

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ MM5 И WRF В ВЕБ-ПОРТАЛЕ ATMOS

Лаврентьев Н.А.¹, Беликов Д.А.^{2,3}, Вражнов Д.А.³, Старченко А.В.^{1,3}, Фазлиев А.З.¹

1. *Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, пр. Академический 1*
2. *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, пр. Академический 10/3*
3. *Томский Государственный университет, Томск, пр. Ленина 36*
E-mail: lnick@iao.ru

Данная работа посвящена описанию части Интернет-доступной информационно-вычислительной системы "Климат", ориентированной на проведение вычислений в рамках региональных метеорологических моделей MM5 и WRF. Представлено описание интерфейсов, служащих для взаимодействия пользователя с моделями, и описана последовательность работы клиента. Приведено описание особенностей запуска модели MM5 на вычислительном кластере и графического представления результатов ее работы.

1. Введение

В настоящее время при исследовании и прогнозе локальных атмосферных процессов, протекающих над ограниченной территорией, широко используются мезомасштабные метеорологические модели, в основе которых лежат нестационарные трехмерные уравнения гидротермодинамики атмосферы и параметризация атмосферных процессов (поток коротковолновой и длинноволновой радиации, конвективных процессов, пограничного слоя, микрофизики влаги, турбулентности атмосферы, тепло- и влагообмена в подстилающей поверхности). Компьютерная реализация таких моделей связана с применением нетривиальных вычислительных алгоритмов и высокопроизводительных вычислительных ресурсов.

Использование этих моделей в исследовательской и прикладной работе ограничено, с одной стороны, недостаточным распространением необходимых вычислительных ресурсов, а с другой стороны, отсутствием необходимого числа специалистов актуализирующих модели на всех абстрактных уровнях. Поэтому актуальным является создание информационно-вычислительной системы (ИВС) доступной в сети Интернет.

Одна из таких систем, созданная в проекте Linked Environments for Atmospheric Discovery (LEAD) [1-3], использует модель WRF (The Weather Research and Forecasting Model) [4] для целей регионального моделирования. LEAD состоит из обширного набора сервисов, приложений, интерфейсов, а также различных локальных и сетевых ресурсов, которые могут быть использованы как по отдельности, так и в комбинации друг с другом, объединенными в единый рабочий поток. Теоретически такая инфраструктура предоставляет пользователю практически неограниченный набор возможностей: от простого доступа к данным с последующей визуализацией до работы с чрезвычайно сложными процессами сбора и обработки данных с последующим прогнозированием в реальном времени.

Краеугольный камень LEAD – система динамического управления рабочими потоками с использованием веб-сервисов WOORDS, предусматривающая использование аналитических инструментов, моделей прогнозирования и хранилищ данных не в заранее определенных жестких конфигурациях, а в виде адаптивной, динамической распределенной системы возможности которой включают: автоматическое изменение конфигурации в зависимости от погодных условий, постоянное усвоение новых данных, предоставление пользователю информации для принятия решений, управление удаленными точками сбора информации для оптимизации сбора данных, необходимых для решения текущих проблем, и многое другое. Функционирование проекта обеспечивает LEAD Grid, распределенная вычислительная система, служащая основой для разработки, интегрирования и тестирования всех компонент LEAD.

Созданная в ИОА СО РАН информационно-вычислительная система “Климат” [5], включает в себя мезомасштабную модель MM5 (Mesoscale Model 5) [6], разработанную в Национальном центре атмосферных исследований США, и модель WRF, поддерживаемую NCAR. В ИВС используются версии моделей, рассчитанные на работу в высокопроизводительных вычислительных системах параллельной архитектуры и картографическое обеспечение, ограниченное территорией Западной Сибири.

В работе представлено описание интерфейсов и системы отображения результатов вычислений, использованных при интеграции моделей MM5 и WRF в ИВС “Климат”.

2. Модель MM5

Разработанная в Национальном центре атмосферных исследований в кооперации с университетом штата Пенсильвания метеорологическая моделирующая система пятого поколения MM5 предназначена для исследования локальных и региональных атмосферных процессов. MM5 может применяться для решения широкого спектра теоретических проблем атмосферного пограничного слоя, а также при прогнозе метеорологических ситуаций для выбранного региона.

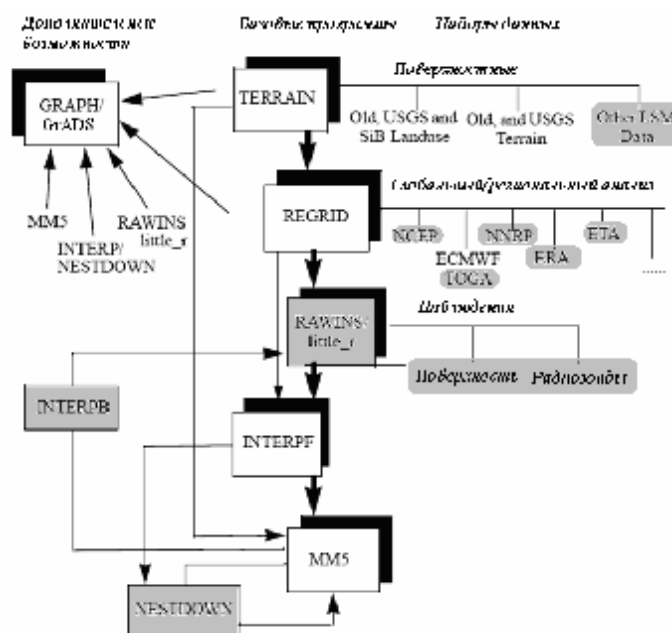


Рис. 1. Схема моделирующей системы MM5.

На рис. 1 приведена схема полной системы моделирования, отражающая последовательность работы программ в ней, поток данных, и кратко описывающая их основные функции. Наземные и изобарические метеорологические данные с помощью программ TERRAIN и REGRID горизонтально интерполируются из широтно-долготной сетки в переменную область высокого разрешения на равноугольной проекции Ламберта, полярной стереографической проекции или проекции Меркатора. Затем программа INTERP проводит вертикальную интерполяцию уровней давления в сигма-систему координат модели MM5. Сигма-уровни вблизи поверхности земли повторяют рельеф, а по мере удаления от земли приближаются к изобарным поверхностям. Серым цветом на рисунке выделены блоки подготовки входных данных, которые на текущий момент не подключаются при моделировании.

В соответствии с приведенной выше схемой работы модели, пользовательский интерфейс разделен на три части:

1. Инициализация рельефа, категорий землепользования, растительности и других стационарных географических параметров выбранных областей.

2. Подготовка данных для задания граничных условий, интерполяция начальных приближений на расчетную сетку модели.
3. Непосредственно подготовка к запуску модели MM5.

В разделе интерфейса, посвященном заданию стационарных географических параметров, пользователем вводятся следующие величины: долгота и широта центра расчетной области, максимальная для всех областей горизонтальная сетка, тип картографической проекции, типы сглаживания и растительности, количество вложенных областей и число вертикальных слоев. Затем для каждой области задается шаг сетки в километрах и номера индексов нижнего угла в координатах модели. Данные этого шага используются, в основном, для генерации входных параметров программы TERRAIN.

Скриншот 1: Инициализация параметров

Центр расчетной области

Долгота	85 °	Широта	56.5 °
---------	------	--------	--------

Максимальная для всех областей горизонтальная сетка

Число узлов по долготе	52	Число узлов по широте	52
------------------------	----	-----------------------	----

Тип картографической проекции: Равноугольная коническая Памберга

Сглаживание: Двойной проход сглаживания/разгладивания

Типы растительности: 24 категории землепользования USGS

Количество вложенных областей: 2

Число слоев по вертикали: 31

Выбрать

Скриншот 2: Таблица параметров сетки

Область	Размер области по широте (км)	Размер области по долготе (км)	Шаг сетки (км)	Номера индексов нижнего угла	
				I	J
1	52	52	1	1	1
2	52	52	1	1	1
3	52	52	1	1	1

Выбрать

Рис. 2. Интерфейсы ввода стационарных географических параметров.

Следующий раздел интерфейса позволяет задать период моделирования, давление на верхней границе расчетной области и набор новых уровней давления в расчетной сетке, а также метод используемой интерполяции. Здесь вводятся конфигурационные параметры для пакетов REGRID (связки pregrid/regidder) и INTERPF.

Климатическая модель Лаврентьев Николай Александрович

Глобальная модель Региональные модели Атмосфера-суша Результаты Информация

Rus | Eng Test » Job

Подготовка метео данных

Подготовка данных для инициализации метеорологических полей и задания граничных условий, интерполяция начальных приближений на расчетную сетку модели

Период моделирования	Час	День	Месяц	Год
Начало	0	30	Апрель	1999
Окончание	0	1	Май	1999
Временной интервал, для которого имеются исходные метеорологические данные				6 часов

Давление на верхней границе расчетной области (Па)

5000 Линейная Квадратичная

Новые уровни давления в расчетной сетке (Па)

1	96335
2	93671
3	90806
4	87742
5	84677
6	81613
7	78548
8	75484
9	72419
10	69355
11	66290
12	63226

Рис. 3. Задание временных параметров и уровней давления.

На последнем шаге задаются параметры самой модели MM5, такие как: описание микрофизики влаги, параметризация облачности, параметризация планетарного пограничного слоя и параметризация излучения в атмосфере [7].

Климатическая модель Лаврентьев Николай Александрович

Глобальная модель Региональные модели Атмосфера-суша Результаты Информация

Rus | Eng Test » Job

Подготовка к запуску модели MM5

Подготовка к запуску модели MM5

Область	Описание микрофизики влаги	Параметризация облачности	Параметризация планетарного пограничного слоя	Параметризация излучения в атмосфере	Учет мелкой конвекции
1	Использовать таблицы для микрофизики	Никакая	Blockadag	mtm	☒
2	Снежная фаза	Никакая	Blockadag	mtm	☐
3	Снежная фаза	Никакая	Blockadag	mtm	☐

Многоуровневая модель в почве Почва не рассматривается

Номер сигма-уровня, куда распространяется информация о состоянии поверхности: 0

Частота сохранения данных: 1 час

Частота выдачи модели: 1 час

Выдавать временные серии: ☐

Выбрать

Рис. 4. Ввод физических параметров модели.

На основе полученных от пользователя данных создается набор конфигурационных файлов модели, после чего параллельная версия кода модели MM5 ставится в очередь на выполнение на вычислительном кластере ИОА СО РАН. Постановка задач в очередь и управление очередью осуществляется с помощью менеджера Torque[8].

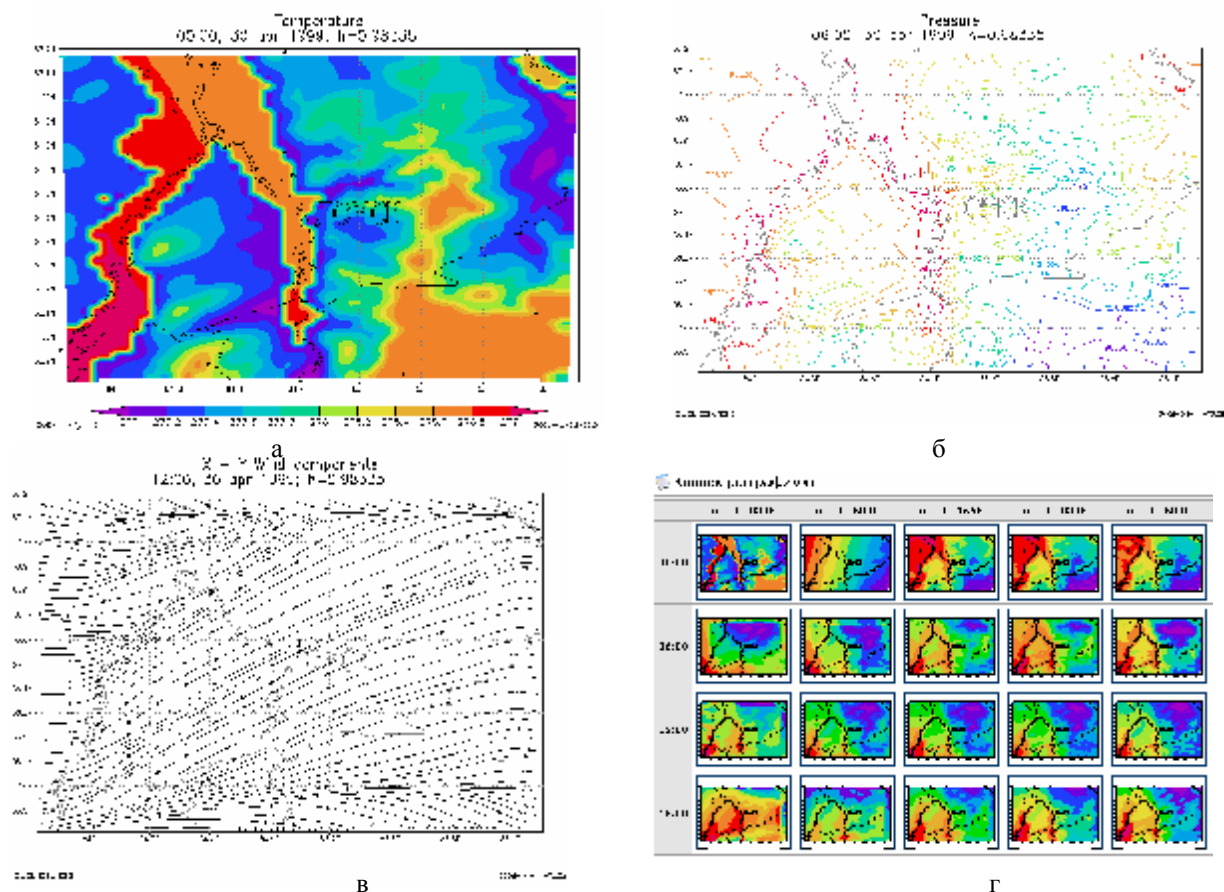


Рис 5. Графическое представление результатов вычислений
 а – температура (закрашенная контурная карта), б – давление (контурная карта), в – приземной ветер (карта воздушных потоков), г – пространственный и временный ход изменения температуры.

Так как вычислительные модули программы MM5 зависят от количества и размера вложенных областей, выбранных пользователем для исследования, перед решением каждой задачи код модели приходится перекомпилировать. Если на этапе компиляции или исполнения параллельной версии модели возникают ошибки (это может происходить как в случае неправильного задания входных условий, так и при некорректной работе модели), то они предоставляются конечному пользователю в виде, получаемом на выходе программы MM5. В зависимости от настройки, проводимой администратором кластера, в вычислениях могут использоваться от 2 до 20 процессоров (на текущий момент – 10, пять двухпроцессорных узлов).

После выполнения задачи и получения выходных файлов модели пользователю предоставляется возможность просмотра полученных результатов по каждой вычисленной характеристике и в любой момент расчетного интервала в графическом виде, используя для этого систему анализа и отображения данных GrADS [9].

Наряду с возможностью просмотра локализованных в пространстве и времени изображений реализована возможность составления коллекций графиков, позволяющих визуализировать изменение рассчитанных физических характеристик, выбранных пользователем, по времени и сигма-уровням высоты.

3. Модель WRF

Система моделирования WRF развивалась в течение последних нескольких лет. Это мезомасштабная система численного предсказания погоды следующего поколения, разработанная как для нужд оперативного прогнозирования погоды, так и более глубокого

исследования атмосферы. Модель WRF разработана, чтобы быть гибкой, современной атмосферной системой моделирования, она является переносимой и эффективной для использования на имеющихся в распоряжении параллельных вычислительных платформах. WRF может использоваться при решении широкого диапазона задач в масштабах от метров до тысяч километров, включая идеализированные течения (например, конвекция, бароклинные волны), исследование параметризации, исследование сравнения данных, численное предсказание погоды в реальном времени, исследование прогноза и обучение [4].

Блок-схема системы моделирования WRF (для WRFV2)

Рис. 6. Схема моделирующей системы WRF.

На первом шаге интерфейса вводятся долгота и широта центра расчетной области, максимальные размерности вычислительной стеки, расстояние между узлами сетки, тип картографической проекции, число вертикальных слоев и количество вложенных областей.

Центр расчетной области			
Долгота	85 °	Широта	56.5 °
Максимальная для всех областей горизонтальная сетка			
Число узлов по долготе	52	Число узлов по широте	52
Расстояние между узлами сетки (м)			5000
Тип картографической проекции		Равноугольная коническая Ланберта	
Количество вложенных областей			3
Число слоев по вертикали			31
Выбрать			

Рис. 7. Ввод геостационарных данных для модели WRF.

На следующем этапе для каждой из областей моделирования пользователем заносятся отношения размеров областей, а также индексов, как нижнего левого, так и верхнего правого углов положения вложенной области в расчетной сетке материнской области.

Область	Отношение размеров областей	Номера индексов нижнего левого угла		Номера индексов верхнего правого угла	
		1	2	1	2
1	1			52	52
2	3	25	25	41	41
3	3	25	25	41	41

Рис. 8. Задание геостационарных данных для каждой из областей.

На третьем шаге проходит задание временных характеристик периода моделирования и уровней давления. Результатом первых трех этапов является составление конфигурационных файлов программы WRFSl.

Задание временных характеристик					
Период моделирования	Час : Минут : Секунд	День	Месяц	Год	
Начало	0 : 0 : 0	1	Апрель	1999	
Окончание	0 : 0 : 0	2	Апрель	1999	
Временное разрешение данных					3 часа

Задание давления			
Давление на верхней границе расчетной области (Па)			
	5000	Линейная	Квадратичная
Новые уровни давления в расчетной сетке			
1 - 3	0.96774	0.93546	0.90323
4 - 6	0.87097	0.83871	0.80645
7 - 9	0.77419	0.74194	0.70968
10 - 12	0.67742	0.64516	0.6129
13 - 15	0.58065	0.54839	0.51613
16 - 18	0.48387	0.45161	0.41935
19 - 21	0.3871	0.35484	0.32258
22 - 24	0.29032	0.25806	0.22581
25 - 27	0.19355	0.16129	0.12903
28 - 30	0.09677	0.06452	0.03226
31	0		
Интерполяция			
Ближайший соседний			
Выбрать			

Рис. 9. Интерфейс для ввода временных характеристик и уровней давления.

Затем, на четвертом и последнем этапе для каждой из областей инициализируются опции модели для микрофизики, длинноволновой и коротковолновой радиации, расчета параметров поверхности земли, пограничного слоя и облаков. Пользователь решает также учитывать ли при моделировании потоки влажности и тепла от поверхности, влияние облаков на параметризацию радиации и влияние снежного покрова, после чего, на основе полученных данных генерируются входные файлы конфигурации непосредственно для модели WRF.

Область	Микрофизика	Длинноволновая радиация	Поверхность земли
	Облака	Коротковолновая радиация	Пограничный слой
1	Без микрофизики	Без длинноволновой радиации	Схема температурной диффузии
	Без параметризации облаков	Без коротковолновой радиации	Без пограничного слоя
2	Без микрофизики	Схема mkm	Модель зенитной поверхности OSU
	Схема Беттса-Миллера-Джанича	Схема Дадья	Без пограничного слоя
3	Микрофизика Жао-Керр	Схема GFDL (Eta)	Модель зенитной поверхности OSU
	Предыдущая схема Кейна-Фритца	Схема GFDL (Eta)	Схема TKE Меллора-Янада-Джанича

Учет потоков влажности и тепла от поверхности	☒
Учет влияния облаков на оптическую глубину в параметризации радиации	☐
Учет влияния снежного покрова	☒

Выбрать

Рис. 10. Физические параметры модели WRF.

4. Заключение

В нашей работе приведено описание системы, предоставляющей возможности работы с мезомасштабными метеорологическими моделями MM5 и WRF в глобальной сети с использованием технологий веб-портала ATMOS. Для каждой из моделей описана интерфейсная часть, построенная на основе анализа структурных схем соответствующих моделей. Для MM5 описывается также последовательность работы модели на вычислительном кластере с последующим получением и визуализацией результатов.

В дальнейшем должна быть обеспечена полноценная работа модели WRF, для которой в текущее время имеется лишь набор интерфейсов по внесению входных данных и формированию конфигурационных файлов. После достижения стабильной компиляции WRF предполагается запуск вычислительного модуля на кластере, получение результирующих файлов модели и их представление конечному пользователю в графическом виде. Кроме того, планируется подключение к portalу глобальной климатической модели ИБМ РАН.

Авторы благодарны РФФИ за поддержку гранта 04-07-90217, в рамках которого выполнена данная работа, а также А. Козодоеву за настройку и администрирование вычислительного кластера.

5. Литература

1. K.K. Droegemeier, K. Brewster, Ming Xue, etc, Service-Oriented Environment for Dynamically Interacting with Mesoscale Weather, Computing in Science and Eng., 2005, vol. 7, no. 6, p. 12-29.
2. B. Dlate, D. Gannon, Yi Huang, etc, Cooperative Services for Data-Driven Computational Experimentation, Computing in Science and Eng., 2005, vol. 7, no. 5, p. 34-43.
3. Linked Environments for Atmospheric Discovery, <https://portal.leadproject.org/gridsphere/gridsphere>
4. The Weather Research and Forecasting Model, <http://www.wrf-model.org>
5. ИВС «Климат», <http://climate.atmos.iao.ru>
6. Dudhia J. Monthly Weather Review. 1993. V.121. P. 1493–1513.
7. Беликов Д.А., Лаврентьев Н.А., Старченко А.В., Фазлиев А.З., Информационно-вычислительная система для коллективного исследования проблем атмосферного пограничного слоя, Выч. Техн., 2006 (в печати).
8. Torque Resource Manager 2.0, <http://www.clusterresources.com/pages/products/torque-resource-manager.php>
9. Grid Analysis and Display System (GrADS), <http://grads.iges.org/grads/grads.html>
10. BADC GRIB Documentation, <http://badc.nerc.ac.uk/help/formats/grib>

USE OF MM5 AND WRF MODELING SYTEMS IN THE WEB PORTAL ATMOS

Belikov D.A., Fazliev A.Z., Lavrent'ev N.A., Starchenko A.V., Vrazhnov D.A.

This work describes the part of the accessible via Internet informational-computational system "Climate", which is oriented towards the computations within the framework of the regional meteorological models MM5 and WRF. The description of the interfaces that serve as a tool for the interaction between users and the models is given as well as the description of the client's actions sequence. There is also a description of some features regarding the MM5 model compilation on the computational cluster and the following graphical depiction of the results.