

Министерство на околната среда и водите

Създаване на система за прогнозиране нивата на озон (тропосферен) в атмосферния въздух

Втори етап

Изпълнител: Геофизичен Институт - БАН
Ръководител : ст.н.с. д-р Николай Милошев

1. Цел на изследванията

Целта на настоящия проект е дефинирана в самото му заглавие, а именно **Създаване на система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух**. Основните понятия, които фигурират в така изложената цел се дефинират по следния начин:

Под **прогноза** следва да се разбира предсказване на нивата на озона за периоди не по-дълги от тези, за които синоптичната прогноза на времето се счита за надеждна, т.е. за не повече от 2-3 денонощия напред във времето.

Като **критерий за качество** на прогнозата следва да се приеме изискването за 50% неопределеност за едночасовите дневни средни стойности и 8-часов дневен максимум, дефинирано в Приложение №4 към чл.15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004.

Под **нива** следва да се разбира, че замърсяването с озон ще бъде оценявано в термините и единиците, дефинирани в Директива 2002/3/ЕС, както и в Приложение №1 към чл.3, 4, 5 и 22, а именно *максимална осемчасова средна стойност в рамките на денонощието* и *АОТ40 от средночасовите стойности за периода от май до юли* и алармените прагове *ПИН* и *ППН*, дефинирани в Приложение №2 към чл.6 и чл.32 от Наредба №4 от 5.07.2004 за норми за озон и алармени прагове за нивата на озон в атмосферния въздух.

В съгласие с обосновката на предмета на поръчката, се предвижда за прогноза нивата на озона да бъдат използвани основно средствата на численото моделиране. В допълнение резултатите ще бъдат сравнявани с наличните данни за концентрации на озон, измерени от НАСЕМ. Тези сравнения от една страна ще очертаят симулационните възможности на моделите и ще доведат до тяхното по-добро адаптиране към разглежданите райони, посредством коригиране и обогатяване на емисионните и метеорологични данни, настройване на параметрите на моделите и уточняване на граничните условия. От друга страна използването възможностите на математическата статистика (регресионен анализ), ще позволи да бъдат уловени взаимовръзки и зависимости, позволяващи допълнително да бъде увеличена достоверността на предлаганите прогнози.

Създаване на система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух

По-долу в текста наред с пълното название “Система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух” ще бъде използвано и работното съкращение СПО

2. Задачи и отговорници за втория етап на проекта

Съгласно работната програма за първия етап на проекта са предвидени следните основни задачи:

1. Проектиране и програмиране на действащ прототип на система за прогнозиране нивата на озон в атмосферния въздух – водещи експерти ст.н.с.І ст. дфн Димитър Сираков – НИМХ, ст.н.с. дфн Костадин Ганев -ГФИ.

2. Набиране на необходимата допълнителна информация и форматирането и във вид подходящ за ползване от системата – водещи експерти г-н Стефан Цонев – НСИ, ст.н.с. д-р Валери Спиридонов - НИМХ.

3. Тестване на системата и сравнение с данни от измерванията на озона от НАСЕМ - водещ експерт - ст.н.с. д-р Николай Милошев – ГФИ.

4. Създаване на софтуеър (пост-процесинг) за представяне на резултатите от прогнозата – водещи експерти ст.н.с.І ст. дфн Димитър Сираков – НИМХ, ст.н.с. дфн Костадин Ганев -ГФИ.

5. Инсталиране и пускане в действие на системата ст.н.с.І ст. дфн Димитър Сираков – НИМХ, ст.н.с. дфн Костадин Ганев –ГФИ, ст.н.с. д-р Валери Спиридонов - НИМХ.

6. Изготвяне и приемане на окончателния доклад - водещ експерт - ст.н.с. д-р Николай Милошев – ГФИ.

3. Проектиране и програмиране на действащ прототип на системата за прогнозиране нивата на озон

3.1. Използвани модели

Дизайнът на системата е съобразен с редица фактори като мащаби на районите с различни видове информация (метеорологична, източници, характер на земната повърхност и др.) и оперативните дадености и потребности. Доколкото срокът на метеорологичната прогноза е 48-часа, а такава прогноза пристига 2 пъти дневно, системата има същия режим на работа – тя автоматично се включва два пъти на ден и всеки път произвежда 48-часова прогноза. Началните срокове на прогнозите са синоптичните срокове 00 и 12 ч. по Гринуич, т.е. 02/03 и 14/15 ч. местно време в зависимост от сезона. На практика прогнозата е готова 1-1.5 ч. след началния срок, време необходимо за получаване на входната метеорологична информация и за работа на системата.

В резултат на сериозно проучване на наличните метеорологични, емисионни и химически дисперсионни модели, направено на първия етап на този проект, както и на натрупания от колектива опит в решаването на други подобни задачи, бе решено системата да се изгради на базата на препоръчаната и развивана от Американската агенция по околна среда (ААОС) моделна система Models-3, която не само е най-съвременното средство за моделна оценка качеството на въздуха, но и се предоставя свободно. Нещо повече, ААОС е създавала специален център за поддържането и развитието ѝ, който поддържа сайт със софтуер, подробна документация и предоставя всякакви консултации по отделните части на Models-3 за всеки заинтересован.

Models-3 се състои от 3 подсистеми от модели, а именно:

- **CMAQ** (Denis et al.,1996, Byun and Ching, 1999, Byun and [Schere](#), 2006) - **Community Multi-scale Air Quality model** (<http://www.cmaq-model.org/>), който е съвкупност от подходящо свързани модули за пресмятане на дисперсията на

замърсителите (транспорт, дифузия, суха и мокра депозиция) и техните химични трансформации.

- **MM5** (Dudhia, 1993, Grell et al., 1994) - the 5th generation PSU/NCAR Mesometeorological Model (<http://box.mmm.ucar.edu/mm5/>) се използва като метеорологичен пре-процесор работещ на базата на локалната числена прогноза, т.е. захранва се от нея. Локалната числена прогноза не може да се използва директно за целите на прогнозата на озона, защото тя се осъществява за конкретен район и изчислителна мрежа, а периодичността ѝ е 6 или 12 часа. Мрежите на **MM5** и **CMAQ** са други и са съвместими, така че най-грубо казано **MM5** “динамически интерполира” резултатите от локалната числена прогноза във времето и пространството, за да доведе данните във възлите от мрежата на **CMAQ** с периодичност 1-час, необходима при изчисляване на химичните и фотохимични трансформации, водещи до образуването на озон (озонът не е първичен замърсител).

- **SMOKE** (Coats and Houyoux, 1996, Houyoux and Vukovich, 1999, CEP, 2003) - Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modelling System (<http://www.smoke-model.org/>) - е емисионният пре-процесор на системата **Models-3**. Той подготвя емисионния вход за **CMAQ** и, както всеки друг елемент на системата е многокомпонентен – състои се множество модули, които в различните случаи се комбинират по подходящ начин.

Освен двата главни вида входна информация (метеорологична и емисионна) **CMAQ**, като система, решаваща ограничена в пространството еволюционна задача, се нуждае от още два типа входна информация – начално и гранични условия, като последните трябва да се променят с времето на прогнозата.

Трябва да се отбележи, че **CMAQ** и **SMOKE** като вход, изход или вътрешни нужди използват един единствен формат – **NetCDF** – Network Common Data Format (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf>).

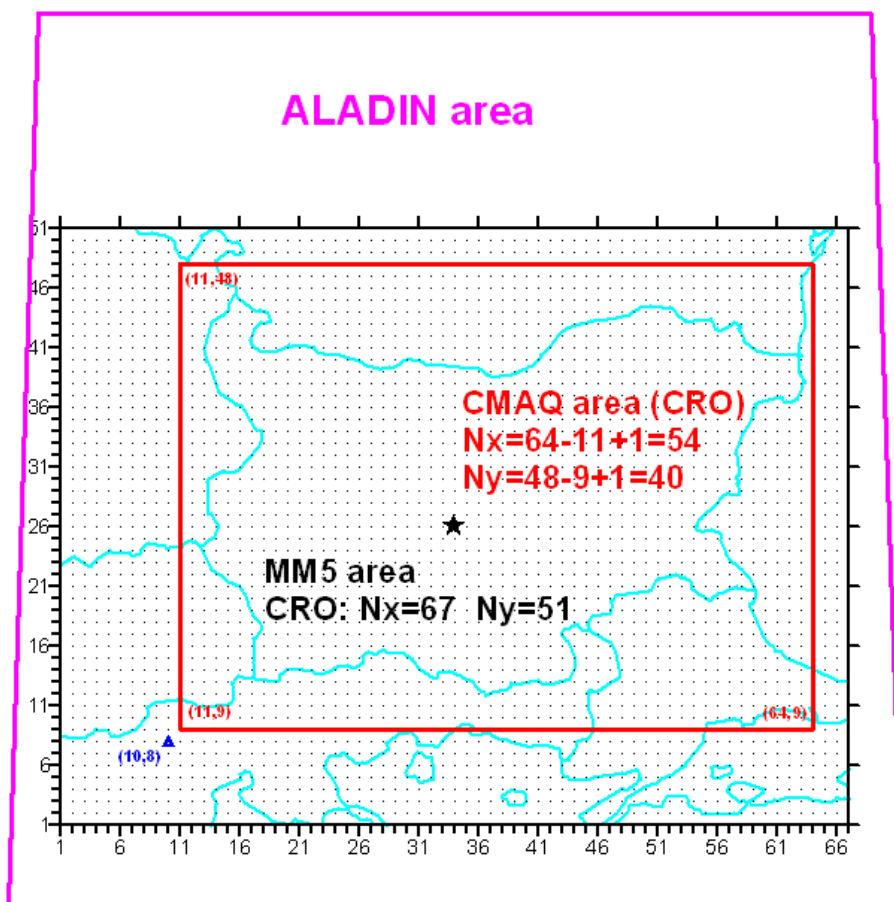
3.2 Район на прогнозата

Всички модели работят на мрежи от точки, покриваща конкретен район. Съгласно поставената задача за прогноза на нивата на озон на територията на България, мрежите на различните модели са подбрани по такъв начин, че да се спазват взаимното вместиане и добро покриване на страната. Доколкото отделните модели се захранват с информация от други модели, районите на по-старшите в йерархията модели трябва да са по-големи от тези на захранваните от тях модели. Това най-вече се отнася за метеорологичните и дисперсионни модели. В нашата схема на потока на информацията, описана подробно в следващия параграф на тази глава, данните от българската числена прогноза, реализирана от оперативния модел на НИМХ **ALADIN** захранват метеорологичния пре-процесор **MM5**, а той от своя страна захранва химическия транспортен модел **CMAQ**.

На фигура 3.2.1 е представено вместиането на областите на интегриране на моделите, съставлящи **СПО**. Областта на **ALADIN** има трапецовидна форма, защото резултатите от работата ѝ са интерполирани в географска координатна система. За елементите на системата **Models-3** е използвана Ламбертова конформна проекция с параметри: $Trulat1 = 42.5^\circ$, $Trulat2 = 42.5^\circ$, т.е. конусът на проекцията не пресича земната повърхност, а я допира по паралел 42.5° . Избрана е централна точка с координати $\lambda_{center} = 25^\circ$, $\varphi_{center} = 42.5^\circ$ (центърът е показан на фигура 3.2.1 със звездичка). Областта на **MM5** е правоъгълник, с център централната точка. Размерите му се определят от броя на възлите (показани на фигура 3.2.1) и стъпката на мрежата, която е $\Delta x = \Delta y = 10$ км. Областта на **CMAQ** се определя от броя на точките (показани на фигура 3.2.1), същата стъпка и началната точка (долния ляв ъгъл), чиито координати по отношение на централната точка са $X_{orig} = -235$ км, $Y_{orig} = -175$ км. Вижда се, че основните възли на **CMAQ** са изместени с половин стъпка по отношение на тези на **MM5**. По този начин мрежовите стойности на метеорологичните параметри са зададени в

Създаване на система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух

центъра на клетките на **CMAQ**, което е направено за по-оптимално реализиране на различните числени схеми на модела.

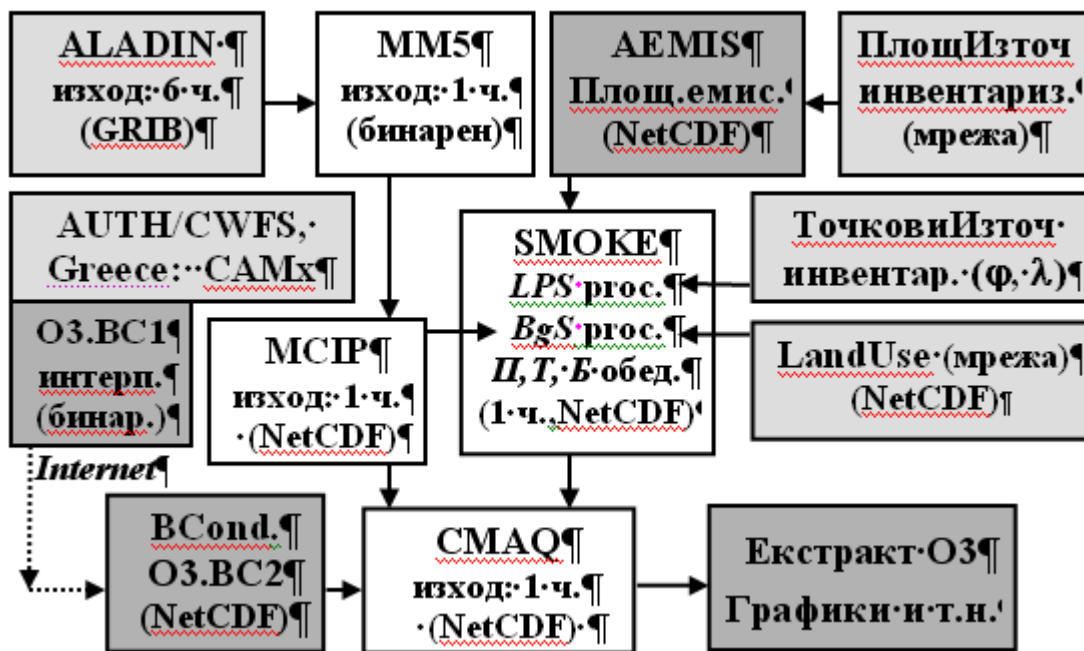


Фигура 3.2.1. Взаимно разположение на областите на интегриране на **ALADIN** (виолетови линии), **MM5** (черни линии) и **CMAQ** червени линии).

3.3 Функционална схема на системата за прогноза на озон

На фигура 3.3.1 са показани потоците различна информация. Белите блокове съдържат елементи на системата **Models-3**, които са конфигурирани по специален начин, за да изпълнят поставената цел. Светлосивите блокове съдържат входна информация за различните модели, а тъмносивите – специално разработени за този проект програми на Fortran (т.нар. интерфейсни програми).

Освен имената на съответните модели и модули (програми) блоковете съдържат информация за вида и честотата на изхода от тях.



Фигура 3.3.1 Схема на организация, функциониране и предаване на информацията при системата за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух.

Входната информация, показана в лявата част на схемата, е зависима от времето (съдържа данни за целия период на прогнозата), а тази, представена в дясната част на схемата, е постоянна или се мени с годината и/или сезона.

3.4 Метеорологично моделиране

Метеорологичната информация, която захранва системата на практика е националната числена прогноза, произведена от моделната система **ALADIN**, която оперативно се прави два пъти на ден и се използва интензивно от синоптиците на Националния институт по метеорология и хидрология. Моделът **ALADIN** е типичен модел за ограничена територия (Limited Area Model – LAM) и, за да работи, получава граничните си условия от френския глобален метеорологичен

модел **ARPEGE**. Областта на българската версия на **ALADIN** покрива значителна част от Балканския полуостров и Черно море. Разделителната му способност по пространството е около 12 км. По вертикалата има 41 нива – от земята до около 100 hPa. За всяко ниво той произвежда мрежовите стойности на около 20 метеорологични параметъра, включително необходимите за нашата задача вятър, температура, влажност, облачност, валежи и др. Моделът е настроен така, че на всеки 6-ти прогностичен час извежда цялата информация за ползване, т.е. разделителната способност на неговата информация по времето е 6 часа. С използване на пост-процесингова програма тази информация се преобразува и записва в стандартен за метеорологията формат, наречен **GRIB (GRIdded Binary - www.grib.us)**, който е приет за разпространение на метеорологичната информация между страните и различните метеорологични центрове. Изходът на **ALADIN** се записва в сървъра на отдел “Прогнози” на НИМХ, откъдето по интернет се прехвърля чрез **ftp-протокол** в сървъра на ГФИ, на който е реализирана системата за прогноза на тропосферен озон.

Мезо-метеорологичния модел **MM5** чете тази информация и я интерполира по пространството и времето в точките от своята мрежа. Вертикалната структура на модела е 23-слойна (σ -координатна система). **MM5**, който за разлика от **ALADIN** е нехидростатичен и по-добре описва процесите при малка стъпка по пространството, прави пълния цикъл изчисления, но стойностите му постоянно се привързват към тези на **ALADIN** чрез включване на специална опция за четимерно усвояване на данни (Stauffer and Seaman, 1990). За по-точно изчисляване на валежите, **MM5** започва изчисленията си 12 часа по рано от началния срок на прогноза на **СПО**, така че той прогнозира за период 60, а не 48 часа.

Преди да постъпи в **CMAQ**, информацията се обработва от модула **MCIP** (Meteorology-Chemistry Interface Processor), който е част от пакета **CMAQ**. Той приготвя необходимите за **CMAQ** и **SMOKE** метеорологични полета в NetCDF-формат и пресмята някои допълнителни параметри (потоци, скорости на сухо отлагане и т.н.

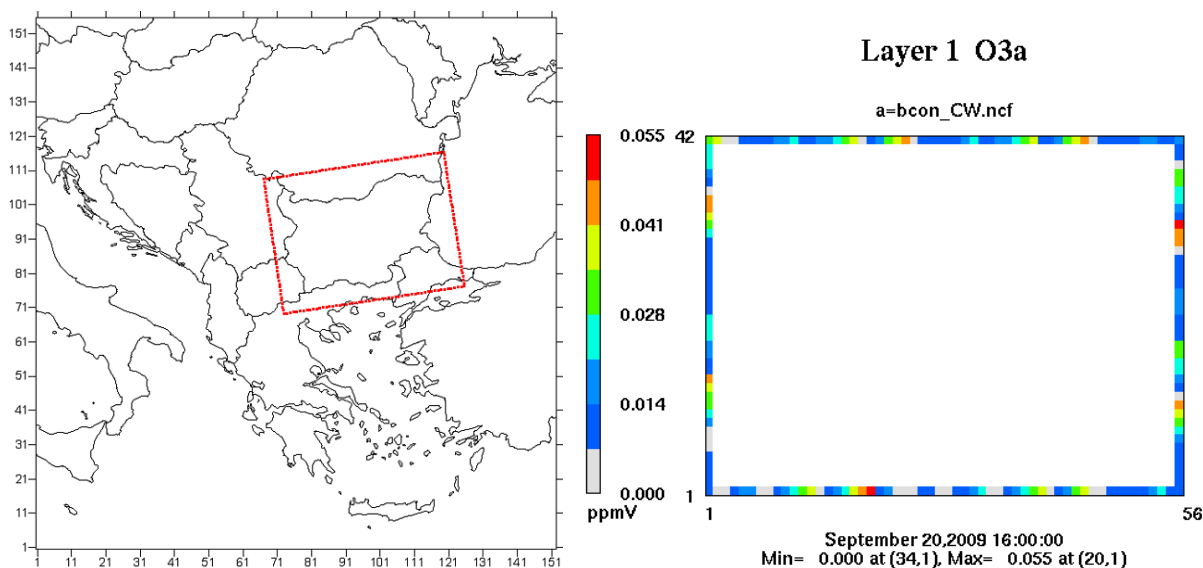
4.5 Моделиране на граничните условия

Вторият вид променяща се с времето входна информация е граничното условие. Това са стойностите на замърсителите по границата на областта, в която е реализиран **CMAQ**. Тези данни трябва да се вземат от прогнози, направени на по-голяма територия. За целта, и поради добрите връзки на колектива с колегите от университета в Солун, Гърция, се използват резултатите от създадената там система за прогноза на химическото време, която в настоящия отчет е означена като **AUTH/CWFS** (Pourkou et al., 2008a, 2008b). Системата използва три вместени области. Първата обхваща Европа и разделителната ѝ способност е 50 км. Втората, интересна за нас, област обхваща Балканския полуостров и разделителната ѝ способност е 10 км (възлите ѝ не съвпадат с нашите, защото координатната им система е различна от нашата). Третата област е за района на Атина. Прогностичната система се състои от **MM5** (метеорологичен пре-процесор) и дисперсионния модел **CAMx** (ENVIRON, 2006). Емисионните данни се произвеждат от съответен модел, а инвентаризациите на емисиите се получават от Холандия. Системата се пуска един път дневно и произвежда 3-дневна прогноза.

За да се използват прогнозите от област 2 на **AUTH/CWFS** бе разработен двустъпков механизъм. Първата стъпка се извършва в Солун. От нас бе създадена програма (означена на фигура 3.3.1 като **O3.BC1**), която чете изходните данни на **CAMx** и ги интерполира в граничните точки на мрежата на **CMAQ** за всички нива и за всички замърсители. Резултатите се записват в бинарен файл. Тази програма е вградена в оперативната технологична линия на **AUTH/CWFS** заедно със Linux-скрипт, който веднага изпраща по Интернет този файл в специализиран сървър на НИМХ. От там той се изпраща в сървъра на **СПО** в Геофизичен институт. Пристигането му обикновено е към 08 часа местно време.

Втори модул, означен на схемата на фигура 3.3.1 като **O3.BC2**, е част от **СПО**. Той чете бинарния файл и извършва интерполации, преобразуване на формати, хармонизиране на т.нар. "speciation" и преpraщане/получаване на данните, като в резултат на това се генерира файл с граничните условия за

CMAQ. Поради технологичното забавяне на доставката от гръцка страна, изпълнението на **O3.BC2** става само в следобедния цикъл на **СПО**. За сутрешния цикъл се използва резултата от следобедното пускане от предния ден. Понеже данните се отнасят за 72-часов период, те напълно покриват 48-часовия период на сутрешното пускане.



Фигура 3.5.1. Взаимно разположение на областите на интегриране на **AUTH/CWFS** и **CMAQ** (вляво) и вече готови (интерполирани от изхода на **AUTH/CWFS** гранични стойности на озона за конкретен срок (16:00:00, 20 Септември 2009) (вдясно)

На фигура 3.5.1 е показан резултатът от работата на двете интерфейсни програми. Като пример на гранично условие за озона е взет оперативния файл, получен по време на подготовката на този отчет.

3.6 Моделиране на емисиите

CMAQ, както и другите химически транспортни модели, изисква входа му с емисиите да бъде в определен формат отразяващ еволюцията във времето на всички замърсители, включени в използвания химичен механизъм. Инвентаризацията на емисиите обикновено е направена на годишна база и като правило за големи територии (общини, окръзи, държави и т.н.). Замърсителите са

изчислени в групи като CH₄, CO, NH₃, NMVOC (No Methan VOC, VOC - Volatile Organic Compounds), NO_x, SO_x, PM₁₀ и PM_{2.5}. При подготовката на файла с емисии за **CMAQ**, трябва да се направят известен брой допълнителни процедури:

- Първо, цялата първична информация, в суров вид зададена по общини или населени места трябва да бъде интерполирана в съответната избрана мрежа (гридиране от grid – мрежа). По точно за всяка точка от мрежата трябва да се зададе скоростта на емитиране от клетката 10×10 км с център точката от мрежата;
- Второ, трябва да бъдат наложени времеви профили които да модифицират годишните стойности, така че да се отчетат сезонните, седмичните и дневните вариации на работата на емиторите.
- Накрая, емисиите от “фамилиите” органични газове и в по-малка степен SO_x, NO_x и PM_{2.5} трябва да бъдат разцепени или „преобразувани” в по-голям брой компоненти, съгласно изискванията за емисионен вход на **CMAQ**, които пък зависят от избрания химически механизъм – процедура, наречена “speciation”.

При това всеки от различните типове източници: площни (AS), големи точкови (LPS) и биогенни (BgS) следва да се третира по специфичен начин. (емисиите от транспорта също са отделна категория, но поради начина на инвентаризирането им у нас те се обединяват с площните източници). Очевидно, емисионните модели са необходими пре-процесори за моделите на химичните трансформации и пренос на замърсители. Такъв компонент в **Models-3** системата е **SMOKE**. За съжаление, както вече беше отбелязано, той е много силно адаптиран към условията в САЩ – инвентаризации на емисиите, административно деление, категоризации, горивни процеси и т.н.. Много европейски научни колективи работят в момента за адаптиране на **SMOKE** към европейски условия. Доколкото тази работа не е още завършена, част от емисионно моделиране следва да бъде извършено със средства (емисионни модели), специално изработени за целта.

Предлага се, за целите на настоящия проект (прогнозиране нивата на озона) времевите вариации на емисиите да се изчисляват на базата на дневни, седмични и месечни профили предоставени в (Buitjes et al., 2003, Schaap et al.,

2008). Тези времеви профили са специфични за държава, замърсител и относно SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Процедурата по “speciation” е зависима от използвания химичен механизъм. **CMAQ** поддържа различни химични механизми. За целите на озоновото моделиране най-често се използва Carbon Bond v.4 - **CB4** (Gery et al., 1989). Основата на **CB4** механизма е това че реактивността на органичните компоненти в атмосферата може да бъде симулирана добре от различни механизми представящи различни типове въглеродни връзки. От времето на публикуването **CB4**, са направени няколко промени. По-специално, добавена е химия на **PM**. Във версия 4.6 на **CMAQ CB4** е обновен с версия 1.7 на ISORROPIA aerosol model (Nenes et al., 1998). Според този комбиниран механизъм (CB4-аероз) 10 органични и 5 PM2.5 съставки са добавени към входа с другите неорганични газове. Повечето от органичните съставки в **CB4** представляват тип въглерод-въглеродна връзка, но етилена (ETH), изопрена (ISOP) и формалдехида (FORM) са представени явно. Въглеродният тип връзки включва въглеродни атоми които съдържат само прости връзки (PAR), двойно-свързани въглеродни атоми с представител олефин (OLE), 7-въглеродна пръстеновидна структура с представител толуол (TOL), 8-въглеродна пръстеновидна структура с представител ксилол (XYL), карбонилна група и присъединен въглероден атом в ацеталдехид и алдехиди с по-голямо молекулно тегло с представител ацеталдехид (ALD2) и нереактивни въглеродни атоми (NR). Аерозолният вход към CB4-аероз е едрите съставки на PM (PM_C=PM₁₀-PM_{2.5}) и PM_{2.5} разделен съответно на 5 вида: първичен елементарен въглерод (PEC), първичен нитратен аерозол (PNO₃), първичен органичен аерозол (POA), първичен сулфатен аерозол (PSO₄) и други по-фини частици PM (PM_{FINE}=PM_{2.5}-PEC-PNO₃-POA-PSO₄). SO_x и NO_x също са разделени съответно на SO₂ и H₂SO₄ (SULF), и на NO и NO₂. Препоръчаното от (Visschedijk et al., 2007) разделяне на NMVOC е базирано на работата по базата данни EDGAR (Olivier et al., 2001). Според тази методология, VOC са разделени на 25 главни групи от съединения (изопрените и монотерпените бидейки биогенни емисии имат нулеви разделящи коефициенти). Разцепването е специфично за държави и по категории източници (SNAP). В подготовката на файл

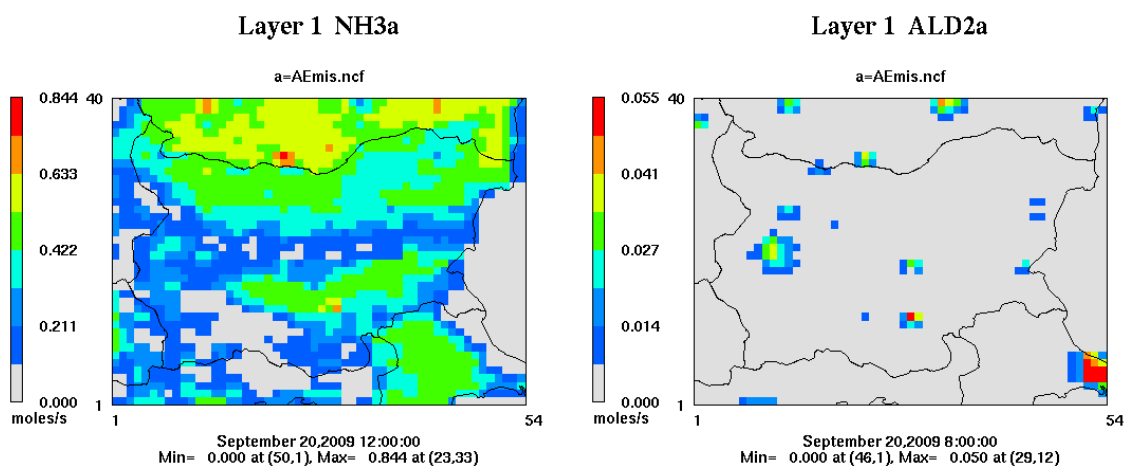
с емисии, готов за модела, тези 25 съединения трябва да бъдат комбинирани в горните блокови замърсители в зависимост от използвания химичен механизъм следвайки съответните процедури.

От нас е разработен специфичен подход за осъществяване на това разцепване (speciation). Предлага се за целите на прогноза нивата на озона в нашата страна да се следва технологията разработена от US EPA Emission Factor and Inventory Group (Ryan, R., 2002). Всичката необходима информация може да бъде свалена от съответния уеб сайт (виж цитираната работа в Литературата към този отчет). На същото място може да се намерят профилите на спесиация както на VOC, така и на PM_{2.5}, NO_x и SO_x и съответните справочни таблици. Много удобно е това че профилите са специфични за химичния механизъм давайки директно разделяне на коефициентите от количеството на VOC в [g/s] към блоковите замърсители в [moles/s], което е изисквания вход на емисиите за CMAQ. Малко усложнение е това, че VOC не могат да бъдат директно разделени. Те трябва първо да бъдат трансформирани в TOG (Total Organic Cases) включващи и CH₄ емисиите. Трансформационните коефициенти зависят от източника.

Директното използване на тези доста детайлни данни не е възможно извън Северна Америка защото US EPA SCC (Source Category Code) съдържа около 10000 типа източника, докато CORINAIR съдържа по-малко от 300 типа източника и само 11 SNAP категории. За преодоляване на тази трудност, на основата на експертно проучване бяха открити редица съвпадения между главни Български източници за всеки SNAP и подобни на тях SCC източници. Тегловните (теглата са приноса в проценти на всеки тип източник съгласно US EPA SCC към съответната обща Българска емисия за съответния SNAP) средни за съответните профили на разцепване (speciation) от US EPA SCC са приети като разделящи фактори, специфични за съответния SNAP. По този начин, могат да се получат както обработените профили на TOG и PM_{2.5}, така и VOC-TOG коефициентите на преобразуване. Трябва да се отбележи че такова преобразуване се предпочита пред директното сумиране на VOC и CH₄ поради голямата неопределеност на пресмятанията на CH₄ емисиите.

Входната информация, представена в дясната част на схемата на фигура 3.3.1 е свързана с изчисляване на емисиите. Това са мрежови данни за площните източници (Area Sources – AS), за мощните точкови източници (Large Point Sources – LPS) и данни за характера на земната повърхност (LandUse), необходими за моделиране на естествените (или биогенни) източници (BgS). Последните емитират органика, CO и NO и стойностите им зависят силно от метеорологичните условия, включително слънчевото греене.

Данните за площните източници захранват специално създадената програма **AEmis**, която извършва разцепването (speciation) и налагането на времевите профили за всяка клетка от мрежата за всеки SNAP, за съответните юлиански дати. Получените часови стойности на всичките 22 (CH₄, CO, NH₃, 10 типа VOC, NO_x, SO_x, PM₁₀ и 5 типа PM_{2.5}) се записват във файл в NetCDF формат. Характерно е, че **AEmis** произвежда 2D-файл (само данни за земната повърхност). Пример е представен на фигура 3.6.1.

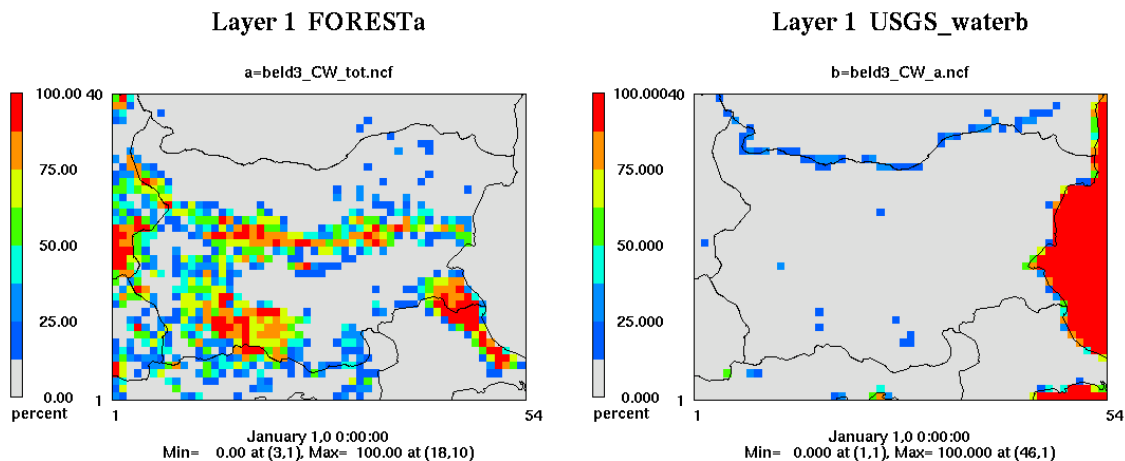


Фигура 3.6.1. Пример за произведени от **AEmis** емисионни полета

Базата данни LPS съдържа данни само за 4 SNAP сектора – 1, 3, 4 и 8. Тази информация, заедно с изхода на MCIP се подават на **LPS-процесора** на **SMOKE**, който произвежда съответния емисионен файл. За целта инвентаризацията на мощните точкови източници се трансформира в изисквания от **SMOKE** IDA-

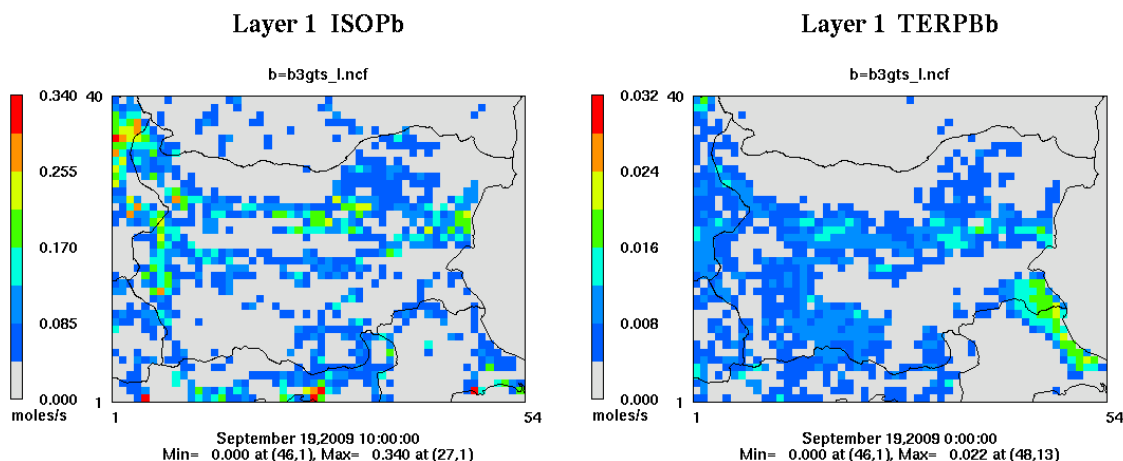
формат. Това е текстов файл но порядъка на променливите и техните позиции са фиксирани. В този файл, наред с инвентаризационните данни, влизат и редица параметри на източниците като географски координати, височина и диаметър на комина, скорост и температура на изхвърляне на замърсителите и др. За целите на проекта бе направено сериозно обновяване на базите данни на **SMOKE**, за да се въведат използваните в Европа времеви профили, както и получените от нас speciation-профили. Моделът не само извършва специация и времева алокация, но и изчислява т.нар. “plume-rise” изхвърлянето на замърсителите във височина в резултат от механичния импулс и архимедовите сили. Това нарастване на височината на струята зависи съществено и от метеорологичните условия – вятър и устойчивост на атмосферата, предоставени от **MCIP**. В резултат **SMOKE** произвежда 3D-файл – замърсителите се изхвърлят на различни нива (нивата съвпадат с вертикалната структура на **CMAQ**). Визуализация на тези емисии няма да се представя, защото ненулеви стойности има само в някои точки и на някои нива.

SMOKE се използва и за направата на файл с третия вид емисии - биогенните емисии. **SMOKE** в момента поддържа механизма BEIS (Biogenic Emissions Inventory System), версии 2 и 3 (Pierce et al., 1998, Guenther et al., 2000). BEIS2 и BEIS3 се захранват с пространственото разпределение на вида подложна повърхност за първата стъпка от процеса – пресмятане на нормализираните емисии за всяка клетка от мрежата и за всяка категория подложна повърхност (това са емисиите при фиксирани стандартни метеорологични параметри). Финалната стъпка е привеждането на нормализираните емисии към актуални емисии на базата на гридирана, почасова метеорологична информация. В сегашната версия на **SMOKE** е вграден механизма BEIS3.13 (Schwede et al., 2005).



Фигура 3.6.2. Пример разпределението на две USGS-категории подложна повърхност

Входната към BEIS информация за вида на подложната повърхност е класифицирана в 230 категории (различна земна повърхност, различна растителност) от които 19 USGS (US Geological Survey) категории. Само последните са използвани в това изследване, изтеглени от 1-км база данни на USGS (www.usgs.gov). По този начин, всяка клетка от мрежата съдържа 100 на брой 1-километрови елемента и това дава възможност да се пресметне процентното отношение на всяка категория (виж фигура 3.6.2). Процентът на останалите категории е нула. Данните се запазват като три NetCDF файла и се подават към **биогенния процесор** на **SMOKE**. Другият вход е метеорологичната информация за настоящия ден, приготвена с **MCIP**. Изходният NetCDF файл съдържа дневния ход на CO, NO и 10-те огранични блокови замърсители. На фигура 3.6.3 е даден пример за полетата на два биогенни замърсителя.



Фигура 3.6.3. Пример за произведени от **SMOKE** два биогенни замърсителя

Накрая, т.нар. MrgGrid-процесор на **SMOKE** се използва за обединяването (merge) на файловете AS, LPS и BgS като един 3D NetCDF файл – емисионен вход, готов за **CMAQ**.

3.7 Моделиране на еволюцията на замърсителите

Както вече бе споменато, моделът **CMAQ** е конфигуриран с вертикална структура от 14 нива с различна гъстота – най-голяма близо до земята и разреждащи се във височина. Такава неравномерна структура най-добре описва вертикалните профили на метеорологичните елементи (включително и замърсителите), които бързо се менят с височината близо до земната повърхност. Атмосферният граничен слой (слоят от земната повърхност до 1-1.5 км), в който се осъществява най-значителна част от интересуващите ни процеси, се описва с 8 от тези нива, което осигурява значителна точност на описанието.

Вече описахме как се подготвя входната информация за **CMAQ**. Остана да споменем за последния вид, а именно началното условие. В задачи от този тип за начално условие се използват стойностите на елементите за съответния начален час, но взети от изходния файл на предишното пускане (преди 12 ч.). Т.е. 12-часовата прогноза на всяко пускане се използва като начално условие на следващия цикъл. При започване на работата на системата (първо пускане или

след аварийно прекъсване на циклите) се използва фиктивно гранично условие, взето от реални пускания. Такива два “начални” файла (за 00 и 12 часа) са приготвени предварително. Те имат същата структура, както изходния файл на **CMAQ**, но съдържат данни само за конкретния час. Създадена е специалната програма **icon_O3** (не е показана на схемата), която всеки път проверява дали началният час на дадено пускане се съдържа във наличния изходен файл. Ако да, той се обявява за начален (по-точно съответно се преименува) и изпълнението продължава. В обратния случай съответният фиктивен файл се форматира така че данните да се отнасят за съответния начален момент – ден, година и час. Този файл се обявява за начален.

Разбира се при използването на фиктивно начално условие резултатите съдържат грешка, която обаче бързо намалява с времето – граничните условия и действието на източниците бързо довеждат състоянието на системата до нормално. Образно казано грешките се “издухват” бързо от такава малка територия, каквато е нашата страна.

Изходният файл на **CMAQ**, макар и записан в бинарния NetCDF-формат, е твърде голям – той съдържа 49 почасови стойности на 78 замърсители за всяка точка от мрежата на всяко ниво. Последният блок на схемата с потока на информацията (фигура 3.3.1) съдържа т.нар. пост-процесинг. Създадена е програма, която от този огромен файл извлича стойностите на озона при земята и го записва като отделен файл в директорията, определена за изход от системата. Файлът е в NetCDF-формат и може да бъде визуализиран от почти всички графични софтуерни пакети.

4. Набиране на необходимата допълнителна информация и форматирането и във вид подходящ за ползване от системата

4.1. Типове информация, необходима за определяне нивата на разглежданите атмосферни замърсители

Проектът за изграждане на системата, описан в Глава 3 предвижда се изследванията да бъдат провеждани основно със средствата на численото моделиране. При това, за да се правят прогнози на нивата на озон, които да отговарят на изискванията за надеждност и точност на оценките, дефинирани в Директива 2002/3/ЕС е предвидено да бъдат използвани световно признати модели на замърсяване на въздуха, който адекватно и със задоволителна точност да описва процесите на пренос, химически трансформации и отлагане в резултат на които се формират нивата на озон, а също така и съвременен световно признат модел на мезомащабна атмосферна динамика с доказани симулационни качества, който да бъде използван като метеорологичен 'пре-процесор' в задачата.

Моделите, които се предлагат за целта са представени в Глава 3 на настоящия отчет. Това са достатъчно комплексни модели, които съответно изискват разнообразна и голяма по обем входна информация, а именно:

- Достатъчно детайлна и надеждна инвентаризация на емисиите, тъй като съвсем очевидно качеството на емисионните данни е задължителна предпоставка за качеството на прогнозата на нивата на озона. Следва да се подчертае специално, че изискванията към емисионните данни са не само за достатъчно надеждни и детайлни средногодишни инвентаризации, но и за достатъчно представителни сведения за времевите профили на емисиите – денонощен, седмичен и годишен ход;
- Достатъчно детайлни и надеждни гранични условия, защото, както е описано в Глава 3 прогнозата ще се извършва за ограничен район, а е много добре известно, че за всички примеси и особено при озона, както това е подчертано в Директива 2002/3/ЕС, фактическите нива на замърсяване могат да бъдат в голяма степен резултат от трансграничен пренос;

- Достатъчно детайлна и надеждна метеорологична информация за захранване на избрания модел на мезомащабна атмосферна динамика, който ще бъде използван като метеорологичен 'пре-процесор' в задачата за моделиране преноса на озон;
- Физикогеографска информация (релеф, характер на подложната повърхност, която е необходима както за динамичния, така и за дисперсионния модел, а и за определяне на някои естествени биогенни емисии);
- Информация за фактическите нива на озон и озонови прекурсори за проверка на моделните резултати и оценка на неопределеността на моделните изходи.

4.2. Емисионни данни

Средногодишни емисии: Емисиите на вредни вещества в атмосферата в нашата страна се извършва от Министерството на Околната Среда и Водите, респективно неговата Изпълнителна Агенция за Околна Среда, в сътрудничество с Националния Статистически Институт. От 2008г. тази инвентаризация се извършва на основата на утвърдената със заповед № РД 40 / 22.01.2008г. на Министъра на околната среда и водите „Единна методика за инвентаризация емисиите на вредни вещества във въздуха“, чиито автор е колектив на Геофизичен Институт.

Източниците се делят на две групи - Площни Източници и Големи Точкови Източници. Емисиите от тези източници се определят на основата на статистическа информация и емисионни фактори, отразяващи спецификата на отделните дейности. За източниците от категории 1-6 детайлна инвентаризация се прави на ниво населени места. Останалите категории източници засега се оценяват на национално ниво.

Наред с националната инвентаризация е достъпна и европейска инвентаризация на емисиите (Visschedijk et al., 2007) с доста добра разрешаваща способност - $0.25^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ което за средните ширини е приблизително $15 \times 15 \text{ km}$. Тя е разработена от **TNO** в рамките на европейския проект GEMS и отразява многогодишен опит в използването както на "bottom-up", така и на "top-down"

подходи, като при последния се използват разнообразни методи и сурогати за дезагрегиране на емисиите.

Националната инвентаризация на емисиите е направена за година 2007, а инвентаризацията на TNO за години 2000 и 2003.

Тези първични емисионни файлове са обработени с ГИС софтуеър и са получени “gridded” емисионни файлове – емисии във възлите на мрежата за числено интегриране съгласно областта, проекцията и разрешаващата способност, описани в Глава 3.

Базите данни съдържа 8 замърсители: CH₄, CO, NH₃, NMVOC (VOC), NO_x, SO_x, PM₁₀ и PM_{2.5}, разпределени в 10 SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) сектора, класифициращи източниците на замърсяване според процесите водещи до отделянето на опасни газове в атмосферата (методология CORINAIR: EEA, 1997, EMEP/CORINAIR, 2002).

В Приложение 1 са показани емисиите на главните прекурсори на озона - NMVOC (VOC) и NO_x, интерполирани в изчислителната мрежа на СПО.

Времеви профили: Съществен е и въпроса с определяне на времевите профили на емисиите по категории и типове процеси. Предлага се, за целите на настоящия проект (прогнозиране нивата на озона) времевите вариации на емисиите да се изчисляват на базата на дневни, седмични и годишни профили предоставени в Builtjes et al. (2003), Schaap et al. (2003). Тези времеви профили, специфични за държава, замърсител и относно SNAP са на разположение на колектива и се прилагат при емисионното моделиране (виж Глава 3). Съответните дневни, седмични и годишни профили са показани в Приложение 2.

4.3. Гранични условия

Както е описано в предходната глава Българската национална СПО ще ползва гранични условия, произвеждани от оперативната система за прогноза **AUTH/CWFS**, базирана в Университета “Аристотел” в Солун, Гърция. (Pourkou et al., 2008a, 2008b). Тя извършва прогноза на KAB за Европа (с разрешаваща

способност 50 km), Балканския Полуостров (10km) и атина (2km). Над Европа метеорологичният пре-процесор MM5 се форсира от AVN/NCEP глобалната прогноза. **AUTH/CWFS** извършва веднъж дневно прогноза за 3 дни напред.

Избраната област на интегриране за **CMAQ** на Българската национална система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух се разполага по отношение областта на интегриране на **AUTH/CWFS** по начинът показан в Глава 3. Изображението от дясната страна на същата фигура показва, че един сериозен проблем – този за интерполиране изходите на **AUTH/CWFS**, така че да се получат изходи за **CMAQ**, също е решен (виж Глава 3).

За целите на тестване на СПО беше създадена и “off-line” база данни, с гранични условия, предварително направени от **RegCM/CAMx** (Katragkou et al., 2008, Krueger et al., 2008) за Европа в област с 50-км разделителна способност (виж Глава 5).

4.4. Метеорологична информация

В рамките на първия етап на проекта беше извършена инвентаризация на наличната метеорологична информация от станциите на НИМХ. Беше анализирана надеждността и представителността на тези данни и бяха подбрани станциите, оценени като подходящи за нуждите на настоящия проект (най-вече за сравнения с резултатите на MM5 с цел верификация). Кратко описание на съдържанието на създадената база метеорологични данни беше дадено в съответното Приложение 6. Както е ясно от Глава 3 основният източник на метеорологична информация за целите на прогнозиране нивата на озона се предвижда да бъде метеорологичната прогноза, генерирана от модела ALADIN – оперативния модел за краткосрочна прогноза на времето на НИМХ (виж Приложение 3 на Отчета по етап 1 на настоящия проект).

За целите на тестване на СПО беше създадена и “off-line” метеорологичната база данни, произведени от Regional Climatic Model (**ALADIN-RCM**) (виж Глава 5).

4.3. Имисионни данни

В рамките на първия етап на проекта беше извършена подробно описание и анализ на наличните в страната имисионни данни.

Там беше отбелязано и че при оценка на имисионните данни трябва да се има пред вид, че се предвижда за прогноза нивата на озона да бъдат използвани основно средствата на численото моделиране (виж Глава 3). В допълнение резултатите ще бъдат сравнявани с наличните данни за концентрации на озон измерени от НАСЕМ. Тези сравнения от една страна ще очертаят симулационните възможности на моделите и ще доведат до тяхното по-добро адаптиране към разглежданите райони, посредством коригиране и обогатяване на емисионните и метеорологични данни, настройване на параметрите на моделите и уточняване на граничните условия. От друга страна използването възможностите на математическата статистика (регресионен анализ), ще позволи да бъдат уловени взаимовръзки и зависимости, позволяващи допълнително да бъде увеличена достоверността на предлаганите прогнози. По този начин съществено качество, което трябва да се има предвид при оценка на данните е тяхната **представителност** – с други думи доколко измерванията в дадена точка са информативни за определен район около нея. Тъй като измервателната мрежа е построена на основата на експертни оценки за оптимална дислокация на станциите, следва като работна хипотеза да се приеме, че данните от НАСЕМ са представителни. Окончателна оценка на тази представителност и изобщо на пригодността на данните за целите на прогноза нивата на озона може да бъде дадена едва след като системата заработи и то на базата на синергичен съвместен анализ на прогнозите и данните от измервания за дълги периоди от време. Този анализ може да генерира и някои предложения за оптимизиране мрежата на НАСЕМ.

Разбира се за да се проведе този синергичен анализ е необходимо да се натрупат достатъчно количество прогнозирани данни, така че изводите от сравнението им с данните от НАСЕМ да бъдат статистически достоверни.

За целите на тестване на системата бяха проведени едногодишни пресмятания за година 2000 (Виж Глава 5). Тя беше избрана най-вече по две причини:

1.) Това е година за която има емисионни данни за които се предполага, че са с високо качество (инвентаризацията на **TNO**),

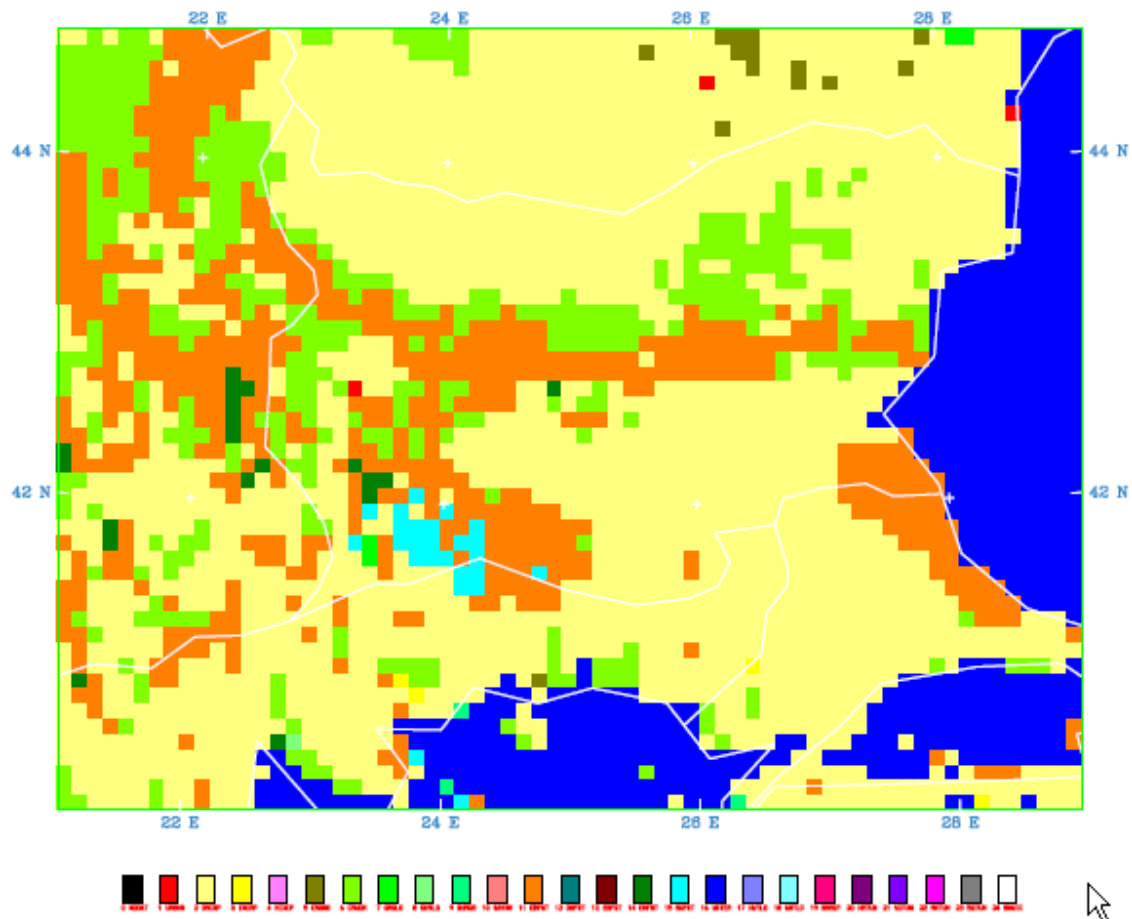
2.) За тази година има данни от проведени измервания в две несъмнено фонови станции – “Рожен” и “Ахтопол” (Donev et al, 2002, Georgiev and Donev, 2006). Следва да се отбележи, че докато локалните влияния върху измерванията в станциите от НАСЕМ (които са разположени най-често с идеята да се контролират много големите нива на замърсяване - около големи промишлени обекти или в големи градове) не са добре изучени, при избраната разрешаваща способност от 10 km, пресметнатите нива на замърсяване е най-правилно да бъдат сравнявани с фонови данни.

4.5. Физико географска информация

Както беше посочено по-горе (Глава 3), СПО се нуждае от физикогеографска информация – релеф и характер на подложната повърхност ‘land-use’. Предлага се за целите на СПО да се използват данните за релеф и характер на подложната повърхност за България и Балканския полуостров, които се генерират от програмата TERRAIN на системата MM5. Тази програма извършва интерполация на базовите данни (неразделна част от MM5) в избраната мезомащабна област на интегриране. Използваната версия на TERRAIN може да обработва глобални данни за релефа и подложната повърхност с разрешаваща способност 30"×30" – базата данни USGS. Очевидно такава разрешаваща способност е напълно достатъчна за целите на настоящия проект.

Схема на преобладаващия тип подложната повърхност в областта на функциониране на СПО е дадена на Фиг. 4.1.

DOMINANT VEGETAT/NEW LANDUSE TYPE



Фигура 4.1. Схема на преобладаващия тип подложната повърхност в областта на Функциониране на СПО

5. Тестване на системата и сравнение с данни от измерване на озона

Както се предвижда в Глава 3 за прогноза нивата на озона да бъдат използвани основно средствата на численото моделиране. В допълнение резултатите ще бъдат сравнявани с наличните данни за концентрации на озон измерени от НАСЕМ. Тези сравнения от една страна ще очертаят симулационните възможности на моделите и ще доведат до тяхното по-добро адаптиране към разглежданите райони, посредством коригиране и обогатяване на емисионните и метеорологични данни, настройване на параметрите на моделите и уточняване на граничните условия.

Разбира се за да се проведе този синергичен анализ е необходимо да се натрупат достатъчно количество прогнозирани данни, така че изводите от сравнението им с данните от НАСЕМ да бъдат статистически достоверни.

Докато тази база данни бъде натрупана за целите на тестване на системата бяха проведени едногодишни пресмятания за година 2000. Тя беше избрана (Виж и Глава 4) най-вече по две причини:

1.) Това е година за която има емисионни данни за които се предполага, че са с високо качество (инвентаризацията на **TNO**),

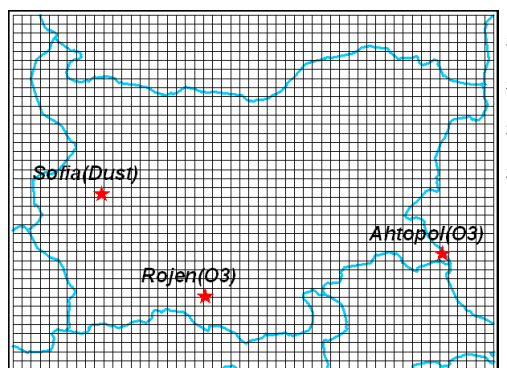
2.) За тази година има данни от проведени измервания в две несъмнено фонови станции – “Рожен” (41N41, 24E44, надм. височина 1700 м) и “Ахтопол” - град на брега на Черно море. (42N05, 27E57, надм. височина 10 м), (Donev et al, 2002, Georgiev and Donev, 2006). Точките на измерванията са показани на Fig. 5.1.

Следва да се отбележи, че докато локалните влияния върху измерванията в станциите от НАСЕМ (които са разположени най-често с идеята да се контролират много големите нива на замърсяване - около големи промишлени обекти или в големи градове) не са добре изучени, при избраната разрешаваща способност от 10 km, пресметнатите нива на замърсяване е най-правилно да бъдат сравнявани с фонови данни.

Проведените тестове имат две цели:

1.) Сравнение на дълги временни редове от симулирани нива на озона с данни от измервания с цел проверка състоятелността на методиката и оценка на симулационните и качества

2.) Да се направи чрез анализ на чувствителността (sensitivity analysis) на моделните резултати и евентуално да се изтълкуват реакциите на СПО на вариране на параметрите от физична (и химична) гледна точка.



Фигура 5.1. Точки на измерванията

Този числен експеримент беше проведен, така че максимално близо да възпроизвежда условията на СПО. Различията са обусловени от това, че се прави не прогноза а пресмятания за изминал период и са следните:

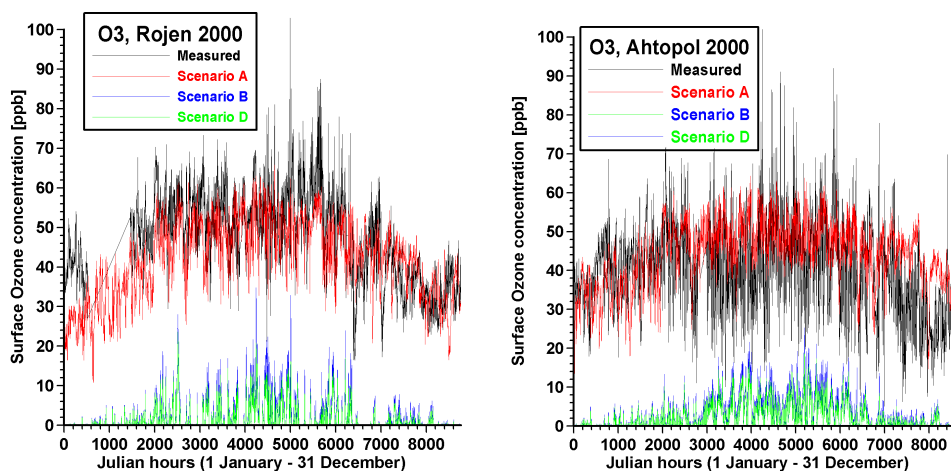
1.) Метеорологичната база данни за това изследване е създадена “off-line” от ALADIN Regional Climatic Model (ALADIN-RCM). Той е модификация на настоящата система за прогноза на метеорологичното време в Националния Институт по Метеорология и Хидрология (НИМХ) в България. ALADIN-RCM е регионален климатичен модел с динамиката на ALADIN и физиката на ARPEGE-Climate (Déqué and Piedelievre, 1995). Много експерименти, направени с полетата от реанализите на ERA-40 от ECMWF демонстрират успешното прехвърляне от 120 км към 10 км резолюция, както и приемливи симулации на температурата, вятъра, валежа и геопотенциала. (Spiridonov et al., 2005). Динамиката на ALADIN е изцяло построена на идеята за съвместимост със “системата-майка”, IFS/ARPEGE.

2.) Граничните условия за CMAQ не се получават в оперативен порядък, а СА предварително направени от RegCM/CAMx (Katragkou et al., 2008, Krueger et al., 2008) за Европа в област с 50-км разделителна способност, като беше изготвен специален софтуер за изтеглянето и преобразуването в съответен вид на тези данни.

Пресмятанията бяха направени за 4 емисионни сценария показани на таблица 5.1. Вижда се, че сценарий А (основния) отчита всички емисии, при В пресмятанията са направени с нулеви гранични условия, при С не се отчитат биогенните емисии, а D не отчита нито граничните условия, нито биогенните емисии.

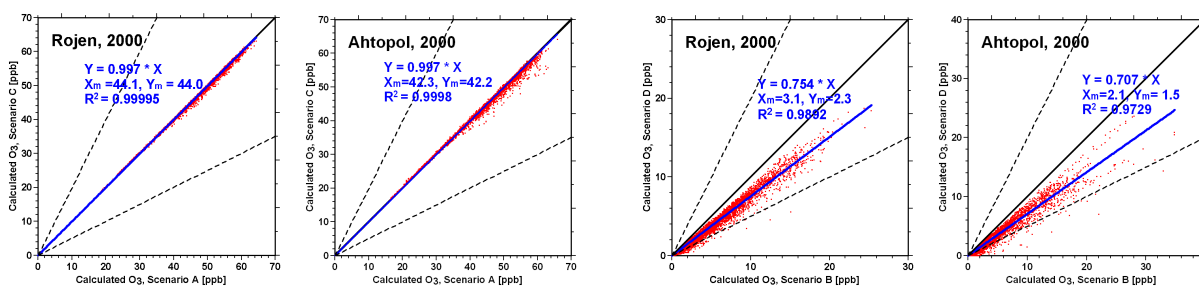
Таблица 5.1. Емисионни сценарии

Сценарий	Площни източници	Точкови източници	Биогенни емисии	Гранични условия
A	Y	Y	Y	Y
B	Y	Y	Y	N
C	Y	Y	N	Y
D	Y	Y	N	N



Фигура 5.2. Годишни вариации на измерения и пресметнат озон (1-часови данни)

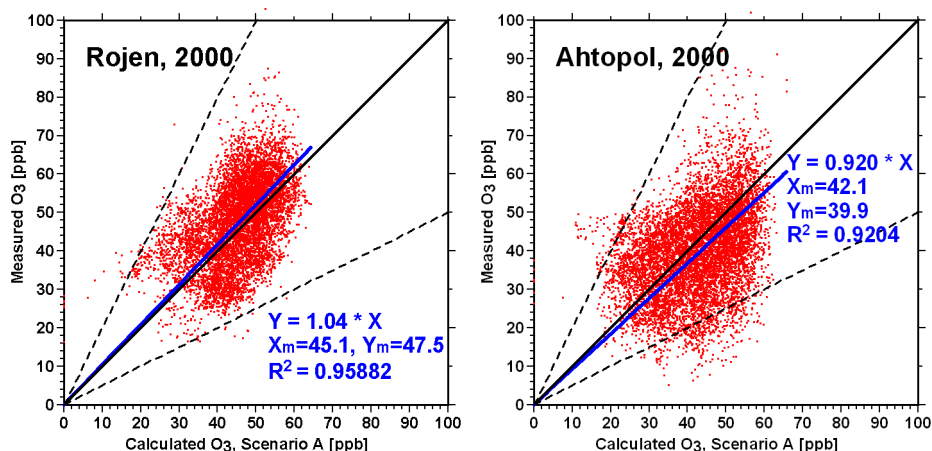
На Фиг. 5.2. са показани годишните вариации на суровите данни и на трите моделни сценария. Ясно се вижда, че сценарий А демонстрира повече или по-малко добро съгласуване с измерванията. Най-голямото несъответствие е в Рожен през първите 3 месеца от годината. През този период вероятно е имало проблеми с измервателната апаратура. Има голям период, за който липсват данни (февруари-март). Сценарии В и D показват доста ниски нива на озон, което отразява изключителната важност на използването на надеждни гранични условия за получаването на реалистични моделни резултати. Колкото по-малък е региона на пресмятанята, толкова по-важни са граничните условия.



Фигура 5.3. Сравнение на сценариите: A vs. C (двете леви графики) and B vs. D (двете десни графики)

Преди да се обърне внимание на качеството на симулираните със системата ALADIN/CMAQ резултати, струва си да бъдат направени някои коментари относно резултатите от “sensitivity analysis” за биогенните емисии. На предишната фигура резултатите от сценарий С (Основен сценарий минус биогенни емисии) не бяха показани, защото стойностите са много близки до тези от сценарий А, както може да се забележи на двете графики вляво на Фиг. 5.3. Изключването на биогенните емисии леко намалява стойностите на озона, като “fitting line coefficient” е 0.997 а коефициентът на корелация – 0.999. От друга страна, двете графики вдясно на Фиг. 5.3. (случаите с нулеви потоци на границите) показват: Първо, стойности на озона три пъти по-ниски от тези при другите сценарии. Второ, биогенните емисии са много важни – стойностите на озона се увеличават с 30% когато този източник е включен в емисиите. Всичко това

показва, че в основния случай потоците през границите на областта са доминиращи при формирането на озон и това води до “VOC-saturated” режим.



Фигура 5.4. Разпръскване (Scatter diagrams) на данните от измерването и моделирането (сценарий А) часови данни.

Разпръскването (Scatter diagrams) на данните от измерването и моделирането (сценарий А) са показани на Фиг. 5.4.. Може да се забележи, че почти всички точки са в границите на FA2, а това означава, че е удовлетворено изискването за не-повече от 50% неопределеност за едночасовите дневни средни стойности и 8-часов дневен максимум, дефинирано в Приложение №4 към чл.15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004. Така наречените “fitting lines” са доста близо до линията на идеално съвпадение (ideal fitting line) като показват слабо подценяване на данните от наблюдения в Рожен и малко по-голямо (но все пак малко) надценяване за Ахтопол. Коэффициентите на корелация при двата случая са доста високи, което отразява доброто качество на симулацията.

Високите концентрации на озон могат да нанесат поражения на растенията, животните и на човешкото здраве. Всъщност когато се изследват ефектите от високите концентрации на озон, трябва да се взимат пред вид не самите концентрации на озона, а някои свързани величини/related quantities. Следните четири величини са важни: (виж Amann et al., 1999, European Parliament, 2002, Zlatev and Syrakov, 2004.b):

- **AOT40C** стойности (Accumulated Over Threshold) – акумулирано количество над граница от 40 ppb в часовете на деня през периода от 1 май до 31 юли), което е вредно за посевите когато стойностите надхвърлят 3000 ppb.ч.

AOT40F стойности (AOT40 пресметнато за период от 1 април до 30 септември), което вреди на горите, когато стойностите са над 10000 ppb.ч.

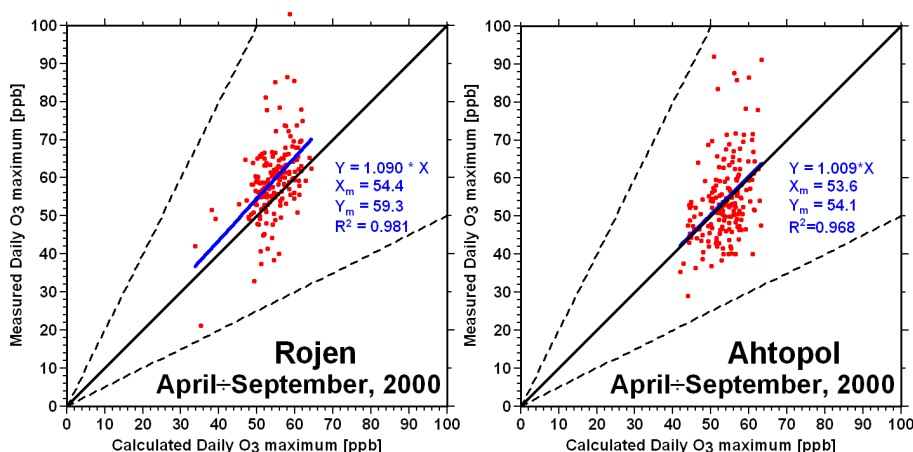
NOD60 (Number Of Days – брой дни, в които 8 – часовете пълзящи средни на озона за всеки час на деня надхвърлят критична стойност от 60 ppb). Ако поне веднъж пред деня се надхвърли границата от 60 ppb, денът се отчита като “лош”. Хора с астматични болести имат проблеми в “лошите” дни, затова е желателно да няма такива дни. Премахването на всички такива дни е прекалено амбициозна задача. Изискването обикновено се свежда до максимум 25 “лоши” дни през периода април- септември. Оказва се че на много места е трудно да се изпълни дори и това изискване.

ADM (Averaged Daily Maxima – осреднен дневен максимум) на концентрациите на озон за периода от 1 април до 30 септември. Тази величина не е директно свързана с определени вредни ефекти. Въпреки това е удобна при валидиране на моделните резултати. Валидирането на моделните резултати по отношение на другите величини е трудно първо защото много измервания може да липсват в станциите, и второ защото описаните по-горе индекси са много чувствителни на числени грешки и на грешки в измерванията.

Таблица 5.2. Индекси на озона, пресметнати от измервания и от моделни резултати (сценарий А)

Станции	Индекс	AOT40C	AOT40F	NOD60	ADM
	Месеци (2000)	MJJ	AMJJAS	AMJJAS	AMJJAS
Рожен	Измерени	20300	29300	27	59.3
	Изчислени	18500	26800	7	54.4
Ахтопол	Измерени	8020	12700	12	54.1
	Изчислени	17100	24100	7	53.6

В таблица 5.2. са представени индексите на озона, пресметнати от измервания и от моделни резултати. Пресметнатите и измерените ADM са доста близки и за двете станции, когато големи разлики могат да бъдат видяни при другите индекси за озона. Причината е в чувствителността на тези индекси към числени грешки и на грешки в измерванията, както е описано в Zlatev and Syrakov (2004.b). Във всеки случай, вижда се че и пресметнатите и измерените индекси надхвърлят 1.5-2 пъти съответните критични стойности. Пресметнатите стойности на AOT40 са по-близки до измерените за Рожен и Ахтопол. Пресметнатите NOD60 се различават значително от измерените. И двете са около и под границата от 25 дни.



Фигура 5.5. Разпръскване (Scatter diagrams) на данните от измерването и моделирането (сценарий А) за ADM.

Тъй като най-добрият начин за сравнение на данните за озона е използването на дневния максимум, качеството на симулацията със системата ALADINE/CMAQ е демонстрирано още веднъж на Фиг. 5.5., където са показани “scatter diagrams” на измерените по отношение на изчислените дневни максимуми за двете станции. Може да се забележи, че т.н. “fitting lines” са много близо до идеалната линия, коефициентите на корелация надхвърлят 0.95. Тази фигура също подкрепя заключението направено при интерпретацията на Фиг. 5.4. Резултатите от симулацията са много добри, което говори за качествата на използваните модели – компоненти на СПО.

Резултатите от проведените тестове ни убеждават в следните няколко неща:

- 1.) Добрите симулационни качества на използваните модели
- 2.) Добрата съвместимост на моделите и тяхната пригодност в съвкупност да изградят планираната **система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух**, или с други думи добрата “interoperability” в системата
- 3.) Задоволителното качество на входните данни, тяхната пригодност за целите на СПО и правилното функциониране на многобройните помощни процедури и софтуеър, създадени в рамките на СПО за преобразуване и преформатиране на първични или междинни масиви от данни в сложния поток от данни, организиращ СПО.

6. Създаване на софтуеър (пост-процесинг) за представяне на резултатите от прогнозата

Както вече бе споменато в Глава 3 на настоящия отчет, изходният файл на **CMAQ**, макар и записан в бинарния NetCDF-формат, е твърде голям – той съдържа 49 почасови стойности на 78 замърсители за всяка точка от мрежата на всяко ниво. Създадената програма **XtrCON_CW.exe** извлича от този огромен файл стойностите на озона при земята и го записва като отделен файл с наименование **O3.ncf** в директорията, определена за изход от системата (**/CW_OUTPUT**). Файлът е в NetCDF-формат и може да бъде визуализиран от почти всички графични софтуерни пакети.

За целите на проекта бе използван графичния пакет **PAVE** (Package for Analysis and Visualization of Environmental data, <http://paved.sourceforge.net>), препоръчан от разработчиците на **Models-3**. Разбира се, може да се използват и други пакети като **VERDI** (Visualization Environment for Rich Data Interpretation - <http://www.verdi-tool.org>), **IDV** (Interactive Data Visualization - <http://www.idvinc.com>) и др. Важното е, че тези пакети поддържат множество формати за входа си, между които е и NetCDF-формата. Друга важна особеност е, че тези пакети поддържат собствен програмен мета-език, на който могат да се пишат т.нар. скриптове (scripts) за автоматизиране визуализацията на една или множество картинки.

От нас е създаден скрипта **CW_O3.csh**, разположен в директорията **/pave** на сървъра **wn7.geophys.bas.bg/cw** на Геофизичния институт. Този скрипт автоматично чете файла **/CW_OUTPUT/O3.ncf** и произвежда 49 графични файла с име **O3xx.gif**, където **xx = 01, 02, ..., 49** е порядковия номер на картинката.

Демонстрация на работата на този скрипт, както и на системата като цяло, е представена в Приложение 4, където са поместени всички 49 почасови картинки с прогноза на озон, извършено при автоматичния запуск на системата в 04 часа на 20 септември 2009 г. Срокът на прогнозата е от 00:00 на 20.09.2009 до 00:00 на 22.09.2009.

7. Инсталиране и пускане в действие на системата

Системата е инсталирана на един от сървърите на Геофизичния институт (wn7.geophys.bas.bg) на пространството, определено за потребителя **cw** (account). Сървърът има 8 ноди (8 процесора) с 4Gb оперативна памет. Операционната система е **Scientific Linux**, а фортранските програми са транслирани с **Linux Intel Fortran**.

На този акаунт са разположени следните по-важни директории:

- **/CW_INPUT** – вход на системата
- **/CW_OUTPUT** – изход на системата
- **/CW_SCRIPTS** – основен скрипт на системата
- **/M3HOME** – инсталация на **CMAQ**
- **/MM5** – инсталация на **MM5**
- **/MPICH2** - инсталация на софтуер за мултипроцесорна работа
- **/SMOKE** – инсталация на **SMOKE** и **AEmis**
- **/auto** – съдържа таблицата с моментите на автоматичен запуск
- **/netCDF** – инсталация на едноименния софтуер
- **/pave** – инсталация на визуализиращата програма

До голяма степен името на директорията говори за нейното съдържание, но по-долу ще дадем по-подробно описание

В директорията **/CW_INPUT** има две поддиректории: **/ALADIN** и **/bdy**. В първата от тях два пъти на ден се изпраща по Интернет комплект от GRID-файлове, произведени в НИМХ от оперативния прогностичен модел **ALADIN**. Ако с **To** означим началния срок на прогнозата (00:00 или 12:00 по Гринуич), комплектът от файлове покрива интервала **{To – 12, To + 48}**. Както вече бе споменато **MM5** работи с предварение от 12 часа, за да усвои по-добре данните и произведе по-точна прогноза за периода на прогнозата (т.нар. “spin-up” процедура). Поддиректорията **/bdy** съдържа бинарния файл от който се изчисляват граничните условия. Както вече бе описано в Глава 3, той оперативно се произвежда в Солун

от системата AUTH/CWFS и изпраща по Интернет в сървър на НИМХ. От там той се изпраща в ГФИ заедно с метеорологичната информация.

Директорията **ICW_OUTPUT** съдържа изхода на системата – файла **O3.ncf**, както вече бе описано в Глава 6. Този файл се обновява на всеки 12 часа при новите запуски на системата. Този файл съдържа 49 почасови полета на приземния озон на територията на България определен в мрежа от 54×40 точки със стъпка на мрежата 10 км. Този файл може да се визуализира с помощта на подходящ графичен пакет.

Директорията **ICW_SCRIPTS** съдържа програми и Linux-скриптове, осъществяващи правилното протичане на операциите, точната последователност на работа на различните модели и интерфейсни програми. Основният скрипт е означен като **run_CW.csh** и определя общия поток на информацията. Той самият се обръща към програми и други скриптове, осъществяващи управлението на специфични процеси. Първото обръщане е към специално разработената програма **STRT_Clock.exe**, написана на Fortran.

Тази програма извлича данните от системния часовник (дата, час, минути и т.н). Изчислява Григорианската и Юлианската дати и създава два файла – **start.end** и **EmBC.csh**. Първият е текстови файл с двете дати и часове на началните моменти от работата на **MM5** и **CMAQ**, както датите и часа на края на симулацията. Вторият файл е Linux-скрипт, както се вижда от екстенцията му. В него се формират енвиронментални променливи с датите и часовете, след което последователно се инвокират програми и скриптове формиращи емисонния файл и файловете с начално и гранични условия. Първо се извиква **AEmis** (създава файла **AEmis.ncf** с площните емисии), след което скриптовете, управляващи трите процесора на **SMOKE**. Първият създава файла **pgts3d_l.ncf**, съдържащ LPS-емисиите, а вторият – файла **b3gts_l.ncf**, съдържащ биогенните емисии. Третия процесор на **SMOKE** сумира трите емисионни файла в единния емисионен файл **CW.ncf**, който е входа за **CMAQ**. Следва инвокиране на специално създадените Fortran-програми **bcon_CW.exe** и **icon_CW.exe**, изчисляващи граничните и началното условия и формиращи съответните NetCDF-файлове.

Трябва да се спомене, че всички програми, скриптове и произведени файлове се разполагат на различни под-директории.

Следващата стъпка в основния скрипт на системата **run_CW.csh** е подготовка на входен файл с датите за използване от **MM5** и invoкиране на съответния управляващ скрипт. Следва обръщане към двата препроцесора на **CMAQ – MCIP** и **JPROG**. Първият вече беше описан в Глава 3, а вторият изчислява таблица с еволюцията на височината на слънцето за различните точки на мрежата, необходими при моделиране на фото-химичните реакции от **CMAQ**. Следващата стъпка е обръщане към описания вече скрипт **EmBC.csh** който подготвя емисионния вход, началните и гранични условия на **CMAQ**, след което се invoкира управляващия скрипт на **CMAQ**. Последното действие на основния скрипт е обръщането към програмата **XtrCON_CW.exe**, която извлича прогностичните данни за озона и ги записва във файла **ICW_OUTPUT/O3.ncf**. С това свършва работата на системата.

Както вече бе споменато запускането на системата е автоматизирано и е определено за 04:00 и 16:00 местно време. За целта се използва системната програма **crontab**. За ускоряване на работата системата за прогноза на тропосферния озон използва и осемте процесора на сървъра с използване на системния софтуер **OpenMP** или **MPI (Message Passing Interface)** за **MM5** и **MPICH2** – за **CMAQ**. Така изпълнението силно се ускорява и изпълнението на всички операции трае не повече от 15 минути.

Наред с изходните файлове на отделните модули, екранния изход се записва в съответни **log**-файлове, които се използват за анализ на причините при инцидентно спиране работата на системата.

Накрая, не е излишно да се спомене, че при разработката на Системата са взети множество мерки за робастност (идиотоустойчивост), така че следващите запуски да произведат цялостна (макар и в началото неточна) прогноза на озона над територията на България.

8. Заключение – виждане за по-нататъшното функциониране, поддръжка и модернизация на система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух.

8.1. Заключение – основни характеристики на системата

Изложеното в настоящия отчет дава основание на колектива да твърди, че задачата за **Създаване на система за прогнозиране нивата на озон (тропосферен) в атмосферния въздух** е изпълнен в предвидения от Технико-Икономическото задание обем.

Създадената система има следните няколко важни характеристики:

- 1.) Базира се на съвременни и световно признати модели;
- 2.) Ползва в пълен обем националната прогноза на времето и предсказва нивата на озона за 2 денонощия напред във времето;
- 3.) Добре е интегрирана в общоевропейските проекти за прогноза KAV – ползва гранични условия генерирани и предоставяни в рамките на европейския проект **GEMS**;
- 4.) Удовлетворява дефинирания в Технико-Икономическото задание **критерий за качество** на прогнозата, а именно изискването за не-повече от 50% неопределеност за едночасовите дневни средни стойности и 8-часов дневен максимум, дефинирано в Приложение №4 към чл.15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004;
- 5.) Системата е автоматична, като само на етапа изобразяване на прогнозните полета на приземен озон и “upload” на съответната информация на съответен сайт е необходима намесата на оператор (управлението на визуализиращата програма PAVE също е скриптирано, необходимо е операторът само да стартира процедурата);
- 6.) Организацията на системата е достатъчно гъвкава, така че системата подлежи на развитие и осъвременяване. Постоянното развитие и осъвременяване

на системата е абсолютно задължително за да бъде тя постоянно в съответствие и със стандартите на ЕС и с актуалното ниво на науката.

8.2. Текущо функциониране и поддръжка на системата

Системата е автоматична, като за функционирането и практически не е нужна намесата на оператор (освен за публикуване на прогнозата). Дейността по изобразяване и “upload”, разбира се също може да се автоматизира, но това едва ли е правилно – експертната оценка на текущата прогноза преди предоставянето и на широката публика е необходимо, поне в началото на функциониране на системата.

За да функционира СПО задължително се нуждае от следните данни, без които прогнозата е невъзможна:

- 1.) Емисионни данни за България
- 2.) Числената метеорологична прогноза, генерирана от НИМХ
- 3.) Гранични условия, отчитащи трансграничните влияния върху нивата на озона в страната, генерирани в рамките на европейски проекти и институции (понастоящем това е проекта **GEMS**, а в близко бъдеще проекта **PASODOBLE**, в който ГФИ, БАН е поканен да участва)

Безотказното предоставяне на тези данни от организациите, които ги произвеждат е задължителна предпоставка за функциониране на системата.

Една особено важна текуща дейност е наблюдаването на системата по отношение качеството на прогнозата. Това означава не само констатиране на повече или по-малко задоволително съвпадение на прогнозните полета с данни от измерванията, но и анализ на причините за евентуални системни несъвпадения. Съвсем очевидно тази работа трябва да се извършва от специалисти с голям опит и квалификация и в областта на числено пресмятане качеството на въздуха и в областта на числената прогноза на времето.

8.3. Развитието и осъвременяването на системата

Понастоящем изградената СПО отговаря и на съвременното състояние на науката и на стандартите и критериите, дефинирани в директивите на ЕК. За да бъде това съответствие постоянно, системата трябва да се развива и осъвременява, следвайки както развитието на науката, така и евентуалните промени в европейските директиви. Някои от основните направления на развитие на системата могат да бъдат очертани още сега, например:

1.) Понастоящем системата е оптимизирана и верифицирана от гледна точка на прогноза на нивата на тропосферен озон, но и използваните модели, и входните данни за системата позволяват да се прави прогноза и на други компоненти на състава на атмосферата, прогнозирането на които също се изисква от директивите на ЕК. По този начин системата може да се развие в бъдеще в истинска система за прогноза на **химическото време**.

2.) Моделите, които изграждат системата (понастоящем Models - 3 system) постоянно се развиват и усъвършенстват. Добре е Българската СПО също да следва това развитие, периодично инкорпорирайки по-нови, но вече утвърдени и проверени версии на Models - 3 system.

3.) Желателно и възможно е в бъдеще да се увеличи разрешаващата способност на системата и/или да се извършва пресмятане с висока разрешаваща способност във "вместени" по-малки области около избрани райони – горещи точки. Това не е толкова и само въпрос на техника на боравене с моделите и на компютърни възможности, а най-вече на добро познаване на механизмите на пренос и трансформация на замърсители в атмосферата и на основните пътища за формиране картината на замърсяване в страната. Това знание може да дойде единствено като резултат на дълговременно и критично наблюдение на функционирането на системата – само синергичен анализ на резултатите от прогнозата и данните от наблюдения от НАСЕМ ще позволи да бъдат уловени взаимовръзки и зависимости, които дават възможност от една страна да се оценява представителността и надеждността както на прогнозата, така и на данните от НАСЕМ, а от друга допълнително да бъде увеличена достоверността

Създаване на система за прогнозиране нивата на тропосферен озон в атмосферния въздух

на предлаганите прогнози. Този анализ може да генерира и някои предложения за оптимизиране мрежата на НАСЕМ.

Литература

- Amann, M., Bertok, I., Cofala, J., Gyarfas, F., Heyes, C., Klimont, Z., Makowski, M., Schöpp, W., and Syri, S. (1999): Cost-effective control of acidification and ground-level ozone. Seventh Interim Report, International Institute for Applied System Analysis (IIASA), A-2361 Laxenburg, Austria.
- Ambelas Skjøth, C., Bastrup-Birk, A., Brandt, J. and Zlatev, Z. (2000): Studying variations of pollution levels in a given region of Europe during a long time-period, *Systems Analysis Modelling Simulation*, **37**, pp. 297-311.
- Borge, R., J. Lumbreras, M.E. Rodríguez (2004): Preparation of emission data for modeling with CMAQ from Spanish emission inventories and emission projections, Proceedings of the 28th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and Its Application, 24-29 October 2004, Banff, Alberta, Canada.
- Borge, R., J. Lumbreras, M.E. Rodríguez (2008), Development of a high-resolution emission inventory for Spain using the SMOKE modelling system: A case study for the years 2000 and 2010, *Environmental Modelling & Software archive*, **23**, No. 8, pp. 1026-1044.
- Bouchet, V. S., Laprise, R., Torlaschi, E. and McConnel, J. C. (1999a): Studying ozone climatology with a regional climate model 1. Model description and evaluation, *Journal of Geophysical Research*, **104**, pp. 30351-30371.
- Bouchet, V. S., Laprise, R., Torlaschi, E., McConnel, J. C. and Plummer, D. A. (1999b). Studying ozone climatology with a regional climate model 2. Climatology, *Journal of Geophysical Research*, **104**, pp. 30373-30385.
- Bougeault P. (1985): A Simple Parameterization of the Large-Scale Effects of Cumulus Convection, *Monthly Weather Review*, **113**, No. 12, pp. 2108–2121
- Builtjes, P.J.H., van Loon, M., Schaap, M., Teeuwisse, S., Visschedijk, A.J.H. and Bloos, J.P. (2003) 'Project on the modelling and verification of ozone reduction strategies: contribution of TNO-MEP', *TNO-report, MEP-R2003/166*, Apeldoorn, The Netherlands.
- Byun, D. and J. Ching (1999): Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. *EPA Report 600/R-99/030*, Washington DC.
- Byun D. and K.L. Schere (2006): Review of the Governing Equations, Computational Algorithms, and Other Components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, *Applied Mechanics Reviews*, **59**, No. 2, pp. 51-77.
- CEP (2003) Sparse Matrix Operator Kernel Emission (SMOKE) Modeling System, University of North Carolina, Carolina Environmental Programs, Research Triangle Park, North Carolina.
- Coats, C.J., Jr., and Houyoux, M.R. (1996): Fast Emissions Modeling With the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modeling System, The Emissions Inventory: Key to Planning, Permits, Compliance, and Reporting, Air and Waste Management Association, New Orleans, September
- Csomos P., Cuciureanu R., Dimitriu G., Dimov I., Doroshenko A., Farago I., Georgiev K., Havasi A., Horvath R., Margenov S., Moseholm L., Ostromsky T., Prusov V., Syrakov D. and Zlatev Z. (2006) Impact of Climate Changes on Pollution Levels in Europe, *NATO Project CLG 980505 Final Report*, NATO HQ, Brussels, Belgium.
- DEFRA Consultations (2006): Air Quality and Climate Change: A UK perspective, : <http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/airqual-climatechange/index.htm> .
- Dennis, R.L., Byun, D.W., Novak, J.H., Galluppi, K.J., Coats, C.J., and Vouk, M.A (1996): The Next Generation of Integrated Air Quality Modeling: EPA's Models-3, *Atmosph. Environment*, **30**, pp.1925–1938.
- Déqué M, J.-P. Piedelievre (1995): High-Resolution climate simulation over Europe, *Climate Dynamics*, **11**, pp. 321-339.
- Donev, E., K. Zeller, and A. Avramov (2002): Preliminary background ozone concentrations in the mountain and coastal areas of Bulgaria, *Environmental Pollution*, **17**, pp. 281-286.
- Douville, H., J.-F. Royer and J.-F. Mahfouf (1995): A new snow parameterization for the Météo-France climate model, *Climate Dynamics*, **12**, No. 1, pp. 21-35.
- Dudhia, J. (1993) A non-hydrostatic version of the Penn State/NCAR Mesoscale Model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Monthly Weather Review*, **121**, pp.1493-1513.
- EEA (1997): CORINAIR 94 Inventory, European Topic Centre on Air Emissions, Topic report No8/1997, Copenhagen, European Environmental Agency (http://reports.eea.europa.eu/92-9167-102-9/en/topic_8_1997.pdf).

- EMEP/CORINAIR (2002): Atmospheric emission inventory guidebook, third edition, Copenhagen, European Environmental Agency (<http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR3/en/page002.html>).
- European Parliament (2002): DIRECTIVE 2002/3/EC of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, *Official Journal of the European Communities* (9.3.2002), **L67**, pp. 14-30.
- Haugen, J., and B. Machenhauer (1993): A Spectral Limited-Area Model Formulation with Time-dependent Boundary Conditions Applied to the Shallow-Water Equations, *Monthly Weather Review*, **121**, No. 9, pp. 2618–2630.
- Houyoux, M.R., and Vukovich, J.M. (1999): Updates to the Sparse Matrix Operator Kernel Emission (SMOKE) Modeling System and Integration With Models-3, The Emission Inventory: Regional Strategies for the Future, Raleigh, NC, Air and Waste Management Association.
- Geernaert G. and Z. Zlatev (2004): Studying the influence of biogenic emissions on AOT40 levels in Europe, *International Journal of Environment and Pollution*, **22**, pp. 29-42.
- Georgiev K. and E. Donev (2006): On some ozone studies: comparison of model results and measurements over the territory of Bulgaria, *Problems in Programming*, **8**, No. 2-3, pp. 767-770.
- Gery, M.W., Whitten, G.Z., Killus, J.P., and Dodge, M.C. (1989): A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling, *Journal of Geophysical Research*, **94**, pp.12925–12956.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). *NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR*.
- Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P., and Fall, R. (2000): Natural Emissions of Non-Methane Volatile Organic Compounds, Carbon Monoxide, and Oxides of Nitrogen From North America, *Atmospheric Environment*, **34**, pp. 2205–2230.
- European Parliament (2002): Directive 2002/3/EC of the European Parliament and the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, *Official Journal of the European Communities*, **L67**, pp. 14-30.
- Havasi, Á. and Zlatev, Z. (2002): Trends of Hungarian air pollution levels on a long time-scale, *Atmospheric Environment*, **36**, pp. 4145-4156.
- Houghton J. T., Ding, Y., Griggs, D. J, Noguera, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C. A., eds. (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge-New York-Melbourne-Madrid-Cape Town.
- Katragkou E., P. Zanis, I. Tegoulas, D. Melas, B.C. Krueger, P. Huszar, T. Halenka (2008): Tropospheric Ozone over Europe: An air quality model evaluation for the period 1990-2001, Proceedings of IX EMTE National-International Conference of Meteorology-Climatology and Atmospheric Physics, 28-31 May, 2008, Thessaloniki, Greece, p.649.
- Krueger, B.C., E. Katragkou, I. Tegoulas, P. Zanis, D. Melas, E. Coppola, S. A. Rauscher, P. Huszar, and T. Halenka (2008): Regional decadal photochemical model calculations for Europe concerning ozone levels in a changing climate. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* (in press).
- Lott, F. (1999): Alleviation of Stationary Biases in a GCM through a Mountain Drag Parameterization Scheme and a Simple Representation of Mountain Lift Forces, *Monthly Weather Review*, **127**, No. 5, pp. 788–801.
- Meleux, F., F. Solmon, and F. Giorgi, (2007): Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric Environment*, **41**, pp. 7577-7587.
- Mellor, G., and T. Yamada (1982): Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Rev. Geophys. Space Phys*, **20**, No. 4, pp. 851-875.
- Morcrette, J.-J. (1990): Impact of Changes to the Radiation Transfer Parameterizations Plus Cloud Optical Properties in the ECMWF Model, *Monthly Weather Review*, **118**, No. 4, pp. 847–873.
- Nenes, A., S.N. Pandis, C. Pilinis(1998): ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols, *Aquat.Geoch.*, **4**, pp. 123-152, http://nenes.eas.gatech.edu/Preprints/ISORROPIA_AGPP.pdf
- Noilhan, J. and S. Planton (1989): A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models, *Monthly Weather Review*, **117**, No. 3, pp. 536–549.
- Olivier, J.G.J., J.J.M. Berdowski, J.A.H.W. Peters, J. Bakker, A.J.H. Visschedijk and J.-P.J. Bloos (2001): Application of EDGAR. Including a description of EDGAR 3.0: reference database with trend data for

- 1970-1995. *RIVM report No- 773301 001/NOP report No. 410200 051*, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Pierce, T., Geron, C., Bender, L., Dennis, R., Tennyson, G., and Guenther, A., (1998): The Influence of Increased Isoprene Emissions on Regional Ozone Modeling, *Journal of Geophysical Research*, **103**, pp. 25611–25629.
- Ricard, J. L. and J.-F. Royer (1993): A statistical cloud scheme for use in an AGCM, *Annales Geophysicae*, **11**, No. 11/12, pp. 1095-1115.
- Ryan, R. (2002): Memorandum: Speciation Profiles and Assignment Files Located on EMCH, US EPA Emission Factor and Inventory Group, http://www.epa.gov/ttn/chief/emch/speciation/emch_speciation_profile.pdf.
- Schaap, M., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Boersen, G.A.C., Builtjes, P.J.H. Sauter, F.J., Velders, G.J.M. and Beck, J.P. (2008) 'The LOTOS–EUROS model: description, validation and latest developments', *International Journal of Environment and Pollution*, **32**, No. 2, pp.270–290.
- Schwede, D., G. Pouliot, and T. Pierce (2005): Changes to the Biogenic Emissions Inventory System Version 3 (BEIS3), Proc. of 4th Annual CMAS Models-3 Users's Conference, September 26-28, 2005, Chapel Hill, NC.
- Simpson, D, Guenther, A., Hewitt, C. N. and Steinbrecher, R. (1995): Biogenic emissions in Europe: I. Estimates and uncertainties, *Journal of Geophysical Research*, **100**, pp. 22875-22890.
- Spiridonov, V., M. Déqué, S. Somot (2005): ALADIN-CLIMATE: from the origins to present date, *ALADIN Newsletter*, **29**.
- Stauffer, D.R. and N.L. Seaman (1990): Use of four-dimensional data assimilation in a limited area mesoscale model. Part I: experiments with synoptic data. *Monthly Weather Review*, **118**, pp.1250-1277.
- Tanre, C. D., J.-F. Geleyn, J. Slingo (1984): First results of the introduction of an advanced aerosol-radiation interaction in ECMWF low resolution global model, in *Aerosols and Their Climatic Effects*, edited by H. E. Gerber and A. Deepak, pp. 133-177, A. Deepak, Hampton, Va.
- Veleva, B. (2006): Time Variation of the Dust Concentration and Deposition in Sofia During the Period 1981-2002, Proc. of BALWOIS-2006 Conference on water observation and information system for decision support, 23-26 May 2006, Ohrid, FYROM, p.48 (Full text on CD)
- Vestreng, V. (2001): Emission data reported to UNECE/EMEP: Evaluation of the spatial distribution of emissions. Meteorological Synthesizing Centre - West, The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway, *Research Note 56, EMEP/MSC-W Note 1/2001*.
- Vestreng, V., Breivik, K. Adams, M. Wagner, A. Goodwin, J. Rozovskaya, O. and Pacyna, J. M. (2005): Inventory Review 2005 (Emission Data reported to LRTAP Convention and NEC Directive), *Technical Report MSC-W 1/2005*, EMEP.
- Visschedijk A.J.H. and H.A.C. Denier van der Gon (2005): Gridded European Emission Data for NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5} and CH₄ for year 2000, *TNO Report B&O-A R 2005/106 version 2*, Apeldoorn, The Netherlands.
- Visschedijk A.J.H., P.Y.J. Zandveld, H.A.C. Denier van der Gon (2007): A High Resolution Gridded European Emission Database for the EU Integrate Project GEMS, *TNO-report 2007-A-R0233/B*, Apeldoorn, The Netherlands.
- Zlatev, Z. (1995): Computer treatment of large air pollution models, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London.
- Zlatev, Z. (2006): Impact of climate changes in Europe on European pollution levels, *Problems in Programming*, **8**, No. 2-3, pp. 659-663.
- Zlatev, Z. and I. Dimov (2006): Computational and numerical challenges in environmental modelling, Elsevier, Amsterdam.
- Zlatev, Z. and I. Dimov (2006): "Computational and numerical challenges in environmental modelling", *Studies in Computational Mathematics*, **13**, Elsevier, Amsterdam.
- Zlatev, Z. and D. Syrakov (2004a): A fine resolution modelling study of pollution levels in Bulgaria. Part 1: SO_x and NO_x pollution, *International Journal of Environment and Pollution*, **22**, No. 1-2, pp. 186-202.
- Zlatev, Z. and D. Syrakov (2004b): A fine resolution modelling study of pollution levels in Bulgaria. Part 2: High ozone levels, *International Journal of Environment and Pollution*, **22**, No. 1-2, pp. 203-222.
- Zlatev, Z. and L. Moseholm (2008): Impact of climate changes on pollution levels in Denmark, *Environmental Modelling*, **217**, pp. 305-319.