

Научные информационные ресурсы для поддержки исследований об атмосфере в сети Интернет*

ГОРДОВ Е.П.

Сибирский центр климато-экологических исследований и образования

ФАЗЛИЕВ А.З.

Институт оптики атмосферы СО РАН

8 января 2004 г.

The article gives brief description of three projects aimed at providing conditions for collaborative working with climatic models and numerical weather forecasting. Software structure, standards, data formats, architecture variants, and toolkits are described.

1. Введение

Задачи численного прогноза погоды и климата имеют более чем полувековую историю, но последнее десятилетие стало этапным в подходе к их решению. Прогресс достигнут за счет координации и интеграции усилий многих организаций в области анализа наблюдений и моделирования. В значительной мере он достигнут за счет использования информационных технологий, которые позволяют несколько с иных позиций подойти к решению как климатических задач, так и других проблем фундаментальных наук. Техническая сторона прогресса связана с формированием распределенных информационных ресурсов содержащих физические характеристики окружающей среды и описывающих связи между ними. Дело в том, что исследователям необходимо все более детальным описанием физических процессов в атмосфере, океане, суши, что требует привлечения множества организаций и специалистов разных областей наук. Для разработки компонентов математических моделей, связанных с ними задач и вычислений, проводимых на их основе, требуются все более производительные ресурсы. Исследования последних лет показали, что изменения климата Земли связаны не только с взаимодействиями атмосферы, океана, поверхности суши и морских льдов, но и с их химическим и биологическим составом, более того на него влияют антропогенные факторы (парниковые газы, землепользование и т.д.). Управление и прогноз изменений климата и погоды возможен на пути дальнейшего уточнения физических, химических, биологических процессов и их интеграции в существующую систему знаний о поведении системы Земля.

Среди множества разномасштабных проектов, выполняемых в настоящее время и направленных на решение упомянутых проблем, стоит выделить четыре — PRogram for Integrated Earth System Modelling (PRISM) (<http://www.enes.org>), Earth Frontier Project (<http://www.es.jamstec.go.jp/>), Earth System Modelling Framework (ESMF) (<http://www.esmf.ucar.edu/>) и Earth System Grid (ESG) (<http://www.earthsystemgrid.org/>).

*Работа выполнена при поддержке фонда INTAS (грант 00-189) и интеграционного гранта СО РАН № 138

В данной статье рассмотрены три проекта (исключая проект из Японии) по созданию инфраструктуры программного обеспечения позволяющего эффективно решать задачи, стоящие перед исследователями системы Земля. Каждый из них имеет финансирование в несколько миллионов долларов (ESMF имеет бюджет 9.8M\$ (финансируется NASA Earth Science Technology Office), а PRISM — 5M\$ (Европейская комиссия по науке)) и выполняется в течении трех лет.

Основное внимание в статье сфокусировано на проблемах технического и информационного обеспечения решаемых в упомянутых проектах задач. Описаны подходы и проблемы связанные с развитием аппаратного и программного обеспечения и использованием масштабируемых компьютерных архитектур. В проектах ставятся такие цели как увеличение многократного использования кода, обеспечение интероперабельности, простоты использования и компактного выполнения в приложениях климатических, погодных и усвоения данных. Создаваемое программное обеспечение развивает существующие подходы, такие как FMS [1], GEMS, CCA [2] и WRF [3], поддерживающие интероперабельность и многократное использование программного кода.

2. Проект Earth System Grid (<http://www.earthsystemgrid.org/>)

Поиск парадигмы для сообщества исследователей климата на пути перехода от централизованных данных к распределенным данным начинался, по-видимому, с проекта Earth System Grid (ESG) [4], поддержанного департаментом энергетики США. Это была попытка создать возможность географически разнесенным командам исследователей эффективно получать знания и быстро достигать понимания огромных массивов климатических данных. В проекте ставилась задача создания интерфейсов, позволяющих исследователям сконцентрироваться на науке, а не на организации данных, форматах и манипуляциях с данными. Дело в том, что климатические исследования принципиально мультидисциплинарны и, по мере осознания сложности проблем изучения климата, ученые разных научных дисциплин вынуждены организовывать сообщество для их решения. В США моделирование климата является системной проблемой и требует организации сотрудничества исследователей многих организаций и агентств, что и привело к созданию концепции «виртуальной организации» («Virtual Organization» (VO)). Для поддержки «Виртуальной организации» была необходима программная инфраструктура, включающая в себя коммунальный код (открытый/ модульный/ разделяемый код для вычислений), инструментарий, поддерживающий сотрудничество и разделение данных, локально независимые равнодоступные разделяемые ресурсы (данные, визуализация, суперкомпьютеры, эксперименты, и т.д.). На рис. 1 представлены основные организации, участвующие в проекте ESG и сфера их ответственности.

В рамках проекта ESG-I развивались технологии для скоростной передачи данных между сайтами и пользователями (т.е., эффективный File Transfer service, называемый GridFTP (т.е., Globus)), каталоги реплик для отслеживания расположения данных, была создана система для координации многократных передач данных и развита сетевая версия пакета анализа данных LLNL. На рис. 2 представлена архитектура первой версии ESG

Во второй версии были развиты сетевые сервисы, поддерживающие аутентификацию и авторизацию, поиск данных и определенный пользователем анализ данных, сервисы метаданных, поддерживающие дистанционный просмотр данных, запросы, доступ, отоб-

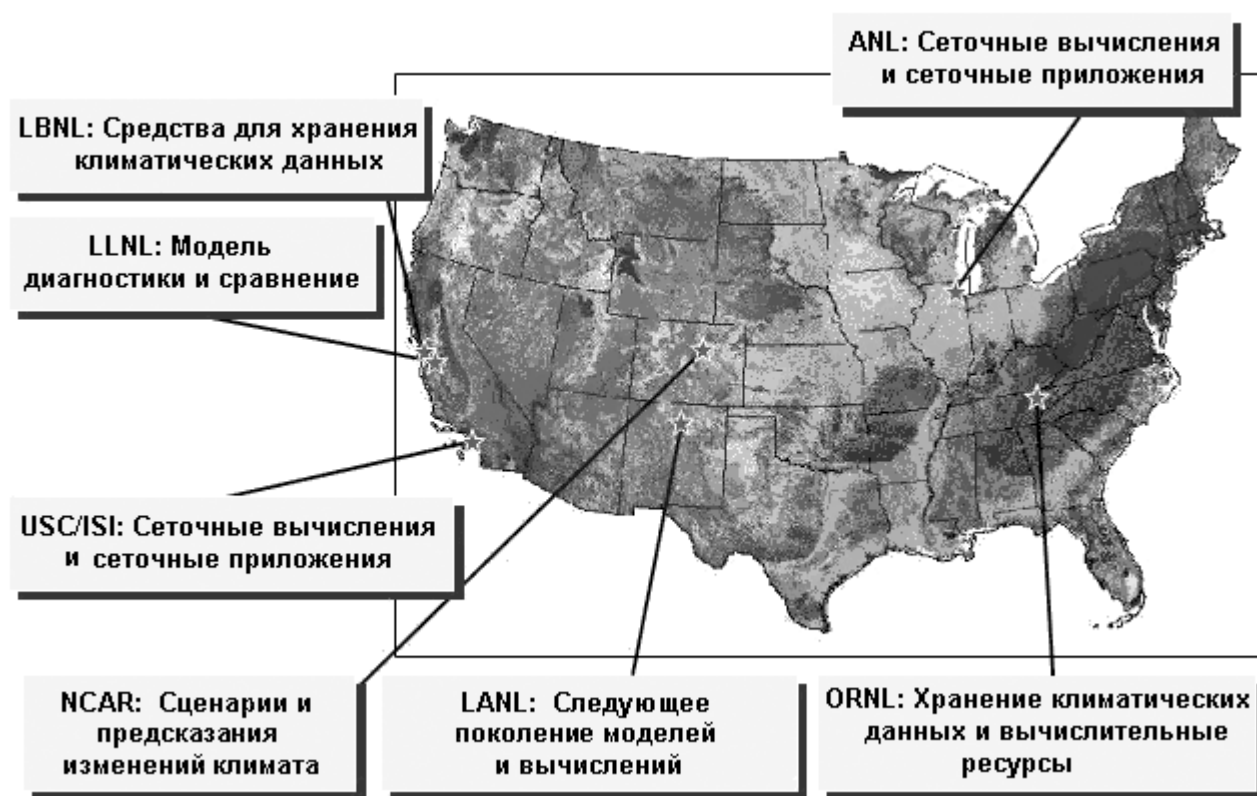


Рис. 1. Географическое расположение и сферы ответственности организаций в проекте ESG-I [4].

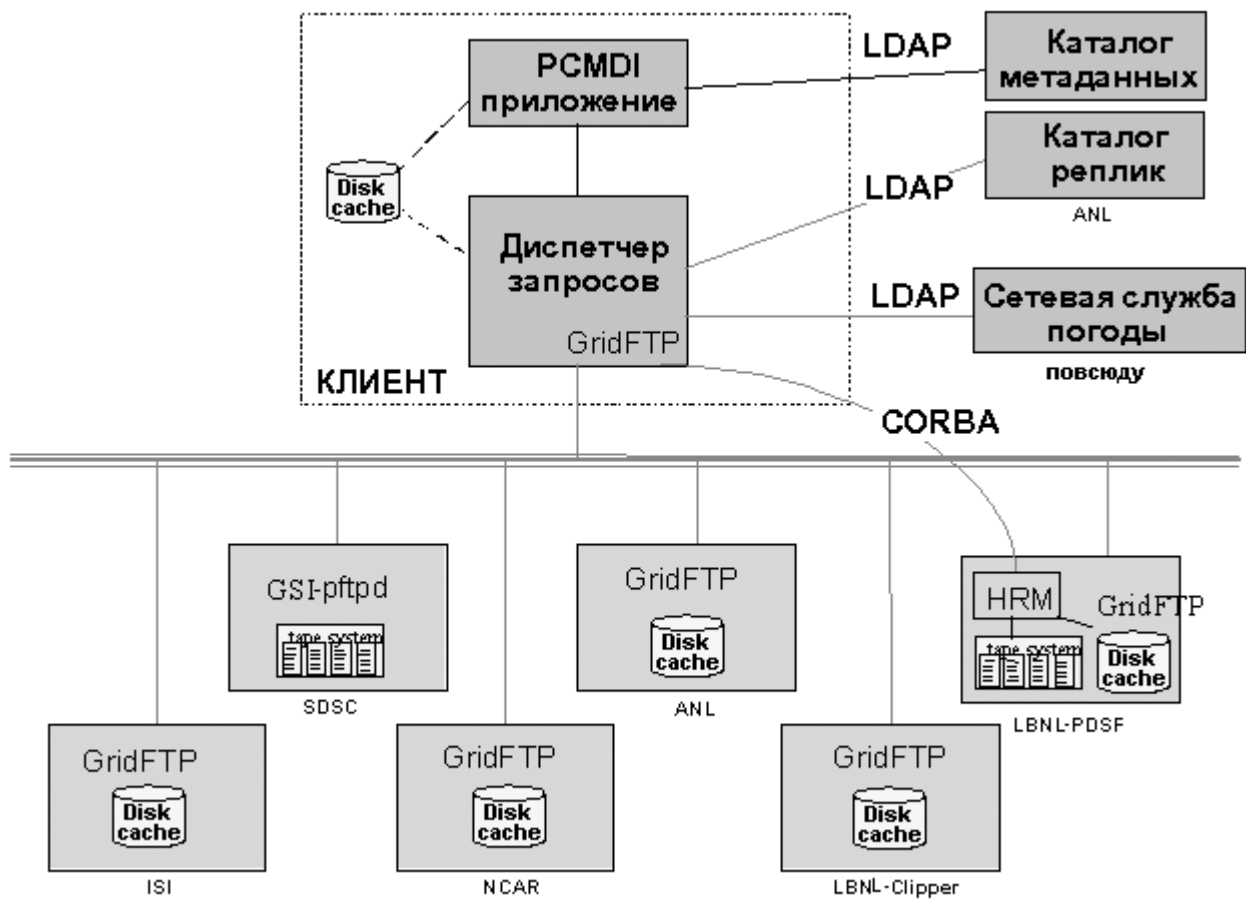


Рис. 2. Архитектура первой версии Earth System Grid [4].

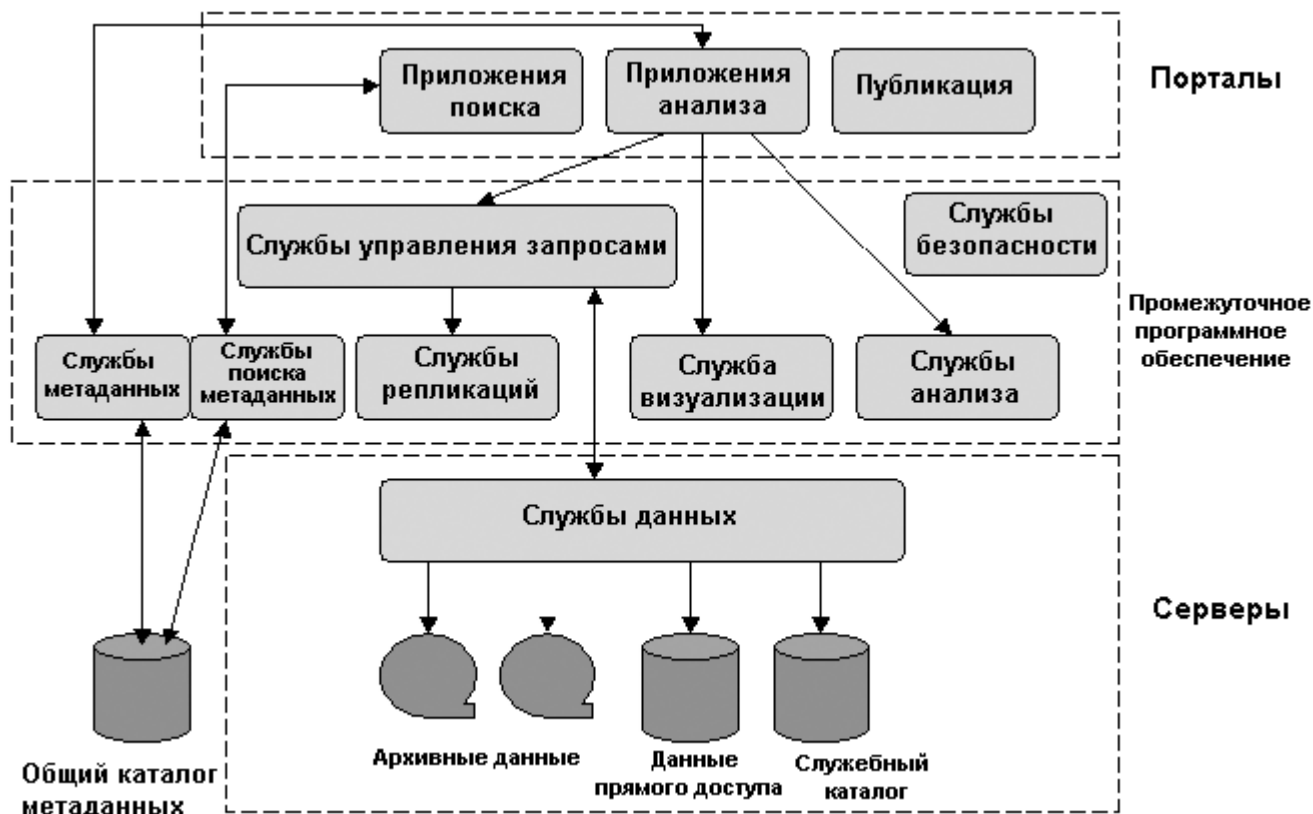


Рис. 3. Архитектура второй версии Earth System Grid [4].

ражение и т.д., фильтрационные сервисы, представляющие модель анализа данных перед их доставкой пользователю. Была проведена интеграция следующего поколения приложений для анализа данных и визуализации (разработанные в LLNL and NCAR), веб-порталов данных и других тонких клиентов, поддерживающих систему распределённых океанографических данных (DODS). В этом проекте порталы являются слоем, связывающим все компоненты виртуальной организации.

На рис. 3 представлена архитектура второй версии Earth System Grid и на рис. 4 структура службы метаданных.

Программное обеспечение, положенное в основу проекта, включало в себя Live Access Server (LAS) и Ferret, GrADS–DODS Server (GDS) и GrADS, THematic Real-time Environmental Distributed Data Services (THREDDS), Distributed Oceanographic Data System (DODS), Community Data Portal (CDP), Climate Data Analysis Tools (CDAT). NASA является партнером в проекте в силу использования GCMD [5] при разделении распределённых данных и развивает на основе XML поисковый механизм для PMEL [6].

Следующим этапом является построение интегрированной сеточной (grid) архитектуры для организации динамических сеточных приложений. В связи с этим сформировался проект в рамках которого ESG сотрудничает с e-Science (ClimatePrediction.com, NERC DataGrid), NOAA Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS) и Committee on Earth Observation Satellites (CEOS).

В результате реализации проекта создана распределенная инфраструктура для совместной работы, позволяющая разделять распределенные данные и упрощать нахождение климатических данных, обрабатывать и анализировать крупномасштабные климати-



Рис. 4. Службы метаданных Earth System Grid [4].

ческие данные и способствующая сотрудничеству исследователей климата.

3. Проект Earth System Modelling Framework (<http://www.esmf.ucar.edu/>)

Целью проекта ESMF (Earth System Modelling Framework) является создание многократно используемого, интероперабельного, простого в пользования и компактного программного обеспечения для приложений связанных с климатическими задачами, численным прогнозом погоды и усвоения данных [7]. Для реализации этих целей создается многоуровневое программное обеспечение, включающее в себя слои суперструктуры и инфраструктуры, набор из 15 приложений (модели CCSM, WRF, GFDL; системы усвоения данных MIT, NCEP и NASA) и 8 экспериментов на интероперабельность. Проект состоит из трех частей. Первая часть сосредоточена на развитии ядра ESMF. Вторая — на развертывании ядра в климатических и численных моделях предсказания погоды. Третья — на развертывании ядра в системах усвоения данных. Все три части проекта развиваются в сотрудничестве со следующими организациями: NSF/National Center for Atmospheric Research, NASA/Goddard Space Flight Center, the Massachusetts Institute of Technology, the University of Michigan, DOE/Argonne National Laboratory, DOE/Los Alamos National Laboratory, NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory и NOAA/National Centers for Environmental Prediction. Проект начался в мае 2002 и заканчивается в январе 2005 г.

Программное обеспечение ESMF содержит суперструктуру для связи и обмена данны-

ми между компонентами моделей (атмосферы и океана) и моделями подкомпонент (т.е. физика, динамика) и инфраструктуру, содержащую 1) структуры данных для представления сеток и полей и 2) оптимизированный набор низкоуровневых утилит. Конструкты данных и низкоуровневые утилиты используются для связывающей суперструктуры и могут быть использованы отдельно для составления научных приложений. Концептуально, приложение, выполняемое в ESMF, можно рассматривать как сэндвич с верхним и нижним уровнем, обеспеченное средствами ESMF и промежуточным уровнем, содержащим приложение пользователя (модельера). Суперструктура лежит сверху и контролирует взаимообмен данных. Инфраструктура лежит снизу и содержит инструментарий для внутрикомпонентных коммуникаций, обработки ошибок, управления временем, профилирования и прочих стандартных функций.

К концу третьего года 15 приложений проекта ESMF, включающие такие модели как Weather Research and Forecast Model, Goddard Earth Modeling System, Community Climate System Model, NCEP operational forecast and analysis system и Flexible Modeling System из GFDL будут использовать суперструктуру и инфраструктуру ESMF. С помощью суперструктуры будет создан набор демонстрационных приложений группировкой существующих компонент моделей в новые конфигурации. Так как создание вручную таких приложений стало бы научно состоятельно после дополнительной настройки и валидации, то использование этих конфигураций формирующихся автоматически по запросу пользователя должны продемонстрировать мощь программного обеспечения ESMF.

Полагается, что результатом проекта также будет удаление программных барьеров при сотрудничестве организаций за счет простого обмена компонентами моделей и, следовательно, ускорение прогресса в моделировании климата и погоды. Немаловажным фактором является то, что архитектура системы позволит легко интегрировать разработки небольших академических групп в модели, развиваемыми большими коллективами. Это, прежде всего, упростит интеграцию моделей верхней атмосферы и биохимических компонент в климатические модели и создаст условия для четкого понимания у сообщества как использовать, улучшать и расширять климатические модели.

Требования к приложениям ESMF являются стандартными: они должны быть масштабируемы (модели строятся из модулей и могут легко помещаться в большие приложения), портативны (высокопроизводительные коммуникационные библиотеки ESMF предоставляют интерфейс для компьютерных архитектур) и заменяемы (стандартные компоненты интерфейсов обеспечивают интероперабельность). Все межкомпонентные коммуникации внутри ESMF локальны, все коммуникации обрабатываются внутри компонент. Это позволяет архитектуре быть независимой от коммуникационной стратегии. Как следствие компоненты связывателя (coupler) могут быть определены на объединении всех компонент, которые они связывают. Например, для того, чтобы послать данные из компоненты атмосферы в компоненту океан используется программа atm2ocn.

На рис. 5 показана архитектура программного обеспечения ESMF.

Идеи, развиваемые в проекте, получили развитие в ряде других, например, Space Weather Modelling Framework (SWMF) [11]. В рамках этого проекта для пользователей, решающих задачи космофизики и занимающихся прогнозом космической погоды, предоставляются возможности моделирования солнечно-земных связей. Основой проекта являются математические модели физических процессов протекающих от поверхности Солнца до верхней атмосферы Земли, в числе которых модель магнитосферы, модель энергетических частиц, генератор выбросов (eruptive event generator), модель радиационного пояса и кинематическая модель гелиосферы. [12].

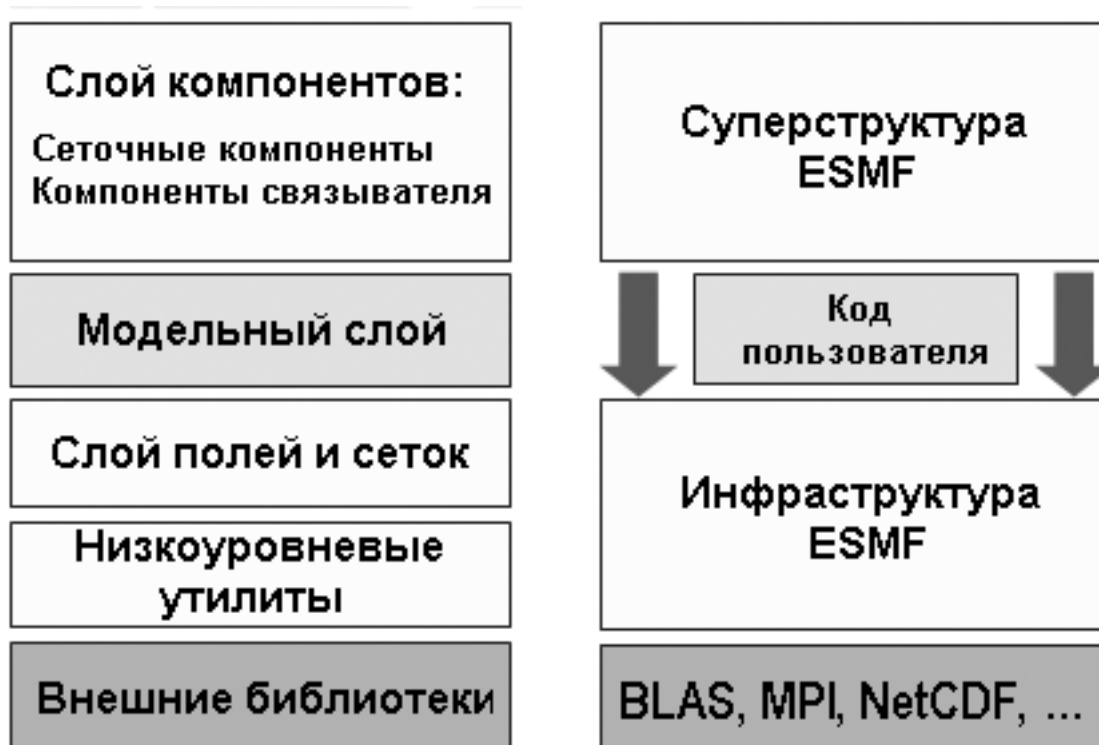


Рис. 5. Архитектура ESMF [8-10].

4. Проект PRISM (<http://www.enes.org>)

Проект PRISM (PRogram for Integrated Earth System Modelling) начался в декабре 2001, и будет продолжаться три года. По своему охвату научных тем он превосходит американские проекты и включает в себя текущее описание моделей атмосферы, океана, льдов морей, атмосферной химии, поверхности суши и биогеохимии океана [13]. В проекте принимают участие 22 организации. В соответствии с рекомендацией Euroclivar [14], европейская сеть для моделирования системы Земля (European Network for Earth System Modelling) включает в себя все основные европейские группы исследователей климата и компьютерные центры. Ясно, что по мере роста сеточного разрешения использование суперкомпьютеров и огромных массивов данных остается ключевым моментом в обеспечении исследований климата. Для предоставления исследователям доступа к таким средствам европейская сеть предполагает реализовать подход, состоящий из трех этапов:

1. организовать коллективное развитие разделяемой программной инфраструктуры и стандартные физические интерфейсы для европейского сообщества исследователей климата,
2. предоставить интегрированный сервис для доступа и использования этой инфраструктуры для выполнения межинститутского моделирования системы Земля, и
3. обеспечить управление ресурсами для климатических исследований на длительный период времени [15].

4.1. Компоненты PRISM

В проект PRISM включены следующие группы моделей, которые могут быть как глобальными, так и региональными: модели общей циркуляции атмосферы (AGCM), модели атмосферной химии (AC), модели общей циркуляции океана (OGCM), модели биохимии океана (OC), модели поверхности суши (LS) и модели морских льдов (SI). Программное обеспечение создается в виде открытой, модульной системы, в которую позже могут быть включены дополнительные компоненты. Полный перечень моделей с указанием ссылок приведен ниже.

Атмосфера: ARPEGE-Climate (<http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/concept/arpege.html>),
 ECHAM5 (<http://www.mpimet.mpg.de/en/extra/models/echam/echam5.php>),
 GME, HIRHAM (<http://www.awi-bremerhaven.de/www-pot/hirham/>),
 LMDZ (<http://www.climate.be/tools/lmdz-clio.html>), RACMO
 (http://www.prism.enes.org/Meetings/APMs/PRISM_WS_03/presentations/pdf/RACMO_Cuijpers.pdf), RCA, UMA;

Морские льды: LIM, NERSC Sea Ice model, (www.prism.enes.org/Meetings/APMs/PRISM_WS_03/presentations/pdf/ICE_Drange.pdf), RCI, UMI;

Атмосферная химия: INCA, KNMI TM, MOCAGE (http://www.knmi.nl/goa/workshop_pdf/reuch.pdf), MOZART;

Поверхность суши: ISBA (<http://www.cnrm.meteo.fr/mc2/>), MOSES, ORCHIDEE, RCA-soil;

Океан: MPI-OM, HYCOM (<http://oceanmodeling.rsmas.miami.edu/hycom/>),
 MICOM (<http://oceanmodeling.rsmas.miami.edu/micom/>), MOM4
 (<http://www.gfdl.noaa.gov/fms/>), OPA, RCO, UMO;

Океан–Аиогеохимия: HADOCC, HAMOC, PISCES;

Региональные модели: HadRM3H, HIRHAM, RACMO, RCA, RCA-soil, RCI, RCO.

Действия, выполняемые пользователем в системе PRISM, называют экспериментами. Каждый эксперимент представляет собой набор задач на суперкомпьютере определяемый конфигурационным процессом. Существует три уровня коммуникации в рамках каждого эксперимента: макрозависимости и триггеры между разными задачами, зависимости и триггеры между разными компонентами модели и связывателем (coupler), внутренние процессы коммуникации в рамках каждой компоненты модели. Под задачей понимается отдельный выполняемый рабочий шаг эксперимента. В силу того, что пользователь может собирать эксперимент на основе разных моделей, более того, разных предметных областей, создается связыватель для того, чтобы модели обменивались информацией с напрямую с другими компонентами моделей или через универсальный связыватель. Связыватель — это программа ответственная за управление собранной моделью, состоящей из разных компонент моделей и управляющая обменом и преобразованием физическими данными между компонентами моделей.

4.2. Стандарты PRISM

Для технического обеспечения поставленной цели введены научные стандарты на глобальные параметры и физические интерфейсы, а также ряд стандартов на ввод-вывод и связыватель, форматы данных, архитектуру и интерфейс пользователя. При выборе стандартов было учтено сотрудничество с другими группами (ESMF, ESG/NOMADS). К числу стандартных интерфейсов, принятых в проекте PRISM, относятся модель ввода - вывода и дескрипторы, конфигурации типа хоста, структура выполнения (получить данные, выполнить модель, диагностика, архивирование), структура компиляции (настройка, извлечение исходных текстов, сборка), репозиторий исходных кодов, стандартный пакет диагностики. В качестве формата файла для обмена данными выбран NetCDF (network Common Data Form). Этот интерфейс ориентирован на доступ к массивам данных. В нем содержится информация о данных (самоописание), поддерживается прямой доступ (можно эффективно достичь малого набора данных без чтения предшествующих данных), он архитектурно независим, один писатель и много читателей могут одновременно разделять один и тот же netCDF файл. Можно будет вводить иные форматы выходных данных. Ответственность за обеспечение конвертации в типовой обменный формат лежит на институтах являющихся поставщиками моделей. В качестве формата метаданных выбран CF convention. Он обобщает и расширяет соглашение COARDS, включает стандартную таблицу имен — специфицирует имена для различения физических величин. Для проверки на соответствие netCDF файла соглашению CF имеется утилита.

4.3. Модель системы

Модель системы предусматривает три типа действующих лиц: пользователи, разработчики и администраторы.

Пользователи: Запускают эксперименты, добавляя или заменяя части кода модели или конфигурацию. Их требования легко исполнимы, эксперимент трассируем, им доступна справочная система, есть обработка ошибок и т.д

Разработчики: Развивают и тестируют новые модели и конфигурации.

Администраторы: Обеспечивают связь между разработчиками и пользователями.

Действующие лица работают в рамках интерфейса пользователя при этом можно выделить три типа процессов: процессы конфигурации клиента и провайдера и процессы вычислений. К процессам конфигурации клиента осуществляется доступ через Интернет. Процессы конфигурации провайдера доступны только через центральный сайт, но описанные ниже сервисы могут быть распределены на разных сайтах без функционального различия. Процесс выполнения является локальным по отношению к провайдеру модели.

К числу процессов конфигурации клиента относятся процессы, связанные с интерфейсом пользователя: конфигурация, визуализация, аутентификация, архивный запрос, документация и мониторинг. К числу процессов конфигурации провайдера относятся конфигурация (сервер конфигураций), документация (сервер документации), аутентификация (сервер аутентификации), построение модели конфигурации (административный сервер), конфигурирование экземпляров для экспериментов (сервер баз данных экспериментов), визуализация (сервер визуализации) и информация о начале/останове/окончании (сервер мониторинга). Процессы выполнения включают в себя экземпляры конфигурации (диспетчер), связанную модель (связыватель и компоненты моделей) и обработку данных (сервер вычислений) и архивацию.

На рис. 6 показаны варианты архитектуры системы PRISM. На локальном сайте находятся сервер вычислений, диспетчер и сервис архивации, а на центральном сайте локализованы процессы конфигурации провайдеров, используемые всеми процессами пользователей.

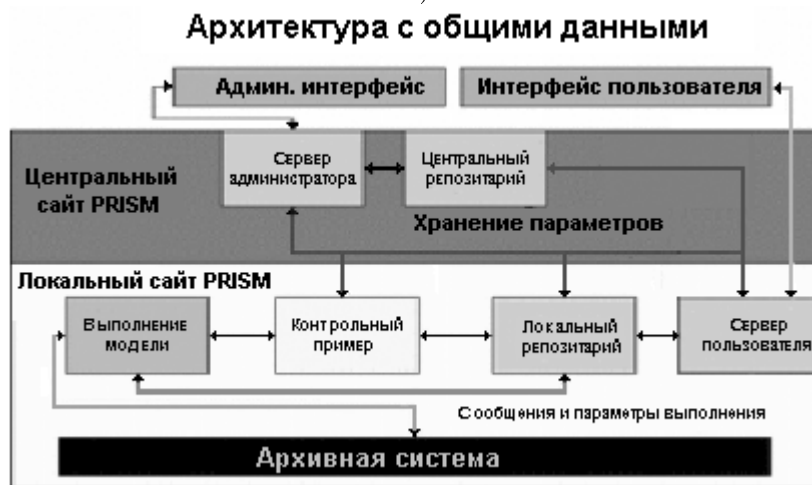
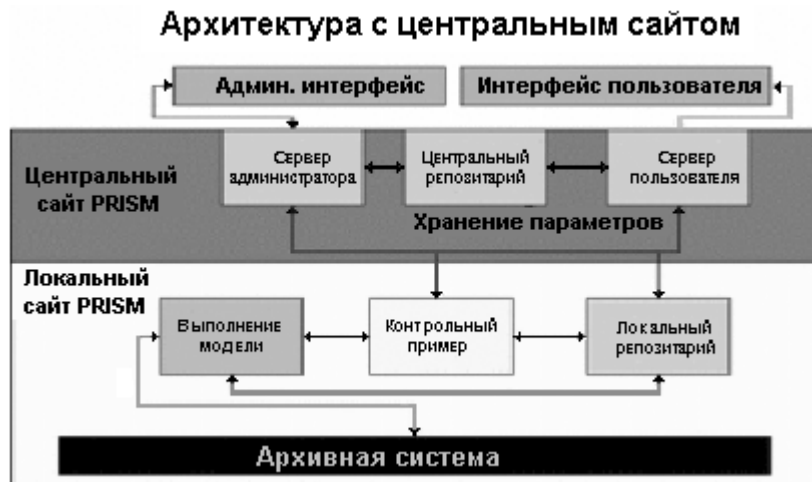


Рис. 6. Варианты архитектуры в проекте PRISM [18].

Административный интерфейс предоставляет точку доступа к административному серверу. Центральный депозитарий представляет собой набор данных или программ, таких как конфигурации и т.д. используемые клиентами. Сервер пользователя содержит процессы конфигурации провайдера доступные клиенту. В блоке «выполнение модели» проходит обработка связанной модели на локальном сайте. Локальный депозитарий содержит набор общих данных или программ специфичных для данного сайта и окружение для эксперимента, запускаемое пользователем.

4.4. Базовые фазы

Существует три фазы выполнения эксперимента в проекте. В фазе определения администратор модели обеспечивает описание ресурсов необходимых для эксперимента по свя-

зыванию моделей. При этом определяются все компоненты модели для связывания (интерфейсы модели и метаданные), опции ввода-вывода и постобработки, диагностические опции и опции статистики. Это описание подготавливается в XML. В фазе построения Preifs (PreIFs - интерактивное метеорологическое приложение для подготовки эксперимента интегрированной системы прогноза (IFS)) читает XML формат и отображает определенные по умолчанию администратором модели опции. После этого пользователь может выбрать и модифицировать настройки эксперимента. Во время этой фазы пользователь PRISM устанавливает специфику своего эксперимента через интерфейс пользователя. Он может выбрать индивидуальную модель, конфигурировать каждую индивидуальную компоненту модели, составить конфигурацию связи, выбрать другие опции предварительной и пост обработки, задать сайт и компьютерные ресурсы для использования. В фазе развертывания происходит отображение эксперимента в набор компьютерных ресурсов. При этом генерируются соответствующие файлы, содержащие компактное описание этого эксперимента. Затем эти файлы можно подключить в любой скрипт. Другими словами во время фазы развертывания генерируется абстрактное описание эксперимента в виде конфигурационного экземпляра, содержащего детали того, как выполнять связанный эксперимент на компьютере в формате, понимаемом ОС компьютера.

4.5. Инструментарий PRISM

Инструментарий проекта состоит из драйвера, трансформера и библиотеки обмена данными PRISM (связыватель и в/в). На рис. 7 показана схема обмена между основными компонентами моделей в проекте.

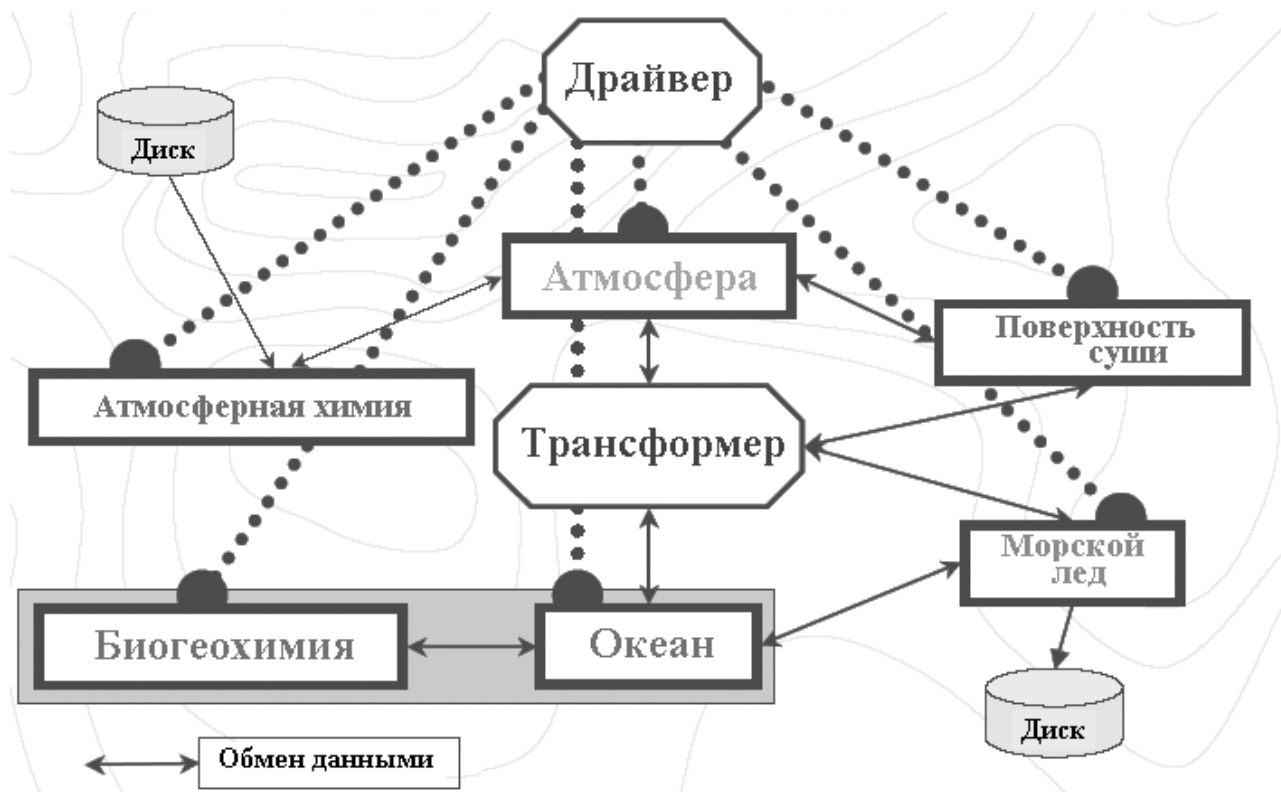


Рис. 7. Драйвер + трансформер + библиотека интерфейсов моделей (PSMILe) [17].

Драйвер отвечает за запуск компонентов моделей: он может создавать приложения, распределять глобальную информацию, и заниматься мониторингом компонент моделей (централизация всех сообщений посланных моделями во время расчета) [18]. Трансформер проводит различные преобразования: пространственную интерполяцию, общие алгебраические операции, операции на разных типах полей (1D, 2D, 3D, 4D, скалярные или векторные, статические или динамические структуры) и сетках (регулярной, гауссовой, неструктурированной и т.д.). Библиотека интерфейсов моделей обеспечивает связи потоков данных между любыми компонентами модели, включая параллельные разбиения, обеспечивает ввод/вывод данных в/из файла и т.д.

На рис. 8 приведено сравнение подходов, развиваемых в проектах PRISM и ESMF.



Рис. 8. Сравнение европейского и американского подходов [10].

4.6. Кооперативные технологии

Лучшими вариантами для удаленного доступа являются варианты представленные на рис. 6. Преимущество архитектуры с центральным сайтом состоит в том, что она минимизирует дублирование статических и полустатических ресурсов. Она также позволяет расширять содержание центрального сайта, либо содержание локального сайта по мере необходимости. Для развертывания сайтов проекта не требуются сетевые серверы и серверы приложений, что упрощает управление. В будущем центральный сайт сможет использовать такие кооперативные техники как отображение клиентской графики на множестве клиентов.

Недостатком архитектуры с центральным сайтом является увеличение сложности по мере того, как клиенты обнаруживают новые ресурсы, либо предоставляют информацию о них. Существуют варианты, при которых значительные вычислительные ресурсы должны быть сконцентрированы для обслуживания всех клиентов. Поскольку большая часть коммуникаций системных сервисов осуществляется через Интернет (сеть, которая не может быть полностью контролируемой) времена отклика будут меняться значительно для

сообщений и действий, инициированных пользователем через его интерфейс. Восстанавливаемость в таких случаях будет ограниченной и ее трудно диагностировать.

Технология, реализующая предложенную архитектуру, известна как веб-сервис. Она включает использование веб серверов, серверов приложений, директорий ресурсов и механизмов развертывания и службы сообщений и использование Java клиентов и серверов. Для безопасности используются механизм сертификации, Secure Socket Layers и шифрование. Как технология веб сервисы являются централизованными сервисами, позволяющими клиентам динамически получать услуги через Интернет. Он развертывается как трехзвенная система, содержащая презентационный слой, такой как браузер или Java клиент, связывающийся с удаленным приложением (сервис) через веб-сервер. Инфраструктура веб-сервисов полезна при интеграции приложений, когда необходима стандартизация и технологии дают возможность провайдерам сервисов предоставлять доступ к сервисам безотносительно к тем технологиям, в которых они реализованы.

Для масштабируемости и расширяемости сложных и конфигурируемых систем с распределенной архитектурой становится важна стандартизация интерфейсов. Для интероперабельности программного обеспечения важным является использование XML, позволяющего провести стандартизацию сообщений между клиентами и серверами. Развитие XML обещает стандартизовать некоторые важные технологии:

Remote Procedure Calls делает возможным для одной программы вызывать другие программы, выполняемые на удаленных хостах используя разные языки программирования по протоколу SOAP.

Web Services Description Language делает возможным описание ресурсов, таких как документы или процедуры, с помощью XML и позволяет инкорпорацию этой информации в директории. Resource lookup - протокол UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) определяет способы публикации и предоставления информации о веб сервисах. В будущем такая стандартизация сделает возможным для систем разделение информации структурированным образом.

PRISM является одним из проектов готовым для использования XML технологий.

5. Заключение

Трудно представить организацию коллективной работы без существования сети Интернет, и, следовательно, без использования Интернет-технологий. Заметим, что для выбора такого пути развития существуют серьезные экономические и технические факторы. Дело в том, что скорость технологических изменений такова, что производительность устройств удваиваются, а цена падает в два раза каждые девять месяцев для сетевых устройств, каждые 12 для устройств хранения данных и каждые 18 для процессоров [19]. Экономически выгодным становится вкладывать деньги в технологии, использующие сетевые устройства. Появление фундаментальных стандартов платформы XML (RDF, RDFS, OWL, SOAP, WSDL и т.д.) создало возможность использования семантических особенностей информационных ресурсов и перехода к глобальной компьютерной обработке типовых информационных ресурсов. Именно на этом пути стоит ожидать очередного прорыва в интеграции усилий исследователей окружающей среды.

В нашей работе мы не пытались дать полную картину информационных проектов по численному моделированию климата, прогноза погоды, состояния окружающей среды и связанных с ними исследований с точки зрения создания информационных и вычислитель-

ных ресурсов. Объем такой работы существенно превышает выделенный объем статьи. Однако надеемся, что наша работа может помочь читателю ориентироваться в многообразии информационных ресурсов и проблем с ними связанными.

Авторы благодарны фонду INTAS (грант 00-189) за поддержку работы.

Список литературы

- [1] GFDL's Flexible Modeling System (FMS), <http://www.gfdl.gov/fms/>.
- [2] Common Component Architecture, <http://www.cca-forum.org/documents/index.shtml>
- [3] Weather Research and Forecasting (WRF) Model, <http://wrf-model.org/>.
- [4] D. N. WILLIAMS The Earth System Grid II, 2002
- [5] NASA's Global Change Master Directory (GCMD), <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/>
- [6] Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL), <http://www.pmel.noaa.gov/>
- [7] V. BALAJI, CECELIA DELUCA, CHRIS HILL, MAX SUAREZ, ARLINDO DA SILVA Architecture of the Earth System Modeling Framework, EGS-AGU Nice, France April 8, 2003, ftp://ftp.ucar.edu/ftp/pub/esmf/esmf_presentations/pres_0304_egs_agu.ppt.
- [8] C. HILL, C. DELUCA, V. BALAJI, M. SUAREZ, A. DA SILVA Computing in science and engineering, 2004, No. 1, p. 18–28.
- [9] CHRIS HILL ESMF Requirements Overview, 1st ESMF Community Meeting, Washington DC May 30, 2002, ftp://ftp.ucar.edu/ftp/pub/esmf/esmf_presentations/pres_0205_hillreq/ESMF_Requirements.htm.
- [10] C. DELUCA, C. HILL, AND V. BALAJI Introduction to the Earth System Modeling Framework, 4th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities, Boulder, CO March 12–14, 2002.
- [11] Space Weather Modeling Framework (SWMF), <http://csem.engin.umich.edu>
- [12] D. CHESNEY AND O. VOLBERG Space Weather Modeling Framework, ftp://ftp.ucar.edu/ftp/pub/esmf/esmf_presentations/pres_0305_wks_hpswmf.pdf
- [13] A COACH/PRISM Summer school on Climate modelling in Europe, Les Diablerets, 25–29 June 2001, Meeting report, Edited by G. Brasseur and G.J. Komen, July 2001, <http://prism.enes.org/Meetings/APMs/SummerSchool2001/MeetingReport.html>.
- [14] Euroclivar (1998). Climate Variability and Predictability in Europe, 1999–2004. Euroclivar recommendations, ISBN 90-369-2146- 5. xxiv + 120 pp.
- [15] E. GUILYARDI, R. G. BUDICH, S. VALCKE PRISM AND ENES: AN EUROPEAN APPROACH TO EARTH SYSTEM MODELLING, http://prism.enes.org/Results/Documents/Papers/ECMWF_2002_EG_RGB_SV.pdf
- [16] R. FERRARO, T. SATO, G. BRASSEUR, C. DELUCA, E. GUILYARDI Modeling The Earth System, <http://prism.enes.org/Results/Documents/Papers/IGARSS03.pdf> .

- [17] G. BERTI, P. BOURCIER, A. CAUBEL, D. DECLAT, M.-A. FOUJOLS, J. LATOUR, S. LEGUTKE, J. POLCHER, R. REDLER, H. RITZDORF, T. SCHÖENEMEYER, S. VALCKE AND R. VOGELANG PRISM Model Interface Library for Coupling and I/O, <http://www.mad.zmaw.de/Klimamodelle/WorkshopFeb03/Freitag/Prismcoupler.pdf>.
- [18] PRISM System Specification Version 1.0, Edited by Eric Guilyardi, Reinhard G. Budich, Guy P. Brasseur, Gerbrand Komen, February 2003.
- [19] IAN FOSTER The Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science, Physics Today, Feb 2002, pp. 42