



New version of the Bulgarian Emergency Response System in case of a nuclear accident over Europe (BERS3)

Dimiter Syrakov* , Maria Prodanova, Kiril Slavov

*National Institute of Meteorology and Hydrology
Tzarigradsko shosse 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract: A computer system for emergency response in case of a nuclear accident (BERS) has been developed, the site of which is operational at the National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH). The system is currently installed on a Linux-machine belonging to the National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG), but the results are sent and visualized at NIMH. The creation and development of BERS was strongly stimulated by the ETEX (European Tracer EXperiment) project, whose first tracer release was in 1994. The zero version of the system was implemented in 1996, the first version in 2002, and the next one – in 2007, and some other versions after that, connected with new servers and new software. BERS consists of two main parts – operational and emergency ones. The operational part works automatically every day. It prepares the forecast meteorological file used both for calculating the trajectories and by the dispersion model calculating the evolution of the concentrations and depositions of the radioactive pollutant. This is performed for 36 European nuclear power plants (NPPs) under the same scenario of a major nuclear accident. The emergency part is activated by an operator when a real radioactive release occurs or during exercises. The operator enters the specific source data provided by the user (simulation period, coordinates, release parameters) and sends back the results obtained.

Key words: computer system for emergency response in case of a nuclear accident (BERS), operational and emergency system, radioactive pollution

* dimiter.syrakov@meteo.bg

Димитър Сираков, Мария Проданова и Кирил Славов

Нова версия на Българската система за реагиране при извънредни ситуации в случай на ядрена авария над Европа (BERS3)

Димитър Сираков*, Мария Проданова, Кирил Славов

*Национален институт по метеорология и хидрология
бул. Цариградско шосе 66, 1784 София*

Резюме: Разработена е компютърна система за аварийно реагиране в случай на ядрена авария (BERS), чието сайт работи оперативнo в Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ). Системата понастоящем е инсталирана на Linux-машина, принадлежаща на Националния Институт по Геофизика, Геодезия и География (НИГГГ), но резултатите се изпращат и визуализират в НИМХ. Създаването и развитието на BERS бяха силно стимулирани от международния проект ETEX (European Tracer Experiment), чието първо изпускане на трасер бе през 1994 г. Нулевата версия на системата бе внедрена през 1996 г., първата версия през 2002 г., а следващата – през 2007 г. От тогава редица подобрения бяха направени, резултат от внедряването на нова изчислителна техника и нови версии на използвания софтуер. BERS се състои от две основни части - оперативна и аварийна. Оперативната част работи автоматично всеки ден. Тя подготвя прогностичния метеорологичен файл, използван както за изчисление на траекториите, така и от дисперсионния модел, изчисляващ еволюцията на концентрациите и депозициите (отлаганията върху земната повърхност) на радиоактивния замърсител. Това се изпълнява за 36 европейски атомни електроцентрали (АЕЦ) по един и същи сценарий на мощна ядрена авария. Аварийната част се активира от оператор, когато възникне реално радиоактивно изпускане или по време на учения. Операторът въвежда предоставените от потребителя конкретни данни за източника (период на симулация, координати, параметри на изхвърлянето) и изпраща обратно получените резултати.

Ключови думи: Система за реагиране при извънредни ситуации, оперативна и аварийна система, радиоактивно замърсяване.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Промишлените аварии, причиняващи изпускане на вредни (химически или радиоактивни) материали в атмосферата, могат да имат последици, простиращи се на стотици и дори хиляди километри. В такъв случай лицата вземащи решения, се нуждаят от информация за възможния пренос на замърсяване на големи разстояния и по-конкретно степента на замърсяване в района от интерес. За тази цел в много държави са създадени компютъризирани системи за реагиране при

Нова версия на Българската система за реагиране при извънредни ситуации в случай на ядрена авария над Европа (BERS3)

извънредни ситуации, които симулират и прогнозираят разпространението на изпуснатото замърсяване.

Такава система е разработена и в Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ) на България. Нейното създаване и развитие бяха стимулирани от Европейския трасерен експеримент (ETEX) (Graziani et al., 1998). НИМХ участва във всички дейности на проекта ETEX. Основните резултати, получени от системата свързани с ETEX, са описани в Syrakov и Prodanova (1998). Дисперсионният модел EMAP, разработен за тази цел, беше тестван и показва добри резултати. Пълно описание на първата версия на BERS е дадено в Syrakov et al. (2003). През годините BERS взе участие в много международни проекти за оценка на модели и сравнение между модели като (ETEX, RTMOD, ENSEMBLE и др.).

След някои модификации, BERS беше използван в много други изследователски случаи, като замърсяването по време на войните в Югославия и Ирак, анализа на някои локални промишлени аварии, последствията от изригването на вулкана в Исландия през 2010 г., както и за моделиране на разпространението на радиоактивността при ядрената авария във Фукушима през 2011 г. Значителното подобрене на EMAP, извършено през 2007 г., позволява и изчисляване на няколко експозиционни дози (Syrakov et al., 2009, 2011, 2012, 2015). Тази версия на BERS работи с усложнени източници, задаващи емисиите на различни радиоактивни вещества – газове и аерозоли и не може да се използва за оперативни цели. В последния вариант на BERS основните изчисления се извършваха на Linux-машина, а визуализацията на PC под Windows (програмен пакет Surfer). Поради крупна авария с електрическото захранване, свързът на Системата беше повреден и известно време тя не работеше. Новата версия BERS3 е реализирана само на един Linux-сървър, което е по-сигурно.

2. ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА BERS

BERS се състои от две части - оперативна и аварийна (on-line и off-line варианти). Оперативната част се изпълнява автоматично всеки ден във фиксиран момент след получаване на новата прогностична метеорологична информация.

Оперативната верига включва няколко модула, извършващи: (i) подготовка на специфичен вътрешен метеорологичен файл, използван впоследствие както от траекторния модел, така и от дисперсионния модел EMAP; (ii) архивиране на тези метеорологични данни за по-нататъшни симулации от аварийната версия; (iii) пресмятане на траекториите, концентрациите и депозициите за 36 европейски атомни централи и (iv) визуализация на резултатите и качване на съответните изображения на специализиран уеб-сайт в НИМХ. За всяка АЕЦ се изчислява набор от 3 траектории с височини на изпускане от 100, 300 и 1000 м. За целта се използват единствено данни за вятъра. Концентрациите и депозициите се изчисляват с отчитане на всички дисперсионни процеси – транспорт, дифузия,

сухо отлагане, измиване от валежите, химични или радиоактивни трансформации и др., за което се използват пълноценно метеорологичните данни.

Аварийната част се активира от оператор след заявка от компетентните органи, които трябва да предоставят необходимата входна информация - координати и параметри на изпускането (начален и краен час, височина, продължителност и мощност на изпускането и др.). Тази информация, заедно с вътрешния метеорологичен файл, се въвежда в EMAP модела, който може да работи и с променящи се параметри на изпускането. Изходите на модела в този случай са времеви последователности от полета на концентрация и отлагане на примесите. Те се визуализират, анимират и се предоставят на потребителя.

Всички тези изчисления (траектории и дисперсионни параметри) се извършват върху площ, обхващаща Европа. Използвана е Ламбертова конична проекция с пресичане на земната повърхност на 30° и 60°. Избрана е област от 240×210 точки със стъпка 20 км. Централната точка е с координати 20° по дължина и 53° по ширина. Основният меридиан е 20°.

3. МОДЕЛИ, ИЗПОЛЗВАНИ В НОВАТА ВЕРСИЯ BERS3

BERS2 дълги години работеше на клъстер на НИМХ (*beo.cfd.meteo.bg*), който през 2023 г. беше повреден поради проблеми с елктрозахранването. Тогава, с любезното съгласие на ръководството на НИГГГ, получихме възможност да използваме тяхна машина за инсталирането на *Българската система за ранно предупреждение за възможно радиоактивно замърсяване в случай на ядрена авария, Версия 3 (BERS3)*.

Използвана е машината *nv26.avitohol.acad.bg*, където са инсталирани всичките компоненти на системата.

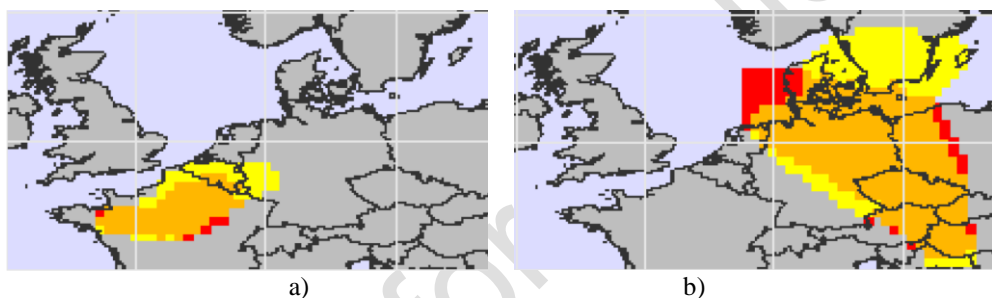
Инсталиран е мезо-метеорологичния модел WRF (Weather Research and Forecasting Model), който се захранва с прогностична информация от американската GFS (Global Forecast System). Данните са с разделителна способност 0.25 deg и обхващат 12 часа назад и три дни напред за района на Европа. Началните 12 часа се използват за адаптиране на модела WRF. Сайтът, от който се теглят данните е <https://nomads.ncep.noaa.gov/>. Направен е преглед и избор на базовата метеорологична информация. Използван е филтър за достъп до подмножеството от файлове с данни на NOMADS Grib2 (General Regularly Distributed Information in Binary form) формат. За тази цел е направен скрипт за автоматично теглене на GFS данните от сайта на NOMADS.

Инсталирани са и са компилирани моделът IO/API v.3.1 (Input/Output Applications Programming Interface) и софтуерът NetCDF v.4.1.1 (Network Common Data Form), без които не може да се компилират моделите WRF и MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor). Инсталирани са и компилирани WRF v.9.1 и MCIP v.4.1. MCIP приема изход от модела WRF, за да подготви метеорологичните файлове, които се използват от моделите за изчисляване на траектории, концентрации и депозиции. Където е възможно, MCIP използва

Нова версия на Българската система за реагиране при извънредни ситуации в случай на ядрена авария над Европа (BERS3)

данни директно от метеорологичния модел, за да увеличи максимално съгласуваността със системите за моделиране на замърсяване на въздуха. Когато специфични атмосферни полета не се извеждат изрично от WRF, MCIP използва научни алгоритми, за да създаде тези полета.

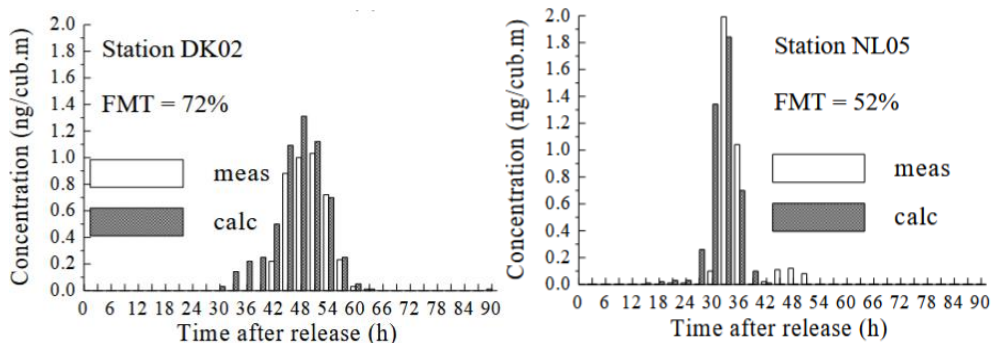
Дисперсионният модел EMAP (Eulerian Model for Air Pollution) е ядрото на BERS3. Моделът е триизмерен с неравномерна мрежа по вертикалата. Процесите на адвекция (транспорт), дифузия, сухо и мокро отлагане, химични или радиоактивни трансформации са отчетени чрез не много сложни числени схеми. Въпреки това, валидирането в рамките на проекта ETEX показва, че моделът симулира реалното изпускане на трасера доста добре, както може да се види от фигури 1 и 2. На фигурите са оценени два важни параметъра - Фигура на качеството в пространството (FMS) и Фигура на качеството във времето (FMT). И двата параметъра показват добро качество на симулацията.



Фиг. 1. Описание на първото изпускане на ETEX, симулиран от EMAP (жълто – измерен облак на трасера, червено – симулиран от EMAP облак, кафяво - припокриване). Параметрите на успешност са: а) $t=T_0+14$ ч. FMS=62 %; б) $t=T_0+44$ ч. FMS=63 %.

Fig.1. Description of the first ETEX run from EMAP model (yellow - measured tracer cloud, red – EMAP simulated cloud, brown – overlapping) The parameters of success are: а) at $t=T_0+14$ ч. FMS=62 %; б) at $t=T_0+44$ ч. FMS=63 % .

Комплицираното ранжиране на моделите, извършено в Graziani et al. (1998), показва, че резултатите от дисперсионния модел EMAP са класирани на 9-то място сред 28-те модела, участващи в ETEX.



Фиг. 2. Описание на първото изпускане на ETEX от EMAP (ляво – станция в Дания - DK02, дясно – станция в Нидерландия - NL05)

Fig. 2. Description of the first ETEX run from EMAP model (left – Denmark station DK02, right – Netherland station NL05)

4. ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯТА В BERS3

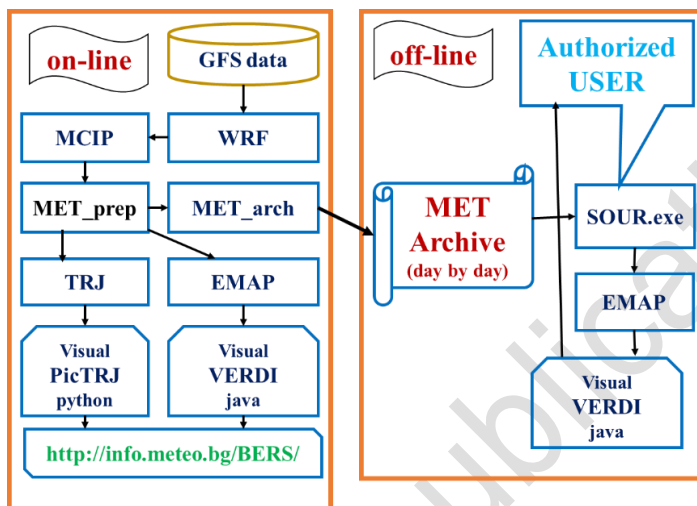
Моделираните полета на концентрация и отлагане могат да бъдат визуализирани, анимирани и представени на съответна уеб страница заедно с изображенията на траекториите. Необходима е Linux-среда, за да може да се получават и поддържат новите метеорологични данни, необходими за BERS3. Данните от GFS не се интерполират директно в точките на мрежата на системата. Вместо това, усъвършенствания мезо-метеорологичен модел WRF (Weather Research Forecast) извършва динамична интерполация и прогноза. Неговият изход е NetCDF-файл с времева резолюция от 1 час и се обработва допълнително с модела MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor). И двата модела работят в многопроцесорен режим и са важна част от системата Models-3 на US EPA (<https://www.cmascenter.org>).

На фигура 3 е представена блок-схема на BERS3, показваща последователността на операциите и в двата варианта на системата (on-line и off-line или оперативен и аварийен). Теглят се GFS-данните, обработват се от WRF, чийто изходен файл се подава на MCIP. Изходът от MCIP се подава към модула MET_prep.exe, който създава вътрешен метеорологичен файл. Той едновременно е вход за траекторния модел TRJ.exe и за дисперсионния модел EMAP. Междувременно се активира програмата MET_arch.exe, която разцепва 3-дневния прогностичен met-файл на 3 еднодневни файла и ги запазва в специализиран архив. Този архив се използва от аварийния вариант на системата.

Следва визуализация на изходните продукти на TRJ.exe и на EMAP. Траекториите се визуализират с модул, написан на езика *python*, а за концентрациите и депозициите се използва пакетът VERDI, разработен от Американската Агенция по Околна Среда (EPA), базиран на *java*. Тъй като VERDI не работи достатъчно устойчиво, е предвидена възможността за проверка на броя

Нова версия на Българската система за реагиране при извънредни ситуации в случай на ядрена авария над Европа (BERS3)

на готовите изображения и ако е по-малък от 36 се повтаря работата с VERDI за неговите изображения.



Фиг. 3. Поток на информацията в BERS3, оперативен и аварийен режим

Fig. 3. Information flow in BERS3 (on-line and off-line versions)

Готовите изображения се изпращат в уеб-сайта на системата, опериран от НИМХ, който се намира на <https://www.meteo.bg/bg/node/1076>. Сайтът е разположен на две страници. Първата страница е текстова и обяснява работата на системата. Предвидено е представянето както на български, така и на английски език. Като се кликне линка „Към сайта =>“ или директно от линка <https://info.meteo.bg/BERS/> се отива на работната страница, където графично се представя цялата информация. Извикването на отделните изображения е описано в лявата колонка на страницата.

Аварийният или „off-line“ вариант на системата работи за конкретен източник с неговите параметри (начало на аварията, краен срок на симулацията, координати на източника и еволюция на параметрите на изхвърлянето). В основната директория на този вариант са разположени текстовите файлове 00_README_bg и 00_README_en, които описват как трябва да се работи с този вариант на системата. Първоначално той бе инсталиран на сървъра в НИГГГ, но в следствие и на два сървъра в НИМХ с IP-адреси 194.141.118.85 и 194.141.117.179. Първият сървър е в отдел Прогнози и се ползва от дежурните синоптици, към които първо биха се обърнали компетентните органи при нужда. Вторият сървър е в секция Моделиране на атмосферното замърсяване на департамент Метеорология. И трите инсталации ползват създаден от тях метеорологичен файл за съответния период на основата на метеорологичния архив, попълван непрекъснато от „on-line“ версията на системата.

Стартирането на работата на аварийния вариант става чрез скрипта BERS_Run.csh. В него първо се извиква програмата SOUR.exe, която изисква въвеждането на данни за източника: координати, начало и край на симулацията, данни за поведението на източника (мощност, височина и продължителност на отделни периоди от еволюцията му). Тази програма инициира и скрипта met_eu.csh, който произвежда метеорологичния вход към EMAP на базата на архивната метеорологична информация. Трябва да се изтъкне, че оперативният вариант на системата произвежда 3-дневен прогностичен файл с начало 00 UTC на текущия ден, докато аварийният вариант произвежда файл с дължина, съответстваща на въведените начало и край на симулацията, т.е. може да произвежда както прогностичен така и симулативен метеорологичен файл. След това програмата EMAP изчислява концентрациите и депозициите на радиоактивните компоненти.

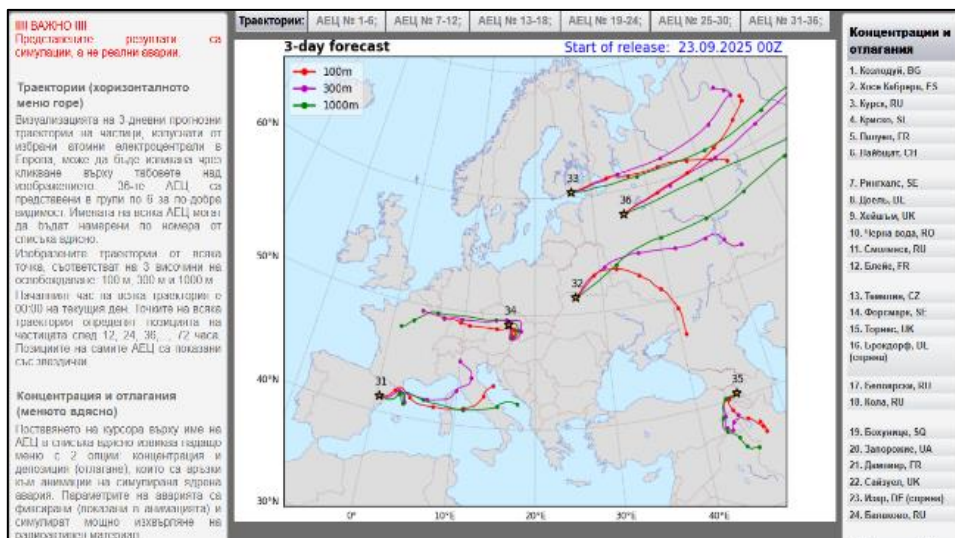
Програмата PIC.exe визуализира всеки момент от симулацията (на всеки трети час) и от тях създава анимиран gif-файл. Почасовите файлове и анимирания файл се пазят в директориите ~/RESULTS/CON и ~/RESULTS/DEP за концентрациите и депозициите, съответно. За визуализацията се използва споменатият вече пакет VERDI. Трябва да се има предвид, че тези данни, ако е необходимо, трябва да се съхранят някъде другаде, защото новият пуск на системата изтрива всичко в тези директории преди да постави новите резултати.

5. УЕБ-СТРАНИЦА НА ОПЕРАТИВНИЯ ВАРИАНТ НА BERS

На фигури 4а и 4б е показана втората (графичната) страница на уеб-сайта на BERS. Тя се състои от четири части. В лявата колона има кратко описание на данните и указания как да се извикват различните видове информация. Списък с менюта с изображения на траекториите е разположен в горната част, където са обозначени шест групи АЕЦ. Избор с мишката на даден елемент показва съответните изображения на траекториите в централната част на страницата.

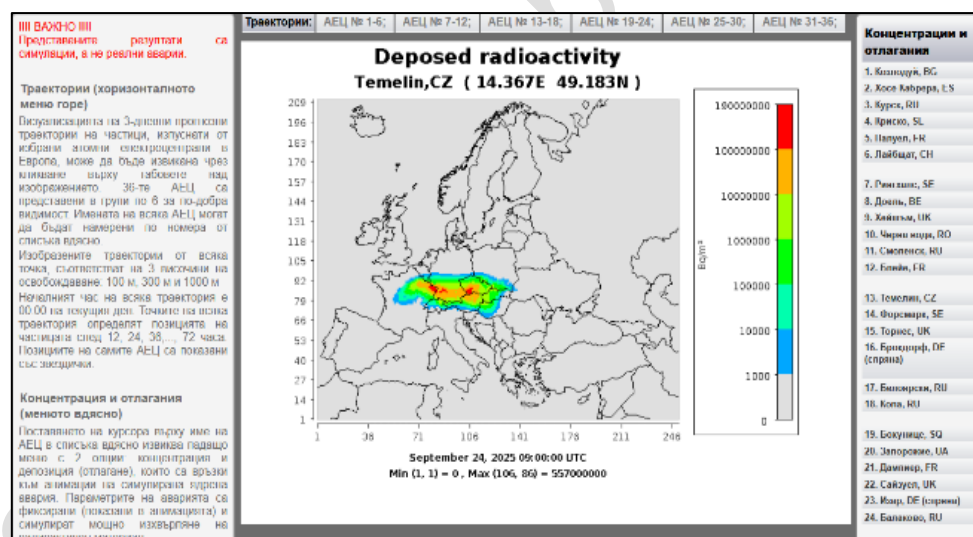
Дясната колона съдържа меню с 36 европейски атомни електроцентрали, разделени на 6 групи. Тази колона играе двойна роля. Първо, тя обяснява изображенията на траекториите, където всяка АЕЦ е обозначена само с число. Второ, тя позволява извикване на анимации за конкретна АЕЦ. При позициониране на курсора върху желаната АЕЦ се появява падащо меню с два елемента – „концентрация“ и „отлагане“. Изборът на някой от елементите активира съответната анимация в централната част на страницата.

Нова версия на Българската система за реагиране при извънредни ситуации в случай на ядрена авария над Европа (BERS3)



Фиг. 4а. Уеб-сайт на BERS3 – траектории на група 6 – АЕЦ 31-36

Fig. 4a. BERS Web site – group 6 trajectories NPP 31-36



Фиг. 4б. Уеб-сайт на BERS3 – поле на депозицията от АЕЦ Темелин.

Fig.4. BERS Web site – NPP Temelin deposition field.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарастващото разнообразие и количество информация за евентуалния пренос на радиоактивно замърсяване в случай на ядрена авария, предоставена от новата версия на BERS, може да бъде много полезна за аварийните служби. В тази версия

на системата са използвани по-нови версии на метеорологичните модели и нови начини за визуализация на траекториите и на концентрациите и депозициите.

ЛИТЕРАТУРА

- Graziani, G., Klug W., Moska S. (Eds.) (1998), Real-Time Long-Range Dispersion Model Evaluation of the ETEX First Release. Joint Research Centre, EU, Luxemburg (EUR17754EN).
- Syrakov, D. and Prodanova, M. (1998), Bulgarian Emergency Response Models – Validation against ETEX First Release, *Atmospheric Environment*, 32, 4367-4375.
- Syrakov D., Prodanova M. and Slavov K. (2003), Description and performance of Bulgarian Emergency Response System in case of nuclear accident (BERS), *Int. J. Environment and Pollution*, 20, 1–6, pp. 286–296, <https://doi.org/10.1504/IJEP.2003.004292>
- Syrakov, D., Prodanova, M., Slavov, K. (2003). NIMH Emergency Response System in Case of Nuclear Accident. In: Melas, D., Syrakov, D. (eds) *Air Pollution Processes in Regional Scale*. NATO Science Series, vol 30. Springer, Dordrecht, https://doi.org/10.1007/978-94-007-1071-9_33
- Syrakov, D., Prodanova, M., Slavov, K. (2005). Bulgarian Emergency Response System: Description and Ensemble Performance. In: Faragó, I., Georgiev, K., Havasi, Á. (eds) *Advances in Air Pollution Modeling for Environmental Security*. NATO Science Series, vol 54. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3351-6_33
- Syrakov D., Veleva B., Prodanova M., Popova T., Kolarova M. (2009) The Bulgarian Emergency Response System for dose assessment in the early stage of accidental releases to the atmosphere, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 100, Issue 2, Pages 151-156, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.11.002> .
- Syrakov D., Prodanova M., Slavov K., Veleva B. (2011), Bulgarian Emergency Response System (BERS) for Possible Transboundary Transport of Radioactive Pollution in case of Nuclear Accident, *Bul. J. Meteo & Hydro* 16/2, 18-25.
- Syrakov D., Prodanova M., Slavov K., Veleva B. (2015), Bulgarian Emergency Response System (BERS) in case of nuclear accident with exposure doses' estimation, *Fisica de la Tiera* 27 (2015) 57-67, http://dx.doi.org/10.5209/rev_FITE.2015.v27.51193
- Syrakov D., Prodanova M., Slavov K., Georgieva E. (2016), New Version of the Bulgarian Emergency Response System in case of Nuclear Accident over Europe (BERS2). *AMA Publications, AMA Proceedings*, 2016, 26-29, <https://doi.org/10.5162/6EUNETAIR2016/07>