

## DYNAMIC ROWS AND MODELS OF SULFUR DIOXIDE POLLUTION IN ATMOSPHERIC AIR<sup>17</sup>

---

**Lyubomir Vladimirov<sup>18</sup>, DSc, PhD**

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering

“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Phone: +359 82 888 481

E-mail: lvvladimirov@uni-ruse.bg

***Abstract:** Seven main indicators of sulfur dioxide pollution were used - maximum average hourly concentrations; average - hour concentrations; the maximum average - daily concentrations; average - daily concentrations; average - monthly concentrations; average annual concentrations. Concentrations are analyzed as a function of time. Two time indicators are used. The first indicator is the time series, which reflect the change by hours, months and years. The second indicator of the change over time is the trend. It describes time series with regression models and illustrates general trends. Changes in pollutant concentrations were processed by dynamic analysis. Trend models are built, which are functions of time. They reflect the trends and patterns in changes in concentrations. Linear and nonlinear trend models are used. After the preliminary analysis, the emphasis is on six models - a linear model; logarithmic model; polynomial model; multiplicative model; exponential model; model of moving averages. The results are systematized and the obtained models are summarized.*

***Keywords:** sulfur dioxide, indicator, concentration, pollutant, air.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Серният диоксид се резорбира непосредствено в горните дихателни пътища на хората. При интензивно дишане достига алвеолите. Дразни слизестите обвивки. Усилва отделянето на секрети. Инкорпорираният в човешкия организъм серен диоксид може да се задържа до едно денонощие поради свързване с протеините. Действието на серния диоксид върху хората се обяснява с обратимо спиране на парасимпатиковата нервна система. Тя контролира тонуса на гладката мускулатура на дихателните органи. Тези ефекти и широкото разпространение на серния диоксид в атмосферния въздух го прави обект на особено внимание и изследвания (Владимиров, 2012).

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Целта на изследването е да се установят закономерностите на изменение на концентрациите на серен диоксид в атмосферния въздух в г. Русе на денонощна, месечна и годишна база данни.

Решават се три задачи: 1) Формиране на едномерни, двумерни и тримерни групировки на данни за средноденонощните, средномесечните и средногодишните концентрации; 2) Построяване на динамичните статистически редове; 3) Определяне на регресионните модели на тренда на изменение на концентрациите.

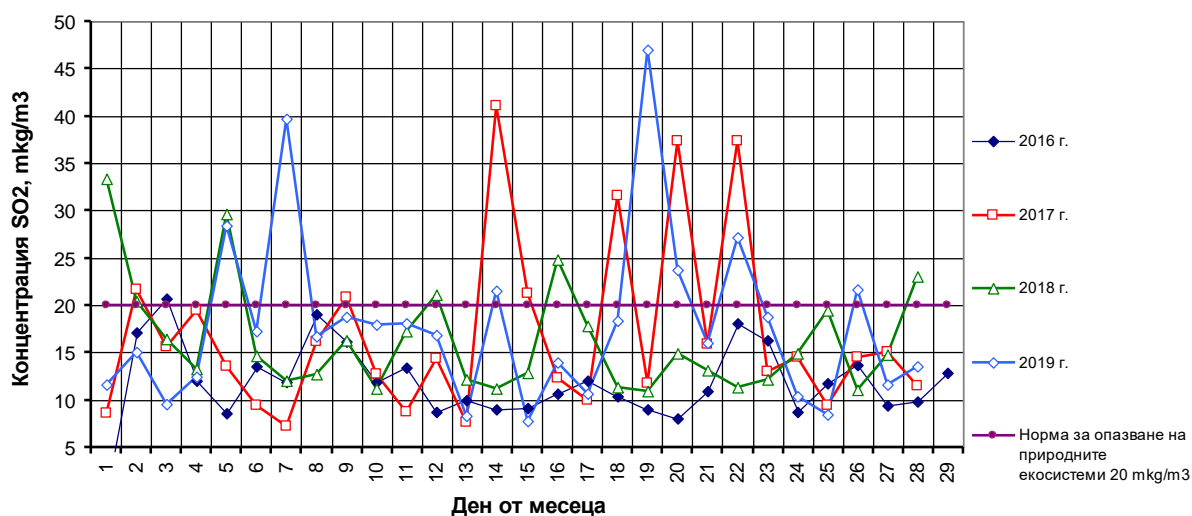
Използвани са данни от измервания в автоматичната измервателна станция «Възраждане» в едноименния квартал на Русе (Владимиров, 2020). Формирани са статистически групировки въз основа на съвкупност от близо 240000 резултата. Избрани са извадки от генералната съвкупност за концентрациите на серния диоксид. Използвани са дневни, месечни и годишни извадки от данните на средночасовите и максималните средночасови концентрации, средноденонощните, средномесечни и средногодишни концентрации.

---

<sup>17</sup> Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Екология и опазване на околната среда“ на 13 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ДИНАМИЧНИ РЕДОВЕ И МОДЕЛИ НА ЗАМЪРСЯВАНЕТО СЪС СЕРЕН ДИОКСИД В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ

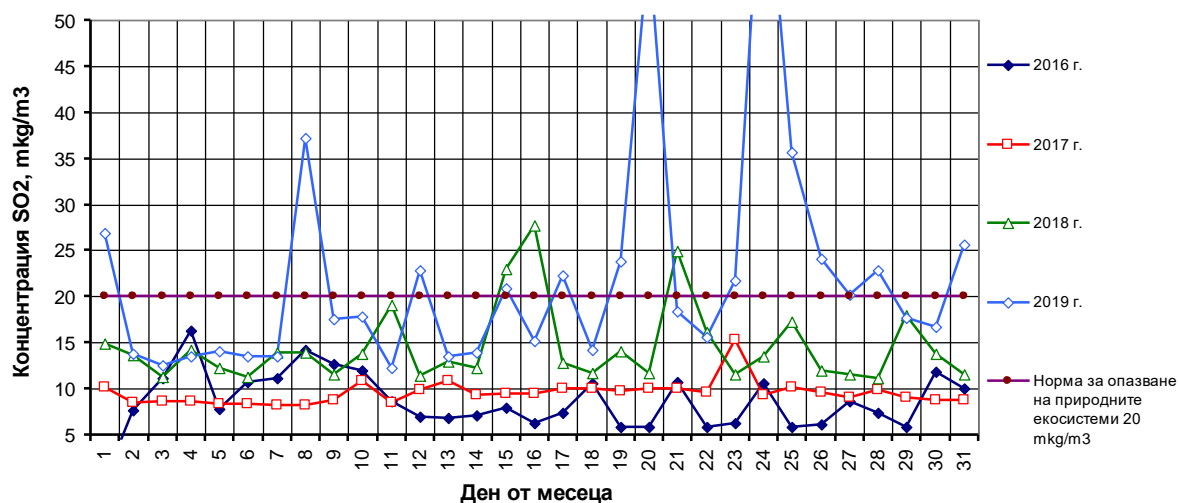
<sup>18</sup> Professor of Administration and Management and Associate Professor of General Engineering

Концентрациите на серния диоксид се анализират като случайни величини, които разгледани във функция на времето са представени като динамични редове (Манов, 2001).



Фиг. 1. Средночасови концентрации на серен диоксид през месец февруари

На фиг. 1 и фиг. 2 са илюстрирани динамичните редове на средночасовите концентрации и максималните средночасови концентрации през месец февруари и август 2016 - 2019 г. Резултат са от разработването на Екологичен регистър на Община Русе (Владимиров, Л., 2020).



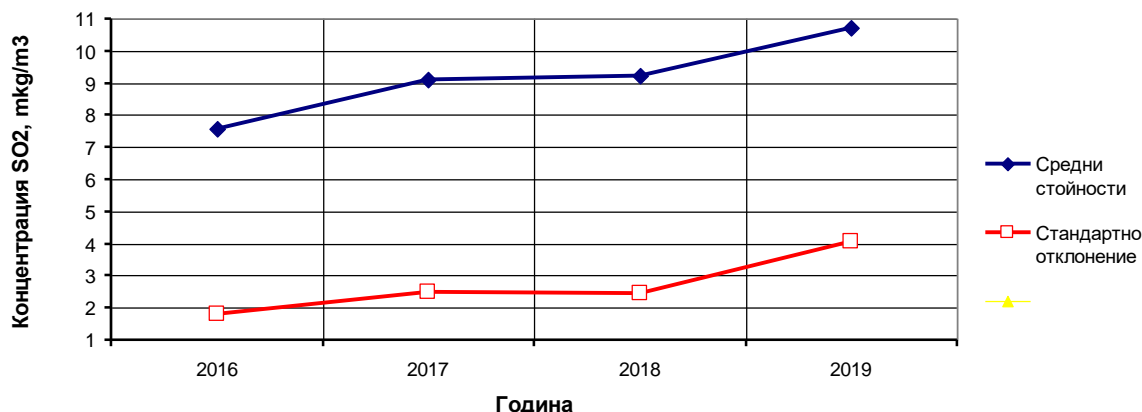
Фиг. 2. Максимални средночасови концентрации на серен диоксид през месец август

Определени са теоретичните и емпиричните разпределения. Установени са числените характеристики на положението и разсейването на стойностите на концентрациите на серен диоксид и показателите за формата на разпределенията.

Най-характерните разпределения са логаритмично - логистично разпределение за средночасовите концентрации и разпределението на Пирсон за максималните средночасови концентрации.

За да се сравняват средночасовите и максималните средночасови концентрации и за да се съпоставят с характеристиките на други замърсители на атмосферния въздух са използвани средните стойности и стандартното отклонение. Така се отчита положението и разсейването на концентрациите на серен диоксид.

На фиг. 3 и фиг. 4 са илюстрирани измененията на средните стойности и стандартните отклонения по годишни извадки.



Фиг. 3. Средни стойности и стандартни отклонения на средночасовите концентрации на база годишна извадка

Средната стойност се прилага за оценяване на съответствията с нормите съгласно действащите в страната ограничения. Средночасовата норма за опазване на човешкото здраве е  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Допустимото отклонение е  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Това са 43% или с отклонението моментната гранична стойност е  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

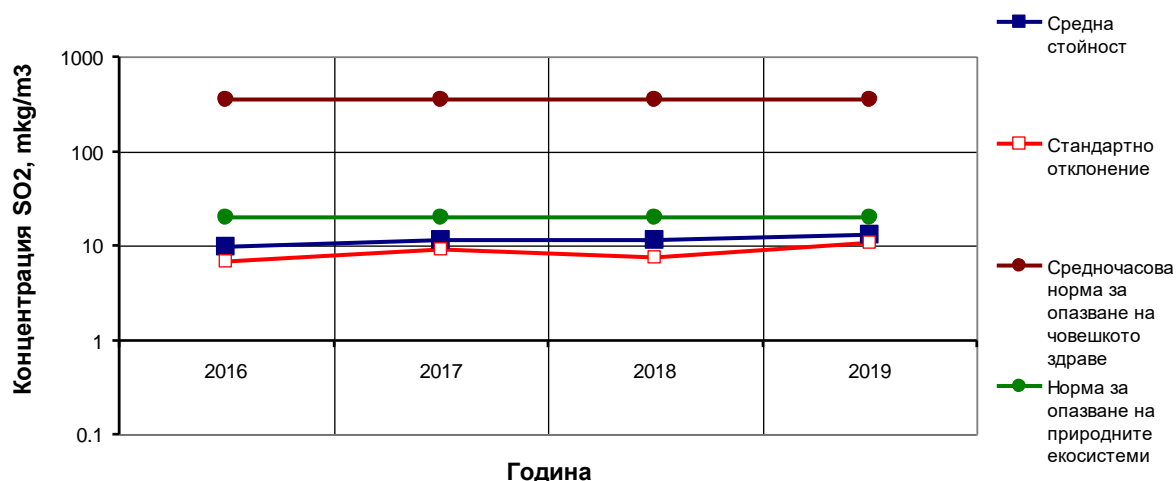
При изследването бе констатирано, че средночасовата норма за опазване на човешкото здраве е многократно по-голяма от максималните стойности и от средните стойности на измерените концентрации. Важи за всички месеци в годините на периода 2016-2019 г. Нормата за опазване на природните екосистеми е  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  за една календарна година при отчитане на продължителността на зимния период от 1 октомври до 31 март. Тази норма не се прилага в непосредствена близост до източниците на замърсяване. Не се предвиждат допустими отклонения от нормата. От фиг. 3 и фиг. 4 се вижда, че нормата за опазване на екосистемите се превишава многократно и често.

Анализът на данните и графичната им интерпретация показва, че концентрацията на серен диоксид е много променлива величина. Наблюдава се разсейване с поява на максимални стойности с продължителност от 1 до 4-5 дни.

Таблица 1. Регресионни модели на тренда

База данни	Средночасови концентрации		Максимални средночасови концентрации	
	Регресионен модел на тренда	Коефициент на детерминация	Регресионен модел на тренда	Коефициент на детерминация
Дневни извадки	$y = 0.645\text{Ln}(t) + 13.853$	$R^2 = 0.3018$	$y = -0.0699t + 14.261$	$R^2 = 0.2155$
Месечни извадки	$y = 1.239t - 0.1367$	$R^2 = 0.2251$	$y = 1.8321\text{Ln}(t) + 9.3204$	$R^2 = 0.626$
Годишни извадки	$y = 1.078t + 8.73$	$R^2 = 0.9171$	$y = 1.019t + 5.935$	$R^2 = 0.5434$

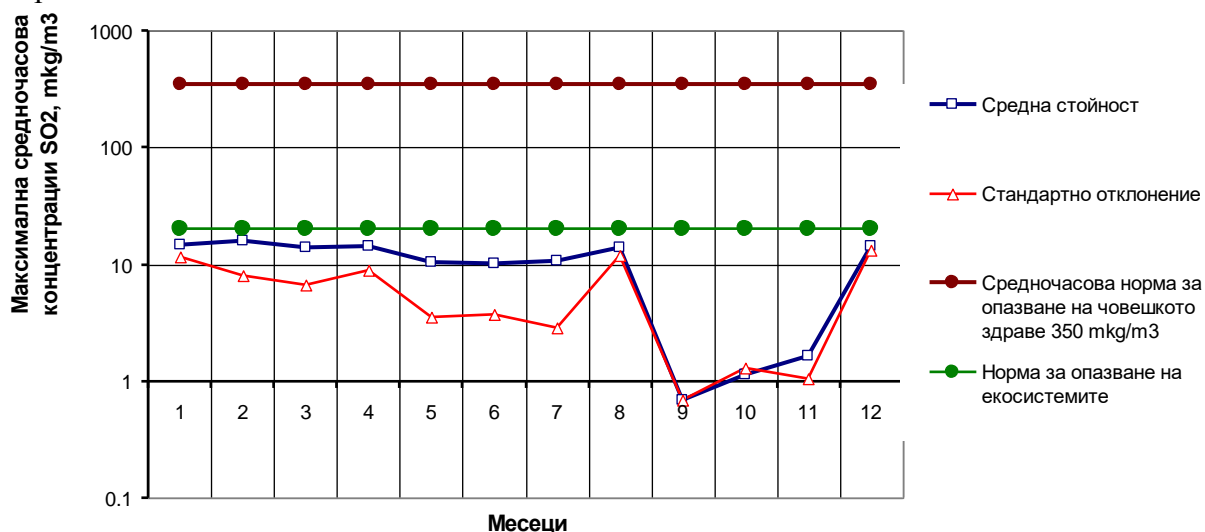
При оценяване на съответствията лесно се установява, че текущо измерените стойности за концентрацията на серен диоксид при дискретизация на времето по дни не се превишава през разглежданите месеци.



Фиг. 4. Средни стойности и стандартни отклонения на максимални средночасови концентрации на база годишна извадка през 2016-2019 г.

В летните месеци средните стойности са по-малки в сравнение с есенно - зимните месеци. Разликата не е особено значима, но съществува.

Динамичните редове на концентрациите на серния диоксид са с много вариации на стойностите. Не се установява изразена периодичност и цикличност. Потвърждава се и от регресионните модели на тренда. Визуално не се наблюдава изразена повторяемост във времето. Подходящо е да се приложи теорията на случайните процеси и определяне на спектрите на концентрациите, спектралната плътност и взаимната корелация през времеви интервали.



Фиг. 5. Средни стойности и стандартно отклонение на максималните средночасови концентрации на месечна извадка

Нормата за въздействие върху екосистемите се превишава непрекъснато. Превишаванията продължават до седмици. Най-често се появява през зимните месеци - януари и февруари. Подобно е и за останалите зимни месеци, което се доказва от илюстрациите и таблично представените данни в проекта за Екологичен кадастър на Община Русе (Владимиров, Л., 2020).

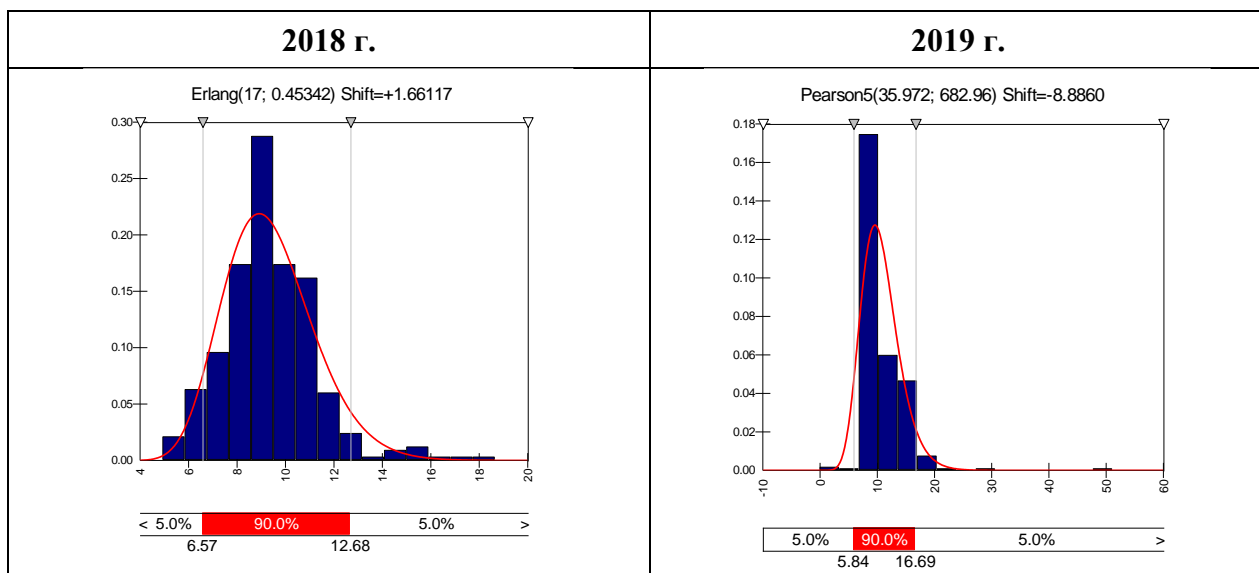
Тенденциите на изменение на максималните средночасови концентрации на серен диоксид важат и за четирите години на наблюдение -2016-2019 г. Най-интензивни и с по-високи стойности са концентрациите през 2017 и 2019 г. Стандартното отклонение е със стойности, които са много близки до средните стойности. Това показва, че разсейването на концентрациите на серен диоксид е голямо.

Моделуването на тренда (таблица 1) е подходящо както за средните стойности, така и за стандартните отклонения. Могат да се опишат с достатъчна точност границите и характера на измененията. Въз основа на тях има възможност да се търсят причини и обяснения на механизма на трансформирането им върху характеристики на атмосферния въздух.

Определени са теоретичните и емпиричните разпределения на средноденоношните концентрации. Установени са също числените характеристики на положението и разсейването на случайните им стойности и показателите за формата на разпределенията. Дадени са в таблица 2. Емпиричните и теоретичните разпределения на средноденоношните концентрации се различават от средночасовите. Показателите на разпределенията са от сравним порядък.

Таблица 2. Теоретични и емпирични разпределения

2016 г.			2017 г.		
	Разпределения			Разпределения	
	Теоретично	Емпирично		Теоретично	Емпирично
Function	Loglogistic		Function	Loglogistic	
g	-2.99771		g	-18.4644	
b	10.50088		b	27.40878	
a	11.88518		a	22.63949	
Left X	5.2	5.2	Left X	5.6	5.6
Left P	95.00%	98.09%	Left P	95.00%	98.07%
Right X	10.46	10.46	Right X	12.75	12.75
Right P	5.00%	9.29%	Right P	5.00%	9.12%
Diff. X	5.2564	5.2564	Diff. X	7.1496	7.1496
Diff. P	90.00%	88.80%	Diff. P	90.00%	88.95%
Minimum	-2.9977	0	Minimum	-18.464	0
Maximum	$+\infty$	19.213	Maximum	$+\infty$	22.197
Mean	7.6265	7.8475	Mean	9.0326	9.1764
Mode	7.3552	0.0000	Mode	8.8376	0.0000
Median	7.5032	7.3094	Median	8.9444	8.7613
Std. Deviation	1.6445	2.098	Std. Deviation	2.2115	2.6114
Variance	2.7044	4.3896	Variance	4.8907	6.8007
Skewness	0.7708	1.9091	Skewness	0.3898	0.6204
Kurtosis	5.7312	10.3702	Kurtosis	4.5788	8.1617

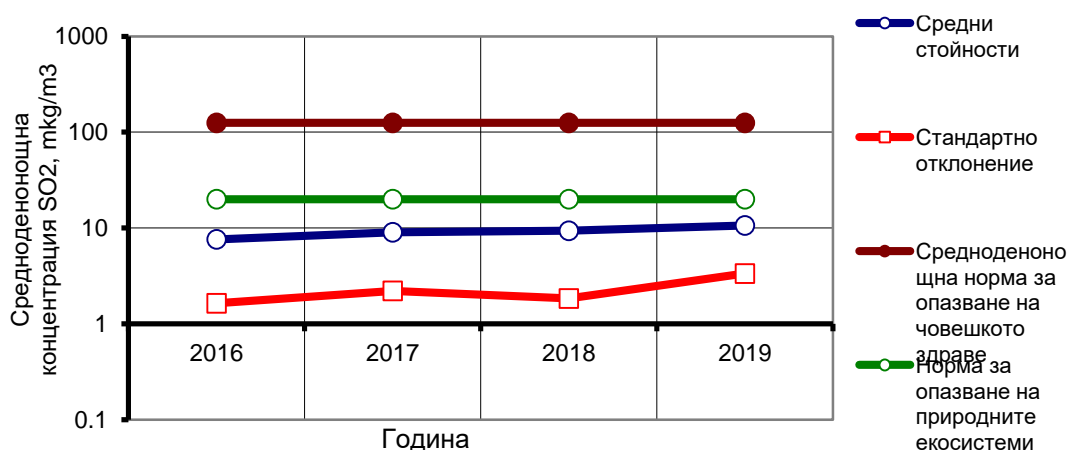


	Разпределения			Разпределения	
	Теоретично	Емпирично		Теоретично	Емпирично
Function	Erlang		Function	Pearson5	
m	17		a	35.97231	
b	0.453419		b	682.9621	
Left X	6.57	6.57	Left X	5.84	5.84
Left P	95.00%	94.25%	Left P	95.00%	99.43%
Right X	12.68	12.68	Right X	16.69	16.69
Right P	5.00%	3.84%	Right P	5.00%	4.25%
Diff. X	6.1071	6.1071	Diff. X	10.8444	10.8444
Diff. P	90.00%	90.41%	Diff. P	90.00%	95.18%
Minimum	1.66117	4.9389	Minimum	-8.886	0
Maximum	$+\infty$	18.663	Maximum	$+\infty$	51.138
Mean	9.3693	9.3693	Mean	10.643	10.669
Mode	8.91588	10.243	Mode	9.5863	0.0000
Median	9.2187	9.1501	Median	10.277	9.4847
Std. Deviation	1.86949	1.9014	Std. Deviation	3.3505	3.8753
Variance	3.49501	3.6055	Variance	11.226	14.975
Skewness	0.4851	0.9109	Skewness	0.7071	3.8456
Kurtosis	3.3529	5.7324	Kurtosis	3.9611	36.9471

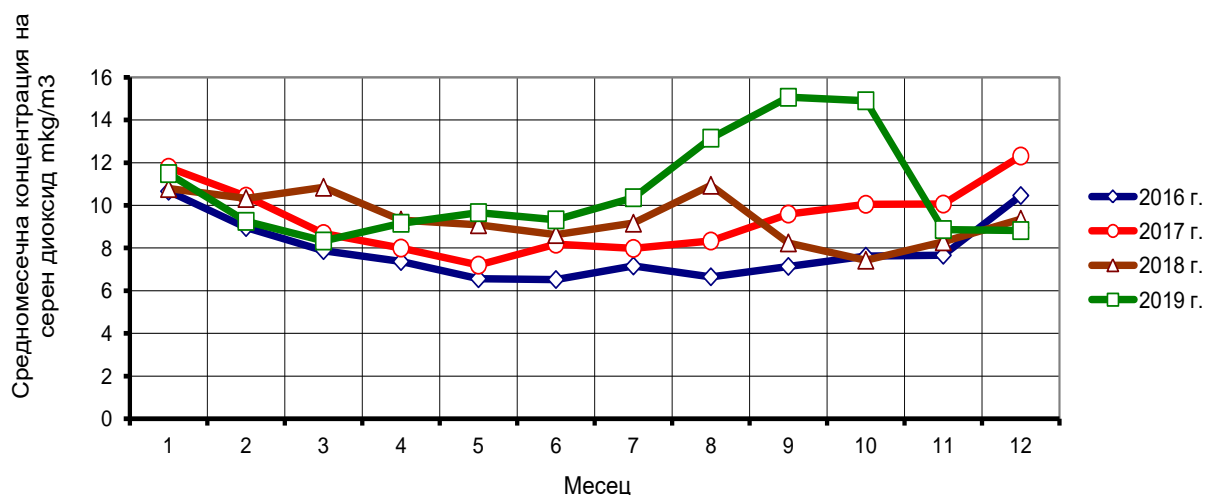
Средноденоношна норма за опазване на човешкото здраве е  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Тя не трябва да превишава повече от 3 пъти в рамките на една календарна година. Не са установени такива превишавания - фиг. 6. Максималните стойности на средноденоношната концентрация през периода 2016-2019 г. е 4-5 пъти по-малка от посочената норма.

Средномесечните стойности на концентрациите на серен диоксид не се нормират. На фиг. 7 са показаните стойностите и динамиката им през 2016-2019 г. Максималните стойности са от порядъка на средночасовите и средноденоношните. Вижда се, че са около пет пъти по-ниски. Установява се незначително нарастване на концентрациите през 2019 г. спрямо предходните. Нарастването е от порядъка на  $2-2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , например спрямо 2018 г. Отнесено към нормата  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  за средноденоношните концентрации увеличението е незначително. Потвърждава се и от илюстрациите в проекта за Екологичен кадастър на Община Русе (Владимиров, Л., 2020). Там са изложени и други графични сравнения. Те потвърждават превишаването на нормата за природни екосистеми. Има се предвид сравнения както със средночасовите, така и на средноденоношните норми.

Средномесечната концентрация на серен диоксид е показана на фиг. 7. Не се нормира. Характерът на кривите е седлови. Известно отклонение се установява през 2019 г.



Фиг. 6. Средни стойности и стандартни отклонения на средноденонощната концентрация на серен диоксид



Фиг. 7. Средни стойности на средномесечните концентрации на серен диоксид

Регресионни модели на тренда на средноденонощната концентрация на серен диоксид са:

а) средни стойности:  $y = 0.939x + 6.815$ ;  $R^2 = 0.9545$ ;

б) средноквадратично отклонение:  $y = 0.476x + 1.07$ ;  $R^2 = 0.6468$ .

Получени са и регресионните модели на тренда на средните стойности на средномесечните концентрации:

а) 2019 г.  $y = -0.0422x^2 + 0.7383x + 8.1855$ ;  $R^2 = 0.1185$ ;

б) 2018 г.  $y = -0.2001x + 10.67$ ;  $R^2 = 0.397$ ;

в) 2017 г.  $y = 0.1351x^2 - 1.6758x + 12.956$ ;  $R^2 = 0.9018$ ;

г) 2016 г.  $y = 0.1208x^2 - 1.6262x + 11.914$ ;  $R^2 = 0.903$ .

Моделите описват достатъчно точно тенденциите на изменение на средноденонощната и средномесечната концентрация. Могат да намерят широко приложение при информационно - аналитичната работа по замърсяванията на атмосферния въздух в Русе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложените резултати от изследване на замърсяването на атмосферния въздух в квартал „Възраждане“ в Русе дават възможност да се осмислят част от закономерностите за появяване на концентрациите. Изследвания период от четири години не позволява да се правят

абсолютно обобщаващи изводи. Подходящо би било подобен анализ да се прави ежегодно. Така изводите ще се разширяват и достоверността им с всяка измината година ще се увеличава.

Въвеждането на емпиричните и теоретични разпределения е оправдано. Техните параметри много точно пресъздават стойностите и измененията на концентрациите на серен диоксид. Допълват разпределенията на замърсяването в Русе установени в предходни наши изследвания (Владимиров, Л., 2012).

Статистически динамични редове са класически подход в подобни изследвания. Важното е да се формират на различна времева база и съответно групиране по различни признаци.

Регресионни модели на тренда на концентрациите във функция от времето допълват „образа“ на замърсяванията на въздуха. Коефициентите на детерминация дават възможност да се определи корелацията на стойностите на концентрациите на серния диоксид.

## REFERENCES

Manov, A. Statistics with SPSS. (2001). Sofia, Thrace - M. (*Оригинално заглавие: Манов, А. Статистика със SPSS. (2001). София, Тракия - М.*)

Vladimirov, L. (2020). Ecological cadastre of the Municipality - Rousse. The project. Stage I. Analysis of results from measurement of atmospheric air pollution in automatic measuring station "Vazrazhdane". Summaries. Rousse, Temporary Commission for Investigation of All Facts and Circumstances Related to Atmospheric Air Pollution and Waste in the Municipality of Rousse - Municipal Council (*Оригинално заглавие: Владимирова, Л. (2020). Екологичен кадастър на Община - Русе. Проект. Етап I. Анализ на резултати от измерване на замърсяването на атмосферния въздух в автоматична измервателна станция „Възраждане“. Резюме. Русе, Временна комисия за проучване на всички факти и обстоятелства, свързани със замърсяването на атмосферния въздух и за отпадъците в Община Русе - Общински съвет).*

Vladimirov, L. Theory of transboundary ecological security. Monograph. Varna, Varna Free University "Chernorizets Hrabar". (2012). (*Оригинално заглавие: Владимирова, Л. Теория на трансграничната екологична сигурност. (2012). Монография. Варна, Варненски свободен университет "Черноризец Храбър"*).