

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 115–116

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY

Book 2 – GEOGRAPHY

Volume 115–116

КОНЦЕНТРАЦИИ НА СЕРНИЯ ДИОКСИД В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ В РАЙОНА НА ПЕРНИК

АНТОАНА ДИМИТРОВА¹, НИНА НИКОЛОВА

*Софийски университет „Св. Климент Охридски“, ГГФ,
Катедра „Климатология, Хидрология и Геоморфология“
e-mail: nina@gea.uni-sofia.bg*

Antoana Dimitrova, Nina Nikolova. CONCENTRATIONS OF SULFUR DIOXIDE IN AMBIENT AIR AT THE REGION OF PERNIK.

The topicality of the research is determined by the fact that sulfur dioxide SO₂ is one of the most dangerous pollutants in the ambient air, which has a harmful effect on human health and the ecosystems. The daily and monthly concentrations of SO₂ in the area of the town of Pernik – one of the problem areas for Bulgaria in terms of air quality are determined based on hourly data from the automatic measuring station Shakhtyor-Center of the Bulgarian Environmental Executive Agency (EEA). By the application of mathematical and statistical methods, the influence of meteorological elements (air temperature, wind direction, and speed) on the concentration of SO₂ in atmospheric air has been determined – a more pronounced negative correlation was observed during the cold winter months. Despite the general tendency to reduce air pollution with SO₂ for the period 2006–2022, even in recent years, exceedances of the average day-night standards have been established, which indicates the need to develop and implement measures to improve the quality of atmospheric air in the area.

Keywords: sulfur dioxide, air temperature, wind speed, trend, exceeding the norms

¹ Студент в магистърска програма Изменения на климата и управление на водите, ГГФ

УВОД

Според Световната здравна организация (СЗО) и Европейската агенция по околна среда (ЕАОС) замърсяването на въздуха е един от най-сериозните проблеми и причина за влошаване здравето на населението в редица европейски държави. А серният диоксид (SO_2) е един от най-опасните замърсители на въздуха. В световен мащаб 70% от емисиите са вследствие на антропогенни дейности, като половината от тях са от употребата и изгарянето на изкопаеми горива (Whelpdale et al., 1996, Z. Lu et al., 2010). Повишеното му съдържание в състава на атмосферния въздух подлага на сериозен риск човешкото здраве и стабилността на екосистемите, засегнати от въздействието му.

В научната литература съществуват редица публикации, анализиращи промените на концентрациите на SO_2 в състава на атмосферния въздух за дълъг период от време, както на регионално, така и на глобално равнище: Gschwandtner G., 1986 (за периода 1900–1980 г.), Lefohn, 1999 (за 1850–1990 г.), Örn et al., 1996 (за 1860–1985 г.), US EPA, 1996 (за 1900–1993 г.), Dignon., 1992 (1860–1980 г.). В Европа въпросът относно ограничаването и контролирането на емисиите SO_2 , изхвърляни в атмосферата, се поставя по-сериозно след 1970 г. Редица публикации и доклади като OECD (1977), Eliassen and Saltbones (1983), Menz and Seip (2004), Grennfelt and Hov (2005), V. Vestreng et al, (2007) доказват наличие на трансгранично замърсяване на въздуха. В своето изследване Vestreng et al, (2007) проследяват промените, които настъпват в емисиите SO_2 в Европа за периода 1980-2004 г. и определят три подпериода: 1) 1980–1989 г., период със сравнително слабо понижение на концентрациите SO_2 – около 20%; 2) 1990-1999 г., с най-голям спад на емисиите, главно в страните от Източна Европа (54%) и 3) след 2000 г., когато се установява около 17% намаляване на серните концентрации в държавите на европейския континент.

Изгарянето на изкопаеми горива като нефт и въглища, които съдържат висок процент сяр в себе си, са основните замърсители със серни съединения в атмосферата. Производството на електроенергия от топлоелектрически централи (ТЕЦ) е най-значимата причина за повишено съдържание на SO_2 във въздуха, поради употребата на въглища с ниско качество и високо пепелно съдържание. Въпреки че антропогенният принос за замърсяване на въздуха и повишаване на концентрацията на серен диоксид в него е значително по-голям от този на природните източници, метеорологичните фактори и локалните физикогеографски особености на териториите имат важно значение за разпространението на замърсителите в атмосферата. Това определя интереса на редица автори към изследване на връзката между метеорологични факторите и концентрация на SO_2 в атмосферния въздух. Unal et al. (2000) установяват, че най-важните параметри, силно свързани с концентрациите на SO_2 в района на Истанбул, са атмосферното налягане и приземните зонални и меридионални ветрове. Според Wu et al. (2022) и Trošić and Filipčić (2023) значително

влияние върху концентрацията на SO_2 във въздуха имат денонощната температурна амплитуда, валежите и скоростта на вятъра. Силна зависимост между концентрацията на SO_2 и метеорологичните условия установяват Tirabassi et al. (1991), Calkins et al. (2016), Kalbarczyk et al. (2019), Shelton et al. (2022) и Cai et al. (2023).

Целта на настоящото изследване е да се установят особеностите в хронологичните изменения на концентрацията на серен диоксид във въздуха в района на гр. Перник във връзка с метеорологичните елементи (температура на въздуха и вятъра) и антропогенната дейност. Анализирани са ежедневни и месечни стойности на концентрацията на SO_2 , разпределението на концентрациите през работните и почивните дни, превишенията на среднодневната норма. Оценено е влиянието на температурата на въздуха, скоростта и посоката на вятъра за промените на SO_2 в атмосферния въздух на анализирания район.

ИЗСЛЕДВАНА ТЕРИТОРИЯ, ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МЕТОДИ

Град Перник се намира в югозападния район на България и е главен административен, икономически и културен център на община Перник. Градът е разположен в Пернишката котловина, която е част от Краищенско-Средногорската природогеографска област. Котловината е разположена между южните склонове на Люлин планина и западните на Витоша на изток, рида Усоица на запад, планината Голо бърдо на юг, възвишенията Аврамова курия, Мошина могила, хълма Тева и Гладно поле на север. Град Перник заема най-ниската част на Пернишката котловина (690–750 m) като се разполага върху терасата на р. Струма. Климатът е континентален, характеризира се със студена зима и топло лято, значителни денонощни и годишни температурни амплитуди, високи валежни количества през лятото и ниски през зимата. Често срещано явление за града са температурните инверсии през зимните месеци, поради котловинния характер на релефа.

Данните, на които се базира настоящето изследване, са предоставени от Изпълнителната Агенция по околна среда (ИАОС). За целите на изследването са използвани ежедневните концентрации на SO_2 в състава на атмосферния въздух, температурата на въздуха, скоростта и посоката на вятъра са измерени от автоматична измервателна станция (АИС) Шахтьор-Център, която дава информация за качеството на атмосферния въздух за района на гр. Перник. Основният изследван период е 2006–2022 г. За целите на изследването, на база на ежедневните стойности, са изчислени средномесечни и средногодишни стойности на концентрацията на SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) във въздуха.

Чрез математико-статистически методи е характеризирано вътрешногодишното и сезонно разпределение на концентрации на SO_2 в състава на атмосферния въздух и са анализирани многогодишните изменения, както и връзката с метеорологичните елементи: температура на въздуха, посока и скорост

на вятъра. Степента на зависимост между концентрацията на SO₂ и метеорологичните елементи е определена по величината на корелационните коефициенти $|r|$, както следва: слаба при $0 < |r| < 0,3$; умерена при $0,3 \leq |r| < 0,5$; значителна при $0,5 \leq |r| < 0,7$; силна при $0,7 \leq |r| < 0,9$ и много силна при $0,9 \leq |r| < 1$ (Калоянов, 2004). Тенденциите в годишните изменения на концентрациите са установени чрез линейна регресия.

На базата на средноденоношните концентрации на SO₂ е установен броя на случаите с превишения на пределно допустимите стойности за отделните АИС, като резултатите са разделени на два периода – 2002–2009 г. и 2010–2022 г., поради факта, че действат различни нормативни уредби за КАВ за посочените години, съответно Наредба № 9/1999 г. и Наредба № 12/2010 г. Според Наредба № 9/1999 за норми на серен диоксид, азотен диоксид, фини прахови частици и олово в атмосферния въздух средноденоношната норма за серен диоксид е 125 µg/m³, като не трябва да бъде превишавана повече от 24 пъти в една календарна година. За средночасова пределно допустима стойност е определен максимума от 350 µg/m³, при който също не трябва да бъде допускано превишаване повече от 24 пъти в годината. Промяната, която се внася с Наредба № 12/2010, се състои в намаляване на позволените превишения на средноденоношната норма (125 µg/m³) на съдържащия се SO₂ във въздуха от 24 на 3 пъти в една календарна година. За средночасовия законово определен праг стойностите остават същите – 350 mg/m³ не повече от 24 пъти в годината.

Чрез корелационен анализ е изследвана връзката между съдържанието на SO₂ в атмосферата и метеорологичните параметри температура на въздуха и скорост на вятъра за всеки от месеците и за годишните стойности. За анализ на въздействието на посоката на замърсяване са изработени диаграми „роза на замърсяване“ за представителните за сезоните месеци: януари – за зимата; април – за пролетта, юли – за лятото и октомври – за есента.

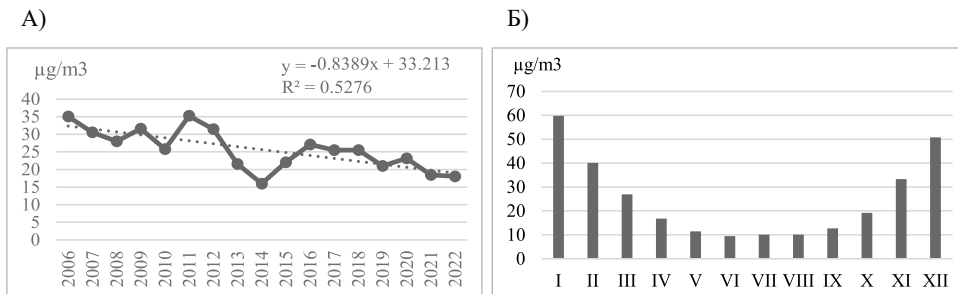
Ролята на антропогенния фактор за замърсяване на въздуха със SO₂ е определена чрез анализ на концентрацията на SO₂ в атмосферата, измерена от АИС Перник през работни и почивни дни за избрания период на изследване. Резултатите показват до каква степен антропогенната дейност през делничните и празничните дни е от значение за замърсяването на въздуха със SO₂.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Хронологични изменения на концентрациите на SO₂ във въздуха

Средните годишни стойности на концентрациите на SO₂ в атмосферния въздух в района на гр. Перник показват тенденция към намаляване (фиг. 1А). Вътрешногодишното разпределение на концентрацията на SO₂ във въздуха,

по данни, отчетени от АИС в Перник, показва ясно изразени зимен максимум (декември–февруари) и летен минимум (юни–юли), фиг. 1Б.



Фиг. 1. Концентрация на SO₂ за периода 2006–2022г., по данни от АИС Шахтьор-Център, гр. Перник: А) средногодишни стойности; Б) месечни стойности

Fig. 1. SO₂ concentration for the period 2006–2022, according to data from automatic measuring station (AMS) Shakhtyor-Center, Pernik: A) average annual values; B) monthly values

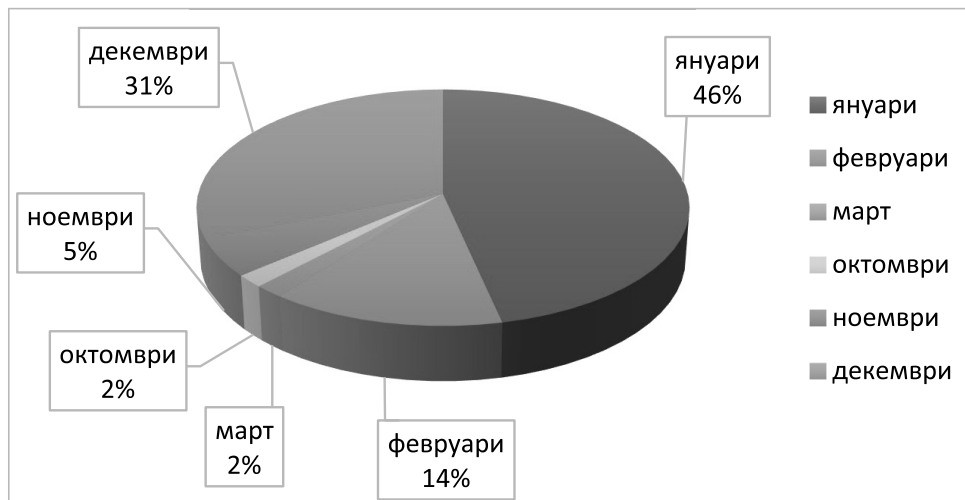
За периода 2002–2009 г. превишенията на средноденонощната норма (СДН) от 125 µg/m³ са били най-малко (8) през 2002 г. и най-много (24) през 2003. Г. Но според тогава действащата Наредба № 9, която определя, че средноденонощната норма за серен диоксид от 125 mg/m³ не трябва да бъде превишавана повече от 24 пъти в една календарна година, превишения на пределно допустимата граница няма. От 15.07.2010 г. влиза в сила Наредба № 12, според която броят на превишенията не трябва да е повече от 3 пъти за една година. Данните за изследвания период показват превишение на границата по Наредба № 12 за редица години (фиг. 2).



Фиг. 2. Брой дни с превишения на СДН на SO₂ от 125 µg/m³

Fig. 2. Number of days with exceedances of the average daily SO₂ norm of 125 µg/m³

Най-голям брой дни с превишения на СДН са отчетени през януари (27) и декември (18). Това вероятно е следствие от ниските температури, проявата на температурни инверсии и повишената употреба на въглища за отопление. Броят на превишенията през месец януари е 46% от общия брой на превишенията за периода октомври – март, а през декември – 31% (фиг. 3).



Фиг. 3. Брой дни с превишения на пределно допустимите концентрации на SO_2 по месеци за периода 2010–2022 г. (в % от общия брой превишения за октомври–март)

Fig. 3. Number of days with exceedances of the maximum permissible concentrations of SO_2 by months for the period 2010–2022 (in % of the total number of exceedances for October–March)

Най-големите замърсители на въздуха със SO_2 за гр. Перник са ТЕЦ „Република“, битовото отопление и откритите въглищни мини. Масовата употреба на нискокачествени въглища с високо пепелно съдържание от ТЕЦ „Република“ и от домакинствата е сериозна пречка за подобряване качеството на атмосферния въздух в района на гр. Перник.

Влияние на метеорологичните елементи и антропогенната дейност върху концентрацията на SO_2 в атмосферния въздух в района на гр. Перник

Връзката между метеорологичните условия и съдържанието на SO_2 в атмосферния въздух е анализирана от Георгиев и др. (2016) за гр. София и Иванов (2017) за района на Перник. Според Георгиев и др. (2016) височината на слоя на турбулентия има определяща роля за съдържанието на замърсители в атмосферата. Авторите подчертават, че през зимните месеци стойностите са в пъти по-високи в сравнение с тези през останалата част от годината. При-

чината, която те смятат за основна е ниското разположение на височината на слоя на турбуленция, както и характерните за гр. Перник за зимния сезон мъгли и безветрие. От гледна точка на метеорологичните параметри, за качеството на атмосферния въздух в района на Перник от голямо значение са температурните инверсии. Инверсионният слой, образуващ се над Пернишката котловина, служи за преграда, която вредните емитирани вещества не могат да преодолеят и следователно не могат да се разсеят от въздушните течения (Иванов, 2016).

В настоящето изследване се анализират коефициентите на корелация между съдържанието на SO_2 в атмосферния въздух и температурата на въздуха. На тази база е получена информация за това до каква степен промяната на температурата оказва въздействие върху количеството SO_2 във въздуха. Анализът на корелационните коефициенти между SO_2 в атмосферния въздух и температурата на въздуха показва отрицателна, но по-добре изразена връзка през студените месеци (от ноември до март), табл. 1. Най-слаба връзка между концентрацията на SO_2 в атмосферния въздух и температурата на въздуха се установява през август – октомври.

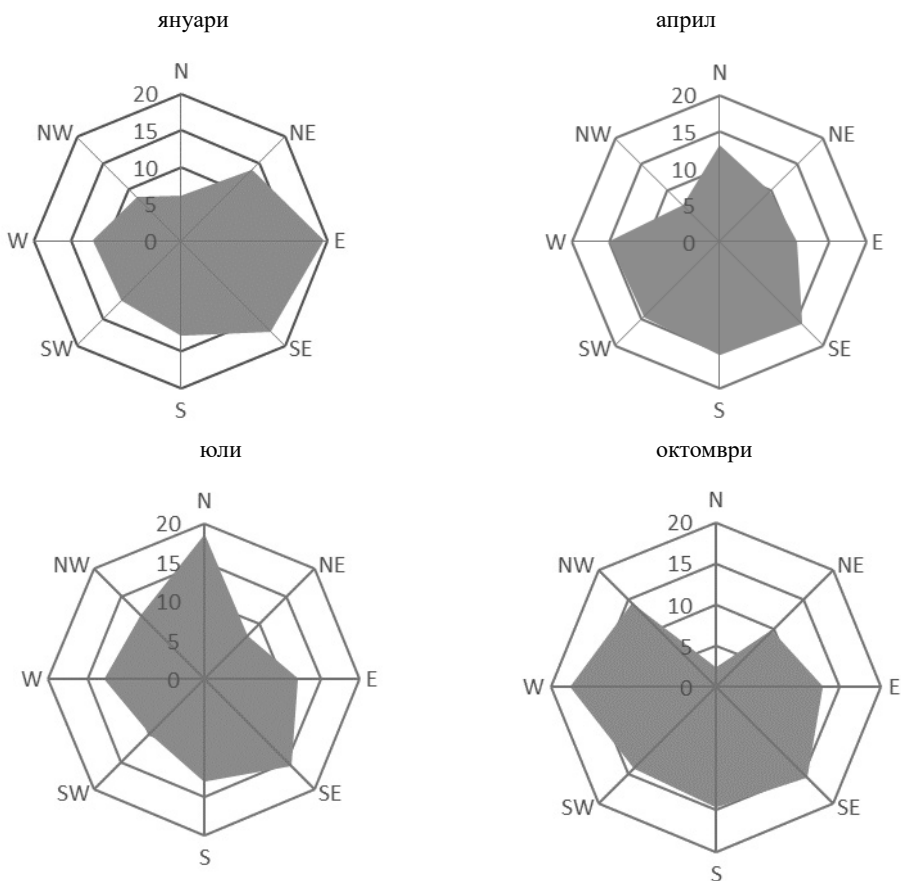
Таблица 1
Table 1

Коефициенти на корелация между концентрацията на SO_2 в атмосферния въздух и метеорологичните елементи (температура на въздуха – T и скорост на вятъра – WS) за периода 2006–2018, по данни от АИС Шахтьор-Център, гр. Перник
Correlation coefficients between the concentration of SO_2 in atmospheric air and meteorological elements (air temperature – T and wind speed – WS) for the period 2006–2018, according to data from AMS Shakhtyor-Center, Pernik

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T	-0,32	-0,68	-0,66	0,27	0,3	0,32	0,46	0,04	0,05	-0,08	-0,41	-0,47
WS	-0,36	-0,52	-0,19	-0,29	-0,36	-0,16	0,12	-0,07	0,33	-0,28	-0,31	-0,43

За района на гр. Перник корелационните коефициенти показват слаба до умерена връзка между количествата SO_2 във въздуха и скоростта на вятъра като единствено през месец февруари се отчита значителна такава (-0,52), табл. 1.

Анализите на диаграмите „роза на замърсяването“ дават информация за концентрацията на SO_2 в изследваните територии във връзка с посоката на вятъра. Розата на замърсяване със SO_2 за месец януари показва, че най-високи концентрации на замърсителя се наблюдават при източни и югоизточни ветрове. По данни от АИС Шахтьор-Център около 36% от концентрациите на SO_2 в атмосферата са отчетени при източен и югоизточен вятър (фиг. 4).



Фиг. 4. Роза на замърсяването със SO_2 за представителни за сезоните месеци, по данни от АИС Шахтьор-Център, гр. Перник за периода 2006–2018 г.
 Fig. 4. SO_2 pollution rose for the representative of the seasons, and months, according to data from AMS Shakhtyor-Center, Pernik for the period 2006–2018.

Ветровете от южната четвърт на хоризонта имат най-голям принос за концентрациите на SO_2 през месец април. През юли най-силно е било замърсяването със SO_2 в дни със северен вятър, а през октомври – в дните със западен, югоизточен и южен вятър (фиг. 4).

Анализът на данните за SO_2 , измерени в работни и почивни дни, има за цел да покаже доколко антропогенната дейност има влияние за концентрацията на SO_2 във въздуха. В табл. 2 са представени средните стойности на съдържанието на SO_2 във въздуха за работни и почивни дни за месеците януари, април, юли и октомври за периода 2006–2019 г. за района на гр. Перник. Резултатите показват, че концентрацията на SO_2 в атмосферния въздух не се влияе от това дали денят е работен или почивен, т.е. не е повлияна от интензивността на различни антропогенни дейности в района. Този резултат е оч-

акван, тъй като работата на ТЕЦ, която е основен замърсител на въздуха със серни съединения, продължава всеки ден и не е ограничена само в работните дни от седмицата.

Таблица 2

Table 2

Средни стойности на концентрацията на SO₂ за работни (РД) и почивни (ПД) дни за периода 2006–2019 г. (µg/m³)
Average SO₂ concentration values for working (РД) and non-working (ПД) days for the period 2006–2019 (µg/m³)

Дни	Януари	Април	Юли	Октомври
РД	65,49	16,36	9	19,78
ПД	64,76	16,75	8.71	18,25

По-високите стойности на SO₂ през студено полугодие се обясняват с използването на твърдо гориво за отопление и по-голямата устойчивост на атмосферния въздух, която възпрепятства разпространението на замърсителите във въздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на ежедневни данни, предоставени от ИАОС за АИС, за концентрацията на SO₂, и основните метеорологични параметри (температура на въздуха, посока и скорост на вятъра), са определени особеностите във вътрешногодишното разпределение на SO₂, тенденциите в изменението за периода 2006–2022 г. и е установена връзката между SO₂ и метеорологичните параметри. Анализирани са редица литературни източници и нормативни документи и са определени случаите с превишения на SO₂ над пределно допустимите норми. Резултатите от извършените изчисления и анализи дават основание да се направят следните изводи:

– Вътрешногодишното разпределение на концентрациите на SO₂ в атмосферния въздух в района на гр. Перник е с максимум през зимата и минимум през лятото, като стойностите през януари са по-високи от тези през юли с около 6–7 пъти.

– Въпреки тенденцията към понижаване на замърсяването със SO₂, се наблюдават превишения на пределно допустимите норми, като най-голям брой дни с превишения са регистрирани през януари (46% от дните с превишения за периода 2006–2020 г.) и през декември (31%).

– Месечното разпределение на SO₂ показва ролята на метеорологичния фактор и отоплението през студено полугодие за повишаване на концентрацията на SO₂ в атмосферния въздух на изследваната територия. Добре изразената обратна зависимост между температурата на въздуха и концентрацията на SO₂ през студено полугодие се потвърждава и от изчислените корелационни ко-

ефициенти, които са със стойности между -0,32 и -0,68 за зимните месеци. За зимните месеците се установява и по-добре изразена отрицателна корелация между SO_2 и скоростта на вятъра. Разпределението на концентрациите на SO_2 по дни, с преобладаваща посока на вятъра, показва най-високи стойности при източни, югоизточни и южни ветрове. Изключение е месец юли с най-високи стойности на концентрацията на SO_2 в дните със северен вятър.

– Не се установяват значими различия между концентрациите на SO_2 в атмосферния въздух в работни и в почивни дни, което е свързано с характера на замърсяването от ТЕЦ „Република“, работеща без прекъсване.

Настоящото изследване допринася за изясняване на тенденциите и причините за замърсяването на въздуха със SO_2 , като резултатите могат да се използват при разработване на планове и програми за развитие на района и при предлагане на мерки за ограничаване и предотвратяване на замърсяването на атмосферния въздух със SO_2 .

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикацията представя резултати от дипломната работа на Антоана Димитрова, за придобиване на образователна степен Магистър по изменение на климата и управление на водите, с тема „Концентрация на серен диоксид в Югозападна България“. Част от изследването е извършено в рамките на проект BG05M2OP001-1.002-0019 „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“.

ЛИТЕРАТУРА

- Георгиев, О., Велева, Бл., Христова, Е., Бъчварова, Е., Коларова, М., 2016.: „Връзка между метеорологичните характеристики и замърсяването на въздуха в София“, 3rd National Congress on Physical Sciences, 29 Sep. – 2 Oct. 2016, Sofia.
- Иванов, К., 2017.: Състояние на качеството на атмосферния въздух в Пернишката котловина през 2001 г.
- Иванов, К., 2016.: Климатични особености и качество на атмосферния въздух в Пернишката котловина през последните три десетилетия, Годишник на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ Геолого-географски факултет Книга 2 – География Том 108.
- Калоянов Т., 2004. Статистика, „Тракия – М“, София., с. 360.
- МОСВ и МЗ Наредба № 12 от 15 юли 2010 г. за норми на серен диоксид, азотен диоксид, фини прахови частици, бензен, въглероден оксид и озон в атмосферния въздух, Обн., ДВ, бр. 58 от 30 юли 2010 г., изм. и доп., ДВ, бр. 48 от 16 юни 2017 г., изм. и доп., ДВ, бр. 79 от 8 октомври 2019 г.
- МОСВ Наредба № 9 от 3 май 1999 г. за норми на серен диоксид, азотен диоксид, фини прахови частици и олово в атмосферния въздух, Обн. ДВ, бр. 46 от 18 май 1999 г., изм. ДВ, бр. 86 от 28 октомври 2005 г., отм. ДВ, бр. 58 от 30 юли 2010 г.

- Li, C., McLinden, C., Fioletov, V., Krotkov, N., Carn, S., Joiner, J., Streets, D., He, H., Ren, X., Li, Z., and Dickerson, R.R., 2017.: India Is Overtaking China as the World's Largest Emitter of Anthropogenic Sulfur Dioxide, *Scientific Reports* volume 7, Article number: 14304.
- Cai, X., Yu, J., Qin, Y., 2023 Spatial Distribution of Air Pollution and Its Relationship with Meteorological Factors: A Case Study of 31 Provincial Capitals in China.
- Calkins C., Ge G., Wang J., Anderson M., Yang K. 2016. Effects of meteorological conditions on sulfur dioxide air pollution in the North China Plain during winters of 2006–2015. *Atmospheric Environment* 147; 296–309.
- Cofala, J., Amann, M., Klimont, Z., Kupiainen, K., and Hoglund-Isaksson, L., 2007.: Scenarios of global anthropogenic emissions of air pollutants and methane until 2030, *Atmos. Environ.*, 41, 8486–8499.
- Dignon, J.; Hameed, S., 1989.: “Global emissions of nitrogen and sulfur oxides from 1860 to 1980,” *JAPCA* 39:180.
- Eliassen, A. and Saltbones, J., 1983.: Modelling of long-range transport of sulfur over Europe: A two-year model run and some model experiments, *Atmos. Environ.*, 17, 1457–1473.
- Grennfelt, P. and Hov, Ø., 2005.: Regional air pollution at a turning point, *Ambio*, 34(1), 2–10
- Gschwandtner, G., Gschwandtner, K., Eldridge, K., Mann, C., and Mobley, D., 1986.: Historic emissions of sulfur and nitrogen oxides in the United States from 1900 to 1980, *Journal of Air Pollution Control Association*, 36, 139–149.
- Kalbarczyk R., Kalbarczyk E., Ziemiańska M. 2019. Sulfur dioxide concentrations within the city of Poznań (mid-west Poland) from 2005 to 2016 – the temporal structure and dependence on meteorological conditions. *J. Elem.*, 24(2): 539–557. DOI: 10.5601/jelem.2018.23.3.1669.
- Lefohn, A. S., Husar, J. D., and Husar, R. B., 1999.: Estimating historical anthropogenic global sulfur emission patterns for the period 1850–1990, *Atmos. Environ.*, 33, 3435–3444.
- Lu, Z., Streets, D. G., Zhang, Q., Wang, S., G. R. Carmichael, G. R., Cheng, Y. F., Wei, C., Chin, M., Diehl, T., and Tan, Q., 2010.: Sulfur dioxide emissions in China and sulfur trends in East Asia since 2000, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6311–6331 www.atmos-chem-phys.net/10/6311/2010/.
- Menz, F. C. and Seip, H. M., 2004.: Acid rain in Europe and the United States: an update, *Environ. Sci. Policy*, 7(4), 253–265, doi:10.1016/j.envsci.2004.05.005.
- OECD, 1977.: The OECE programme on Long Range Transport of Air Pollutants. Measurements and Findings, Report 35.192, Paris.
- Örn, G., Hansson U., and Rodhe, H., 1996.: Historical worldwide emissions of anthropogenic sulfur: 1860–1985, Department of Meteorology, Stockholm University, Report CM-91.
- Shelton S, Liyanage G., Jayasekara S, Pushpawela B., Rathnayake U., Jayasundara A, Jayasooriya D. L. 2022, Seasonal Variability of Air Pollutants and Their Relationships to Meteorological Parameters in an Urban Environment, *Advances in Meteorology*, vol. 2022, Article ID 5628911, 18 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5628911>.
- Smith, S. J., Aardenne, J. Van., Klimont, Z., Andres, R. J., Volke, A., and Delgado Arias S., 2011.: Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1101–1116 www.atmos-chem-phys.net/11/1101/2011/.

- Tirabassi, T.; Fortezza, F.; Vandini, W. 1991. Wind circulation and air pollutant concentration in the coastal city of Ravenna. *Energy Build.* 1991, 16, 699–704.
- Trošić Lesar, T.; Filipčić, A. 2023. Prediction of the SO₂ Hourly Concentration for Sea Breeze and Land Breeze in an Urban Area of Split Using Multiple Linear Regression. *Atmosphere* 2023, 14, 420. <https://doi.org/10.3390/atmos14030420>.
- Unal Y. S., Incecik S., Borhan Y., Menten S. 2000. Factors Influencing the Variability of SO₂ Concentrations in Istanbul, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50:1, 75-84, DOI: 10.1080/10473289.2000.10463981.
- US EPA, 1996. US Environmental Protection Agency, National Air Pollutant Emission Trends, 1900–1995, EPA-454/R-96-007, Washington, DC.
- Vestreng, V., Myhre, G., Fagerli, H., Reis, S., and Tarrasøn., 2007.: Twenty-five years of continuous sulfur dioxide emission reduction in Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 3663–3681 www.atmos-chem-phys.net/7/3663/2007/.
- Whelpdale, D. M., Dorling, S. R., Hicks, B. B., and Summers, P. W., 1996.: Atmospheric process, in *Global Acid Deposition Assessment*, edited by: Whelpdale, D. M. and Kaiser, M. S., World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch, Report Number 106, Geneva, 7–32.
- Wu, H.; Hong, S.; Hu, M.; Li, Y.; Yun, W. Assessment of the Factors Influencing Sulfur Dioxide Emissions in Shandong, China. *Atmosphere* **2022**, 13, 142. <https://doi.org/10.3390/atmos13010142>.

SUMMARY

CONCENTRATIONS OF SULFUR DIOXIDE IN AMBIENT AIR AT THE REGION OF PERNIK

The present study aims to determine the peculiarities of the chronological changes in the concentration of sulfur dioxide in the air in the area of the town of Pernik about meteorological elements (air temperature and wind) and anthropogenic activity.

Using mathematical-statistical methods, daily data for SO₂ concentration and the main meteorological parameters (air temperature, wind direction, and speed) provided by the Bulgarian Environmental Executive Agency were processed and the peculiarities in the intra-annual distribution of SO₂, the trends for the period 2006–2022 were determined and the relationship SO₂ – meteorological parameters was established. Several literary sources and regulatory documents have been analyzed and the cases of SO₂ exceeding the norms have been determined. The results of the performed calculations and analyses give reason to draw the following conclusions:

The intra-annual distribution of SO₂ concentrations in the atmospheric air in the region of Pernik has a maximum in winter and a minimum in summer, with the values in January being higher than those in July by about 6–7 times.

Despite the downward trend in SO₂ pollution, exceedances of the norms are observed, with the highest number of days with exceedances recorded in January (46% of days with exceedances for the period 2006–2020) and in December (31%)

The monthly distribution of SO₂ shows the role of the meteorological factor and heating during the cold period of the year in increasing the concentration of SO₂ in the atmospheric air of the studied territory. The well-expressed inverse relationship between air temperature

and SO₂ concentration during the cold period is also confirmed by the calculated correlation coefficients, which have values between -0.32 and -0.68 for the winter months. A more pronounced negative correlation between SO₂ and wind speed is also found for the winter months. The distribution of SO₂ concentrations by prevailing wind direction days shows the highest values for east, southeast, and south winds. An exception is the month of July, with the highest SO₂ concentration values on days with a northerly wind.

No significant differences are found between the concentrations of SO₂ in the atmospheric air on working days and on weekends, which is related to the nature of the pollution from the thermal power plant “Republika”, operating without interruption.

The present study contributes to clarifying the trends and causes of air pollution with SO₂, and the results can be used in elaborating plans and programs for the development of the area and in proposing measures to limit and prevent atmospheric air pollution with SO₂.