и SO_2 за период 2018–2021 гг., полученные на станции фоновоего мониторинга Дьябла-Гура, а также почасовые метеорологические параметры (скорость и направление ветра) за тот же период из базы данных Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA).

Методы

С целью визуализации исторических изменений концентраций SO_2 и потенциального вклада источников для понимания ситуации с качеством воздуха на изучаемой территории данные были проанализированы с использованием программы R с пакетом OpenAir [6]. Само исследование было разделено на две основные части.

Первая часть включала временной анализ изменения уровня SO_2 путем изучения розы ветров, розы загрязнения, а также почасовых, суточных, недельных и месячных изменений. Вторая часть была проанализирована с помощью функции условной вероятности / Conditional Probability Function (CPF) и функции условной двухмерной вероятности / Conditional bivariate probability function (CBPF) для определения



потенциальных источников выбросов SO_2 , влияющих на качество воздуха в Дьябла-Гуре; таким образом, станция мониторинга выступала в качестве рецепторной точки для исследования.

Функция условной вероятности / Conditional Probability Function (CPF) используется для определения источников загрязнения и оценивает вероятность, исходящую от определенного направления ветра ($\Delta\theta$), а также того, что измеренная концентрация превышает фиксированный порог.

CPF математически определяется как [2; 16]

$$CPF_{\Delta\theta} = \frac{m_{\Delta\theta C \geq x}}{n_{\Delta\theta}}, \quad (1)$$

где $m_{\Delta\theta}$ – количество образцов в ветровом секторе $\Delta\theta$, концентрация C которых больше или равна контрольному значению x , а $n_{\Delta\theta}$ – общее количество образцов в ветровом секторе $\Delta\theta$.

С другой стороны, условная двумерная функция вероятности / Conditional bivariate probability function (CBPF) связывает CPF со скоростью ветра, и это третий параметр, который можно заменить другой переменной, позволяющей различать типы источников на основе дисперсии. Эта функция определяет анализируемую концентрацию загрязняющих веществ в ячейках диапазонов направления и скорости ветра, обеспечивая большую надежность, чем традиционные методы, устанавливающие концентрации загрязняющих веществ только в секторах, определяемых направлением ветра.

CBPF можно определить как [2; 16]

$$CBPF_{\Delta\theta} = \frac{m_{\Delta\theta, \Delta\mu | C \geq x}}{n_{\Delta\theta, \Delta\mu}}, \quad (2)$$

где $m_{\Delta\theta, \Delta\mu}$ – количество образцов в ветровом секторе $\Delta\theta$ с интервалом скорости ветра $\Delta\mu$, концентрация C которых больше контрольного значения x , а $n_{\Delta\theta, \Delta\mu}$ – общее количество образцов в этом интервале направления скорости ветра.

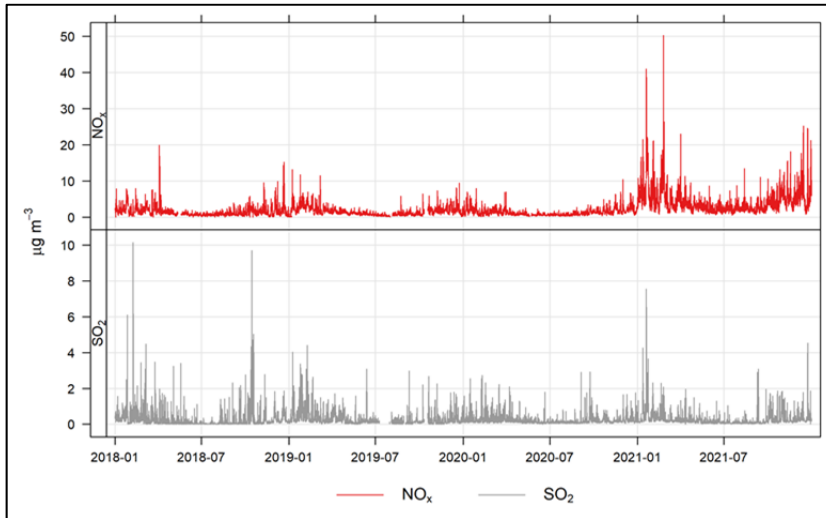
Также для определения потенциального влияния регионального ветрового переноса на концентрации загрязнителей воздуха использовались траекторные модели. Траекторные модели могут помочь определить районы с трансграничными источниками загрязнения воздуха на основе региональных метеорологических данных и функций Лагранжа для реконструкции маршрутов воздушных посылок в определенных местах и за выбранные периоды времени [6]. Для анализа атмосферного переноса было построено несколько моделей траекторий, которые предназначены для изучения движения атмосферы вперед или назад во времени. Модель HYSPLIT является одной из наиболее широко используемых моделей для траекторного анализа. Это комплексная система, которая может рассчитывать все – от простых траекторий воздушных посылок до сложных симуляций распространения и осаждения. Модель HYSPLIT делится на две части: модель обратного переноса и модель прямой диффузии [5; 8; 11].



Результаты и обсуждение

Временные колебания концентраций NO_x и SO_2

Временные изменения концентраций NO_x и SO_2 в течение 2018, 2019, 2020 и 2021 гг. в четырех временных масштабах (часо-суточный, часовой, недельный и месячный) представлены на рисунках 2 и 3.



101

Рис. 2. Почасовые изменения концентраций NO_x и SO_2 на станции Дьябла-Гура с 2018 по 2021 г.

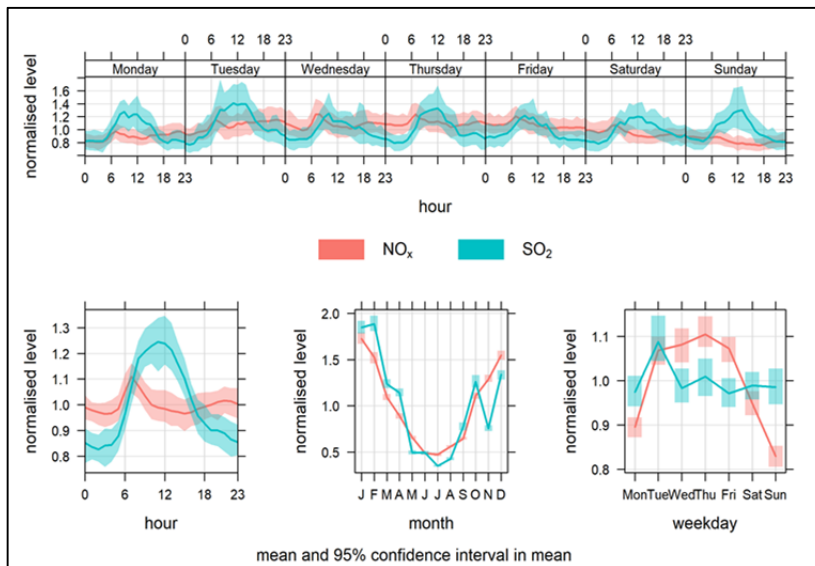


Рис. 3. Временные изменения концентраций NO_x и SO_2 на станции Дьябла-Гура для средних значений за четыре года



Среднегодовые концентрации NO_x и SO_2 за период 2018–2021 гг. составляют 2,12 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 0,27 $\text{мкг}/\text{м}^3$ соответственно. Эти уровни считаются низкими, особенно учитывая, что Дзябла-Гура – станция фонового мониторинга. Самые высокие среднегодовые значения концентраций NO_x и SO_2 были зарегистрированы в 2021 г., составив 4,2 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 0,29 $\text{мкг}/\text{м}^3$ соответственно, в то время как самые низкие значения наблюдались в 2020 г.: 1,2 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 0,23 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Концентрация NO_x и SO_2 в атмосферном воздухе имеет выраженный сезонный характер: более высокие уровни наблюдались в холодные периоды, а более низкие – в теплые. Самые высокие средние концентрации обоих загрязнителей зимой составили: NO_x – 3,4 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и SO_2 – 0,4 $\text{мкг}/\text{м}^3$, весной и осенью: NO_x – 1,8 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и SO_2 – 0,25 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Летний период характеризуется самыми низкими уровнями NO_x и SO_2 : 1,07 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 0,11 $\text{мкг}/\text{м}^3$ соответственно.

Анализ среднемесячных значений показал максимумы концентраций NO_x в январе и декабре: соответственно 3,66 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 3,28 $\text{мкг}/\text{м}^3$, SO_2 : 0,491 $\text{мкг}/\text{м}^3$ и 0,501 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Минимальные уровни NO_x и SO_2 наблюдались в июле (0,99 $\text{мкг}/\text{м}^3$) и августе (0,09 $\text{мкг}/\text{м}^3$). Повышенные уровни оксидов азота и серы в более холодные периоды могут быть связаны с отоплением жилых домов и использованием ископаемого топлива (в основном угля, что характерно для Северной Польши) в сочетании с атмосферными температурными инверсиями, которые задерживают загрязняющие вещества и вызывают их накопление.

Недельные циклы концентраций NO_x и SO_2 продемонстрировали явные различия. Уровни концентрации NO_x были самыми высокими со вторника по пятницу, а самые низкие наблюдались в субботу, воскресенье и понедельник. Более высокие уровни концентрации NO_x в будние дни могут быть связаны с повышенным трафиком в рабочие дни, в то время как более низкие уровни в выходные дни, вероятно, обусловлены снижением выбросов от промышленных предприятий/электростанций и движения автотранспорта. В отличие от этого недельный цикл концентраций SO_2 показал почти постоянные уровни в течение всей недели, с небольшим повышением по вторникам.

Суточные колебания концентраций SO_2 и NO_x показали четкую связь с деятельностью, связанной с движением транспорта, особенно в утренние часы. Уровни концентрации NO_x имели явный пик между 08:00 и 10:00 часами по местному времени (LT), со средней концентрацией 2,30 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Пик концентрации SO_2 был более продолжительным и приходился на период с 11:00 до 15:00 часов по местному времени, со средней концентрацией 0,33 $\text{мкг}/\text{м}^3$.

Определение источников NO_x и SO_2 по розе ветров и розе загрязняющих веществ

Роза ветров и роза загрязнений были построены на основе данных, собранных со станции мониторинга качества воздуха для изучения связи между характером ветра и концентрацией следовых газов, оксидов азота (NO_x) и диоксида серы (SO_2), на рецепторе.



Месячная роза ветров за исследуемый период представлена на рисунке 4. Зимой и осенью преобладали южные ветры, особенно в юго-восточном и юго-западном направлениях, и скорость ветра была выше (6–13 м/с). Напротив, весной и летом преобладали ветры северо-западного направления, а некоторые дули с юго-восточного направления. Средняя скорость ветра колебалась от 4 м/с (зимой) до 3,6 м/с (весной) и 3,7 м/с (осенью). Самые низкие скорости ветра были зарегистрированы в летние месяцы и составляли в среднем 2,9 м/с.

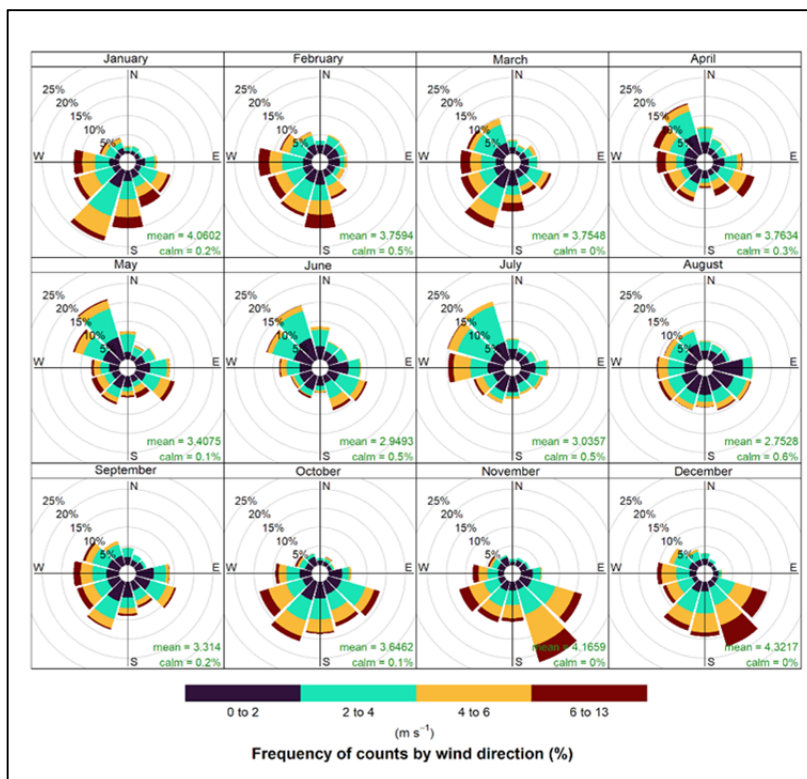


Рис. 4. Среднемесячная роза ветров за исследуемый период (2018 – 2021)

Для изучения влияние метеорологических моделей на формирование загрязнения исследованы графики розы загрязнения по месяцам (рис. 5).

Доля высоких концентраций загрязняющих веществ (NOx) представлена с ноября по март при преобладании ветров с юго-юго-восточного и юго-западного направлений. Однако при ветрах других направлений в другие месяцы доля высоких концентраций NOx была значительно ниже, чем зимой. Розы загрязнения указывают на то, что значительные источники NOx будут находиться на юге исследуемой территории в холодные периоды. Это согласуется с результатами исследования А. Кристенссона и др. (2020) [17], которые показали, что район Катовице и Кракова, расположенный примерно в 500 км к югу от Дьябла-

Гуры, способствовал высоким концентрациям PM_{10} , наблюдаемым в Дьябла-Гуре, что связано с комбинированным источником бытового сжигания древесины и угля.

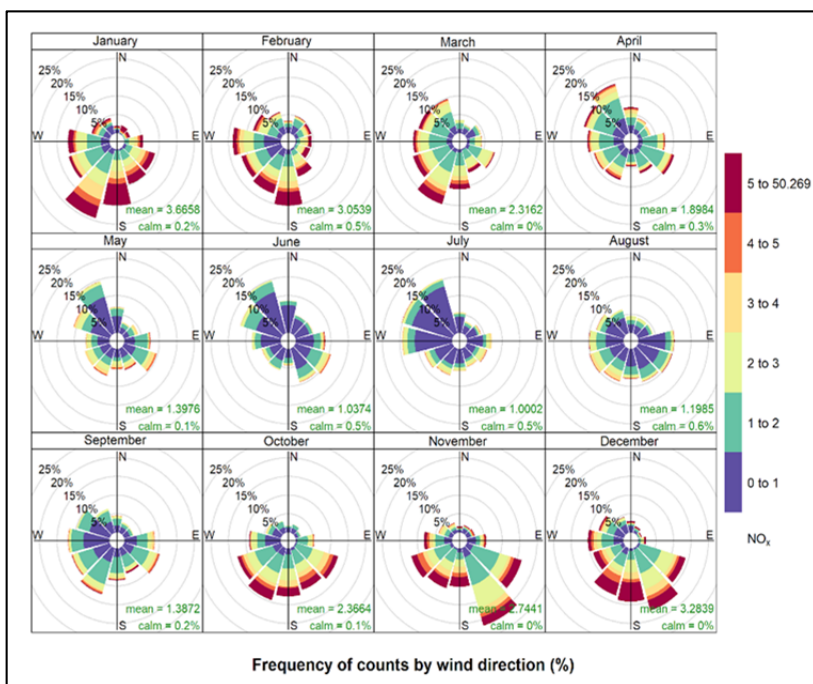


Рис. 5. Месячные розы загрязнения NO_x за исследуемый период (2018 – 2021)

Розы загрязнения SO_2 были схожи с розами загрязнения NO_x по частоте с несколько более низкими концентрациями.

Определение источников NO_x и SO_2 с помощью функции условной вероятности и двумерной полярной функции

Определение источников загрязняющих воздух веществ имеет решающее значение для лиц, ответственных за принятие мер по сокращению этих выбросов. Наиболее часто для определения источников используются условная функция вероятности / Conditional Probability Function (CPF) и условная двумерная функция вероятности / Conditional bivariate probability function (CBPF).

Для NO_x источники с концентрацией, превышающей 90 процентов (эквивалент концентрации $4,4 \text{ мкг/м}^3$), выделены на графике CPF. График показывает более высокую вероятность таких концентраций с юга (рис. 6, а). С другой стороны, для тех же данных по NO_x используется график условной бивариационной функции вероятности (CBPF), где радиальная ось представляет скорость ветра, а угловая ось — направление ветра, чтобы показать распределение концентраций NO_x вокруг рецептора. Когда скорость ветра низкая, средние концентрации будут отображаться около центра полярной координаты, то есть ре-



цептора или станции мониторинга качества воздуха. Однако когда скорость ветра высокая, концентрации будут отображаться вдали от центра. На рисунке 6, б можно увидеть несколько дополнительных и интересных особенностей. Во-первых, самые высокие концентрации (более $4,5 \text{ мкг/м}^3$) приходятся на южное направление при всех условиях скорости ветра. Двумерный полярный график также показывает область высокой концентрации на юго-западе, соответствующую высокой скорости ветра — 12 м/с . В случае SO_2 (рис. 7) оба графика указывают на наличие основного источника на юге и юго-востоке. Более того, высокие концентрации, присутствующие при высоких скоростях ветра на бивариационной полярной диаграмме для SO_2 , свидетельствуют о выбросах из дымовых труб.

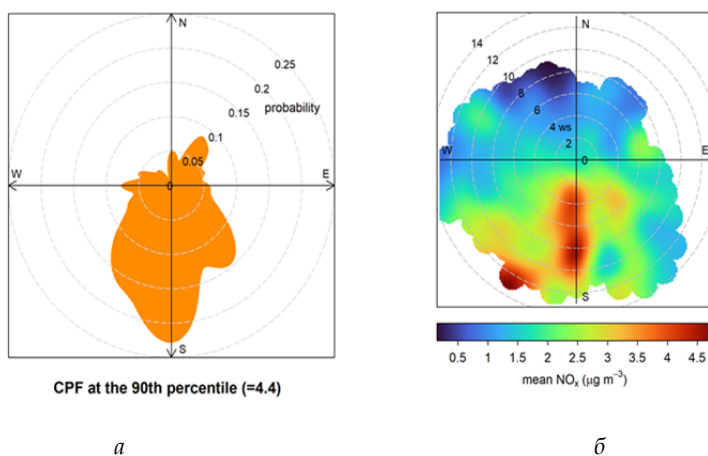


Рис. 6. Графики CPF (*a*) и СВРФ (*б*) концентраций NO_x для периода 2018–2021 гг.

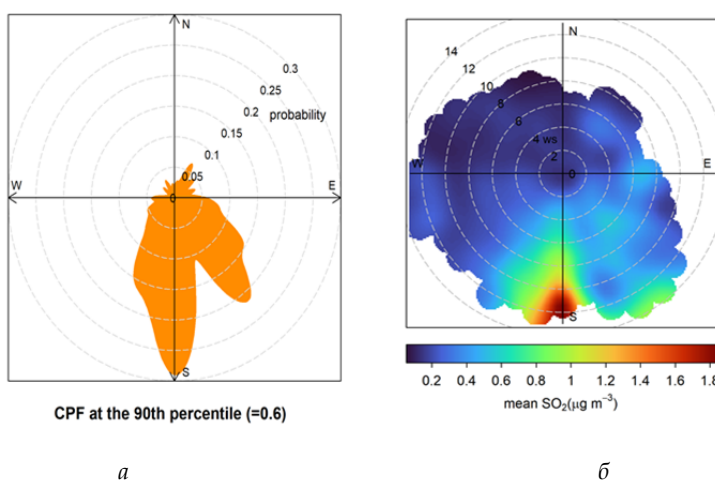


Рис. 7. Графики CPF (*a*) и СВРФ (*б*) концентраций SO_2 для периода 2018–2021 гг.

Региональные потенциальные источники NO_x и SO₂

В данном разделе представлены региональные потенциальные пути переноса загрязнений NO_x и SO₂ на площадку Дьябла-Гура, выявленные в результате кластерного анализа 72-часовых обратных траекторий, рассчитанных в 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00 (LST) каждого дня с января 2021 г. по декабрь 2021 г.

С целью получения траекторий движения транспорта был использован TrajStat [1] для обработки данных воздушного потока. Однако по этим траекториям воздушного потока невозможно было определить точное количество траекторий в различных направлениях. Поэтому траектории были объединены в шесть кластеров в соответствии с согласованностью временного и пространственного распределения обратных траекторий (рис. 8). Траектории обратной кластеризации, превышающие 90-перцентильный порог для концентраций NO_x и SO₂, представлены и определены как «загрязненные», а траектории обратной кластеризации, соответствующие концентрациям ниже 90-перцентильного порога, — как «малозагрязненные».

106

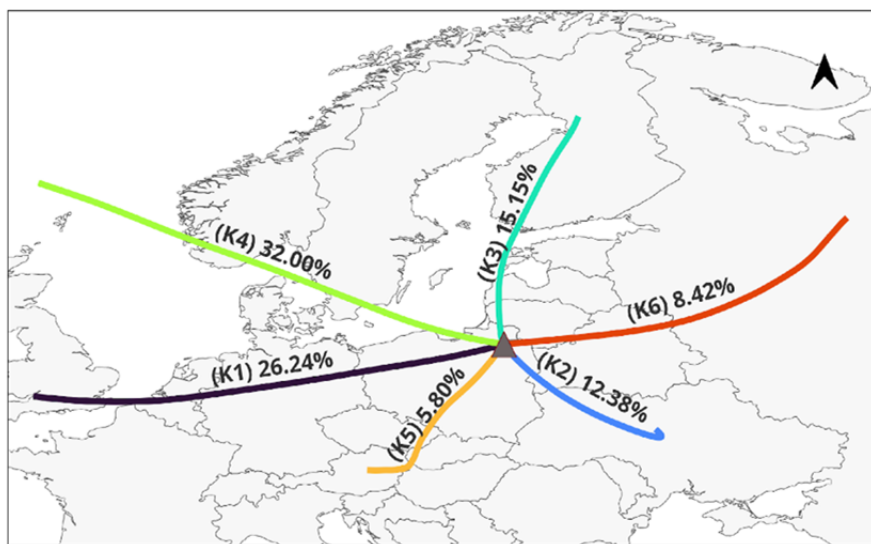


Рис. 8. Семидесятидвухчасовые обратные траектории кластеров на участке Дьябла-Гура для периода с января 2021 г. по декабрь 2021 г.

Воздушные потоки в основном шли с юго-запада — северо-запада (кластеры 1 и 4), составляя 55 % воздушных потоков, за ними следовали северные воздушные потоки (кластер 3), составляя 15 %.

На основе кластерного анализа воздушных потоков в обратном направлении в сочетании с данными о концентрации NO_x и SO₂ (табл.) определены потенциальные пути переноса загрязнений в Дьябла-Гуру.



Описательная статистика кластерного анализа, показывающая количество траекторий в каждом кластере и средние концентрации NO_x и SO₂

| Кластер | Количество траекторий | NO _x | | |
|--------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | | Количество загрязненных траекторий | Среднее значение, мкг/м ³ | |
| | | | Все траектории | Загрязненные траектории |
| 1 | 728 | 375 | 4,42 | 8,79 |
| 2 | 333 | 117 | 2,29 | 6,27 |
| 3 | 416 | 39 | 2,17 | 7,81 |
| 4 | 887 | 171 | 2,11 | 6,52 |
| 5 | 161 | 96 | 3,51 | 8,19 |
| 6 | 231 | 43 | 1,89 | 6,47 |
| <i>Всего</i> | 2756 | 841 | 3,26 | 7,74 |
| Кластер | Количество траекторий | SO ₂ | | |
| | | Количество загрязненных траекторий | Среднее значение, мкг/м ³ | |
| | | | Все траектории | Загрязненные траектории |
| 1 | 728 | 123 | 0,48 | 1,16 |
| 2 | 333 | 51 | 0,32 | 0,95 |
| 3 | 416 | 12 | 0,26 | 1,18 |
| 4 | 887 | 25 | 0,17 | 0,93 |
| 5 | 161 | 51 | 0,58 | 1,21 |
| 6 | 231 | 13 | 0,2 | 0,82 |
| <i>Всего</i> | 2756 | 275 | 0,35 | 1,1 |

Воздушные потоки, связанные с кластерами 1, 3 и 5, определены как наиболее загрязненные, с высокими концентрациями NO_x и SO₂ (табл.). С точки зрения количества загрязненных траекторий юго-западный воздушный поток в кластере 1 (начавшийся с юга Великобритании, через Северную Бельгию, Центральную Германию и Западную Польшу) является наиболее значительным, внося более 44 % от общего количества загрязненных траекторий NO_x и SO₂. Высокие концентрации NO_x и SO₂ могут быть связаны с тем, что эти районы имеют отопительный сезон, что приводит к увеличению антропогенных выбросов загрязняющих веществ, вероятно, в результате использования твердого топлива для отопления.

Заключение

В данном исследовании были изучены уровни и определены потенциальные источники выбросов NO_x и SO₂ на основе почасовых записей концентраций NO_x и SO₂, направления и скорости ветра в Дьябла-Гуре.

Средняя концентрация NO_x и SO₂ за исследуемый период составила 2,12 мкг/м³ и 0,27 мкг/м³ соответственно. Дневная вариация концентраций загрязняющих веществ представила суточный пик, зарегистрированный в утренние часы, что связано с характерным поведением ав-



томобильного потока в районе исследования, дополненным рельефными топографическими и метеорологическими условиями местности. На месячном уровне самые высокие среднемесячные значения NO_x и SO₂ были зарегистрированы в январе и декабре, что связано с применением ископаемого топлива для отопления.

В течение четырех лет преобладали юго-западные ветры с более высокой средней скоростью и более высокими концентрациями загрязняющих веществ, особенно в холодные периоды. Двумерные полярные графики и обратные траектории подтвердили эти результаты и показали, что самые высокие концентрации NO_x и SO₂ в основном наблюдаются в направлениях юга, юго-запада и юго-востока в течение всего года.

Список литературы

1. Wangm Y.Q., Zhang X.Y., Draxler R. R. TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data // Environmental Modelling & Software. 2009. Vol. 24, iss. 8. P. 938–939. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.01.004>.
2. Vedantham R., Norris G., Duvall R. Receptor and Hybrid Modeling Tools // Wiley StatsRef: Statistics Reference Online / N. Balakrishnan, T. Colton, B. Everitt, W. Piegorisch, F. Ruggeri and J.L. Teugels (eds.). 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07801>.
3. Во всем мире 9 человек из 10 дышат загрязненным воздухом // Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (дата обращения: 12.05.2023).
4. Гилленботер М., Сааринен К. Прекурсоры и косвенные выбросы. в Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. 2006. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/1_Volume1/V1_7_Ch7_Precursors_Indirect.pdf (дата обращения: 12.05.2023).
5. Draxler R.R., Hess G.D. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition // Australian Meteorological Magazine. 1998. Vol. 47, №4. P. 295–308.
6. Carslaw D., Ropkins K. Openair – An R package for air quality data analysis // Environmental Modelling and Software. 2012. №27–28. P. 52–61. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.
7. Kristensson A., Ausmeel S., Pauraitte J. et al. Source Contributions to Rural Carbonaceous Winter Aerosol in North-Eastern Poland // Atmosphere. 2020. Vol. 11, №3. P. 263. <https://doi.org/10.3390/atmos11030263>.
8. Li C., Dai Z., Liu X., Wu P. Transport Pathways and Potential Source Region Contributions of PM_{2.5} in Weifang: Seasonal Variations // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, №8. P. 2835. <https://doi.org/10.3390/app10082835>.
9. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf (дата обращения: 12.05.2023).



10. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2013). Health effects of particulate matter: policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. World Health Organization. Regional Office for Europe. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344854> (дата обращения: 12.05.2023).

11. Sahu S.K., Zhang H., Guo H. et al. Health risk associated with potential source regions of PM_{2.5} in Indian cities // *Air Qual Atmos Health*. 2019. Vol. 12. P. 327–340. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00661-4>.

12. Smith K.R., Jerrett M., Anderson H.R. et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants // *Lancet*. 2009. Vol. 19, 374 (9707). P. 2091–2103. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61716-5.

13. Uria-Tellaetxe I., Carslaw D.C. Conditional bivariate probability function for source identification // *Environmental modelling & software*. 2014. №59. P. 1–9. doi: 10.1016/j.envsoft.2014.05.002.

14. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D. et al. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. 96. 2059–2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

15. Экологическое сотрудничество в Балтийском регионе, Датское агентство по охране окружающей среды. URL: https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-319-5/html/helepubl_eng.htm#2.5%20Air%20Pollution (дата обращения: 12.05.2023).

16. Ashbaugh L.L., Malm W.C., Sadeh W.Z. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park Arizona Usa // *Atmospheric Environment*. 1985. 19 (8). P. 1263–1270.

Об авторах

Абдо Шияр — аспирант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: abdosheyar@gmail.com

Юлия Владимировна Королева — канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: yu.koroleff@yandex.ru

A. Sheyar, J. V. Koroleva

EMISSION LEVELS AND IDENTIFICATION OF NO_x AND SO₂ SOURCES IN THE SOUTH-EASTERN BALTIC ON THE RESULTS OF OBSERVATIONS AT THE BACKGROUND MONITORING STATION DIABLA GÓRA (POLAND)

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 12 June 2023

Accepted 11 July 2023

doi: 10.5922/gikbfu-2023-2-8

To cite this article: Sheyar A., Koroleva J.V., 2023, Emission levels and identification of NO_x and SO₂ sources in the South-eastern Baltic on the results of observations at the background monitoring station Diabla Góra (Poland), *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №2. P. 97–110. doi: 10.5922/gikbfu-2023-2-9.



The aim of this study was to investigate the levels of emissions and identify the sources of NO_x and SO₂ pollution in a rural station in the south-eastern Baltic (Diabla Gora). This analysis was conducted using hourly NO_x and SO₂ concentration data and meteorological variables (wind speed and direction), which were analyzed over a period of four years (2018 – 2021). Time series plots, wind and pollutant roses, application of a conditional probability function, and inverse trajectories were considered to analyze the data and identify emission sources. The average concentration of NO_x and SO₂ for the study period was 2.12 µg/m³ and 0.27 µg/m³, respectively. The results showed a definite pattern for daily and monthly variations, with peaks in the morning hours and at the beginning and end of the year (January and December, respectively). The main identified sources of NO_x and SO₂ emissions were located south of the monitoring station, particularly during cold periods when the highest concentrations were recorded.

Keywords: South-eastern Baltic, air pollution, source identification, receptor model, Openair

The authors

Dr Abdo Sheyar, Baltic Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: abdosheyar@gmail.com

Dr Yulia V. Koroleva, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: yu.koroleff@yandex.ru