

ВЗАИМОВРЪЗКИ МЕЖДУ АТМОСФЕРНИ ЗАМЪРСИТЕЛИ И МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ В ЕКОЛОГИЧЕН СТАЦИОНАР „ЮНДОЛА“

Елена Цветкова

Лесотехнически университет – София

УДК 504.054

Постъпила на 11.11.2009

В статията са включени данни от 2004 г. за метеорологичните показатели и за съдържанието на основните атмосферни замърсители от екологичен стационар „Юндола“ – Западни Родопи. При моделиране на единични взаимовръзки между концентрациите на замърсителите и някои метеорологични показатели, установената най-силна линейна зависимост (концентрацията на O_3 като функция от температурата на въздуха) обяснява едва 22 % от варирането на данните. Това налага търсенето на по-сложни многофакторни модели, които да описват достатъчно адекватно концентрацията на основните замърсяващи вещества, като функция от някои по-важни метеорологични показатели. Изведени са пет многофакторни линейни модела, от които доказваният най-добър модел (Multiple $R = 0,62$) включва данните за концентрацията на O_3 през светлата част на денонощието (9,00–17,00 часа). Кривата на посочения модел обяснява около 40 % от данните за концентрацията на O_3 през деня, т.е. това са 2407 средни половинчасови замервания.

Ключови думи: атмосферен замърсител, метеорологичен показател, многомерна линейна корелация, O_3 , SO_2 , NO_2 , NO_x , Юндола.

Key words: air pollutant, meteorological parameter, multiple linear correlation, O_3 , SO_2 , NO_2 , NO_x , Yundola.

Увод

През последните пет години са направени голям брой проучвания на взаимовръзките между концентрацията на първични и вторични замърсители на въздуха и някои метеорологични показатели. Многообразието от научни доклади описва моделните резултати за концентрацията на даден замърсител чрез различни променливи и в различен мащаб. В най-общ вид тези изследвания могат да се подразделят на такива в градска по-силно натоварена със замърсители атмосферна среда

(Nghiem and Kim Oanh 2004, Corani 2005, Agirre-Basurko et al. 2006, Barrero et al. 2006, Goyal et al. 2006, Grivas and Chaloulakou 2006, Gomez-Sanchis et al. 2006, Videnova et al. 2006, Bridgeman and O'Connor 2007, Cobourn 2007, Papanastasiou et al. 2007, Delcloo and Backer 2008, García et al. 2008, Papanastasiou and Melas 2008, Stadlober et al. 2008, Johansson et al. 2008, Gholizadeh and Darand 2009) и в сравнително чиста извънградска среда (Alexandrov et al. 2005, Bandyopadhyay and Chattopadhyay 2007, Johansson et al. 2008). Голяма

група проучвания засягат моделирането на процесите в регионален, национален, континентален и глобален мащаб (Delcloo and De Backer 2005; Hooyberghs et al. 2005; Andersson et al. 2007a, 2007b; Demuzere et al. 2009; Gupta and Christopher 2009; Demuzere and van Lipzig 2010).

Като доказателствена методологична част, при голям процент от изследванията е акцентирано върху анализ чрез многомерни линейни и нелинейни регресионни модели (Nghiem and Kim Oanh 2004, Delcloo and De Backer 2005, Oanh et al. 2005, Agirre-Basurko et al. 2006, Barrero et al. 2006, Goyal et al. 2006, Grivas and Chaloulakou 2006, Andersson et al. 2007b, Bandyopadhyay and Chattopadhyay 2007, Cobourn 2007, Papanastasiou and Melas 2008, Stadlober et al. 2008, Demuzere et al. 2009, Gupta and Christopher 2009, Demuzere and van Lipzig 2010), чрез изкуствени невронни мрежи (Nghiem and Kim Oanh 2004, Alexandrov et al. 2005, Corani 2005, Hooyberghs et al. 2005, Agirre-Basurko et al. 2006, Grivas and Chaloulakou 2006, Gomez-Sanchis et al. 2006, Videpova et al. 2006, Bandyopadhyay and Chattopadhyay 2007, Papanastasiou et al. 2007, Al-Alawi et al. 2008, García et al. 2008, Gholizadeh and Darand 2009), чрез прости линейни корелационни коефициенти (Johansson et al. 2008) и комбинации между тях.

В редица проучвания е направено сравнение между измерените и прогнозираните чрез модела стойности, като процентът на сходство в повечето случаи е голям (Nghiem and Kim Oanh 2004,

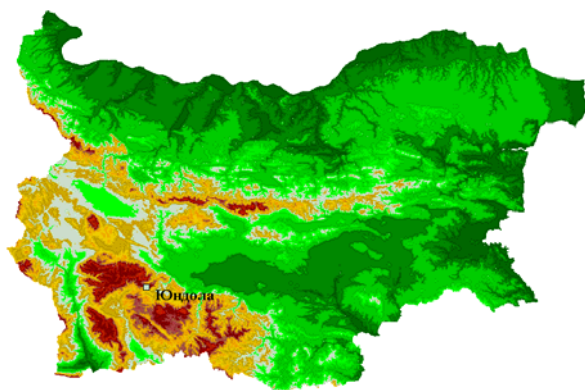
Bandyopadhyay and Chattopadhyay 2007, García et al. 2008, Papanastasiou and Melas 2008, Johansson et al. 2008, Gholizadeh and Darand 2009).

Изведени са статистически модели, които изразяват количествено взаимовръзките между варирането на концентрациите на замърсителя и метеорологичните параметри, като стойностите са автоматични на интервал от 10 min, среднодневни, средни 8-часови и максимални еднократни (Nghiem and Kim Oanh 2004, Oanh et al. 2005, Barrero et al. 2006, Bridgeman and O'Connor 2007, Cobourn 2007, Papanastasiou et al. 2007, Papanastasiou and Melas 2008, Stadlober et al. 2008, Johansson et al. 2008, Demuzere et al. 2009, Gholizadeh and Darand 2009), а за концентрацията на O_3 е направена диференциация за топлото полугодие и по сезони (García et al. 2008, Demuzere et al. 2009).

Цел на настоящето изследване е да се направи опит да се изяснят някои от пропорционалните зависимости между концентрациите на основни атмосферни замърсители във въздуха и метеорологични показатели. За постигане на така поставената цел е потърсен най-подходящия адекватен и статистически значим модел.

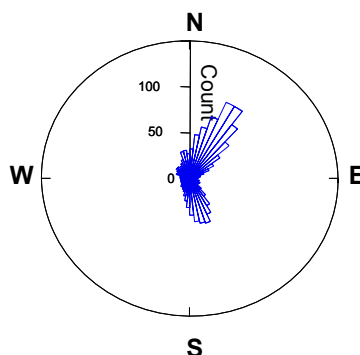
Обект

Екологичен стационар „Юндола“ е разположен в Западнородопския район на Преходната горскорастителна област (фиг. 1). По отношение на физикогеографското райониране на



Фиг. 1. Картосхема за местоположението на стационар „Юндола“

Fig. 1. Map for localization of Yundola ecological stationary monitoring site



Фиг. 2. Роза на вятър по скорост и посоки

Fig. 2. Wind speed and wind direction distribution (Wind rose)

България стационарът принадлежи към Европейската широколистна горска област.

Според климатичното райониране на България територията, в която е разположен стационар „Юндола“ попада в Среднопланинската подобласт на Планинската климатична област. Надморската височина, на която е разположен обектът е 1600 m, с географски координати: $+41^{\circ}55'34''$ и $+23^{\circ}53'40''$ (Коларов и др. 2002).

За района на стационара са характерни североизточните ветрове (фиг. 2), като в отделни случаи се наблюдават юг-югоизточни. Средният процент на тихото време, който е определен от многогодишни наблюдения в м. ст. „Юндола“ – 1360 m н.в. е 55,6 %.

Стационарът е изграден в изпълнение на Международната кооперативна програма за „Оценка и мониторинг на влиянието на замърсения въздух върху горските екосистеми“ – II ниво (Интензивен мониторинг).

Методика

В стационар „Юндола“ се извършва непрекъснато, автоматизирано набиране на информация за основните метеорологични показатели – температура и относителна влажност на въздуха, количество на валежите, интензивност на слънчевата радиация, посока и скорост на вятъра, както и температура на почвата. Автоматизирано е набирането и на информацията за основните замърсители на въздуха, а именно: серен диоксид (SO_2), азотен диоксид (NO_2), сума азотни оксиди (NO_x) и озон (O_3).

В изследването са използвани над 15 000 данни от автоматичната станция за замерване на замърсяването на въздуха и метеорологични параметри за периода 01.01–31.12.2004 г.

За моделиране на концентрацията на изследваните замърсители във въздуха чрез основните метеорологични показатели са използвани: **Еднофакторен регресионен анализ** – определени

са корелационни коефициенти (R) при избрани праг на значимост 99 % вероятност; **Многомерен стъпков регресионен анализ** – концентрацията на замърсяващи вещества във въздуха (Y) като „предсказващи“ се използват 5 от основните метеорологични показатели: X_1 – температура на въздуха, $^{\circ}\text{C}$; X_2 – относителна влажност на въздуха, %; X_3 – скорост на вятъра, m/s ; X_4 – слънчева радиация, W/m^2 ; X_5 – количество на валежите, mm .

Анализирани и статистически оценени са 107 модела, от които 62 получени чрез многомерна (множествена) и 45 – от еднофакторна линейна регресия. За всеки от изследваните замърсители са определени най-добрите модели, от диференцираните по периоди или за годината. В резултатната част са представени най-показателните от гледна точка природата на замърсителите, независимо че не са най-значимите от статистична гледна точка.

Чрез изчертаване на графики на остатъците на модела е проследено наличието на систематични отклонения от нулевата ос. Случаите на доказване на липсата на такива потвърждават адекватността на получения модел. Чрез NPP анализ (Normal Probability Plot) е определено сходството с „нормалното“ разпределение на честотното разпределение на остатъците от модела. Направена е проверка на резултатите чрез инверсната функция за интервала на Blom, използвайки апроксимацията на Blom.

Резултати

При опита за моделиране чрез **Еднофакторен (единичен) регресионен анализ** между концентрациите на замърсителите във въздуха се потвърждава сложността и широката комплексна обвързаност на моделираните фактори. Всички доказани корелационни коефициенти са положителни (табл. 1). Резултатите показват, че върху линейния модел, който се описва, най-силно значимата взаимовръзка, обясняваща концентрацията на NO_2 като функция от концентрацията на NO_x , лежат едва 14 % от стойностите.

При изследване на варирането на данните за концентрацията на SO_2 за периода 1998–2001 г. е установена изразена сезонна динамика с максимални концентрации през есенно-зимния период и минимум през лятото (Коларов и др. 2002). Посоченото се потвърждава и от установената значима отрицателна корелационна зависимост между концентрацията на SO_2 и температурата на въздуха (табл. 2).

При моделиране на **единични взаимовръзки** между концентрациите на замърсителите и някои метеорологични показатели, установената най-силна линейна зависимост (**концентрацията на O_3 като функция от температурата на въздуха**) обяснява едва 22 % от варирането на данните. Това налага търсенето на по-сложни многофакторни модели, които да описват достатъчно адекватно концентрацията на основните замърсяващи вещества като функция от някои по-важни метеорологични показатели.

Таблица 1
Table 1Единични корелационни коефициенти ($p < 0,01$)
Simple coefficients of correlation ($p < 0,01$)

	$n =$	NO ₂ [ppb]	NO _x [ppb]	O ₃ [ppb]
SO ₂ , ppb	15174	0,05*	0,26*	0,08*
NO ₂ , ppb	15845		0,38*	0,10*
NO _x , ppb	16882			0,21*

Легенда: * значими при 99 % вероятност; най-силно значими
Key: * significant by 99 % probability most significant

Таблица 2
Table 2Единични корелационни коефициенти на взаимовръзките между
концентрацията на замърсителите и някои метеорологични показатели
Simple coefficients of correlation of the relationships between
air pollutant contents and some meteorological parameters

	$n =$	Темп. на въздуха Air temp.	Относит. влажност Air RH	Скорост на вятъра Wind speed	Слънчева радиация Solar radiation	Валежи Rain
SO ₂ , ppb	15 174	-0,10*	0,01	0,06*	-0,02	-0,06*
NO ₂ , ppb	15 845	0,28*	-0,00	0,01	0,11*	-0,03*
NO _x , ppb	16 882	0,04*	-0,04*	0,05*	0,10*	-0,03*
O ₃ , ppb	17 552	0,47*	-0,22*	0,24*	0,24*	-0,05*

Легенда: * значими при 99 % вероятност; най-силно значими
Key: * significant by 99 % probability most significant

При опита за **Многомерно (множествено) моделиране на концентрацията на SO₂ във въздуха** полученият многофакторен линеен модел има следния вид:

$$Y = 3,587 - 0,012X_2 + 0,212X_3 - 0,001X_4$$

където:

Y – концентрацията на SO_2 , ppb;

X_2 – относителната влажност на въздуха, %;

X_3 – скоростта на вятъра, m/s;

X_4 – слънчевата радиация, W/m^2 .

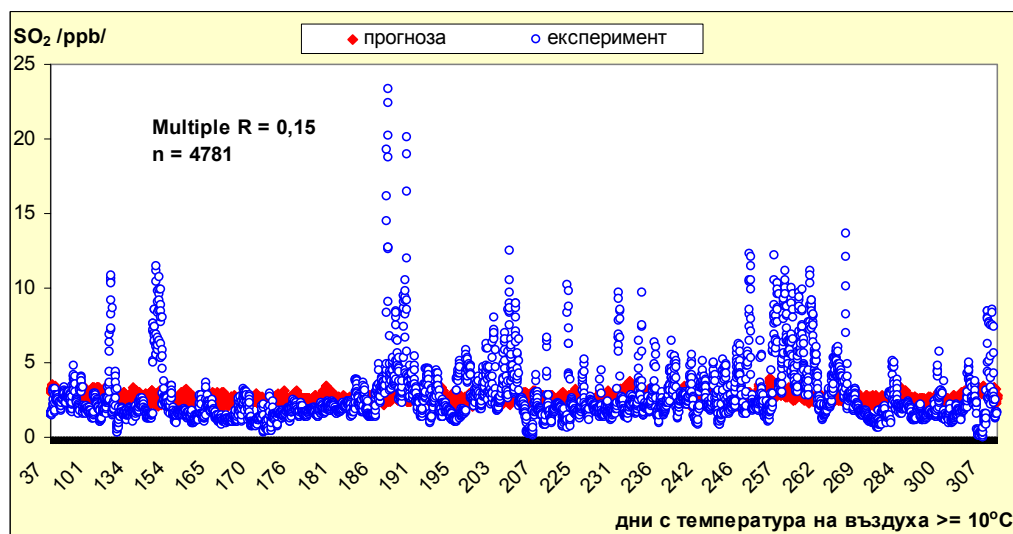
Установено е, че за този обем данни от трите „предсказващи“ фактора най-силно влияе относителната влажност на въздуха, следвана от интензивността на слънчевата радиация. Тези зависимости са отрицателни. Анализът доказва по-слабо положително влияние на скоростта на вятъра в представения модел. Скоростта на вятъра е важна, тъй като за стационар „Юндола“ е доказано, че няма различие в средната концентрация на SO_2 през зимния и вегетационния период. Това е показател, че в района няма локални източници на замърсяване с този газ. Доказано е, че преносът на SO_2 в района на Юндола

е от североизток (гр. Белово), като за това спомагат въздушните течения по долината на р. Яденица (Коларов и др. 2002).

Полученият модел (фиг. 3) е със статистическа достоверност над 99 % (*Significance F* = 3,185E-22). Установеният статистически значим коефициент на многомерна корелация (Multiple R = 0,15) показва, че съществуват пропорционални съотношения между концентрация на SO_2 и трите „предсказващи“ фактора.

Върху изведения многофакторен (многомерен) линеен модел лежат по-голям процент от данните за концентрация на SO_2 в сравнение със съответните върху еднофакторните модели.

Статистическият анализ на остатъците от модела показват, че няма систематични отклонения от нулевата ос. Това от своя страна потвърждава адекват



Фиг. 3. Многомерна линейна регресия между SO_2 [ppb] и относителната влажност на въздуха, скоростта на вятъра и слънчевата радиация

Fig. 3. Multiple linear regression between SO_2 [ppb] and air relative humidity, wind speed and solar radiation

ватността на получения аналитичен модел. Доказано е значимо сходство с „нормалното“ разпределение на честотното разпределение на остатъците от модела. Този резултат се потвърждава и чрез инверсната функция за интервала на Blom.

Представените резултати определят получения многофакторен линеен регресионен модел като подходящ за анализ на данните.

Изследваните данни очертават температурата на въздуха като най-силно влияещ върху **концентрацията на NO₂** „предсказващ“ фактор. Влиянието на фактора е положително. Отново по-

ложително, но значително по-слабо е влиянието в модела на относителната влажност на въздуха. Малко по-слабо е отрицателното влияние на отчетеното количество на падналите валежи и скоростта на вятъра върху концентрацията във въздуха на NO₂. Полученият резултат може да бъде логично обяснен с положителния ефект на валежите и турбулентността на въздуха върху неговата чистота. За района на Юндола е доказано, че няма очертана посока на преноса на NO_x (Коларов и др. 2002).

Изведеният линеен модел има следния вид:

$$Y = 3,379 + 0,052X_1 + 0,002X_2 - 0,0308X_3 - 0,1795X_5$$

където:

- Y е концентрацията на NO₂, ppb;
- X₁ – температурата на въздуха, °C;
- X₂ – относителната влажност на въздуха, %;
- X₃ – скоростта на вятъра, m/s;
- X₅ – количеството на валежите, mm.

Полученият модел (фиг. 4) е със статистическа достоверност над 99 % (*Significance F* = 2,817E-288). Установеният статистически значим коефициент на многомерна корелация (Multiple R = 0,28) показва, че съществуват пропорционални съотношения между концентрация на NO₂ и трите „пред-

сказващи“ фактора.

Анализът на модела установи липсата на систематични отклонения на неговите остатъци от нулевата ос. Резултатът потвърждава адекватността на представения математически модел. Успоредно с това е доказано сходство между честотното разпределение на остатъците от модела и „нормалното“ разпределение. Представените резултати определят получения многофакторен линеен модел като подходящ за анализ на данните.

За най-добър многофакторен линеен модел описващ **концентрацията на NO_x** при температури на въздуха ≥ 10° C е определен следният:

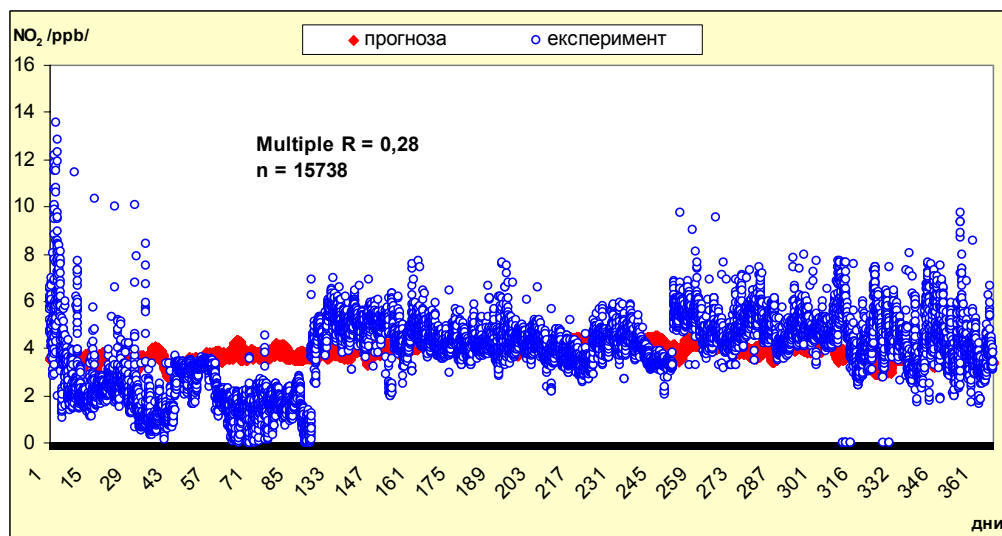
$$Y = 4,836 - 0,004X_2 + 0,0003X_4$$

където:

- Y е концентрацията на NO_x, ppb;
- X₂ – относителната влажност на въздуха, %;

X₄ – слънчевата радиация, W/m².

Анализът показва, че интензивността на слънчевата радиация е „предсказващият“ фактор, който най-силно влияе



Фиг. 4. Многомерна линейна регресия между NO_2 [ppb] и количество на валежите, температурата и отн. влажност на въздуха

Fig. 4. Multiple linear regression between NO_2 [ppb] and rain, air temperature and air relative humidity

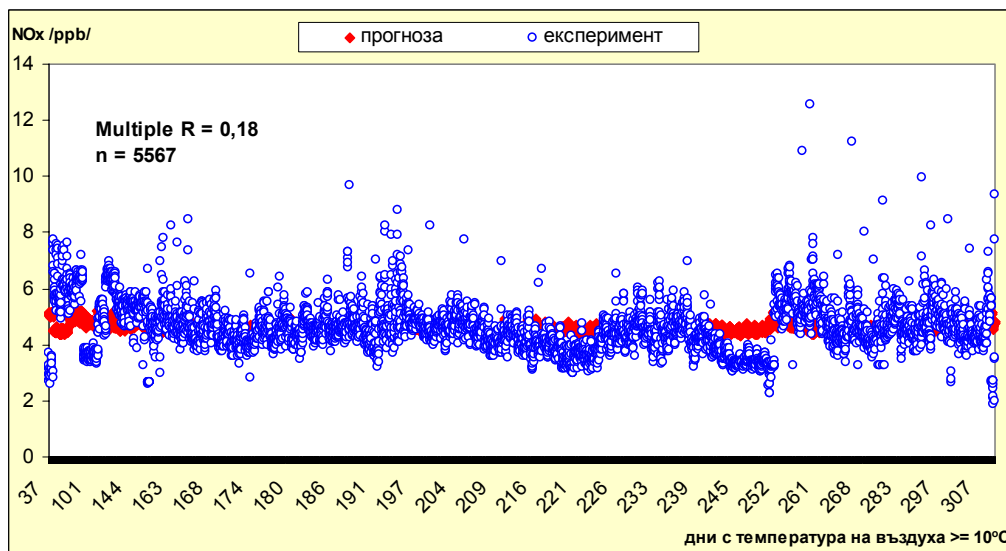
върху модела. Това влияние е положително. Малко по-слабо е отрицателното влияние на относителната влажност на въздуха. Независимо че за периода 1998–2001 г. във варирането на концентрацията на NO_x не е установена ясно изразена сезонна динамика (Коларов и др. 2002), моделът при температури на въздуха $\geq 10^\circ \text{C}$ е по-адекватен, отколкото този за цялата 2004 г. Резултатите от представения модел показват, че в повечето случаи стойностите са по-високи при повишена интензивност на слънчевата радиация и ниски нива на относителната влажност на въздуха. Описаните в модела завишени концентрации на NO_x през топлото полугодие може да се дължат на ускорените през този период процеси на ферментация.

Представеният на фиг. 5 модел е със статистическа достоверност над

99 % (*Significance* $F = 3,412\text{E-}41$). Установеният статистически значим коефициент на многомерна корелация (*Multiple R* = 0,18) показва, че съществуват пропорционални съотношения между концентрация на NO_x и двата „предсказващи“ фактора.

Върху изведения многофакторен линейен модел лежат по-голям процент от данните за концентрация на NO_x в сравнение със съответните върху еднофакторните модели.

Статистическият анализ установи, че няма систематични отклонения от нулевата ос на остатъците от модела, което потвърждава адекватността на описания модел. Доказано е значимо сходство с „нормалното“ разпределение на честотното разпределение на остатъците от модела. Описаните резултати определят многофакторния линейен модел като подходящ за анализ



Фиг. 5. Многомерна линейна регресия между NOx [ppb] и температурата, отн. влажност на въздуха и слънчева радиация

Fig. 5. Multiple linear regression between NOx [ppb], air temperature, air relative humidity and solar radiation

на данните.

Данните очертават температура-та на въздуха като най-силно влияещ „предсказващ“ фактор в модела, описващ **концентрацията на O_3** . Влиянието на фактора е положително. Отново положително, но значително по-слабо е влиянието в модела на скоростта на вятъра.

$$Y = 33,386 + 0,695X_1 + 2,777X_3$$

където:

Y е концентрацията на O_3 , ppb;

X_1 – температурата на въздуха, $^{\circ}\text{C}$;

X_3 – скоростта на вятъра, m/s.

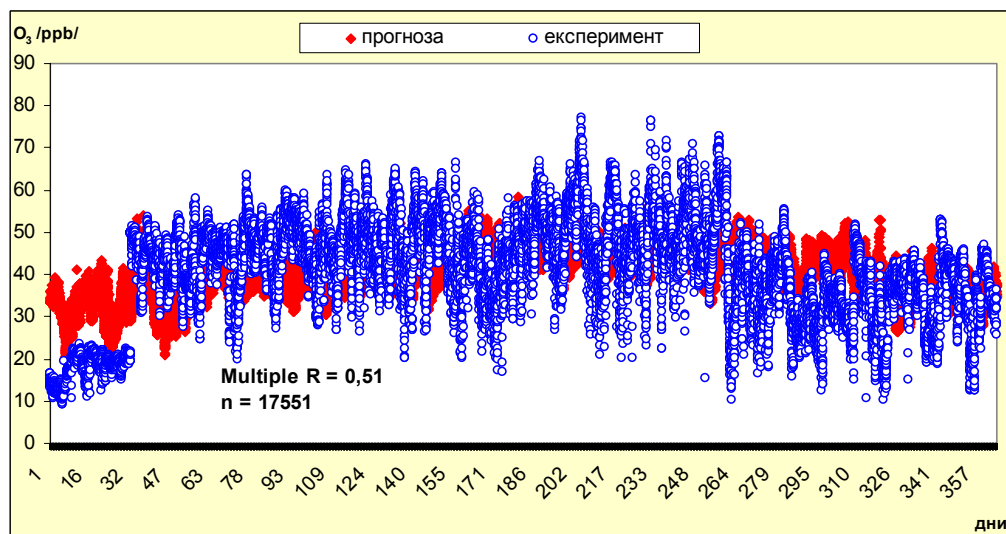
Полученият модел (фиг. 6) е със статистическа достоверност над 99 %. Представеният значим коефициент на многомерна корелация (Multiple R = 0,51) показва, че съществуват

Посоченият резултат се обяснява със спецификата на произхода на O_3 в тропосферата. Концентрациите на този вторичен замърсител в ниските слоеве на атмосферата са резултат от протичащите фотохимични реакции.

Полученият многофакторен линеен модел има следния вид:

пропорционални съотношения между концентрация на O_3 и двата „предсказващи“ фактора.

Върху представения многофакторен линеен модел попадат 26 % от данните за концентрация на O_3 . Това е по-голям процент от данните в сравнение със съответните върху еднофакторните модели.



Фиг. 6. Многомерна линейна регресия между O_3 [ppb], температурата на въздуха и скоростта на вятъра

Fig. 6. Multiple linear regression between O_3 [ppb], air temperature, and wind speed

Статистическият анализ на остатъците от модела показва, че няма систематични отклонения от нулевата ос. Това потвърждава адекватността на модела. Доказано е значимо сходство с „нормалното“ разпределение на честотното разпределение на остатъците от модела. Представените резултати определят получения многофакторен линеен модел като подходящ за анализ на данните.

Спецификата в произхода на O_3 наложи диференциацията на данните с

$$Y = 27,65 + 0,53X_1 + 3,88X_3 + 0,009X_3$$

където:

Y е концентрацията на O_3 , ppb;

X_1 – температурата на въздуха, °C;

X_3 – скоростта на вятъра, m/s;

X_4 – слънчевата радиация, W/m^2 .

Установено е, че за този обем данни

цел по-точно описване на варирането на концентрации на O_3 в изследвания период. Статистически анализирани бяха моделите, които включват данни за светлата част на денонощието т.е. от 9,00 до 17,00 ч.

За статистически най-значим и най-адекватен, а също така и за най-представителен от гледна точка природата на образуване на O_3 в тропосферата е определен линейният модел, който има следния вид:

за концентрации на O_3 най-силно влияе температурата на въздуха, следвана от скоростта на вятъра. Относително по-слабо е влиянието на интензивността на слънчевата радиация. Моделът доказва сумарния положителен ефект на трите „предсказващи“ фактора, който

има за резултат повишени концентрации на O_3 в района. За стационара „Юндола“ е установено, че за пролетно-летния сезон средно денонощните концентрации на O_3 показват почти постоянно стойности над допустимата норма (Коларов и др. 2002).

Полученият модел (фиг. 7) е със статистическа достоверност над 99 %. Сравнително високият статистически значим коефициент на многомерна корелация (Multiple R = 0,62) показва, че съществуват пропорционални съотношения между концентрации на O_3 и изследваните фактори.

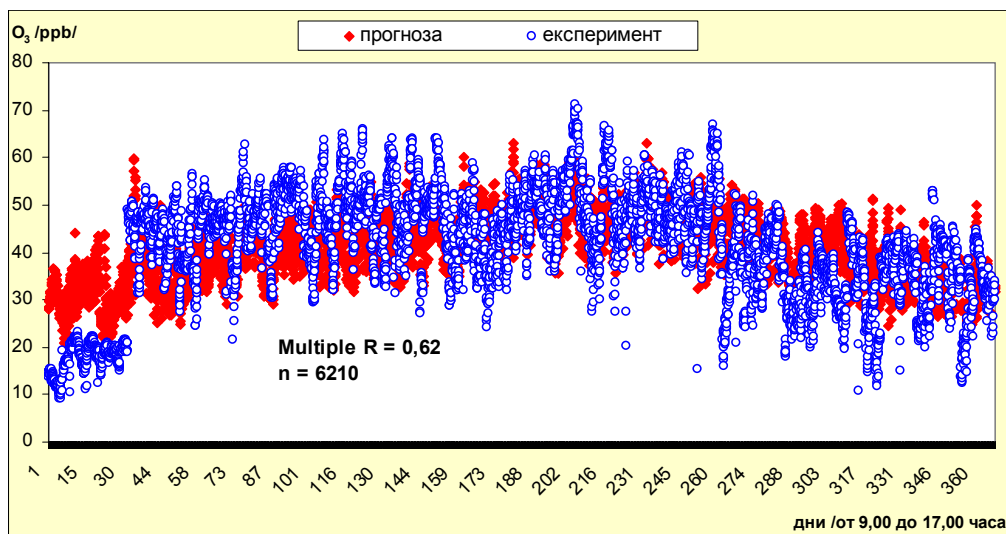
Установено е, че 39 % от варирането на данните за концентрации на O_3 през деня се определя от „предсказващите“ факторите в модела. Това е с над 1,7 пъти повече от съответното при еднофакторните модели. Представените статистически резултати в ком-

бинация с получените положителни стойности за доверителните интервали при 95 % вероятност определят получения многофакторен линеен регресионен модел като подходящ за анализ на данните.

Статистическият анализ на остатъците от модела установи, че липсват систематични отклонения от нулевата ос. Това потвърждава адекватността на модела. Успоредно с това е доказано значимо сходство с „нормалното“ разпределение на честотното разпределение на остатъците от модела. Представените резултати определят получения многофакторен линеен модел като най-подходящ за анализ на данните за концентрации на O_3 .

В заключение от представените резултати могат да се направят следните изводи:

1. Концентрацията на замърсяващи



Фиг. 7. Многомерна линейна регресия между O_3 [ppb], температурата на въздуха, скоростта на вятъра и слънчева радиация

Fig. 7. Multiple linear regression between O_3 [ppb], air temperature, wind speed and solar radiation

вещества във въздуха трудно би могла да бъде моделирана чрез еднофакторни линейни модели. Това се обяснява със сложността на протичащите в приземните слоеве на атмосферата процеси.

2. Изведените многофакторни линейни модели представляват интегриран израз на количествения анализ на процесите, които са протичали в повърхностните слоеве на атмосферата на стационар „Юндола“ през 2004 г. Тъй като атмосфера в този район е относително слабо повлияна от човешката дейност, то тези модели могат да служат като отправна точка за изготвяне на кратко- и дългосрочни прогнози, с които да се следи състоянието на въздуха както в района, така и в сходни такива.

3. Резултатите показват, че получените многофакторни линейни модели са по-представителни от съответните еднофакторни.

4. Доказаният най-добър модел включва данните за концентрацията на O_3 през светлата част на денонощието (9,00–17,00 часа). Той е по-представителен и по-адекватен от този, в който участват всички данни за изследвания замърсител. Кривата на посочения модел обяснява около 40 % от данните за концентрацията на O_3 през деня, т.е. това са 2407 средни половинчасови замервания.

5. За повишаване точността и представителността на моделите е необходима последваща верификация на последните за по-продължителен период от време. Също така за детайлна оценка на взаимовръзките е необходимо обяснение на количествения израз на

влиянието на „предсказващите“ фактори, който ще доведе до качествена промяна на моделираната концентрация на замърсителя във въздуха.

Литература

1. Коларов, Д., Ек. Павлова, Д. Павлов, М. Дончева-Бонева, Л. Малинова, Н. Цветкова, М. Николова, Д. Безлова, С. Бенчева. 2002. Интензивен мониторинг на горските екосистеми в България. С.: ИК при ЛТУ, 160.
2. Agirre-Basurko, E., G. Ibarra-Berastegi, I. Madariaga. 2006. Regression and multi-layer perceptron-based models to forecast hourly O_3 and NO_2 levels in the Bilbao area. – *Environmental Modelling & Software*, 21, 430–446.
3. Al-Alawi, S. M., S. A. Abdul-Wahab, C. S. Bakheit. 2008. Combining principal component regression and artificial neural networks for more accurate predictions of ground-level ozone. – *Environmental Modelling & Software*, 23, 396–403.
4. Alexandrov, V., S. Velikov, E. Donev, D. Ivanov. 2005. Quantifying nonlinearities in ground level ozone behavior at mountain-valley station at Ovnarsko, Bulgaria, by using neural networks. – *Bulgarian Geophysical Journal*, 31, 1–4.
5. Andersson, C., J. Langner. 2007a. Inter-annual variations of ozone and nitrogen dioxide over Europe during 1958–2003 simulated with a regional CTM. – *Water Air & Soil Pollution*, 7, 15–23.
6. Andersson, C., J. Langner, R. Bergstrom. 2007b. Interannual variation and trends in air pollution over Europe due to climate variability during 1958–2001 simulated with a regional CTM coupled to the ERA40 reanalysis. – *Tellus A*, 59B, 77–98.
7. Bandyopadhyay, G., S. Chattopadhyay. 2007. Single hidden layer artificial neural network models versus multiple linear re-

gression model in forecasting the time series of total ozone. – **International journal of Environmental Science and Technology**, 4 (1), 141–149.

8. Barrero, M. A., J. O. Grimalt, L. Canton. 2006. Prediction of daily ozone concentration maxima in the urban atmosphere. – **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, 80, 67–76.

9. Bridgeman, H., J. O'Connor. 2007. Relationships between air pollution and meteorology in Newcastle, Australia. – In: Proceedings of the 6th international conference on Urban Air Quality, Limassol, Cyprus, 27–29 March 2007, 10–13.

10. Cobourn, W. G. 2007. Accuracy and reliability of an automated air quality forecast system for ozone in seven Kentucky metropolitan areas. – **Atmospheric Environment**, 41, 5863–5875.

11. Corani, G. 2005. Air quality prediction in Milan: feed-forward neural networks, pruned neural networks and lazy learning. – **Ecological Modelling**, 185, 513–529.

12. Delcloo, A. W., H. De Backer. 2005. Modelling planetary boundary layer ozone, using meteorological parameters at Uccle and Payerne. – **Atmospheric Environment**, 39, 5067–5077.

13. Delcloo, A. W., H. De Backer. 2008. Five day 3D back trajectory clusters and trends analysis of the Uccle ozone sounding time series in the lower troposphere (1969–2001). – **Atmospheric Environment**, 42, 4419–4432.

14. Demuzere, M., R. M. Trigo, J. Vila-Guerau de Arellano, N. P. M. van Lipzig. 2009. Impact of weather and atmospheric circulation on O₃ and PM₁₀. – **Atmospheric Chemistry and Physics**, 9, 2695–2714.

15. Demuzere, M., N. P. M. van Lipzig. 2010. A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part I: Present-day O₃ and PM₁₀ analysis. – **Atmospheric Environment**, 44 (10), 1341–1355.

16. García, I., A. Marbán, Y. Tenorio,

J. Rodriguez. 2008. Pronóstico de la concentración de ozono en Guadalajara-México usando redes neuronales artificiales. – **Información Tecnológica**, 19 (3), 89–96.

17. Gholizadeh, M. H., M. Darand. 2009. Forecasting the air pollution with using artificial neural networks: The case study: Tehran city. – **Journal of Applied Sciences**, 9, 3882–3887.

18. Gomez-Sanchis, J., J. D. Martin-Guerrero, E. Soria-Olivas, J. Vila-Frances, J. L. Carrasco, S. del Valle-Tascon. 2006. Neural networks for analysing the relevance of input variables in the prediction of tropospheric ozone concentration. – **Atmospheric Environment**, 40 (32), 6173–6180.

19. Goyal, P., A. T. Chan, N. Jaiswal. 2006. Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities. – **Atmospheric Environment**, 40, 2068–2077.

20. Grivas, G., A. Chaloulakou. 2006. Artificial neural network models for prediction of PM₁₀ hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece. – **Atmospheric Environment**, 40, 1216–1229.

21. Gupta, P., S. A. Christopher. 2009. Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite, and meteorological products: Multiple regression approach. – **Journal of Geophysical Research**, Vol. 114, D14205, doi: 10.1029/2008JD011496.

22. Hooyberghs, J., C. Mensink, G. Dumont, F. Fierens, O. Brasseur. 2005. A neural network forecast for daily average PM₁₀ concentrations in Belgium. – **Atmospheric Environment**, 39, 3279–3289.

23. Johansson, Ch., C. Andersson, R. Bergström, P. Krecl. 2008. Exposure to particles due to local and non-local sources in Stockholm – Estimates based on modelling and measurements 1997–2006. A report from activities in TRAPART and IMPORT EMFO funded projects September 2008, 69 p.

24. Nghiem, L. H., N. T. Kim Oanh. 2004. Prediction of maximum daily ozone levels us-

- ing neural network model for Bangkok. – In: Proceedings of Better Air Quality Conference 2004 (BAQ04), Agra, India, 6–8 December 2004, 1–11.
25. Oanh, N. T. K., P. Chutimon, W. Ekbordin, W. Supat. 2005. Meteorological pattern classification and application for forecasting air pollution episode potential in a mountain-valley area. – *Atmospheric Environment*, **39**, 1211–1225.
26. Papanastasiou, D. K., D. Melas. 2008. Daily Ozone Forecasting In an Urban Area Using Meteorological and Pollution Data. – *Fresenius Environmental Bulletin*, **17** (3), 364–370.
27. Papanastasiou, D. K., D. Melas, I. Kioutsoukis. 2007. Development and assessment of neural network and multiple regression models in order to predict PM_{10} levels in a medium-sized mediterranean city. – *Water Air Soil Pollution*, **182**, 325–334.
28. Stadlober, E., S. Hormann, B. Pfeiler. 2008. Quality and performance of a PM_{10} daily forecasting model. – *Atmospheric Environment*, **42**, 1098–1109.
29. Videnova, Iv., D. Nedialkov, M. Dimitrova, S. Popova. 2006. Neural Networks for air pollution nowcasting. – *Applied Artificial Intelligence*, **20** (6), 493–506.
30. Wise, E. K., A. C. Comrie. 2005. Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States. – *Atmospheric Environment*, **39**, 2969–2980.

RELATIONSHIPS BETWEEN AIR POLLUTANTS AND METEOROLOGICAL PARAMETERS IN YUNDOLA ECOLOGICAL STATIONARY MONITORING SITE

Elena Tsvetkova

University of Forestry – Sofia

UDK 504.054

Received 11.11.2009

Summary

The article includes data from 2004 for meteorological parameters and the content of the main pollutants of Yundola ecological stationary monitoring site – West Rhodopes. In modelling the interactions between single pollutant concentrations and some meteorological parameters, the strongest linear relationship identified (O_3 concentration as a function of air temperature) explained only 22 % of the variation in the data. This requires identifying more complex multiple models to describe adequately the concentration of major pollutants as a function of some more important meteorological parameters. The five multi-linear models were calculated, among which the best demonstrated model (Multiple $R = 0.62$) includes data for the concentration of O_3 in the light part of the day (9.00 a.m. to 17.00 p.m.). The curve of above mentioned model explains about 40 % of the data for the concentration of O_3 during the day, i.e. these are 2407 average of half-an-hour measurements.