

**РОЗДІЛ II. ВИКОРИСТАННЯ МЕЗОМАСШТАБНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ
ВИВЧЕННІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДОМШОК ТА АЕРОЗОЛІВ В АТМОСФЕРІ
(SECTION II. USE OF MESOSCALE MODELS IN STUDIES OF AIR POLLUTANT
AND AEROSOL DISTRIBUTION IN THE ATMOSPHERE)**

УДК 681.3.06

**Р.В. Арутюнян¹, проф., В.Н. Семенов¹, проф., О.С. Сороковикова¹, проф.,
А.Л. Фокин¹, Р.Ю. Игнатов², к. ф.-м. н., Е.В. Набокова², К.Г. Рубинштейн², д.ф.-м.н.**
¹ИБРАЭ РАН, Россия
²ГУ «Гидрометцентр России», Россия

**ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА С МЕТЕО-
РОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗОМ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАЗРЕШЕНИЯ**

***Аннотация.** Приведены результаты верификации российского программного комплекса для расчета распространения радионуклидов НОСТРАДАМУС совместно с метеорологической моделью WRF на серии натуральных экспериментов.*

Ключевые слова: верификация модели, модель WRF, распространение радионуклидов, программный комплекс НОСТРАДАМУС

1 Введение

В настоящее время растет число, как атомных электростанций, так и других объектов, связанных с гипотетической радиационной опасностью. Обеспечение их безопасного функционирования включает в себя создание математических моделей и программных средств для оперативного прогноза в случае штатных и аварийных выбросов. Эти программные средства должны обеспечиваться прогностическими метеорологическими полями с хорошим пространственным разрешением. Задачей подобных программных средств является информационное обеспечение принятия обоснованных решений по выработке мер в случаях аварий (своевременное оповещение, реализация защитных мер) в реальном масштабе времени [1,4–6].

Модель распространения радиационного загрязнения в атмосфере, включенная в интегрированную систему поддержки принятия решений НОСТРАДАМУС [5–6], основана на эффективной гибридной численной методике решения уравнения турбулентной диффузии (аналог стохастической модели крупных частиц). В результате использования такой численной методики удастся без потери точности на порядок быстрее моделировать распространение полидисперсной примеси (для радионуклидов с учетом более 100 цепочек распада). Преимуществом этой модели является то, что в качестве исходных данных в ней могут быть в оперативном режиме использованы трехмерные нестационарные метеорологические поля, в частности, данные детальных метеорологических прогнозов, это позволит улучшить качество исходных данных и, следовательно, качество прогнозирования радиационной обстановки.

2 Данные и методы

Модели подобного типа нуждаются в верификации. Приведем некоторые результаты такой верификации.

В 1983 – 1985 гг. было проведено четыре натуральных мезомасштабных эксперимента в районе Карлсруэ (KfK) [3]. Эксперименты представляли собой выброс трассера SF₆ с метеорологической вышки и проведение измерений в большом количестве пунктов отбора проб на расстояниях до 60 км от источника.

На рис. 1 приведено расположение вышки и измерительных станций во время одного из экспериментов. Расположение измерительных пунктов менялось в зависимости от направления ветра.

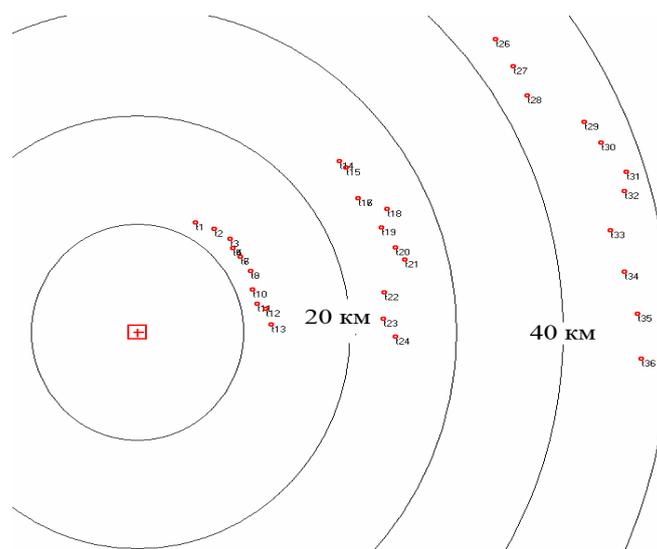


Рис. 1 – Расположение вышки (крестик с координатами 49.054° с.ш., 8.388° в.д.) и измерительной сети

Измерение метеорологических параметров проводилось до высот 200 м. Эти измерения обеспечивали получение вертикальных профилей температуры и ветра в пограничном слое атмосферы с десятиминутным осреднением. Такой подробной метеорологической информации трудно ожидать в реальной ситуации. Результаты моделирования распространения трассера системой НОСТРАДАМУС, при использовании только этих метеорологических данных в качестве входных, сравнивались с данными измерений. Даже для орографически неоднородной территории проведения натуральных экспериментов (рис. 2), получено довольно хорошее соответствие результатов моделирования и данных с сети измерительных пунктов [4].

Целью нашей работы была оценка возможностей мезомасштабной метеорологической модели WRF [2] и системы НОСТРАДАМУС для прогноза метеорологических полей и динамики распространения загрязнения в предположении, что данные с метеорологической мачты отсутствуют.

В созданной для региона Южной Германии версии WRF используется 25 вертикальных уровней. Из них 15 расположены в пограничном слое атмосферы. Пространственное разрешение около 2 км.

Возникла значительная проблема с начальными и краевыми данными для этой модели. Дело в том, что за годы, в которые проводились эксперименты, в нашем распоряжении не было данных с высоким пространственным разрешением. В нашем распоряжении имелось три набора данных реанализов, созданных различными мировыми центрами. Реанализ NCAR/NCEP (разрешение порядка 250 км) – Национального центра Атмосферных Исследований США. Реанализ ECWF –

Європейського центру середньотривалого прогнозу погоди та реаналіз JRA – японського метеорологічного агентства. Дані останнього реаналізу мають більш високе розрешення (порядка 100 км). Проведені серії експериментів з різними параметризаціями планетарного пограничного шару, процесів на поверхні та всередині ґрунту. Параметризації інших фізичних процесів для всіх експериментів не змінювалися.

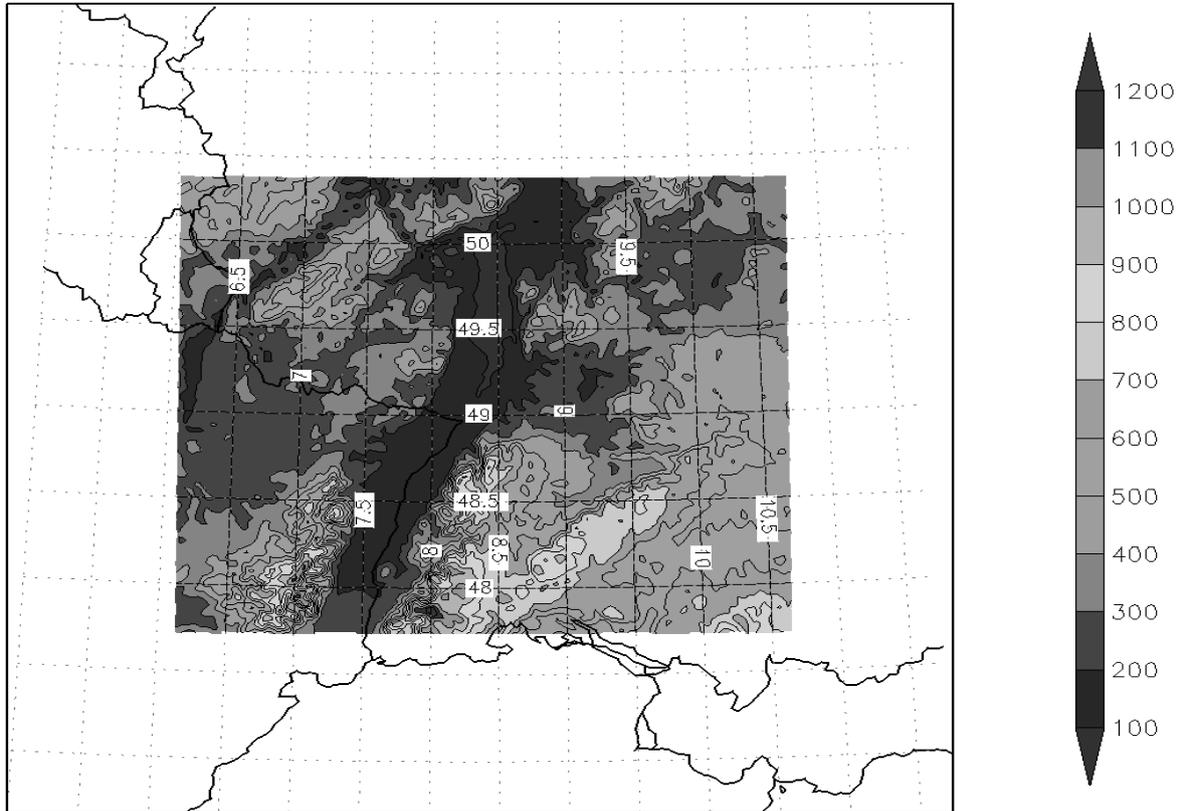


Рис. 2 – Територія прогнозів та рельєф місцевості.

Таблиця 1 – Середня за час експериментів різниця (виміряна – модельна) швидкості вітру в точці джерела трасера [м/с] для різних параметризацій фізичних процесів.

	40м	60м	100м	160м	200м
1 Експеримент					
JRA_111			0,7		1,3
ECMWF_111		-0,6	0,0	0,7	1,0
ECMWF_121		-2,2	-1,9	-1,4	-1,2
ECMWF_131		-0,9	-0,5	-0,1	0,0
ECMWF_137		-2,5	-1,9	-1,4	-1,2
ECMWF_222		2,0	2,7	3,3	3,5
ECMWF_777		-2,5	-1,9	-1,5	-1,3
NCEP_777		-1,5	-0,9	-0,4	-0,2
NCEP_222		-0,5	-0,1	0,2	0,4
NCEP_121		-1,6	-1,5	-1,3	-1,3

Продолжение таблицы 1.

	40м	60м	100м	160м	200м
2 Эксперимент					
NCEP_222	1,4	2,3	3,8	4,9	5,4
NCEP_121	-1,5	-0,9	0,4	1,5	2,0
ECMWF_121	0,4	1,2	2,7	4,3	5,0
3 Эксперимент					
NCEP_121	-0,7	0,2	1,3	1,8	2,0
NCEP_222	-0,5	0,4	1,3	1,8	2,0
ECMWF_121	-0,8	0,1	1,3	2,0	2,3
4 Эксперимент					
NCEP_121	-4,5	-4,6	-4,8	-4,9	-4,9
NCEP_222	-6,0	-6,4	-6,6	-6,5	-6,3
ECMWF_121	-5,5	-5,7	-5,9	-5,9	-5,9

Численные эксперименты показали, что величины ошибок в данных о ветре заметно зависят от начальных данных и от использованных методов параметризации пограничного слоя. Тем не менее, в целом, наиболее удачным оказалось использование реанализа NCEP в качестве начальных и граничных условий. В табл. 1 приведены некоторые результаты сравнения модельных и измеренных значений скорости ветра на разных высотах для разных вариантов начальных, граничных условий и вариантов параметризаций процессов подсеточного масштаба. Отмеченные ячейки в табл. 1 – варианты с лучшими показателями по этому критерию (сравнение измеренных и рассчитанных скоростей ветра).

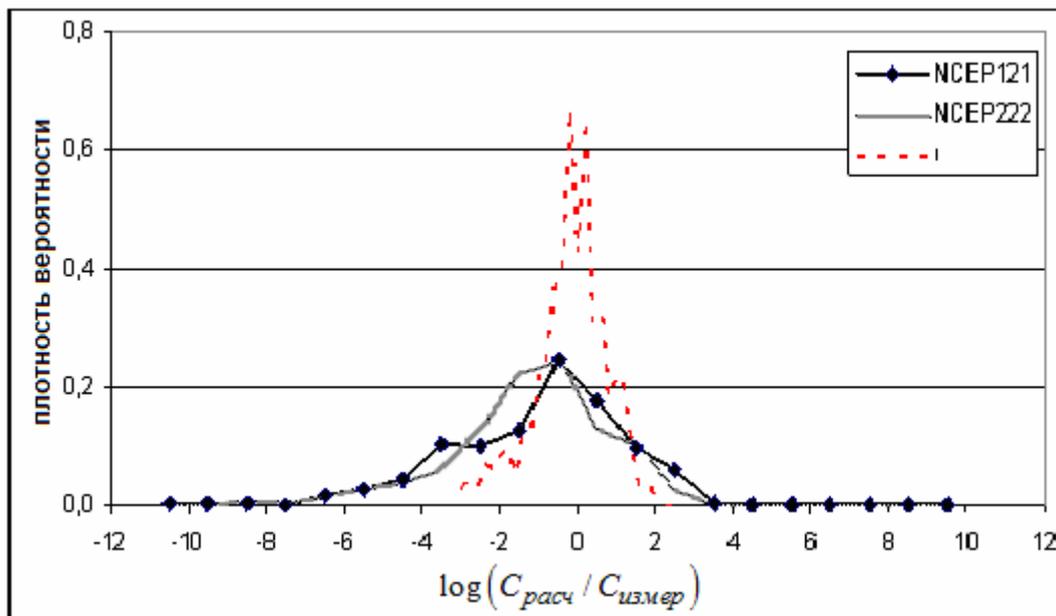


Рис.3 – Плотность вероятности для $\log(C_{расч} / C_{измер})$ в различных точках и в различные моменты времени.

На рис.3, 4 представлены эмпирические плотности вероятностей отношения рассчитанных концентраций и измеренных значений для двух лучших вариантов расчета, основанных на версиях модели WRF, без учета данных метеорологической мачты. Пунктиром отмечены результаты, полученные с использованием детальной информации о вертикальной структуре пограничного слоя с метеорологической мачты.

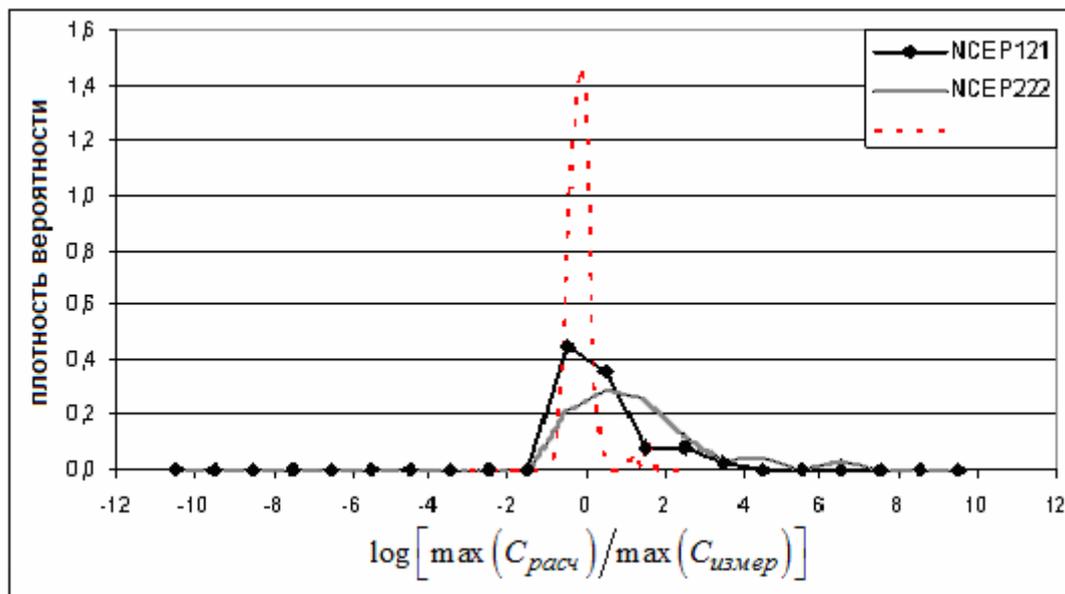


Рис.4 – Плотность вероятности для $\log\left[\frac{\max(C_{расч})}{\max(C_{измер})}\right]$ для отношения точек с максимальными вычисленными концентрациями к точкам с максимальными измеренными концентрациями на определенных расстояниях

3 Основные результаты и выводы

Несмотря на то, что результаты моделирования распространения трассера на основе использования данных мониторинга с метеомачты заметно лучше, чем на основе использования метеорологической модели (модель обеспечивает восстановление и прогноз структуры метеорологических параметров с грубого пространственного разрешения на принципиально более детальное пространственное разрешение) в целом, на наш взгляд, ситуация обнадеживающая. Для многих реальных ситуаций, когда данных детального мониторинга погранслоя нет, использование мезомасштабных метеорологических моделей чрезвычайно продуктивно.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 07-08-491-а и 08-05-13545-офи_ц.

Литература

1. Arutunjan, R.V., V.N. Semenov, O.S. Sorokovikova, A.L. Fokin, R.U. Ignatov, K.G. Rubinshtejn (2008) Atmospheric transport modeling with 3D Lagrangian dispersion codes NOSTRADAMUS and meso-scale meteorological model with height space resolution, compared with tracer experiments at regional scale. International Conference “MESOSCALE METEOROLOGY AND AIR POLLUTION” in Commemoration of the Late Professor Lev N. Gutman and His Outstanding Contribution to Theoretical Mesometeorology, 15-17 September 2008, Odessa, 2008, pp. 81.

2. <http://wrf-model.org/index.php>
3. Thomas, P., S. Vogt, P. Gaglione (1987) Mesoscale Atmospheric Experiment Using Tracer and Tetroons Simultaneously at Kernforschungszentrum. Karlsruhe, KfK 4147 EUR 10907 EN, 112 pp.
4. Van Dorpe, F., B. Iooss, V. Semenov, O. Sorokovikova, A. Fokin, and Y. Margerit (2007) Atmospheric Transport Modeling with 3D Lagrangian Dispersion Codes Compared with SF6 Tracer Experiments at Regional Scale. Science and Technology of Nuclear Installations, Vol. 2007, Article ID 30863, 13 pp. – DOI:10.1155/2007/30863.
5. Арутюнян Р.В., Беликов В.В., Семенов В.Н., Сороковикова О.С., Стародубцева Л.П., Фокин Л.А., Рубинштейн К.Г., Игнатов Р.Ю., Грицан Е.В. Тестирование экспериментальной системы оценки атмосферного переноса загрязнений с использованием регионального метеопрогноза высокого разрешения. – Известия РАН, Энергетика, № 6, 2008, с. 132–152.
6. Рубинштейн К.Г., Игнатов Р.Ю., Грицан Е.В., Новикова И.В., Арутюнян Р.В., Семенов В.Н., Сороковикова О.С. Использование региональной негидростатической модели в получении метеорологических данных для задач прогноза распространения и выпадения радионуклидов. – Метеорология и Гидрология, 2009 (в печати).

Verification of atmospheric dispersion model together with mesoscale meteorological model with height resolution

Abstract. *The results of several numerical mesoscale verification experiments of computer system NOSTRADAMUS for radionuclide atmospheric dispersion and WRF model are presented on the base of comparison with dataset.*

Keywords: *model verification, WRF model, radionuclide atmospheric dispersion, computer system NOSTRADAMUS.*