

Распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация» *

© К.М. Фирсов¹, А.З. Фазлиев², Т.Ю. Чеснокова², Е.М. Козодоева²

1) Волгоградский государственный университет

fkf@iao.ru

2) ИОА СО РАН

Аннотация

Представлено описание доступной по сети Интернет распределенной информационно-вычислительной системы «Атмосферная радиация» (ИВС), серверы которой расположены в Институте оптики атмосферы СО РАН (Томск), Волгоградском государственном университете и Уральском государственном университете (Екатеринбург). Создаваемая система ориентирована на исследования проблем переноса радиации в атмосфере Земли, включая прямые и обратные задачи спутникового и наземного зондирования газового состава атмосферы. Адреса ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту: <http://atrad.atmos.iao.ru>, <http://atmos.physics.usu.ru>, <http://atmos.volsu.ru> и <http://remotesensing.ru>.

1 Введение

Доступная в сети Интернет информация по атмосферной радиации существует в нескольких формах. Это – многочисленные архивы данных, метеорологические и оптические модели, программы для расчета радиационных характеристик.

Архивы данных. Например, на сайте ARM [9] предоставлен доступ к полевым измерениям радиации и оптического состояния атмосферы для условий Северной Америки, которые позволяют верифицировать современные модели переноса радиации и общей циркуляции. На сайте [6] содержатся архивы спутниковых данных AIRS/AQUA уровня L1 (регистрируемая спектральная яркость излучения атмосферы) и уровня L2 (определенные из L1 в результате решения обратной задачи вертикальные профили температуры и концентрации водяного пара в

атмосфере).

В рамках программы ARM проводилось сопоставление радиационных кодов и опубликованы результаты тестовых расчетов, например, [3], доступны также результаты тестовых расчетов для спутниковых радиометров HIRS, AMSU [5] и др. Однако, исходная спектроскопическая информация быстро устаревает, что требует проведения новых расчетов.

В настоящее время созданы пакеты программ для расчета радиационных характеристик (профили поля яркости, потоков излучения), такие как DISORT [1], FASCODE, LBLRTM [7] и др., часть из которых в настоящее время доступна через сеть Интернет.

Следующим шагом в развитии программного обеспечения для радиационных расчетов явилось создание библиотек программ LIBRADTRAN [8], которые на основе отдельных программ позволяют создавать новые компьютерные коды по радиации.

Повышение качества измеряемых данных требует все более сложных радиационных моделей. С другой стороны, постоянно возрастающие объемы информации, требуют повышения скорости обработки информации. Так, например, лежащая в основе многих радиационных расчетов современная спектроскопическая база данных HITRAN содержит информацию о более чем 2,5 млн. спектральных линий, и в ближайшее десятилетие ожидается ее увеличение на два порядка в связи с проведением многочисленных *ab initio* расчетов молекулярных спектров. Исследования оптических характеристик аэрозолей и облаков также приводят к увеличению объемов данных, используемых в радиационных расчетах. Помимо этого, различные радиационные модели не только основываются на различных способах расчета, но требуют различных способов представления входных данных.

Поэтому к радиационным моделям предъявляются по сути дела противоречивые требования: высокая скорость и высокая точность. Это требование приводит к привлечению различного типа параметризаций, и как следствие, значительному усложнению моделей. Таким образом, увеличивается сложность программного обеспечения, его структура и связи с программным обеспечением смежных научных дисциплин. Такая

Труды 11^й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL'2009, Петрозаводск, Россия, 2009.

ситуация создает ряд трудностей для конечного пользователя как в использовании информационными, так и вычислительными ресурсами в его непосредственной работе.

Следует также обратить внимание на то, что в настоящее время имеется огромное число публикаций по рассматриваемой тематике. Так, например, число публикаций только по исследованию аэрозоля за год достигает нескольких десятков тысяч. Все это приводит к тому, что даже специалисты в области атмосферной оптики не всегда могут ориентироваться в этой информации.

В 2004 году в ИОА СО РАН была начата работа по созданию ИВС «Атмосферная радиация». Однако, мы достаточно быстро поняли, что в одиночку такой проект создать очень сложно и с 2007 г. начался новый проект, который объединил уже несколько организаций: ИОА СО РАН, РИЦ «Курчатовский институт», Уральский госуниверситет и Волгоградский госуниверситет. распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация».

2 Радиационная модель

Выше отмечалось, что для решения прямых и обратных задач оптики атмосферы к разрабатываемому программному обеспечению по расчету радиационных характеристик предъявляются жесткие требования: высокая точность при высокой скорости счета. В настоящее время высокую точность обеспечивают только прямые методы счета line-by-line, на которые мы и ориентировались. Однако, эти методы очень трудоемки даже для современных ЭВМ. По этой причине необходимы эффективные методы повышения скорости вычислений. Для проведения радиационных расчетов необходима информация о газовой-аэрозольном составе атмосферы, облачности, подстилающей поверхности, метеорологическом состоянии и т.п. Задача унификации данных и моделей стояла очень остро. После тщательного анализа выбор был остановлен на моделях, которые основываются на локальных оптических характеристиках среды, таких как коэффициенты поглощения и рассеяния. Однако прямые методы расчета имеют ограниченное применение, поэтому для задач требующих высокой скорости было решено использовать look up table архивы, а для широкополосных радиометров метод рядов экспонент.

Разложение функции пропускания, обусловленной молекулярным поглощением, в ряд экспонент позволяет разрешить целый ряд проблем, возникающих при численных расчетах: оно описывает функцию пропускания с высокой точностью (отличие от прямого счета в среднем составляет величину $\sim 1\%$), является малопараметрическим (число членов ряда не превышает 5-7), имеет экспоненциальную функциональную зависимость как и в случае line-

by-line расчетов, что обеспечивает удобство ее применения в различных вычислительных схемах, когда существенно многократное рассеяние [11].

Теоретической основой разложения в ряд экспонент является преобразование Лапласа. Оно позволяет перейти от быстроменяющегося коэффициента молекулярного поглощения к эффективному коэффициенту поглощения, который уже является гладкой, монотонно-возрастающей функцией. Это позволяет радикально на несколько порядков уменьшить число точек при численном интегрировании данной функции. На рис. 1 приведен пример такого преобразования.

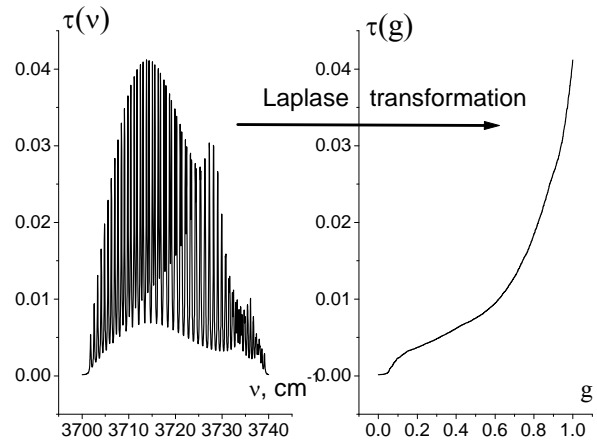


Рис.1. Преобразование Лапласа спектра поглощения.

Развиваемый нами подход для расчета потоков длинноволновой радиации основывается на такой модификации метода k-распределения, когда одновременно учитываются все газы. Термин k-распределение вместо рядов экспонент появился в западной литературе. Смысл его состоит в том, что в заданном спектральном интервале интегральное поглощение определяется функцией распределения коэффициента поглощения. Одно из ограничений данного метода состоит в том, что функция распределения определяется в зависимости от термодинамических параметров атмосферы. Это приводит к тому, что спектр поглощения в приземном слое значительно отличается от спектра поглощения на больших высотах и метод k-распределения дает погрешности в функциях пропускания на уровне 5%. Нами разработан метод учета перекрытия полос разных газов, который позволяет свести эту ошибку к минимуму [2].

В наших работах [13] было показано, что интегральные по спектру радиационные характеристики (яркость, поток) могут быть представлены в виде:

$$I_{\Delta\lambda} = \sum_{i=1}^N c_i Q_i$$

где Q_i – монохроматические радиационные характеристики, число членов ряда определяется числом параметров при разложении функции пропускания в ряд экспонент.

Расчет радиационных характеристик реализуется в несколько этапов:

Методом line-by-line на основе атласа спектральных линий поглощения атмосферных газов HITRAN рассчитываются вертикальные профили коэффициентов молекулярного поглощения с высоким спектральным разрешением;

Определяются N ($N \leq 10$) значений эффективных коэффициентов молекулярного поглощения для заданной высоты с учетом аппаратной функции прибора и спектрального хода солнечного излучения.

Для расчета широкополосных радиационных характеристик решается уравнение переноса излучения для каждой компоненты (их число не превышает 10), причем эффективный коэффициент поглощения здесь можно использовать как обычный монохроматический коэффициент поглощения, который входит в альbedo однократного рассеяния и оптическую толщину.

Для решения стационарного уравнения переноса с учетом многократного рассеяния излучения аэрозолями и облаками могут использоваться различные методы, такие как метод Монте-Карло, метод сферических гармоник, метод дискретных ординат и др. Экспоненциальный вид функций пропускания обеспечивает возможность применения практического любого метода. Мы выбрали метод дискретных ординат DISORT[1], т.к. он сочетает в себе как высокую скорость, так и хорошую точность вычислений.

В ИВС «Атмосферная радиация» реализовано два типа расчетов:

1) эффективные коэффициенты молекулярного поглощения и функций пропускания, обусловленные молекулярным поглощением с использованием рядов экспонент и методом line-by-line.

2) Расчет интенсивностей и потоков радиации на основе разложения в ряд экспонент.

Первый тип расчетов позволяет пользователям получить данные о характеристиках молекулярного поглощения в атмосфере и использовать их в своих радиационных кодах. Сопоставление пропускания рассчитанного методом line-by-line и с применением ряда экспонент дает возможность оценить точность расчета и выбрать необходимое число членов ряда экспонент.

Применяемый нами подход к учету молекулярного поглощения обладает рядом достоинств: короткий ряд обеспечивает высокую скорость счета; разделение во времени расчета коэффициентов молекулярного поглощения и решения уравнения переноса излучения позволяет исследователю с минимальной коррекцией использовать алгоритмы и программы,

разработанные для радиационных расчетов без учета молекулярного поглощения.

Данный способ расчета радиационных характеристик позволяет унифицировать входные данные и модели, используемые для расчета радиации.

Входные данные структурированы следующим образом:

- Спектроскопические параметры линий;
- Метеорологические модели;
- Аэрозольные оптические модели;
- Оптические модели облаков.
- Справочная информация о характеристиках облачности и аэрозоля для Северного полушария Земли.

В настоящее время для каждого типа вышеперечисленных данных на портале ATMOS созданы либо информационные системы, либо отдельные интерфейсы.

Поскольку для расчета эффективных коэффициентов поглощения используется прямой метод счета, то для повышения скорости вычислений используется многосеточный метод [12], разработанный Фоминым Б.А., что позволяет на два – три порядка уменьшить число расчетных узлов без потери точности. В настоящее время этот подход получает все более широкое распространение, так как он, в отличие от подхода, используемого в широко известной программе FASCODE (USA), позволяет добиться более высокой скорости счета и не имеет ограничений на форму контура спектральной линии.

Метод, использованный в нашем подходе для расчета полей интенсивностей, выгодно отличается от общепринятых. Это обусловлено не только тем, что расчеты проводятся непосредственно на нашем сайте, где есть дружественный интерфейс, но также и тем, что применение современных подходов к параметризации молекулярного поглощения позволяет использовать разные версии спектроскопических баз данных.

3 Общая характеристика ИВС «Атмосферная радиация»

Для того, чтобы радиационные модели стали более доступными создается распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация», которая не только обеспечивает доступ к данным, но и позволяет проводить расчеты радиационных характеристик атмосферы Земли.

ИВС "Атмосферная радиация" является частью научного портала для атмосферных наук ATMOS (<http://atmos.iao.ru>), который представляет собой интегрированный набор множества распределенных, но координируемых предметных сайтов, содержащих типовую информацию с исследовательскими базами данных, моделями и аналитическим инструментарием для прямого использования и визуализации данных.

Работы по созданию промежуточного программного обеспечения (ППО) и средствам создания и поддержки информационно-вычислительных систем с доступом по сети Интернет ведутся в ИОА СО РАН последние 8 лет. За этот период на основе оригинального ППО создан портал по атмосферным наукам, включающий в себя 6 информационных систем по таким предметным областям как атмосферная спектроскопия, радиация, химия, климат и погода и др. [10]. Ключевым разделом ППО является система управления рабочими потоками, обеспечивающая формирование статического меню, механизм его динамической визуализации и сохранение целостности данных пользователя на стороне сервера. Вспомогательными приложениями, интегрированными в ППО, являются тезаурус предметных областей, с которыми связаны каталогизаторы информационных ресурсов ИВС, словари ссылок на информационные ресурсы, система управления контентом и т.д. Программное обеспечение для формирования распределенной ИВС (промежуточное программное обеспечение, система управления рабочими потоками, система формирования интерфейсов и т.д.), созданное в проекте РФФИ №06-07-89201, используется в нашем проекте. Открытые стандарты W3C (XML, RDF, OWL, и другие) положены в основу его создания.

Комплексный подход, в рамках которого одна часть вычислений проводится на стороне клиента, а другая — на стороне сервера, практически не распространен в Интернете. Тем не менее, его использование перспективно в задачах графической обработки предметных данных. Наиболее значительное ограничение на технологию вычислений в ИВС накладывает архитектура клиент-сервер. В рамках этой архитектуры важным является то, где проводятся вычисления: на стороне клиента или сервера. В Интернет-доступных системах для проведения вычислений только на стороне клиента, как правило, используются JavaScript или Java-applet. Однако возможности такого подхода ограничены задачами, не требующими высокопроизводительных вычислительных ресурсов или использующими небольшой по объему пересылаемый клиенту код. Инструментальные средства для организации вычислений на серверной стороне значительно богаче. С точки зрения гибкости интерфейса пользователя при организации вычислений на стороне сервера для решения задачи ключевым моментом является то, как организована работа с данными пользователя. Наиболее распространен подход, при котором для решения задач данные пользователя не хранятся на сервере, а только доставляются клиенту после проведения вычислений. Связано это с тем фактом, что такая организация вычислений не требует создания системы управления данными пользователя (СУДП) на стороне сервера. В ИВС «Атмосферная

радиация» используется СУДП, которая позволяет организовать хранение данных пользователя, обеспечить их целостность, переименовывать и удалять структуры данных и проводить сравнение результатов решения однотипных задач.

В настоящее время ИВС «Атмосферная радиация» включает следующие данные:

- Сформирована база данных полей яркости нисходящего диффузного солнечного излучения в безоблачной атмосфере в спектральном диапазоне 0.34-4 мкм для типичных метеорологических и оптических ситуаций (на основе расчетов методом Монте-Карло).

- Разработана база данных аэрозольных статистических моделей на основе моделей Крекова-Рахимова. Реализована возможность использования среднециклической модели Крекова-Рахимова при расчетах переноса радиации «радиационным блоком ИОА»

- Создана и регулярно пополняется база данных результатов экспериментальных измерений на радиационном комплексе ИОА СО РАН. Результаты измерения интегральной оптической толщины и радиационных характеристик атмосферы представляются на сайте в табличном и графическом виде.

- Создана база данных по самолетным измерениям спектральных радиационных характеристик атмосферы и поверхности.

- Созданы архивы оптических характеристик облаков на основе параметризаций Y.X. Hu и K. Stamnes и A. Slingo и H.M. Scherker и создан интерфейс, обеспечивающий вычисление коэффициентов ослабления, альbedo однократного рассеяния и среднего косинуса рассеяния для жидкокапельных облаков в диапазоне длин волн 0.25-4 мкм с разбиением на 24 интервала для эффективного радиуса капель 2.5-60 мкм.

ИВС атмосферная радиация включает следующие модели:

Разработан интерфейс для расчета восходящих и нисходящих спектральных потоков и интенсивности коротковолнового излучения на верхней и нижней границе атмосферы. Для расчета уравнения переноса излучения используется пакет программ DISORT. Молекулярное поглощение учитывается на основе рядов экспонент, параметры которых рассчитываются прямым методом line-by-line. Пользователю предоставляется выбор параметров линий атмосферных газов из различных спектроскопических банков данных. Для этого организована связь с распределенной ИВС «Молекулярная спектроскопия» (<http://saga.atmos.iao.ru>).

Разработан интерфейс для расчета интегральных потоков радиации для моделей ИВМ РАН и модели В.А.Фролькиса. Данные радиационные блоки дают возможность рассчитать восходящие и нисходящие интегральные потоки радиации, а также скорость радиационного выхолаживания атмосферы.

Информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация», доступна для коллективного использования. Доступ к ресурсам организован с помощью веб-интерфейса (<http://atrad.atmos.iao.ru>) в ИОА СО РАН. В настоящее время созданы зеркала в Волгоградском и Уральском (Екатеринбург) госуниверситетах.

Обмен данными в распределенной сети, предполагает, что решения задач, загруженные в данном узле, автоматически не реплицируются на остальные узлы распределенной системы. Связано это с тем обстоятельством, что на каждом узле РИС существует собственная система регистрации пользователей. Данные, заносимые пользователем в БД РИВС, являются приватными и открываются для свободного доступа после обращения пользователя к экспертам и решения экспертов об их открытой публикации. Публичные данные могут быть реплицированы по решению администратора узла с других узлов системы. Семантические метаданные для опубликованных источников информации должны быть идентичными на всех узлах распределенной системы.

Поскольку разработчики ИВС находятся в разных городах, то для удобства общения создан сервис с функциями передачи и запроса новостей размещенный на всех узлах распределенной информационной системы «Атмосферная радиация» и «Молекулярная спектроскопия». Раздел "Новости сайта" позволяет администраторам узлов информировать пользователей системы о происходящих изменениях ресурса, добавлении новых разделов и их назначении, а также публиковать любую другую информацию соответствующую тематике сайта. Обмен новостями между узлами распределенной системы основан на использовании технологии веб-сервисов. Особенности технической реализации системы обмена подробно описаны в работе [10].

4 Интерфейс для расчета переноса радиации в атмосфере Земли

Все входные параметры описываемой нами модели делятся на две группы. Первая группа параметров может задаваться и изменяться пользователем, а вторая представлена в системе в виде встроенных моделей, например, возможность использования среднециклической модели Крекова-Рахимова при расчетах переноса радиации.

Входные параметры, доступные для изменения пользователем, объединены в логические группы, такие как:

"начальные условия", в которых задаются как общие параметры расчета (рис.2) (число слоев, на которые разбита атмосфера, число гауссовских квадратур для расчета эффективных коэффициентов поглощения, альbedo поверхности, зенитный угол Солнца, азимутальный угол Солнца, зенитный угол трассы, число азимутальных углов приемника), так и полярные углы приемника, тип аппаратной

функции и ее параметры, а также учитывать ли при расчетах облачность;

Параметры расчета	
Число слоев, на которые разбита атмосфера(1-50)	45
Число гауссовских квадратур для расчета эффективных коэффициентов поглощения (3-30)	5
Альbedo поверхности(0-1)	0.8
Зенитный угол Солнца (0-90 градусов)	60
Азимутальный угол Солнца (0-180 градусов)	0
Зенитный угол трассы (0-180 градусов)	120
Число азимутальных углов приемника(1-3)	3
Учитывать облачность	<input checked="" type="checkbox"/>

Метеомодель ИОА		
Широты	Какие газы учитывать	
<input type="radio"/> Тропики	<input checked="" type="checkbox"/> H ₂ O	<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂
<input checked="" type="radio"/> Умеренные	<input checked="" type="checkbox"/> O ₃	<input checked="" type="checkbox"/> N ₂ O
<input type="radio"/> Полярные	<input checked="" type="checkbox"/> CO	<input checked="" type="checkbox"/> CH ₄
Сезон	<input checked="" type="checkbox"/> O ₂	<input checked="" type="checkbox"/> NO
<input checked="" type="radio"/> Лето	<input checked="" type="checkbox"/> SO ₂	<input checked="" type="checkbox"/> NO ₂
<input type="radio"/> Зима	<input checked="" type="checkbox"/> NH ₃	<input checked="" type="checkbox"/> HNO

Рис 2. Интерфейсы задания "начальных условий" и "параметров атмосферы".

"параметры атмосферы", где пользователь может выбрать метеомодель и задать ее настройки, в которые входит список газов учитываемых в расчетах;

"спектроскопические данные" - в этой части интерфейса происходит взаимодействие с ИВС "Атмосферная спектроскопия", в результате которого пользователь может выбрать интересующий его банк данных, содержащий параметры спектральных линий для выбранных им газов при настройке параметров атмосферы;

"параметры аэрозоля", позволяющие выбрать аэрозольную модель (Крекова или Произвольную) и задать высотные профили коэффициента аэрозольного ослабления и альbedo однократного рассеяния для аэрозоля, а также задать параметры индикатриссы рассеяния, в случае выбора произвольной аэрозольной модели;

"модель облачности" — эта часть интерфейса становится доступной только в случае принятия решения учитывать облачность при задании начальных условий, и позволяет выбрать одну из встроенных моделей облачности, либо задать параметры для произвольной модели.

В 2008 на основе спутниковых данных созданы интерфейсы для базы данных по оптическим характеристикам аэрозоля и облаков для северного полушария Земли. В этом разделе сайта пользователю предоставляется возможность просмотра данных в табличном и графическом представлении. В интерфейсе для входных параметров задаются интервалы по широте и долготе, и месяц года. Выборка данных из базы данных производится с помощью запроса на языке

MySQL по всем девяти величинам. У программного модуля используемого для табличного отображения есть возможность скрывать/включать колонки, поэтому пользователь может выбирать необходимые ему величины непосредственно при просмотре таблицы с результатами запроса. Графическое представление данных реализовано с помощью графического пакета GnuPlot. С помощью цветной поверхности на графике представляется пространственное распределение выбранной пользователем величины в заданных им временном (месяц) и координатном интервалах (см. рис

Теперь, пользователь, имея в своем распоряжении такую базу данных, имеет возможность при формировании своих наборов данных опираться на справочную информацию и учитывать региональные особенности.

Еще одним новым разделом сайта «Атмосферная радиация» является раздел для расчета переноса радиации в атмосфере Земли в спектральных каналах спутниковых радиометров среднего спектрального разрешения. Этот интерфейс позволяет задавать пользователю такие начальные параметры как: спектральный интервал (0-3000 см⁻¹), учитывать ли континуум H₂O и если да, то модель континуума и интервал учета континуума для моделей RSB и ARF. Также пользователь имеет возможность выбрать метеомодель ИОА, AFGL или задать собственную на базе модели AFGL.

Все входные параметры и результаты расчета сохраняются в "портфеле пользователя", что позволяет сохранять связь между входными параметрами модели и ее результатами. После окончания расчета система перенаправляет пользователя на страницу, где отображаются результаты данной задачи. (см. рис.3)

Широта	Долгота	среднее значение облачности	среднее значение высоты верхней границы облаков (гПа)	среднее значение оптической толщины водяных капель	среднее значение оптической толщины кристаллов льда	среднее значение оптической толщины аэрозоля на длине волны 0.55 мкм	среднее значение общего содержания водяного пара над облаками в вертикальном столбе, ос.см
36	-179	0.939	0.4378	684.2	14.9133	27.405	0.132
36	-178	0.9329	0.4322	684.013	15.3667	27.41	0.1313
36	-177	0.9299	0.4179	689.917	16.9117	27.5687	0.1092
36	-176	0.9405	0.4248	693.55	16.73	27.7093	0.096
36	-175	0.9392	0.4408	680.217	17.059	27.6617	0.176
36	-174	0.9227	0.4735	675.925	17.9829	27.399	0.2129
36	-173	0.9272	0.4378	681.05	17.8189	28.973	0.0999
36	-172	0.9284	0.4142	682.483	18.2089	27.3529	0.2382
36	-171	0.9216	0.4139	676.9	14.89	27.59	0.2297
36	-170	0.9189	0.4205	675.733	14.52	28.1023	0.1149
36	-169	0.9291	0.4378	674.569	15.9467	28.973	0.1129
36	-168	0.9179	0.4104	672.683	12.7917	28.879	0.1297
36	-167	0.9181	0.4104	676.9	12.89	28.4449	0.1099
36	-166	0.9298	0.4294	643.4	12.5987	28.019	0.0999
36	-165	0.889	0.4305	649.45	12.599	27.9217	0.094
36	-164	0.9024	0.4492	631.9	11.9017	26.89	0.1129
36	-163	0.9011	0.4706	619	10.9232	26.623	0.106
36	-162	0.8812	0.4933	617.65	9.9989	25.95	0.1977
36	-161	0.8422	0.4378	607.79	11.1167	29.7967	0.0992
36	-160	0.8123	0.4431	584.95	15.2489	29.449	0.106
36	-159	0.8242	0.424	610.25	16.299	27.1129	0.1964
36	-158	0.8434	0.3768	631.317	16.8987	27.84	0.193
36	-157	0.8938	0.5491	659.99	11.05	28.9217	0.1297
36	-156	0.8799	0.5922	645.623	10.919	28.69	0.1412
36	-155	0.8797	0.5922	649.423	12.1467	28.9817	0.1299
36	-154	0.8712	0.545	656.95	12.749	28.7367	0.129
36	-153	0.8926	0.5197	651.289	12.97	28.609	0.131
36	-152	0.8996	0.5477	652.2	12.2917	28.495	0.11
36	-151	0.9012	0.5721	643.5	11.7967	28.513	0.106
36	-150	0.8999	0.5921	641.867	11.73	28.7617	0.1199
36	-149	0.8995	0.5972	641.893	12.84	28.149	0.0999
36	-148	0.8982	0.5995	649.217	11.9917	28.405	0.0979

Рис.3а Интерфейс табличного отображения спутниковых данных MODIS.

Все введенные пользователем параметры сохраняются в системе с помощью СУДП. Далее производится последовательный запуск расчетных

модулей и результат вычислений снова сохраняется в системе и отображается пользователю. (рис.3) Такой подход позволяет внося незначительные изменения в значения входных параметров сравнивать результаты полученные в ходе расчетов, и не терять из при выходе из системы.

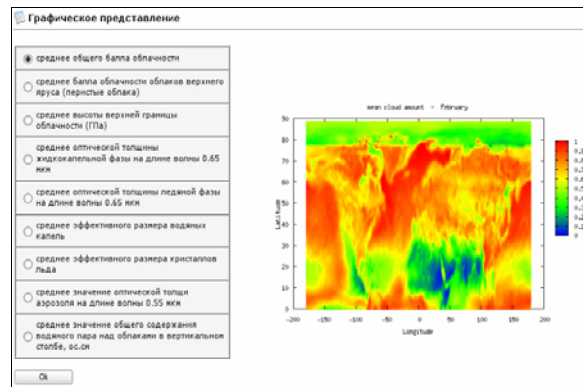


Рис.3б Интерфейс графического отображения спутниковых данных MODIS.

5 Расчеты переноса длиноволновой радиации

При обсуждении проблемы повышения температуры Земли вследствие парникового эффекта рассматривают, как правило, радиационный баланс между нисходящим потоком от солнца и восходящим собственным излучением Земли на верхней границе атмосферы [4]. Следует также отметить, что рассматривают метеорологические модели, которые соответствуют средним значениям. Не преуменьшая роли CO₂, по нашему мнению следует особое внимание уделить балансу парю, который определяет радиационный баланс нижней атмосферы не только в виде явных потоков, но и в виде скрытых потоков тепла, обусловленных процессами испарения и конденсации водяного пара. Причем, теплота фазовых переходов является одним из основных механизмов непосредственного нагревания атмосферы. Роль паров воды при их высоком содержании в приземном слое резко возрастает. Разрабатываемая ИВС позволяет рассчитывать явные потоки нисходящей радиации, которые определяют приземную температуру. Так, например, было проведено моделирование этих потоков для типичных условий Нижнего Поволжья. Для того, чтобы выбрать экстремально низкое, среднее и экстремально высокое содержание паров воды в атмосфере был проанализирован десятилетний ряд аэрологических наблюдений за вертикальными профилями температуры и влажности вблизи г. Волгоград. Основным исходным материалом для исследования особенностей полей температуры и влажности в свободной атмосфере послужили данные реанализа с сайта www.noaa.gov, рассчитанные по многолетним радиозондовым измерениям мировой

сетью аэрологических станций. Результаты моделирования приведены в Табл. 1.

Табл.1. Вклад паров воды и углекислого газа в нисходящие потоки радиации

Приземная температура, К	312	286	296	296
Общее содержание H ₂ O в вертикальном столбе атмосферы, ос.см	2.12	0.976	4.71	2.81
Нисходящий поток F [↓] , Вт/м ²	404.3	287.6	381.4	410.3
ΔF [↓] , Вт/м ²				
Вклад H ₂ O	291.4	204.2	286.9	299.6
ΔF [↓] , Вт/м ²				
Вклад CO ₂	20.9	18.7	4	16

Согласно оценкам, полученным в данной работе радиационные процессы в приземном слое атмосферы главным образом обусловлены парами воды, причем вклад CO₂ уменьшается по мере возрастания концентрации H₂O и для некоторых ситуаций, характерных для летних условий Нижнего Поволжья его доля в нисходящих потоках снижается до 1%.

Заключение

В работе дано описание некоторых Web-интерфейсов информационно-вычислительной системы “Атмосферная радиация”. Информационная система построена средствами Интернет-технологий. Для разработки ИВС использовано программное обеспечение: Web сервер Apache, скриптовый язык PHP4, пакет программ для построения графиков GNUPlot.

Модели данной ИВС могут представлять интерес для специалистов в области атмосферной радиации и климата, а также аспирантов и студентов.

Авторы благодарят за финансирование РФФИ (проект 07-07-00269).

Литература

- [1] DISORT (ftp://climate.gsfc.nasa.gov/pub/wiscombe/Multiple_Scatt)
- [2] Firsov K.M., Mitsel A.A., Ponomarev Yu.N., Ptashnik I.V. Parametrization of transmittance for application in atmospheric Optics// Journ.Quant.Spectr. and Radiat.Trasf. –1998. - V.59, No3-5. - pp.203-213.
- [3] Haltore R.N., Grisp D., Shwartz S.E. at all. Intercomparison of shortwave radiative codes and measurements// Journ. Geoph. Research. – 2005. – V. 110, pp.D11206, pp.1-18.
- [4] Huang Yi, Ramaswamy V., Soden B. An investigation of the sensitivity of the clear-sky outgoing longwave radiation to atmospheric

temperature and water vapor// Journ. Geoph. Research. – 2007. – V. 112, D05104, pp.1-13.

- [5] Intercomparison of forward and Jacobian radiative transfer models for HIRS and AMSU channels <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/intercomparison/>
- [6] Jet propulsion laboratory <http://airs.jpl.nasa.gov>
- [7] LBLRTM (<http://rtweb.aer.com/>)
- [8] Mayer B. and Kylling A. The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use//Atmos. Chem. Phys., 5, pp. 1855-1877, 2005
- [9] The Atmospheric Radiation Measurement Program, <http://www.archive.arm.gov/about.html>
- [10] Козодоев А.В., Козодоева Е.М., Привезенцев А.И., Фазлиев А.З. Труды 13-й Байкальской Всероссийской конференции "Информационные и математические технологии в науке и управлении", 2008.
- [11] Мицель А.А., Фирсов К.М. Развитие моделей молекулярного поглощения в задачах переноса излучения в атмосфере Земли //Оптика атмосферы и океана. – 2000. - №2. - С.179-197.
- [12] Мицель А.А., Фирсов К.М., Фомин Б.А. Перенос оптического излучения в молекулярной атмосфере. Томск: STT, 2001. 444 С.
- [13] Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю., Белов В.В., Серебренников А.Б., Пономарев Ю.Н. Ряды экспонент в расчетах переноса излучения методом Монте-Карло в пространственно неоднородных аэрозольно-газовых средах // Вычислительные технологии 2002. Т. 7. № 5. С. 77-87.

Distributed information-computational system “Atmospheric radiation”

K.M. Firsov, A.Z. Fazliev, T.Yu. Chesnokova,
E.M. Kozodoeva

The internet-accessible distributed information-computational system “Atmospheric radiation” is described. The servers of the system are situated in the Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Tomsk), Volgograd State University, and Ural State University (Ekaterinburg). The created system is aimed at investigations of radiative transfer in the Earth atmosphere, including direct and inverse problems of satellite and ground-based sounding of gaseous composition of the atmosphere.

The Internet resources addresses, prepared by the authors at the project: <http://atrad.atmos.iao.ru>, <http://atmos.physics.usu.ru>, <http://atmos.volsu.ru> и <http://remotesensing.ru>.

* Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ № 07-07-00269).