



State of the air quality in the Pernik valley in 2001

Kaloyan Ivanov*

*National Institute of Meteorology and Hydrology- Bulgarian Academy of Sciences,
Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract: The long-standing environmental problems of the city of Pernik, starting with the construction of the “Lenin” metallurgical plant (now “Stomana-Industry” AD) and the second power plant in the city – “Republic” in the 1950s, continued in the 1990s, despite the restructuring and the privatization of a large part of the enterprises of the heavy industry in the city. In the beginning of the 21st century, environmental initiatives for the protection of the atmospheric air in the valley began to improve, including a team of German specialists engaged in the implementation of European technologies and research practices to help solve the problems of air quality in the city of Pernik. The main objective of the article is to analyze the spatial distribution of the atmospheric pollutants in the city of Pernik in 2001, using the Inverse distance weighted (IDW) method and to compare it with the method of the dispersion modeling made for the same year. In relation to the sources of pollution in Pernik valley a spatial analysis of the distribution and the quantitative characteristics of the Land cover classes in the valley was made by GIS.

Keywords: Pernik valley, air pollution, GIS, land cover, IDW

Състояние на качеството на атмосферния въздух в Пернишката котловина през 2001 г.

Калоян Иванов*

*Национален институт по метеорология и хидрология – БАН,
бул. „Цариградско шосе“ 66, 1784 София*

Резюме. Дългогодишните екологични проблеми на град Перник, започващи с построяването на металургичен завод „Ленин“ (сега „Стомана-Индъстри“ АД) и втори

* kaloyan.ivanov@meteo.bg

ТЕЦ „Република“ през 50-те години на ХХ век, продължават и през 90-те години, въпреки реструктурирането и приватизирането на голяма част от предприятията на тежката индустрия в града. В началото на ХХI век екологичните инициативи за опазване на атмосферния въздух в котловината започват да се подобряват, включвайки екип от немски специалисти, ангажирани с имплементирането на европейски технологии и изследователски практики в помощ за решаване на проблемите с качеството на атмосферния въздух в гр. Перник. Основната цел на статията е да се анализира чрез Географски информационни системи (ГИС) пространственото разпределение на атмосферните замърсители в гр. Перник през 2001 г., използвайки метода на Обратно претеглената на разстоянието интерполация (Inverse distance weighted – IDW) и да се сравни с метода на дисперсионното моделиране, направен за същата година. Във връзка с източниците на замърсяване в Пернишката котловина, чрез ГИС е направен и пространствен анализ на разпределението и количествените характеристики на класовете земно покритие в котловината.

Ключови думи: Пернишка котловина, замърсяване на атмосферния въздух, ГИС, земно покритие, IDW.

УВОД

Замърсяването на атмосферния въздух е един от основните проблеми на съвременния градски начин на живот. Качеството на въздушната среда, особено в силно индустриализираните населени места, показва редица изменения, свързани с голямата концентрация на производствени мощности и население. В България периодът на тоталитарния режим (1944 – 1989 г.) доведе до бърза урбанизация и индустриализация в редица части на страната. Замърсяването на въздуха се превърна в един от водещите екологични проблеми в районите с работеща тежка промишленост. Воденето на подобна регионална политика не обърна внимание на редица физикогеографски характеристики на териториите, предназначени за строеж на тези предприятия, свързани с наличието на местни климатични особености, оказващи влияние върху качеството на живот на хората. От особено значение е качеството на атмосферния въздух в населени места, разположени в котловинни форми на релефа, притежаващи затруднен въздушен дренаж. Един от тези райони е територията на Пернишката котловина – негативна форма на релефа, в чийто най-ниски части са разположени почти цялата промишленост и население на едноименния град. В годините на тоталитарно управление, както и в годините на преход, всички концентрации на измерваните замърсители в гр. Перник са в пъти над пределно допустимите концентрации (Иванов, 2017). Заедно с подготовката за влизането на република България в Европейския съюз, началото на ХХI век доведе и до нови научни предизвикателства, свързани с идентифицирането, оценяването и решаването на продължителните екологични проблеми на гр. Перник.

Настоящото изследване проследява пространственото разпределение на три от атмосферните замърсители, измерени в Пернишката котловина през 2001 г. –

ФПЧ₁₀, SO₂, NO₂. Използван е метода на Обратно претеглената на разстоянието интерполация (IDW). За сравнение са приведени резултати от направеното дисперсионно моделиране в гр. Перник през 2001 г. със SELMA^{GIS}. С цел подробен териториален анализ на градската среда и визуализация на източниците на емисии е направен пространствен анализ на разпределението и количествените характеристики на класовете земно покритие (Land cover) в Пернишката котловина.

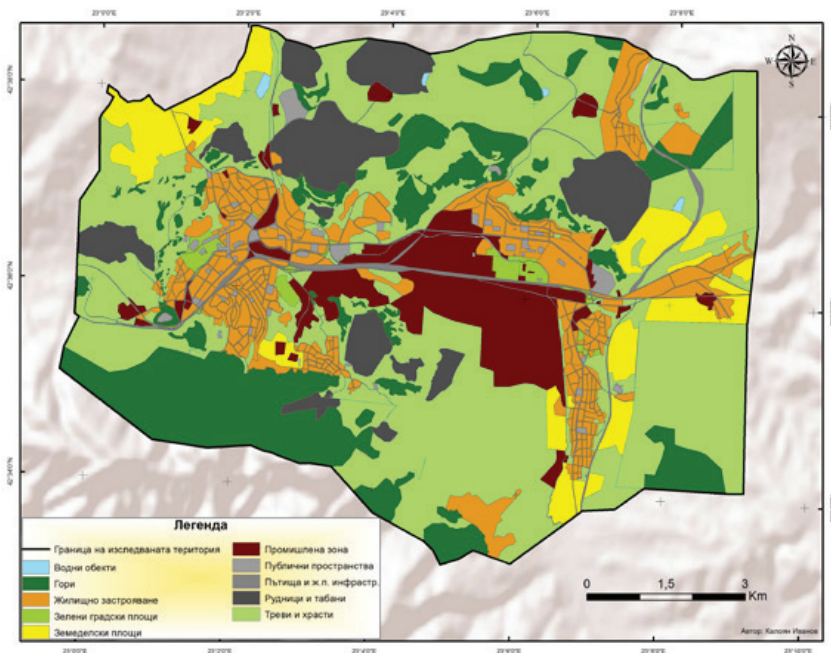
1. РАЙОН НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Районът на изследване е Пернишкото структурно–денудационно понижение, което е част от Краищенско-Средногорската физикогеографска област. В морфографско отношение котловината представлява добре обособена негативна форма с вертикално разчленение на релефа между 50-100 m/km² и хоризонтално между 1.0 - 1.2 km/km² (Колев и др., 2002).

Според климатичната класификация на Кьопен-Гайгер, Пернишката котловина попада в умерено-топлата дъждовна климатична област (C), подтип Cfb – умерено-топъл без ясно изразен сух сезон. Единствено Витошкият склон попада в бореалната климатична област, подтип Dfb. Средногодишната температура за периода 1981 – 2010 г. е 9.6 °C, а средногодишното количество на валежите – 548 mm при средна скорост на вятъра от 1.4 m/s (Иванов, 2017). Климатообразуващата роля на природните фактори в Пернишката котловина е от съществено значение, но много характерно за местния климат в този район са антропогенните фактори. Наличието на голям град в котловината, увеличаването на населението и производствени мощности, както и броя и формата на жилищните здания в средата на XX век представляват фактори на градската среда, които спомагат за образуването на специфичен тип градски климат, който тепърва ще бъде обект на по-обстойно изследване в българската климатология.

1.1. Класификация на земното покритие

Изработването и обновяването на ГИС бази данни е от важно значение за анализирането на пространствения феномен на урбанизацията, особено в развиващи се райони като гр. Перник. В България подобни геобазис от данни не са приоритетни, главно поради липсата на средства и ограничението на изследователските практики. С оглед нуждите на изследването обаче е необходим подробен териториален анализ на градската среда в гр. Перник. Това ще стане чрез анализ на земното покритие (фиг. 1).



Фиг. 1. Карта на земното покритие на Пернишката котловина

Fig. 1. Map of the Land cover of Pernik valley

Земното покритие на Пернишката котловина е направено с помощта на специализиран ГИС софтуер – ArcGis 10.3.1 в координатна система UTM, зона 35N, WGS 84. За подложка е използвано ортофото изображение от 2006 г. с резолюция от 40 cm. Номенклатурата е изработена по собствена методика, основана на методологията, залегнала в програмата на Европейската комисия: CORINE Land Cover (<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>, 1995). Използвана е семантична генерализация, която предоставя достатъчна изчерпателност, необходима за нуждите на изследването. Земното покритие на Пернишката котловина е съобразено с анализа на атмосферния въздух и потребността от визуализация на източниците на замърсяване и зелените площи в изследваната територия. Работено е в мащаб 1:5 000.

Анализът на земното покритие на Пернишката котловина показва обща площ на основните индустриални мощности от около 876 хектара (Таблица 1) и рудници с площ от около 911 ha.

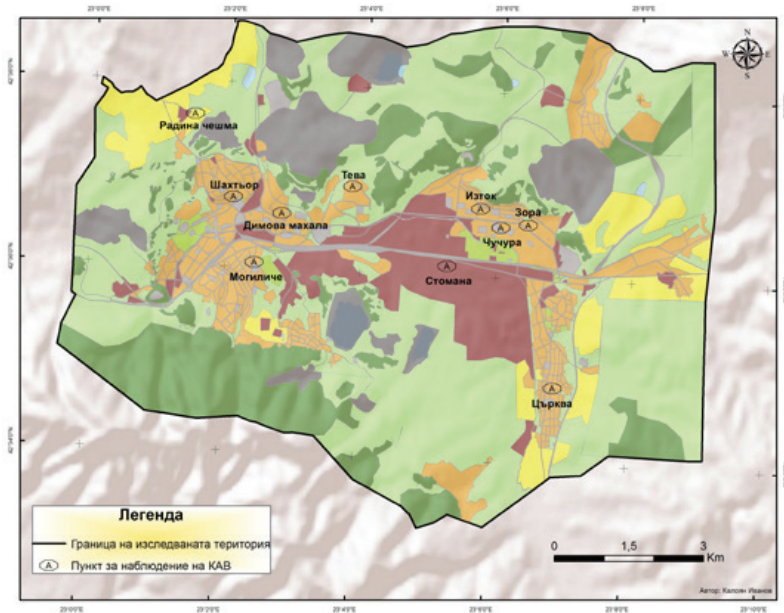
Таблица 1. Площ на класовете в земното покритие на Пернишката котловина**Table 1.** Area of the classes in the Land cover of Pernik valley

Клас	Площ (в ha)
Водни обекти	34
Гори	1711
Жилищно застрояване	1280
Зелени градски площи	100
Земеделски площи	725
Промислена зона	876
Публични пространства	128
Пътища и ж.п. инфраструктура	284
Рудници	911
Триви и храсти	4430

Общата площ на промишлената зона и рудниците в Пернишката котловина е около 1787 ha при наличие на зелени градски територии с площ около 100 ha. Прави впечатление разположението им – индустриалните мощности са изградени в центъра на Пернишката котловина, а рудниците в нейната периферия, близо до склоновете на оградните планини. Между тях са построени жилищните сгради, които са обект на постоянно въздействие от антропогенните атмосферни замърсители на обграждащите ги промишлени зони и открити рудници. Всичко това определя неблагоприятните предпоставки за качеството на градската среда в Перник.

2. ИЗПОЛВАНИ ДАННИ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

През 2001 г. експерти на МОСВ заедно с екип от немски специалисти провежда изследване на качеството на атмосферния въздух в гр. Перник. Поставени са 10 измервателни станции, отчитащи концентрациите на ФПЧ_{10} , SO_2 и NO_2 (фиг. 2) и е извършено дисперсионно моделиране със $\text{SELMA}^{\text{GIS}}$.



Фиг. 2. Местоположение на пунктовете за измерване в гр. Перник, 2001 г.

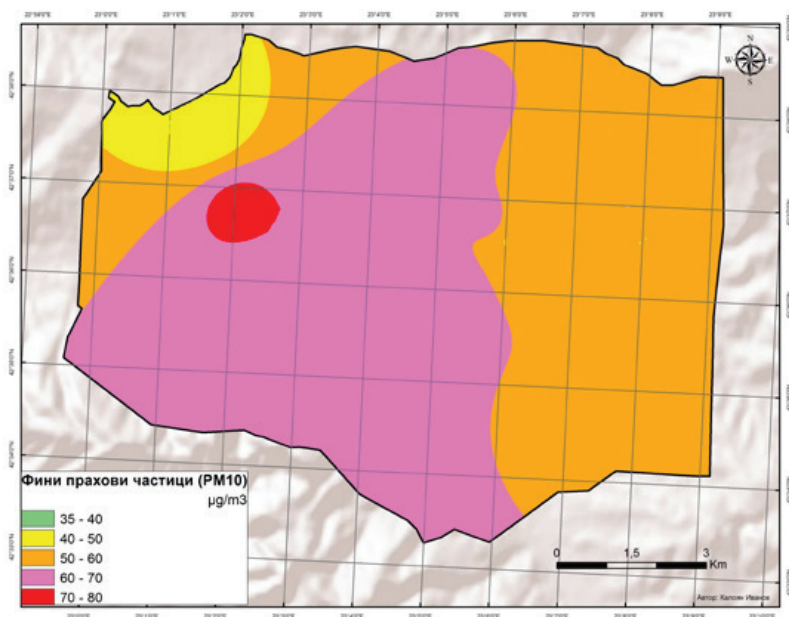
Fig. 2. Location of the air quality stations in the city of Pernik, 2001

В настоящото изследване са използвани месечни данни от пунктовете за наблюдение, разположени в гр. Перник през 2001 г. Основен метод, който е приложен за пространствен анализ на атмосферните замърсители е Обратно претеглената на разстоянието интерполация (IDW) в ГИС среда. IDW интерполацията е често използван метод в климатологията и метеорологията (Tveit et al., 2008), както и в аналитичната картография. Същността му се изразява в създаване на непрекъсната повърхнина от стойности чрез използване на линейно претеглена комбинация от изходни точки, чиито стойности се интерполират (Попов, 2012). Оцененото тегло е функция на разстоянието между изходната точка и точката с новополучената (интерполираната) стойност. В основата на IDW интерполацията е Първият закон на географията на Тоблър, който гласи: всичко е свързано с всичко останало, но по-близко разположените обекти имат по-силни връзки, отколкото отдалечените (Tobler, 1970). Изходните данни за атмосферния въздух в Пернишката котловина през 2001 г. са достатъчно подробни, за да може да се извърши пространствения анализ.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Измерванията на фини прахови частици (ФПЧ_{10}) през 2001 г. в Пернишката котловина са извършени в десетте пункта за наблюдение плюс един допълнителен транспортен пункт („Димова махала“) с немска глава за пробовземане на ФПЧ_{10} . Разположението им е съобразено с представителните места, отразяващи влиянието на всички основни източници на прахови частици - промишленост, ТЕЦ, транспорт, битово отопление и депата за пепел, разположени в южна посока от гр. Перник (МОСВ, 2001). Измерванията са извършени за цялата година, в някои от пунктовете от месец януари до месец август.

Средномесечните стойности на фини прахови частици (ФПЧ_{10}) през 2001 г. в Пернишката котловина показват превишавания на ПДКср.г. ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) във всички пунктове за наблюдение с изключение на пункт „Радина чешма“ (фиг. 3).

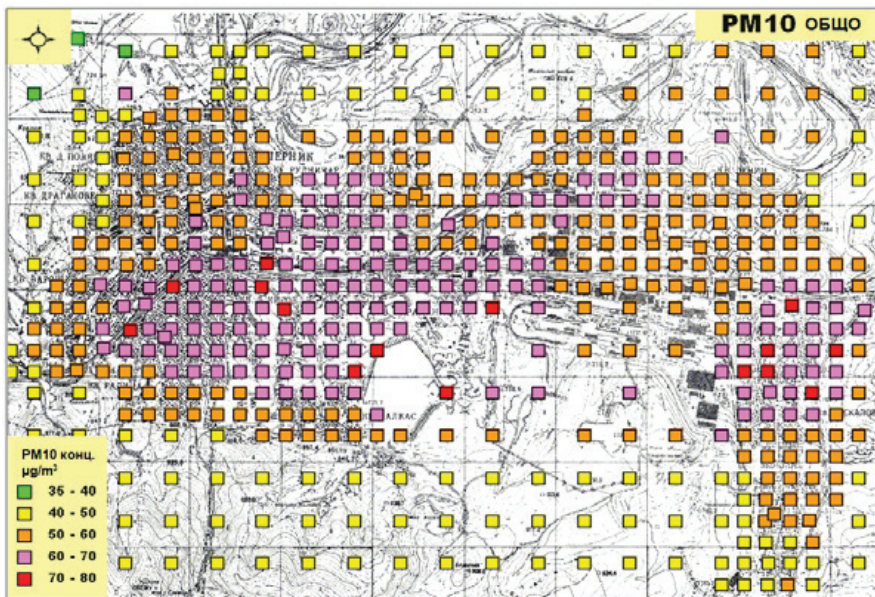


Фиг. 3. Карта на пространственото разпределение на ФПЧ_{10} в Пернишката котловина през 2001 г., получено чрез IDW

Fig. 3. Map of spatial distribution of PM_{10} in Pernik valley in 2001, obtained by IDW

Най-високи са концентрациите в централната градска част на Перник, докато най-ниски в най-северозападната извънградска. По данни от дисперсионното моделиране високите стойности в града се обуславят от дейността на транспорта – пункт „Шахтьор“ е разположен в близост до натоварено пътно кръстовище. Сектор депа и кариери има по-малко влияние, поради големият процент тихо време, отчетен през 2001 г. (МОСВ, 2001).

Дисперсионното моделиране има за задача да оцени качеството на атмосферния въздух в Пернишката котловина, както и да определи приноса на отделните източници на емисии по сектори. Средногодишната концентрация на ФПЧ_{10} (фиг. 4) в гр. Перник показва относително добро съвпадение между резултата от дисперсионния модел и от пространствения анализ на атмосферните замърсители. Високите концентрации изчислени от модела в източната част на града не са отчетени чрез IDW анализа, причина за което е наличието само на един пункт за измерване на концентрациите в тази част на района. Средногодишните стойности на фините прахови частици между 50 и $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ се отчитат в по-голямата част от територията на града и при дисперсионното моделиране и при пространствения анализ. С увеличаване на надморската височина моделът отчита по-малки превишавания на пределно допустимите концентрации в сравнение с останалата част на котловината.



Фиг. 4. Карта на пространственото разпределение на ФПЧ_{10} през 2001 г. в Пернишката котловина, получено чрез дисперсионно моделиране (МОСВ, 2001)

Fig. 4. Map of spatial distribution of PM_{10} in 2001 in the Pernik valley, obtained by dispersion modeling (MoEW, 2001)

На таблица 2 са показани съответствията между измерените концентрации на ФПЧ и получените такива чрез дисперсионното моделиране.

Сравнението показва добро съответствие между резултатите от дисперсионния модел и измерванията на първите четири пункта. Според Първата Дъщерна Директива целевата точност на дисперсионното моделиране от средногодишните

стойности за олово е 50% (МОСВ, 2001). Останалите разлики между измерванията и моделирането влизат в диапазона $-26 + 6\%$, откъдето идва и различието с IDW.

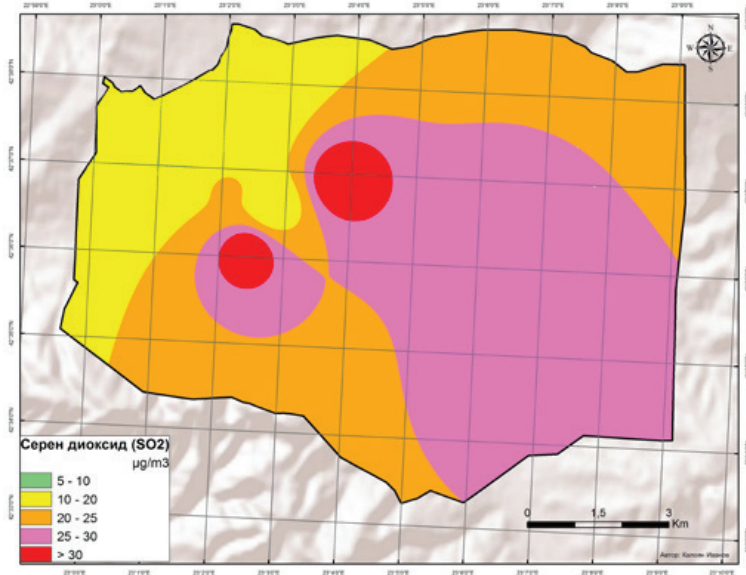
Таблица 2. Сравнение между резултатите от измерване и моделиране (ФПЧ₁₀)

Table 2. Comparison between Measurement and Modeling Results (PM₁₀)

Пункт	Резултати от моделирането	Измервания – средна	Брой проби	Разлика в % спрямо измерванията
Изток	57.8	62.4	226	- 7,4
Църква	53.9	54.8	214	-1,6
Д. Махала	66.0	66.0	123	0
Стомана	57.8	61.1	125	-3.5
Могилче	67	60.7	29	10.4
Шахтьор	57	76.6	23	-25.6
Рад. чешма	37.6	46.3	15	-18.8
Чучура	54.7	51.2	45	6.8
Тева	55.5	67.7	26	-18.0

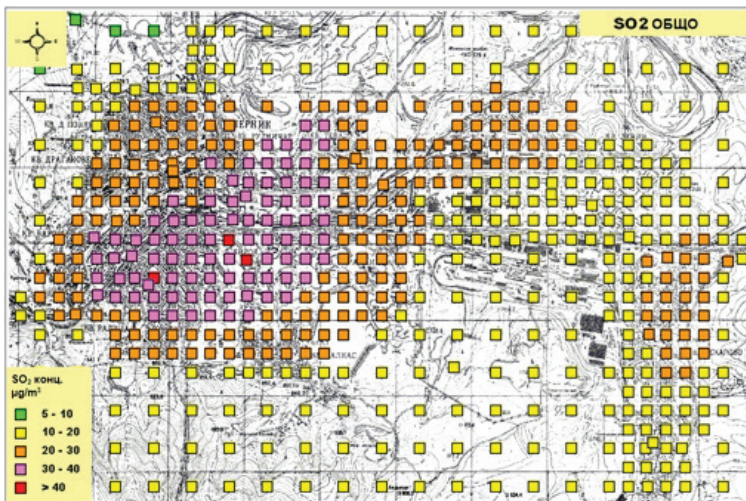
Отчитанията на серния диоксид (SO₂) са извършени в един пункт за цялата година и в още 6 пункта периодично. Установени са превишавания на средногодишните ПДК (**30 µg/m³**) в три от пунктовете за наблюдение, отчитащи периодични данни (фиг. 5).

Най-високите стойности на серен диоксид са отчетени в два пункта на по-голяма надморска височина (около 760 m) в близост до работещите на въглища ТЕЦ „Република“ и ТЕЦ „Перник“, както и в пункт „Църква“, намиращ се в източната част на града, в едноименния квартал, застроен с къщи без блоково строителство и налично топлоподаване от съществуващите ТЕЦ. Наблюдава се ясна сезонна зависимост, тъй като през зимния сезон са отчетени най-високите концентрации на серен диоксид поради понижаването на температурите и увеличаването на топлопотреблението в града. Най-ниските концентрации на SO₂ са измерени в централната градска част и в северозападната част на котловината. За разлика от картите на концентрациите на фини прахови частици, картата на дисперсионното моделиране на SO₂ (фиг. 6) показва повече разлики в сравнение с картата на пространственото анализиране. Максимумите, измерени в централната градска част, както и минимумите в най-северозападните територии, съответстват на получените максимуми и минимуми от дисперсионното моделиране. Основната разлика се регистрира в източната част на Пернишката котловина, където моделът отчита стойности между 10 и 20 µg/m³, в ограничен район до 30 µg/m³, докато пространственият анализ регистрира концентрации между 25 и 30 µg/m³. Причината е вече посоченото наличие само на един пункт („Църква“) за измерване на концентрации в този район, както и грешката с около -30% на дисперсионния модел в района на пункт „Църква“.



Фиг. 5. Карта на пространственото разпределение на SO_2 в Пернишката котловина през 2001 г., получено чрез IDW

Fig. 5. Map of spatial distribution of SO_2 in Pernik valley in 2001, obtained by IDW



Фиг. 6. Карта на пространственото разпределение на SO_2 през 2001 г. в Пернишката котловина, получено чрез дисперсионно моделиране (МОСВ, 2001)

Fig. 6. Map of spatial distribution of SO_2 in 2001 in Pernik valley, obtained by dispersion modeling (MoEW, 2001)

На таблица 3 е направено сравнение между резултатите от измерване и моделиране на концентрациите на SO₂.

Таблица 3 Сравнение между резултатите от измерване и моделиране (SO₂)

Table 3 Comparison between Measurement and Modeling Results (SO₂)

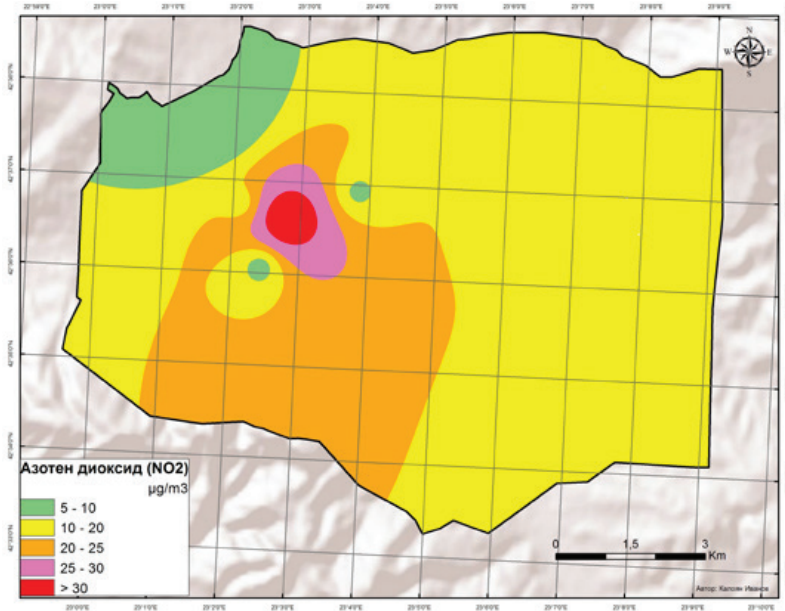
Пункт	Резултат от модела	Измервания – бр. часове	Покритие с данни в %	Резултат от измер-ването, средна	Разлика в % от средната от измерв.
Църква	19.3	282	3.2	27.8	-30.6
Д. Махала	34.4	4366	49.8	17.4	97.7
Могиличе	38.9	659	7.5	32.8	18.6
Шахтьор	26.9	507	5.8	23	17.0
Р. Чешма	7.6	289	3.3	12	-36.7
Чучура	14.6	1079	12.3	25.8	-43.4
Тева	23.5	567	6.5	32.6	-27.9

Сравнение е подходящо да се прави най-вече с измервателния пункт при Димова Махала, където е постигнато покритие от поне 50%. За този пункт обаче разликата от + 98 % е извън обхвата на целевите 30% за точност на моделирането при средногодишна стойност за SO₂ според Първа Дъщерна Директива, поради технически проблем (МОСВ, 2001).

Пространственият анализ на азотния диоксид (NO₂) показва средногодишни концентрации под ПДК (**40 µg/m³**) за цялата територия на Пернишката котловина (фиг. 7). Азотният диоксид е контролиран периодично в шест пункта за наблюдение.

Отчетените стойности на пункт „Димова махала“ и пункт „Шахтьор“ са с най-високи показатели за цялата година. Основна причина за това може да се търси в комплексното влияние на транспортния поток и близкоразположения ТЕЦ „Република“. За разлика от серния диоксид при азотния диоксид не се наблюдава ясно изразена сезонна зависимост на концентрациите.

Картата на дисперсионното моделиране на NO₂ (фиг. 8) показва някаква степен на съответствия с картата на пространственото разпределение (фиг. 7). Основната разлика се отчита в източната част на града, както и при склоновете на оградните планини, по вече посочената причина. Втора зона на несъответствие е по протежение на улиците със сравнително висок автомобилен трафик, ефектът от който е трудно да се установи при малък брой пунктове на наблюдение. Разликите са между 5 – 10 µg/m³.

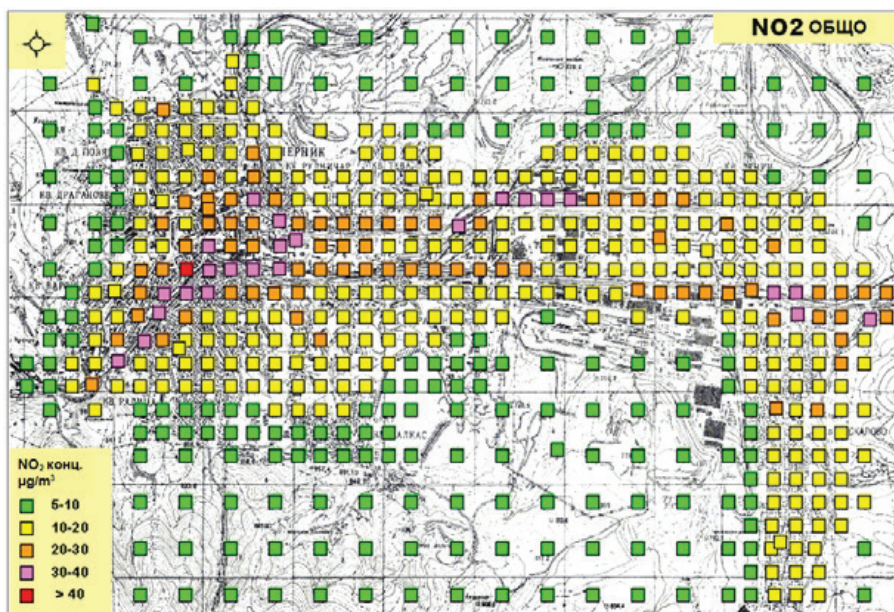


Фиг. 7. Карта на пространственото разпределение на NO₂ в Пернишката котловина през 2001 г., получено чрез IDW

Fig. 7. Map of spatial distribution of NO₂ in Pernik valley in 2001, obtained by IDW

На таблица 4 са сравнени резултатите от измерванията с тези от модела по отношение на средногодишната стойност на концентрациите на NO₂. Разликите са в диапазона от – 23% до + 73 % в зависимост от мястото. Само при един измервателен пункт има покритие с данни от около 47% (Димова Махала), докато при другите покритието е само от 3.5% до 13.2 %. Ето защо сравнението е уместно само с измервателния пункт при Димова Махала, където е достигнато покритие от поне 47% (МОСВ, 2001).

За пункт „Димова махала“ разликата от –15.6 % е в диапазона на целевата 30%-на точност при моделиране за средногодишна стойност за NO₂ според Първа Дъщерна Директива.



Фиг. 8. Карта на пространственото разпределение на NO_2 през 2001 г. в Пернишката котловина, получено чрез дисперсионно моделиране (МОСВ, 2001)

Fig. 8. Map of spatial distribution of NO_2 in 2001 in Pernik valley, obtained by dispersion modeling (MoEW, 2001)

Таблица 4. Сравнение между резултатите от измерване и моделиране (NO_2)

Table 4. Comparison between Measurement and Modeling Results (NO_2)

Пункт	Измервания – бр. часове	Стойност от измерванията, средна, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Резултат от моделирането	Разлика в %
Д. Махала	4080	37.9	32	-15.6
Могилоче	702	9.1	15.5	70.3
Тева	573	9.6	13.6	41.7
Шахтьор	508	13.5	21.5	59.3
Църква	283	10.9	16.1	47.7
Радина чешма	289	7.3	5.6	-23.3
Чучура	1156	10.5	18.2	73.3

ИЗВОДИ

Анализирането на състоянието на качеството на атмосферния въздух в Пернишката котловина през 2001 г. доведе до следните изводи:

1. Най-големият източник на емисии в Пернишката котловина до края на 90-те години на ХХ век – металургичен завод „Стомана-Индъстри“ АД (Иванов, 2017), през 2001 г. причинява замърсяване, което се характеризира с негативен ефект върху екологичната обстановка в ограничен район в околностите на предприятието.
2. Сравнението между пространствената интерполация на измерени в отделни точки концентрации на атмосферни замърсители и резултатите от моделиране дисперсията на емисиите показва относително добро съответствие, особено по отношение на отчетени минимума и максимуми. Основните разлики се дължат на липсата на подробни данни при интерполацията в югоизточната част на гр. Перник и на отклоненията на резултатите от дисперсионното моделиране от измерените стойности. Пространственият анализ на атмосферните замърсители чрез IDW може да се използва като удачен метод при картографирането им единствено при условие, че има достатъчен на брой пунктове за измерване с максимално прецизирано териториално разпределение. Колкото повече станции има в котловината, толкова по-точен ще бъде IDW анализа.
3. Средногодишните концентрации на серен диоксид са под ПДК с изключение на три пункта за наблюдение, разположени в близост до основни източници на емисии в гр. Перник – двете топлоелектрически централи и квартал с битово отопление в югоизточната част на котловината. Високите концентрации на SO₂ имат силно изразен сезонен характер.
4. Средногодишните концентрации на азотен диоксид не превишават ПДК. Най-високи стойности са отчетени в пунктове в близост до оживени транспортни артерии и двете топлоелектрически централи.
5. През 2001 г. концентрациите на фините прахови частици в пунктовете за наблюдение са над средногодишните пределно допустими концентрации. Превишаванията се явяват основен проблем, свързан с качеството на атмосферния въздух в гр. Перник с дълга история от средата на 50-те години на ХХ век, продължаваща и до днес. През 2013 г. Европейската агенция по околна среда, публикува доклад, в който Перник е обявен за града с най-замърсен атмосферен въздух в Европа по отношение на концентрациите с фини прахови частици (ЕЕА, 2013). Неотложните мерки за намаляване замърсеността на атмосферния въздух в Пернишката котловина и подобряването на качеството на градската среда са все така актуални.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванов, К. (2017). Климатични особености и качество на атмосферния въздух в Пернишката котловина // Дисертационен труд, София, с. 28, 34.
- Колев, Б. и колектив на БАН (2002). География на България: Физическа и социално – икономическа география. Изд. „ФорКом“, София, с. 403.
- МОСВ (2001). Доклад // Измервателни резултати, определяне и оценка на качеството на атмосферния въздух в гр. Перник, София, с. 16-18, 59-62.
- Попов, А. (2012). Географски информационни системи. Изд. „Анубис“, София, с. 418.
- CORINE Land Cover (1995), <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- European Environment Agency (2013). Air quality in Europe report, <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013>
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region // Economic Geography, 46 (Supplement), p. 234-240.
- Tveito, O. et al (2008). Climatology and Meteorology // Final Report, COST Action 719, Brussels, p. 43.