

Информационные системы, ориентированные на представление данных о погоде и климате в сети Интернет

© Н.А. Лаврентьев, А.З. Фазлиев

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
faz@iao.ru

Аннотация

Интерес пользователя к информационным ресурсам в сети Интернет, представляющих данные о погоде и климате, в первую очередь о температуре и давлении необычайно высок. В нашей работе представлен обзор ресурсов по погоде и климату, как информационных, так и вычислительных, определяющие спектр возможностей пользователей, который большинством из них не осознан. Рассмотрена организация центров хранения данных, форматы данных типовых моделей, информационные системы, представляющие данные о погоде. Дан краткий обзор порталов LEAD и ATMOS, предоставляющих возможность проведения пользователем индивидуальных расчетов с помощью мезомасштабных моделей.

1 Введение

Проблема предсказания климатических изменений, вызываемых человеческой деятельностью является одной из наиболее важных проблем, стоящих в настоящее время перед наукой. В качестве причин таких изменений в климатической системе можно рассматривать вырубку лесов, приводящую к опустыниванию и изменению альбедо; сжигание ископаемого топлива, приводящее к изменению концентрации углекислого газа в атмосфере; изменение концентрации малых газовых примесей, контролирующих концентрацию озона в атмосфере; освоение нефтяных и газовых месторождений в районах вечной мерзлоты, сопровождаемое нарушением растительного покрова, а также множество других воздействий. Решение этих проблем диктует необходимость создания национальных систем экспертной оценки неблагоприятных для страны последствий глобальных изменений климата.

Климатические модели дают возможность воспроизведения современного климата на основе численных экспериментов, исследования чувствительности "модельного" климата по отношению к малым изменениям параметров, характеризующих внешние воздействия, изучения основных климатообразующих процессов, оценки опасных региональных последствий глобальных изменений и многое другое. Они составляют также основу технологий четырехмерного усвоения многообразной информации о состоянии компонент климатической системы, к которым, в первую очередь, относятся атмосфера и океан [1].

В настоящее время при исследовании и прогнозе локальных атмосферных процессов, протекающих над ограниченной территорией, широко используются мезомасштабные метеорологические модели, которые опираются на нестационарные трехмерные уравнения гидротермодинамики атмосферы и параметризацию атмосферных процессов (потоков коротковолновой и длинноволновой радиации, конвективных процессов, пограничного слоя, микрофизики влаги, турбулентности атмосферы, тепло- и влагообмена в подстилающей поверхности) [2]. Компьютерная реализация таких моделей основана на применении нетривиальных вычислительных алгоритмов и высокопроизводительных вычислительных ресурсов. В крупных мировых центрах (NCAR, EPA, ECMWF, NERC) для исследования атмосферных процессов созданы и свободно распространяются исходные коды программ моделей такого уровня. Использование этих моделей в исследовательской и прикладной работе в России ограничено. Это обусловлено, с одной стороны, недостаточным распространением необходимых вычислительных ресурсов, а с другой стороны, отсутствием необходимого числа специалистов.

На наш взгляд эта задача системно решается в ряде проектов (PRISM, LEAD, ...) [ссылка на мой обзор и ЛИД], реализуемых и осуществленных в США и ряде стран Европы. В докладе сделан краткий обзор центров хранения данных в США, описаны форматы данных, применяемые при решении погодных задач. Описываются информационные ресурсы о состоянии атмосферы предоставляемые в Европе, Америки и Азии. Отмечено, что большая

Труды 10-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2008, Дубна, Россия, 2008.

часть этих ресурсов порождена мезомасштабными моделями MM5 и WRF. Дан краткий обзор порталов LEAD и ATMOS, предоставляющих возможность проведения пользователем индивидуальных расчетов с помощью мезомасштабных моделей.

2 Центры хранения данных в США

Обращаясь к описанию информационных ресурсов в области климата и погоды в первую очередь стоит рассмотреть распределенные архивы США (центры хранения данных) в которых сконцентрирована основная информация и данные в науках о Земле. Эти центры были созданы как часть программы EOS (система наблюдений за Землей) и формировались двумя организациями: NASA и NOAA. Стоит отметить, что в одном из архивов (SEDAC) проводится синтез данных и информации о погоде и климате с социометрическими данными в форме полезной для тех кто принимает решения на основе результирующей информации.

В центрах данных большая часть информации получена в результате измерений, проведенных со спутников, самолетов, наземных платформ и компьютерных расчетов. Информационные системы, связанные с архивами, содержат необходимый инструментарий для анализа данных, работы с временными рядами и визуализации. Как правило, это прикладные программы, которые пользователь может устанавливать на своем рабочем месте. В последние пять лет начато формирование информационных систем с доступом по сети Интернет (см. параграф 5).

Стоит отметить, что большая часть этих данных является доступной только сотрудникам NASA. В каждом центре данных существуют данные доступные всем пользователям. Например, в центре на Аляске к их числу относятся данные о boreальных лесах, морских льдах и тропических лесах.

Распределенные архивы данных и информации в области наук о Земле, находящиеся в США, перечислены ниже:

- Alaska Synthetic Aperture Radar (SAR) Facility (ASF)
Полярные процессы
- EROS Data Center (EDC) Land Processes
Процессы взаимодействия с поверхностью
- Goddard Space Flight Center (GSFC)
Верхняя атмосфера, глобальная геосфера, динамика атмосферы и геофизика
- Jet Propulsion Laboratory (JPL) Physical Oceanography
- Langley Research Center (LaRC) DAAC
Radiation budget, tropospheric chemistry, clouds, and aerosols
- National Snow and Ice Data Center (NSIDC)
Снег и лед, криосфера (не-SAR) и климат
- Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
Биогеохимическая динамика

- Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) at the Consortium for International Earth Science Information Network (CIRESIN)
Человек и окружающая среда
- Global Hydrology Resource Center (GHRC)
Гидрологические циклы
Данные о климате и информации можно найти на сайтах организаций NOAA:
- National Climatic Data Center (NCDC) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate and weather
- National Geophysical Data Center (NGDC) of NOAA Solid Earth geophysics, marine geology and geophysics, solar terrestrial physics, and paleoclimatology
- National Oceanographic Data Center (NODC) of NOAA
Океанография
- Satellite Active Archive (SAA) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Спутниковое дистанционное зондирование

3 Форматы данных для погодных и климатических моделей

Климатические и погодные модели, в основном, работают со следующими четырьмя форматами данных: GRIB [6], BUFR [7, 8], NetCDF [9–11] и HDF [12].

Самым распространенным форматом для представления метеорологической информации является GRIB (**G**ridded **B**inary). Он предназначен для хранения и обмена информацией о погоде в бинарной форме. Формат GRIB был разработан Всемирной метеорологической организацией (WMO)

Предложенный в 1985, GRIB был усовершенствован в 1988, 1990 (стандарт Edition 1) и 1994. К сожалению, стандартизован он не полностью, часть организаций использует свои собственные версии GRIB.

Каждая запись GRIB предназначена для передачи или хранения единственного параметра вместе со значениями, которые представляют собой массив точек. Закодированные GRIB данные реанализа или прогноза представляют собой непрерывный битовый поток, состоящий из последовательности октетов (1 октет = 8 бит). Запись логически разбивается на состоящие из октетов секции, каждая из которых содержит контрольную информацию или данные. Запись GRIB состоит из 6 секций, две из которых необязательны:

0. Индикаторная секция – метка «GRIB», длина сообщения, версия формата

1. Секция описания продукта (Product definition section/PDS) – длина секции, идентификатор закодированного анализа или прогноза

2. Секция описания сетки (Grid Description Section/GDS) – длина секции, геометрия сетки, данная секция необязательна

3. Секция битовой карты (Bit Map Section/BMS) – длина секции, последовательность битов для каждого из узлов сетки, 0 при отсутствии данных в узле, 1 при присутствии, секция необязательна

4. Секция бинарных данных (Binary Data Section/BDS) – длина секции, значения данных

5. Конечная секция – метка «7777», признак конца секции.

Хотя секция описания продукта и необязательна, рекомендовано её наличие во всех GRIB-сообщениях.

Представление данных в виде последовательности битов делает формат независимым от какого-либо одного машинного представления. Данные в формате GRIB предназначены исключительно для автоматической обработки.

Описания данных, находящихся в GRIB-файле, находится во внешних таблицах параметров. Наиболее распространены таблицы параметров NCAR, NCEP, ECMWF и NOAA FSL [6].

Формат данных BUFR (Binary Universal Form for the Representation of Meteorological Data) был также разработан WMO в 1988 году. BUFR представляет собою бинарный формат для представления в виде непрерывного битового потока метеорологических данных в обособленных точках (в отличие от GRIB, предназначенного для представления пространственно распределённых данных). Тем не менее, сама структура формата не предполагает чего-либо уникального только для метеорологии, и он может применяться к любым численным типам данных.

Файлы BUFR состоят из некоторого числа последовательных записей, называемых потоками. Запись BUFR, содержащая некоторые данные наблюдения, также содержит и полное описание этих данных, включая определение наблюдаемого параметра (высота, температура, давление, дата и т.д.), единицы измерения, точность округления, формат сжатия, примененного к данным, а также число бит в значениях содержащихся данных. Описание данных также содержится во внешних таблицах, представляющих собою основную часть BUFR-описания. Таблицы, определенные в BUFR, включают в себя:

Таблица А – категория данных

Таблица В – классификация и описание отдельных элементов данных

Таблица С – операторы описания данных

Таблица D – список общих последовательностей

Таблицы кодов и флагов — описание кодов и флагов, связанных с таблицей В [7,8].

Общий сетевой формат данных NetCDF (Network Common Data Format) был предложен Межуниверситетской кооперацией атмосферных исследований UCAR (University Cooperation for Atmospheric Research) в качестве формат самоописываемых расширяемых файлов с научными данными.

NetCDF представляет собой абстракцию, которая описывает данные как коллекцию самоописываемых, прозрачных с сетевой точки зрения объектов, доступных через простой интерфейс. Коллекции поименованных многомерных переменных могут быть доступны в произвольном порядке, без знания деталей хранения данных. Дополнительная информация (единицы измерения и пр.) также хранится вместе с данными. Для работы с данными в формате NetCDF существует специальное программное обеспечение [9].

Программное обеспечение, работающее с данными формата NetCDF обращается лишь к абстрактным типам данных, из чего следует, что все операции доступа и манипулирования данными в NetCDF-файле используют лишь набор функций, предоставленный интерфейсом. Внутренне представление данных, таким образом, скрыто от приложения, использующего интерфейс, так что формат данных может быть изменен без того, чтобы затрагивать уже существующие приложения. Формат NetCDF был разработан таким образом, чтобы его физическое представление не зависело от архитектуры какой-либо определенной машины.

Для достижения прозрачности с сетевой точки зрения и независимости от конкретной архитектуры NetCDF определен в терминах XDR (eXternal Data Representation) [10], протокола кодирования и описания данных, предоставляющего средства для представления данных в виде машинно-независимых битовых последовательностей.

Одна из целей формата NetCDF – предоставление эффективного доступа как к небольшим, так и крупным наборам данных, для чего используется прямой, а не последовательный, как в ранее описанных форматах, доступ к данным. Это может быть намного более эффективным в случае, когда данные считываются не в том порядке, в каком были записаны. Дополнительные затраты на представление в виде XDR зависят от множества факторов, но обычно они незначительны по сравнению с общим объемом данных.

Простое использование NetCDF не достаточно для того, чтобы сделать данные самоописываемыми и имеющими какой-либо смысл для человека или машины. Названия переменных и единиц измерений должны поддаваться интерпретации и соответствовать установленным соглашениям [10].

Формат иерархических данных HDF (Hierarchical Data Format) создан для обмена научными базами данных американским Национальным центром суперкомпьютерных приложений NCSA (National Center for Supercomputing Applications).

HDF – самоописываемый формат файлов для переноса различных типов данных между различными компьютерами. Библиотека HDF содержит интерфейсы для хранения и поиска, сжатых и несжатых растровых изображений с палитрами цвета, интерфейс для хранения и поиска n-размерных наборов научных данных вместе с информацией о данных, таких как метки, единицы, форматы и масштабы по

всем измерениям. Версии 3.3 и выше предусматривает работу с форматом JPEG и поддерживает использование NetCDF.

В HDF [12] используются метаданные о наборах научных данных SDS (Scientific Data Sets), которые содержат:

- систему координат, используемой для интерпретации или отображения данных;
- масштабы по каждой оси;
- метки по каждой оси и для всего набора данных в целом;
- единицы измерения по каждой оси и для данных;
- допустимые максимальное и минимальное значения данных;
- информацию о калибровке данных;
- информацию о дополнительных или отсутствующих значениях.

4 Информационные ресурсы

Информационно-вычислительные ресурсы о состоянии атмосферы, в основном, представлены веб-сайтами, предоставляющими пользователю прогноз различных метеорологических величин на ближайшее время в каком-либо определённом регионе. Так, в США – это ресурсы государственных организаций: университетов Мэриленда [13], Висконсина [14, 15], Пурду [16], Иллинойса [17], Миллерсвилля [18]; Военно-морской академии [19], Национальной службы прогноза погоды (NWSF) [20], Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (NASA) [21], различных подразделений Национальной администрации атмосферы и океана (NOAA) [22–24] и Национального центра атмосферных исследований (NCAR) [25–28]. Европейские сайты в большинстве своём посвящены исследованию средиземно-морского региона – это различные научные учреждения Италии [29–33], Словении [34] и Греции [35]. Кроме того, Европа представлена такими коммерческими ресурсами как швейцарский Meteoblue [36], предоставляющим прогноз на всю европейскую территорию, а также испанский Meteosim Truewind [37], основной задачей которого является использование климатических моделей для прогноза поведения ветра. Ресурсы Юго-Восточной Азии включают в себя сайты, предоставляющие прогнозы на территорию Вьетнама [38], Гонконга [39], Южной Кореи [40] и Тайваня [41], Центральная Америка представлена Мексикой [42], а Ближний Восток – Израилем [43].

Большинство описанных выше информационно-вычислительных ресурсов в качестве своей вычислительной основы используют мезомасштабные климатические модели MM5 и, в последнее время всё чаще, WRF. Исключениями являются лишь ресурсы, осуществляющие прогноз на средиземно-морский регион, которые используют специфическую для данного региона модель BOLAM, а также сайты предоставляющие глобальную климатиче-

скую информацию – RAP Real-Time Weather [27] и Meteosim Truewind [37], использующие глобальные климатические модели, такие как GFS. Основное множество ресурсов не даёт возможности сравнивать данные, полученные от разных климатических моделей, так как предоставляют лишь результаты расчётов одной конкретной модели. Исключениями являются сайты Национальной обсерватории Афин [35], предоставляющей доступ к результатам расчётов 3 различных моделей – MM5, WRF и BOLAM; Национального центра атмосферных исследований США [28], включающего модели MM5 и WRF; и уже упомянутые выше RAP Real-Time Weather (WRF, RUC, ETA, GFS) и Meteosim Truewinds (GFS и MASS). Самым распространённым видом представления результатов расчётов пользователю является графический – в виде статичного изображения, но большинство ресурсов также позволяет получить анимированную различными способами (анимированный GIF, JavaScript, Java-апплет) графику. Табличное отображение результатов встречается очень редко.

Предназначение описанных выше информационно-вычислительных ресурсов – предоставлять краткосрочный (от 6 часов до 2 суток) климатический прогноз на какую-либо область. Отсюда вытекают такие недостатки их для исследовательской работы как:

1. Отсутствие настроек используемой в ресурсе климатической модели – модель настраивается заранее на конкретную область, и пользователь не имеет никакого контроля над её поведением.
2. Невозможность самому инициировать запуск модели – модель запускается в строго определённое время, выполняет расчёт прогноза, а пользователю лишь предоставляются уже рассчитанные данные.
3. Небольшой временной промежуток, для которого доступны данные – у большинства ресурсов срок хранения архивов не превышает двух недель.

Примеры графического представления результатов вычислений и космического снимка сопровождающего прогноз погоды показаны на рис. 1 и 2.

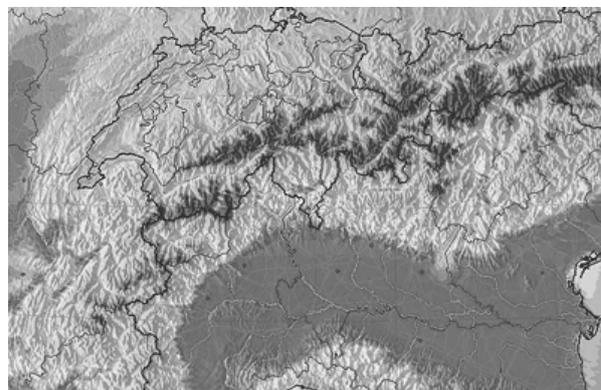


Рис. 1. Представление данных на карте с сайта. Meteoblue, [://www.meteoblue.ch/](http://www.meteoblue.ch/)

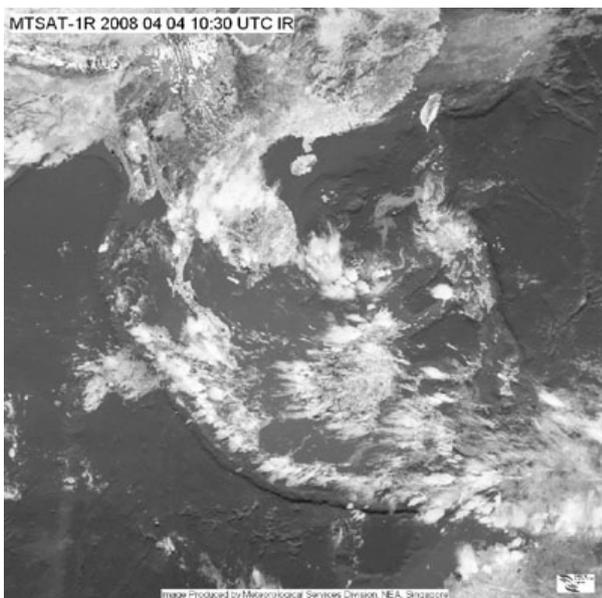


Рис. 2. Космический снимок с сайта AMI Environmental. South Asia, http://www.vnbaolut.com/index_en.html

5 LEAD портал

Каждый год только на территории США потери от наводнений, града, сильных ветров, торнадо, молний и прочих мезомасштабных погодных явлений составляют сотни человеческих жизней и десятки миллиардов долларов. И, хотя даже частичное предотвращение таких событий обещает огромные экономические и социальные преимущества, прогресс в информационной сфере затрудняется большим размером наборов метеорологических данных, а также огромными объёмами вычислений и логической сложностью используемых численных моделей и систем сбора данных.

Портал LEAD (Linked Environments for Atmospheric Discovery) [4] предназначен для решения этой проблемы – это междисциплинарный проект, в котором участвуют 9 научных институтов и более 100 учёных. Для достижения результата проект фокусируется на двух основных целях.

Первая – это понижение входного барьера для использования специализированного метеорологического ПО. Используемый в этой области инструментарий включает в себя множество модулей для работы с данными, которые слишком сложны для индивидуального использования. Мезомасштабные модели представляют собой сложное ПО, развиваемое десятилетиями, работающее с огромным числом входных параметров и требующее обращения к сложным форматам и типам данных, причём при интеграции различных данных сложность увеличивается лавинообразно. Поэтому портал LEAD ориентирован на демократизацию доступа к технологиям исследования погоды.

Второй целью проекта LEAD является интеграция задач, возникающих при обнаружении, анализе и предсказании мезомасштабных атмосферных яв-

лений. Большинство технологий, используемых для наблюдения за атмосферой, предсказания её эволюции, вычисления, передачи и хранения информации никак не связано между собой и функционирует отдельно. Радары сканируют области штормов не адаптивно, численные модели запускаются на фиксированный промежуток времени и с фиксированным набором параметров, киберинфраструктура не позволяет метеорологическому инструментарию работать в реальном времени, изменяя настройку своих режимов в ответ на изменение погоды. Как результат современные информационные технологии в области исследования погоды далеки от оптимальных в каждом конкретном случае. Для преодоления этих ограничений LEAD развивает возможности, позволяющие вычислительным моделям и вспомогательному инструментарию откликаться динамически на изменение выходных данных предыдущих задач, данных наблюдений и пользовательских данных. Также развиваются средства, позволяющие моделям и иным инструментам динамически озадачивать адаптивные системы наблюдения, в первую очередь доплеровские лидары, для получения данных когда и где это необходимо.

Средства портала LEAD позволяют выполнять следующие действия:

- Запрос и получение информации, такой как: наборы данных о наблюдениях (включая потоки в реальном времени), выходные данные моделей, определения и связи между метеорологическими величинами, статус информационных ресурсов или потока работ.
- Выполнение расчётов с помощью численных моделей атмосферы (в частности, WRF, которая может использоваться как в базисном варианте, так и в полном, с расчётом полной физики, прилежащих территорий и неоднородными начальными условиями).
- Усвоение данных для объединения наблюдений при определённых физических ограничениях, с учётом фоновой информации для анализа 3D-моделей.
- Накопление и последующий анализ данных наблюдений и результатов вычислений для получения качественной информации о пространственно-временных отношениях между различными полями и процессами.
- Визуализация одно-, двух- и трёхмерных данных.

LEAD основан на сервисно-ориентированной архитектуре SOA и подразделяется на пять уровней:

1. Нижний уровень, представляет ресурсы, в число которых включены приложения и данные, распределённые по LEAD Grid.

2. Следующий уровень содержит веб-сервисы, обеспечивающие доступ к базовым средствам, а также к инструментарию, осуществляющему доступ к данным.

3. Множество конфигурирующих и исполняющих сервисов образуют следующий слой, отвечающий за управление потоком работ LEAD.

4. Четвёртый уровень содержит сервисы для работы с данными. I сервис онтологий разрешает концепты верхнего уровня по специфическим схемам, используемым в различных сервисах данных, а сервисы декодирования и обмена преобразуют данные из одной формы в другую.

5. Наконец, на верхнем уровне архитектуры находится LEAD-портал, являющийся контейнером для интерфейсов пользователя, называемых портлетами, обеспечивающих доступ к индивидуальным сервисам нижних уровней.

Таким образом, LEAD представляет собою сложный проект, включающий в себя:

- Специализированный веб-портал.
- ADAS (ARPS Data Assimilation System) – инструмент для получения данных и контроля их качества, включающий в себя подготовку начальных условий для вычислительной модели.
- MyLEAD – сервис для работы с персонализированными данными пользователя, в котором происходит сбор метаданных на всех этапах исследования.
- WRF – мезомасштабная климатическая модель, о которой уже говорилось выше.
- ADaM (Algorithm Development and Mining) – инструмент для поиска и извлечения закономерностей из данных наблюдений, множества усваиваемых данных и выходных данных моделей.
- IDV (Integrated Data Viewer) – приложение для визуализации многомерных геофизических данных.

Сила LEAD не в возможностях разных инструментов, а в организации их совместной работы для широкого круга проблем.

6 Портал АТМОС

Информационно-вычислительная система «Климат» (<http://climate.atmos.iao.ru>) [43–45], с одной стороны, демонстрирует возможности математического моделирования для решения отдельных климатических задач, а с другой стороны – на основе технологий глобальной сети и средств графической визуализации осуществляет взаимодействие с "потребителями" информации о результатах решения таких задач. В области региональных климатических моделей одна из вычислительных компонент ИВС «Климат» представляет собой мезомасштабную модель MM5, разработанную в Национальном центре атмосферных исследований США. ИВС также имеет и информационную компоненту, связанную с последующим преобразованием результатов расчетов в информацию, необходимую конкретным пользователям (студентам, аспирантам и преподавателям; специалистам по проблемам окружающей среды и т.д.).

- Пользовательский интерфейс для работы с моделью MM5 разделен на три части:

- Инициализация рельефа, категорий землепользования, растительности и других стационарных географических параметров выбранных областей.
- Подготовка данных для задания граничных условий, интерполяция начальных приближений на расчетную сетку модели.
- 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.

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.

На последнем шаге задаются параметры самой модели MM5, такие как: описание микрофизики влаги, параметризация облачности, параметризация планетарного пограничного слоя и параметризация излучения в атмосфере. На основе данных этого и предыдущих шагов создается набор конфигурационных файлов модели, после чего параллельная версия MM5 ставится в очередь на выполнение на вычислительном кластере Института оптики атмосферы. Постановка задач в очередь и управление очередью осуществляется с помощью менеджера Torque [47].

Так как вычислительные модули программы MM5 зависят от количества вложенных областей, выбранных пользователем для исследования, перед решением каждой задачи модель MM5 приходится перекомпилировать. Если на этапе компиляции или исполнения параллельной версии модели возникают ошибки при вычислениях (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).

Выходные данные, получаемые в результате расчетов, имеют достаточно большой объем. Так, например, для расчета изменения локальной метеорологии за сутки с шагом в 30 секунд для трех вложенных областей суммарный размер массива результатов достигает трех-четырёх сотен мегабайт. Эти данные хранятся в файловой системе веб-

сервера, в директории, имя которой совпадает с уникальным идентификатором, что позволяет связать их с пользователем и решенными им задачами. Передавать по сети Интернет настолько значительные объемы числовой информации на текущий момент экономически необоснованно, поэтому пользователю предоставляется возможность строить отображение результатов в виде карт с изолиниями, цветной заливкой или отображением векторных полей. Пример такой графики представлен на рис. 3 для температуры на 30 апреля 1999 г. в области размером 50×50 км с центром в г. Томске (85 градусов восточной долготы и 56,5 градусов северной широты).

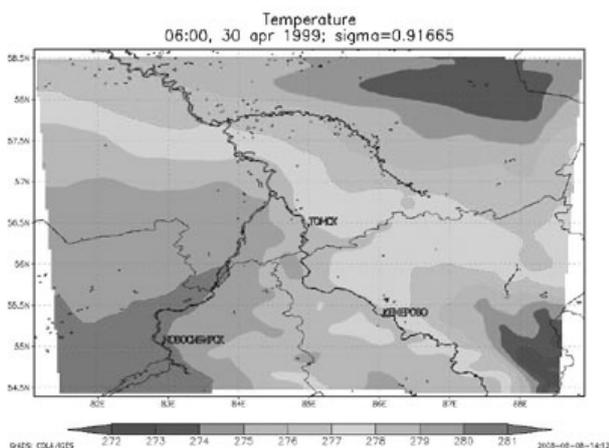


Рис. 3. Представление данных на карте в ИВС «Климат»

После выполнения задачи и получения выходных файлов модели, пользователю предоставляется возможность просмотра полученных результатов по каждой вычисленной величине и в любой момент расчетного интервала в графическом виде, используя для этого систему анализа и отображения данных GrADS [48].

Современная 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.

Входные данные для модели WRF, также как и MM5, представлены в виде файлов в формате GRIB. В настоящий момент в ИВС «Климат» доступны

данные ECMWF для временного промежутка с 1991 по 2002 год.

Блок-схема системы моделирования WRF (для WRFV2)

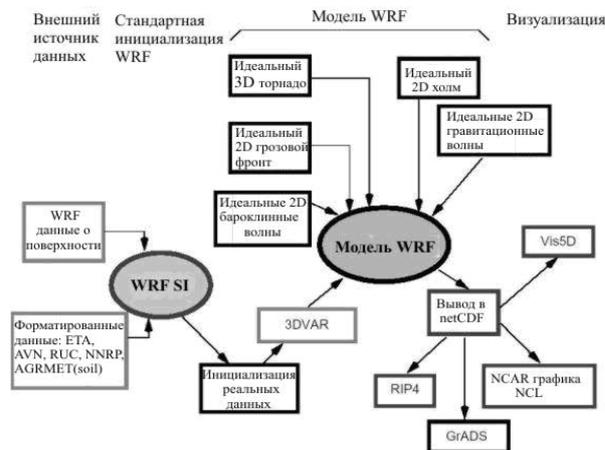


Рис. 4. Схема моделирующей системы WRF

Используемый в ИВС «Климат» расчетный блок модели WRF относится к версии 2.0. Он использует схему моделирования, представленную на рисунке 4. Как показано в диаграмме, система моделирования WRF состоит из следующих основных программ: стандартная инициализация WRF (WRF SI), WRF 3DVAR, модель WRF и графические инструменты для постобработки. **WRF SI** используется, прежде всего, для моделирований на основе реальных данных. Ее функции включают определение областей моделирования; интерполяцию данных земной поверхности (таких как ландшафт, землепользование, и типы почвы) для выбранной области моделирования; и дегриддинг и интерполяция метеорологических данных другой модели к этой области моделирования и к вертикальной координате модели. **WRF 3DVAR** является дополнительной программой, но может использоваться, чтобы включить наблюдения в интерполированные исследования, созданные WRF SI. Она также может использоваться, чтобы обновить начальное условие модели WRF, когда модель WRF находится в циклическом режиме. **Модель WRF** – ключевой компонент системы моделирования, который состоит из нескольких программ инициализации для идеализированного моделирования, и моделирований на основе реальных данных, и числовой интеграции программы. Он также включает программу, чтобы производить одностороннее вложение.

Для модели WRF ввод пользователем данных происходит уже в четыре шага:

- Инициализация рельефа, категорий землепользования и растительности.
- Задание стационарных географических параметров выбранных областей.
- Подготовка данных по временному периоду и уровням давления.
- Инициализация физических параметров модели.

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.

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.

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

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.

7 Заключение

Авторы благодарны РФФИ и СО РАН (интеграционный проект №34) за финансирование работы.

Литература

- [1] Pielke R.A. Mesoscale Meteorological Modeling. Orlando: Academic Press, 1984. 622p.
- [2] Grell G.A. et al. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+IA. 1993. 122 p.
- [3] Фазлиев А.З., Информационные ресурсы и Интернет-технологии для наук об окружающей среде, Вычислительные технологии, Специальный выпуск, т.9, ч.1, с.11-21, 2000.
- [4] LEAD Portal
<https://portal.leadproject.org/>
- [5] ATMOS Portal
<http://atmos.iao.ru>
- [6] GRIB Edition 1,
<http://dss.ucar.edu/docs/formats/grib/gribdoc/>
- [7] WMO BUFR,
<http://www.esdswg.org/spg/docindexfolder/heritage/wmo-bufr/>
- [8] Thorpe, W., "Guide to the WMO Code Form FM 94-IX EXT. BUFR," Fleet Numerical Oceanography Center, Monterey, California
- [9] NetCDF Guide,
http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/guide.txn_toc.html
- [10] eXternal Data Representation,
<ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1832.txt>
- [11] NetCDF Conventions,
<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/conventions.html>
- [12] Hierarchical Data Format,
<http://www.hdfgroup.org/products/hdf5>
- [13] Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland
<http://www.atmos.umd.edu/~mm5/>
- [14] University of Wisconsin – Madison
<http://helios.aos.wisc.edu/>
- [15] University of Wisconsin – Milwaukee
<http://sanders.math.uwm.edu>
- [16] Purdue University
<http://wxp.eas.purdue.edu/>
- [17] University of Illinois
<http://blizzard.atmos.uiuc.edu/rt/>
- [18] Millersville University, PA
<http://snowball.millersville.edu>
- [19] Naval Postgraduate School
<http://met.nps.edu>
- [20] National Weather Service Forecast Office
<http://www.srh.noaa.gov/>
- [21] NASA GHCC Real-Time WRF Weather Model System
<http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/>
- [22] NOAA/NSSL
<http://www.nssl.noaa.gov/>
- [23] NCEP/EMC
<http://www.nco.ncep.noaa.gov/>
- [24] NOAA/GSD
<http://ruc.fsl.noaa.gov/taq.html>
- [25] NCAR WRF-ARW
<http://www.wrf-model.org/>
- [26] The SNU-NCAR Joint Center for High-Impact Weather and Climate Research
<http://jhwc.snu.ac.kr/weather/>
- [27] RAP Real-Time Weather (4 Models – WRF, RUC, ETA, GFS)
<http://www.rap.ucar.edu/weather/model/>
- [28] NCAR/MMM (2 Models – WRF, MM5)
<http://www.mmm.ucar.edu/>
- [29] Centro Funzionale Meteorologico di Protezione Civile della Regione Liguria
<http://www.meteoriguria.it/map/bolam/bolamin.htm>
- [30] Servizio Agrometeorologico Regionale – Sardegna
<http://www.sar.sardegna.it/servizi/meteo/>
- [31] Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC) of the Italian National Research Council (CNR)
<http://oracolo.le.isac.cnr.it/mpcf/METEO/wrf.php>
- [32] LaMMA - CNR IBIMET (Laboratory for Meteorology and Environmental Modeling of Tuscany Region) – WRF NMM
<http://www.lamma.rete.toscana.it/>
- [33] Meteo Riccione, Italy
<http://www.meteoriccione.it/>
- [34] Slovenian Meteorological Amateur Research Team
<http://www.pro-vreme.net/>

- [35] National Observatory of Athens (3 Models – WRF, MM5, BOLAM)
<http://cirrus.meteo.noa.gr/>
- [36] Meteoblue
<http://www.meteoblue.ch/>
- [37] Meteosim Truewind (2 Models – MASS, GFS)
<http://www.meteosimtruewind.com/>
- [38] AMI Environmental. South Asia
<http://www.vnbaolut.com/>
- [39] Institute for the Environment, the Hong Kong University of Science and Technology
<http://envf.ust.hk/dataview/mm5/>
- [40] DTC WRF-NMM
<http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/>
- [41] Advanced Operational Aviation Weather System, Taiwan
<http://aoaws.caa.gov.tw/>
- [42] Institute of Astronomy and Meteorology of the University of Guadalajara, Mexico
<http://www.udg.mx/wrf/>
- [43] Weather-It-Is, Israel
<http://www.weather-it-is-israel.com/>
- [44] Беликов Д.А., Лаврентьев Н.А., Старченко А.В., Фазлиев А.З. Информационно-вычислительная система для коллективного исследования проблем атмосферного пограничного слоя // Вычислит. технологии, Специальный выпуск. – 2006, т.11. – С. 73–79.
- [45] Беликов Д.А. Вражнов Д.А. Лаврентьев Н.А. Старченко А.В., Фазлиев А.З. Использование моделирующих систем MM5 и WRF в веб-портале ATMOS // Измерения, моделирование и информационные ресурсы для изучения окружающей среды. – Томск : Изд-во ЦНТИ, 2006. – С. 36–41.
- [46] Лаврентьев Н.А. Старченко А.В., Фазлиев А.З. Организация удаленной работы с мезомасштабной моделью MM5 // Труды 11-й Байкальской Междунар. конф. «Информационные и математические технологии». Ч. 2. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2006. – С. 175–179.
- [47] Torque,
<http://www.clusterresources.com/pages/products/torque-resource-manager.php>
- [48] GRADS,
<http://grads.iges.org/grads/grads.html>

Informational system oriented on weather and climatic data representation in the Internet

N.A. Lavrent'ev, A.Z. Fazliev

Internet informational resources representing the data on weather and climate, especially on temperature and pressure are of great interest to the users. In our research work we present an overview of informational resources on weather and climate, both informational ones and computational, that defines the spectrum of possibilities of users about which they are often unaware. The topics of data storage centers organization, data formats of common models and informational systems representing weather data are discussed in this article. There is also a short overview of LEAD and ATMOS portals which grant a user a possibility of individual calculations conduction with the help of mesoscale models.