

## **Перспективы применения мезомасштабных моделей атмосферы в задачах анализа и прогноза условий распространения радиоволн в тропосфере**

А.Н. Ефременко, Д.М.Караваев, Н.О. Моисеева, А.С. Подчасский

*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Ждановская, 13, e-mail: dm.karavaev@mail.ru*

*Обсуждаются предварительные результаты применения мезомасштабной модели WRF-ARW при решении задач прогноза полей метеорологических величин, перспективные возможности современных мезомасштабных моделей атмосферы для анализа и прогноза условий распространения радиоволн в тропосфере.*

*In this paper are discussed the preliminary results using of the mesoscale model WRF-ARW for prediction of meteorological variables fields, as well as promising opportunities of modern mesoscale models for analysis and prediction radio wave propagation conditions in troposphere.*

### **Введение**

В последние годы все более актуальной становится задача анализа и прогноза условий распространения радиоволн в тропосфере, решение которой обеспечит повышение эффективности различных радиотехнических систем специального назначения. Среди современных проблем выделяется необходимость развития атмосферного сегмента координатно-временного и навигационного обеспечения: дальнейшее совершенствование навигационного обеспечения, повышение точности координатных определений, сталкивается с неопределенностью эффектов среды распространения радиоволн в атмосфере Земли. Известные подходы учета тропосферы на работу различных радиотехнических систем, основанные на использовании упрощенных аналитических или средних климатических оценок метеорологических параметров атмосферы, не соответствуют современным требованиям. В качестве примера рассматривается эволюция глобальной спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС и проблемы повышения точности координатных определений из-за возможных эффектов распространения радиоволн в тропосфере.

В работе обсуждаются перспективные направления исследований применительно к решению поставленных задач по:

- а) развитию сетевых методов и средств специализированных оперативных измерений основных параметров тропосферы для оперативного контроля тропосферной задержки;
- б) развитию методов и технологий оперативного усвоения разнородной метеорологической информации в численных схемах гидродинамического прогноза метеорологических полей;
- в) совершенствованию моделей тропосферы;
- г) развитию оперативных технологий учета эффектов распространения и формирования поправок для потребителей.

Основной задачей работы был анализ возможностей современных моделей мезомасштабного прогноза полей метеорологических величин для оперативного анализа условий распространения радиоволн в тропосфере на примере применения общедоступной модели WRF-ARW.

### **Мезомасштабные модели и перспективы развития**

В настоящее время прогностические центры зарубежных стран и Гидрометцентр РФ разработали ряд мезомасштабных моделей атмосферы, характеристики которых

рассматриваются в [1,2]. С 2011 г. для метеорологического обеспечения различных территорий в России функционирует негидростатическая модель мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды *COSMO-Ru*. Разрешение версии *COSMO-Ru2* составляет 2.2 км, размерность сетки 420\*470 узлов, 40 уровней для атмосферы до высоты 23 км над уровнем моря и 7 слоев почвы до 7 м глубиной, заблаговременность прогноза составляет до 24 часов. Кроме того, известны проекты *ALADIN-HIRLAM*, объединяющие ведущие прогностические центры европейских стран в консорциумы.

В течение ряда лет в РФ используется общедоступная мезомасштабная модель атмосферы *WRF* с динамическим ядром *ARW* национального центра исследований атмосферы (*NCAR*, США) [2]. В состав модели входят модуль инициализации (*WRFSS*), блок параметризации физических процессов и блок усвоения данных метеорологических наблюдений (*WRFDA*). Для возможного усвоения данных (наземных, дистанционных) используется вариационный метод *3DVAR* (трехмерный вариационный анализ), в последнее время также поддерживается метод четырехмерного вариационного анализа *4DVAR* и метод ансамблевого фильтра Калмана. В качестве начальных данных используются анализы и прогнозы из крупномасштабных моделей, результаты наблюдений, а также данные о рельефе и подстилающей поверхности, наиболее часто используются результаты глобального прогноза национального центра прогнозов окружающей среды *NCEP* (США), но возможно использование данных других прогностических центров, выпускающих в оперативном режиме ежедневные гидродинамические прогнозы погоды, например, Гидрометцентра РФ. Для оптимизации использования выходной прогностической продукции Мировых метеорологических центров при постановки граничных условий может использоваться адаптивный метод среднесрочного многомодельного прогнозирования полей метеорологических величин, основанный на процедуре комплексирования [3].

В работе обсуждаются предварительные результаты анализа успешности прогноза приземных метеопараметров атмосферы с использованием модели *WRF-ARW*. Компьютер, на котором давался прогноз включает процессор *Intel Xeon (R) X5650* частота 2.67 ГГц, оперативная память 74 Гбайт, время расчёта прогноза на сутки составляло 20 минут, на 5 суток около 2 часов. Для экспериментов были выбраны две области Европейской территории России (Ленинградская обл., Саратовская обл.). Проведена оценка успешности прогнозов полей метеорологических величин на сроки от 24 до 120 часов в сетке точек 100\*100 с разрешением 5 км по модели *WRF-ARW*. Далее выполнялось сравнение значений метеорологических величин из прогностических полей с фактическими данными наблюдений метеонаблюдений по имеющемуся архиву. При этом использовалась линейная интерполяция.

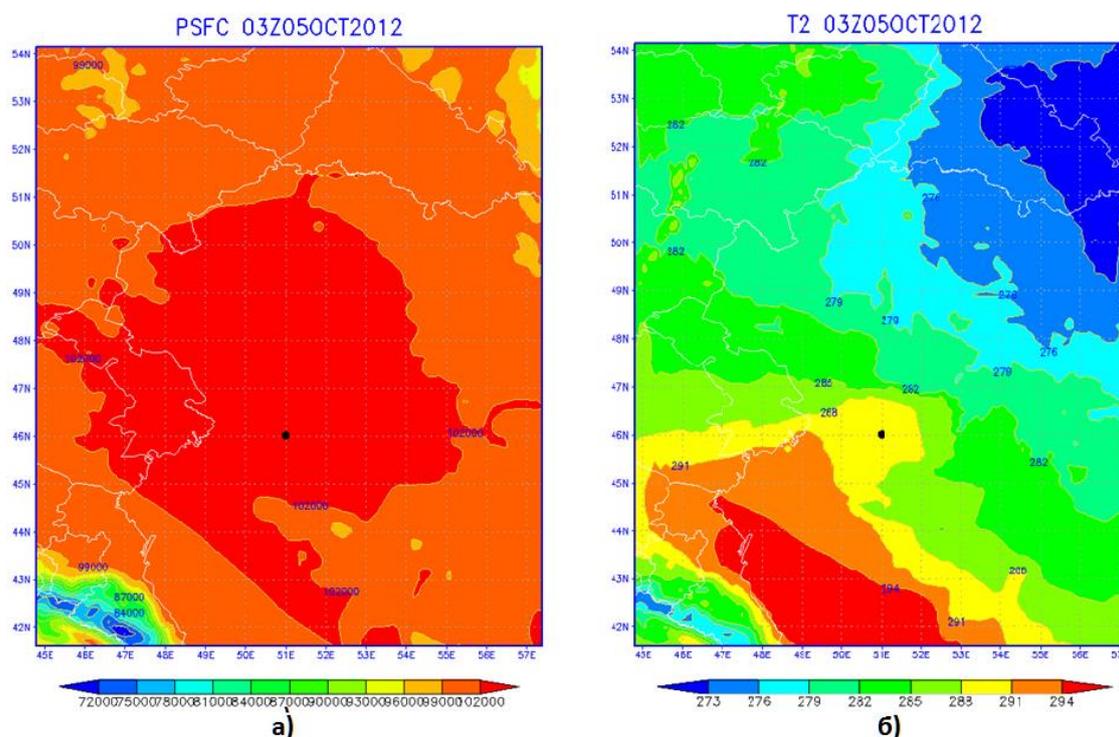
В таблице 1 приведены результаты прогноза количества осадков и экстремальной температуры воздуха на срок от 24 до 120 часов за август, сентябрь, ноябрь и декабрь 2014 года. Из анализа таблицы 1 видно, что СКО прогноза количества осадков на каждой станции при заблаговременности от 24 до 120 часов составляет 1-2 мм. Прогноз минимальной температуры оказался наиболее успешным для 1 и 2 станции, причем с ростом заблаговременности прогноза погрешности менялись незначительно. Наиболее успешными прогнозами максимальной температуры воздуха оказались прогнозы для станции №1, где СКО составляла 0.9-1.8°C. В случае прогноза минимальной температуры воздуха, выпадает станция № 3, для которой ошибка прогноза составляла 4.9-5.5°C.

**Таблица 1. Среднеквадратическая ошибка прогноза количества осадков (мм) и экстремальной температуры воздуха (°C) на срок от 24 до 120 часов**

Параметр	Станция*, № п/п	Срок прогноза (часы)				
		24	48	72	96	120
Количество осадков (за 12 час.), мм	1	2.043	1.116	0.696	1.093	1.255
	2	2.089	1.900	1.581	1.947	0.922
	3	1.476	0.790	0.820	0.995	0.627
Минимальная температура, °C	1	1.535	1.061	1.265	1.765	1.603
	2	2.355	2.056	2.148	1.885	1.928
	3	5.496	4.993	3.759	4.747	4.868
Максимальная температура, °C	1	0.925	0.959	0.808	0.663	1.022
	2	3.035	2.898	3.221	3.117	3.000
	3	3.555	3.212	2.880	3.352	3.451

\* Станция № 1 - Морская гидрометеорологическая станция (МГ-2) (г. Кронштадт);  
 Станция № 2 - Объединенная гидрометеорологическая станция (ОГМС) ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (г. С.-Петербург);  
 Станция № 3 - Морская гидрометеорологическая станция II разряда (г. Лисий Нос).

На рисунках 1 и 2 в качестве примера представлены результаты визуализации прогностических полей приземного давления и температуры на высоте 2 м за 03 ч. UTC на 5 октября 2012 г. для Саратовской области. Сравнение с фактическими данными полей метеопараметров (использовались данные 43 метеостанций) показало качественное согласие прогноза по мезомасштабной модели WRF-ARW.



**Рис. 1. Прогностические поля приземного давления (а) и температуры воздуха (б)**

Первые эксперименты показали удовлетворительные результаты сравнения прогноза приземных значений температуры и давления с фактическими значениями, причем применение модельных значений более чем в 2 раза могут улучшить соответствующие климатические оценки метеорологических параметров атмосферы.

Получаемые поля метеорологических параметров могут быть использованы для моделирования условий распространения радиоволн в тропосфере. Например, одна из актуальных задач связана с поиском путей повышения точности оценки гидростатической компоненты тропосферной задержки радионавигационных сигналов, формирования оперативных карт тропосферной задержки радионавигационных сигналов для выбранных регионов.

Необходимо отметить, что работа глобальных гидродинамических моделей атмосферы зависит от стабильности международного обмена данными метеорологических наблюдений при задании начальных и граничных условий при инициализации моделей. Проблема дефицита исходных данных возникает также при мезомасштабном моделировании атмосферных процессов над районами, мало освещенными метеорологическими данными наблюдений. Одним из возможных вариантов решения проблемы может быть постановка фиктивных граничных условий, однако, этот вариант требует дополнительных исследований ошибок прогнозирования. Заслуживает внимания технология, когда в качестве первого приближения начальных полей будут использоваться прогностические поля, сгенерированные на основе климатических данных и откорректированные в подсистеме усвоения асиноптических данных наблюдений. При этом возрастает необходимость развития собственной системы наблюдений, сбора и обработки гидрометеорологической информации, все более актуальным развитие различных средств получения метеорологической информации, в том числе средств дистанционного зондирования атмосферы и поверхности наземного, самолетного, спутникового базирования. При этом возникает ряд научно-исследовательских задач, связанных с разработкой концепции организации специальной сети метеорологических наблюдений на основе современных средств метеорологических измерений и обоснование оптимального состава и размещения измерительных систем для удовлетворения требований современных мезомасштабных моделей, а также с созданием оптимальной системы усвоения данных разнородных гидрометеорологических наблюдений.

Среди перспективных исследований следует отметить следующие:

- совершенствование моделей тропосферной задержки радионавигационных сигналов для обеспечения спутниковой системы ГЛОНАСС;
- развитие технологий сверхкраткосрочного прогноза аномальных условий распространения радиоволн в тропосфере;
- моделирование полей радиолокационной отражаемости метеорологических радиолокаторов и оптимизация схемы усвоения данных радиолокационных наблюдений в схемах численного прогноза.

### **Заключение**

Предварительные результаты моделирования полей метеорологических величин с использованием *WRF-AWR* для двух регионов России показали достаточно высокую эффективность прогнозов и согласие с фактическими данными анализа полей приземных метеорологических величин атмосферы. Перспективные направления исследований связаны с совершенствованием моделей тропосферной задержки на основе применения современных технологий мезомасштабного гидродинамического прогнозирования, развития схем усвоения радиолокационной информации в схемах численного прогноза при подготовке исходных данных для работы моделей.

### **Литература**

1. Ривин Г.С. Современные системы мезомасштабного прогноза погоды: состояние и перспективы: 80 лет Гидрометцентру России. - М.: Триада ЛТД, 2010. – 456 с.

2. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM. Современные системы мезомасштабного прогноза погоды: состояние и перспективы: 80 лет Гидрометцентру России.-М.: Триада ЛТД, 2010.- 456 с.
3. Девяткин А.М., Моисеева Н.О., Ременсон В.А., Удриш В.В. Современные технологии численного прогнозирования барических полей в интересах метеорологического обеспечения планирования действий войск (сил). Труды III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», Т.1, С-Петербург, 2014. С.102-114.