

## Распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация»

К.М. Фирсов<sup>1</sup>, Т.Ю. Чеснокова<sup>2</sup>, Е.М. Козодоева<sup>2</sup>, А.З. Фазлиев<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет  
400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 100

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Поступила в редакцию 9.12.2009 г.

Представлено описание доступной по сети Интернет распределенной информационно-вычислительной системы «Атмосферная радиация», серверы которой расположены в Институте оптики атмосферы СО РАН (Томск), Волгоградском государственном университете и Уральском государственном университете (Екатеринбург). Данная информационно-вычислительная система не только обеспечивает доступ к данным, но и позволяет проводить расчеты радиационных характеристик атмосферы Земли. Система ориентирована на исследования проблем переноса радиации в атмосфере Земли. Радиационные модели данной ИВС представляют интерес для аспирантов, студентов и специалистов в области атмосферной радиации и климата.

*Ключевые слова:* атмосферная радиация, перенос излучения, информационно-вычислительная система; atmospheric radiation, radiative transfer, information-computational system.

### Введение

Исследования атмосферного радиационного переноса важны по той причине, что нисходящая и восходящая радиация обуславливает как термодинамические процессы в атмосфере, такие как разогрев или охлаждение, так и фотохимические процессы, например диссоциацию озона в стратосфере. Процессы поглощения и испускания радиации зависят от химического состава атмосферы, изменяющегося в зависимости от широты и долготы, а также от высоты (в пределах от 0 до 100 км). Данные о спектральных характеристиках атмосферных молекул для описания этих процессов являются определяющими. Учет рассеяния и поглощения радиации аэрозолями и облаками требует систематизации данных об их типах, границах, химическом составе и других характеристиках.

Доступная в сети Интернет информация по атмосферной радиации существует в виде многочисленных архивных данных, метеорологических и оптических моделей, программ для расчета радиационных характеристик. Например, на сайте ARM [1] 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 [2] содержатся архивы спутниковых данных AIRS/AQUA, такие как

регистрируемая спектральная яркость излучения атмосферы и определенные 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 [3]. Доступны также результаты тестовых расчетов для спутниковых радиометров HIRS, AMSU [4] 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 [5], FASCODE [6], LBLRTM [7] и др., часть из которых в настоящее время доступна через сеть Интернет.

Повышение качества расчетных данных требует все более сложных радиационных моделей. Постоянно возрастающие объемы информации требуют также повышения скорости обработки информации. Так, например, лежащая в основе многих радиационных расчетов современная спектроскопическая база данных HITRAN [8] содержит информацию о более чем 2,5 млн спектральных линий, и в ближайшее десятилетие ожидается ее значительное увеличение в связи с проведением многочисленных расчетов *ab initio* молекулярных спектров. Исследования оптических характеристик аэрозолей и облаков также приводят к увеличению объемов данных, используемых в радиационных расчетах. Помимо этого, разные радиационные модели не только основываются на различных способах расчета, но и требуют различных способов представления входных данных.

\* Константин Михайлович Фирсов (fkm@iao.ru); Татьяна Юрьевна Чеснокова (ches@iao.ru); Елена Михайловна Козодоева; Александр Зарипович Фазлиев (faz@iao.ru).

К радиационным моделям предъявляются противоречивые требования: высокая скорость и высокая точность. Для повышения точности усложняются алгоритмы расчета, добавляются новые связи с программным обеспечением смежных научных дисциплин. Такая ситуация создает ряд трудностей для конечного пользователя в использовании как информационных, так и вычислительных ресурсов в его непосредственной работе. Следует также обратить внимание на то, что в настоящее время имеется огромное число публикаций по рассматриваемой тематике. Все это приводит к тому, что даже специалисты в области атмосферной оптики не всегда могут ориентироваться в этой информации. В связи с этим возникла необходимость создания сайта по атмосферной радиации, содержащего в доступном виде информацию о потоках солнечной радиации, аэрозольных и метеорологических характеристиках атмосферы, а также программ расчета атмосферного радиационного переноса излучения.

В 2001 г. в ИОА СО РАН была начата работа по созданию информационно-вычислительной системы «Атмосферная радиация» [9–11] в рамках двух проектов. В ней участвовали исследователи из ИВМ РАН и ГГО, предоставив свои модели для публичного доступа [12, 13]. В 2007 г. начался новый проект, объединивший несколько организаций: ИОА СО РАН, РИЦ «Курчатовский институт», Уральский и Волгоградский университеты, итогом которого стала распределенная информационно-вычислительная система (РИВС) «Атмосферная радиация» [10, 11], доступная через Интернет по адресам <http://atrad.atmos.iao.ru>, <http://atmos.physics.usu.ru>, <http://atmos.volsu.ru>

## **Общая характеристика РИВС «Атмосферная радиация»**

РИВС «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 о предметных областях атмосферных наук с исследовательскими базами данных, моделями и аналитическим инструментарием для прямого использования и визуализации данных.

Работы по созданию промежуточного программного обеспечения (ППО) и со средствами 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 подготовлен портал по атмосферным наукам, включающий в себя 6 информационных систем по таким предметным областям, как атмосферная спектроскопия, радиация, химия, климат, погода и др. [9]. 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 которым связаны каталогизаторы информационных ресурсов ИВС, словари ссылок на информационные ресурсы, система управления контентом и т.д. Открытые стандарты W3C (XML, RDF, OWL и др.) положены в основу его создания. Программное обеспечение для формирования РИВС (промежуточное программное обеспечение, система управления рабочими потоками, система формирования интерфейсов и т.д.), созданное в проекте РФФИ [14, 15], используется в описываемом проекте.

Комплексный подход при создании ИВС, в рамках которого одна часть вычислений проводится на стороне клиента, а другая — на стороне сервера, применится нами в задачах графической обработки предметных данных.

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. На практике 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 [16]. В РИВС «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, решенных пользователем на сервере.

В настоящее время РИВС «Атмосферная радиация» включает следующие группы предметных данных:

— Базу данных аэрозольных статистических моделей на основе моделей Крекова—Рахимова [17, 18]. Реализована возможность использования среднециклической модели Крекова—Рахимова при расчетах переноса радиации «радиационным блоком ИОА».

— Архивы оптических характеристик облаков на основе параметризации У.Х. Ну и К. Stamnes [19] и А. Slingo и Н.М. Scherker [20]. Создан интерфейс, обеспечивающий вычисление коэффициентов ослабления, альбедо 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.

— Базу данных по оптическим характеристикам аэрозоля и облаков для Северного полушария Земли. База создана на основе спутниковых данных [21]. В этом разделе сайта пользователю предоставляется возможность просмотра данных в табличном и графическом представлении. В интерфейсе для входных параметров задаются широта, долгота и месяц года. Выборка данных из базы данных производится

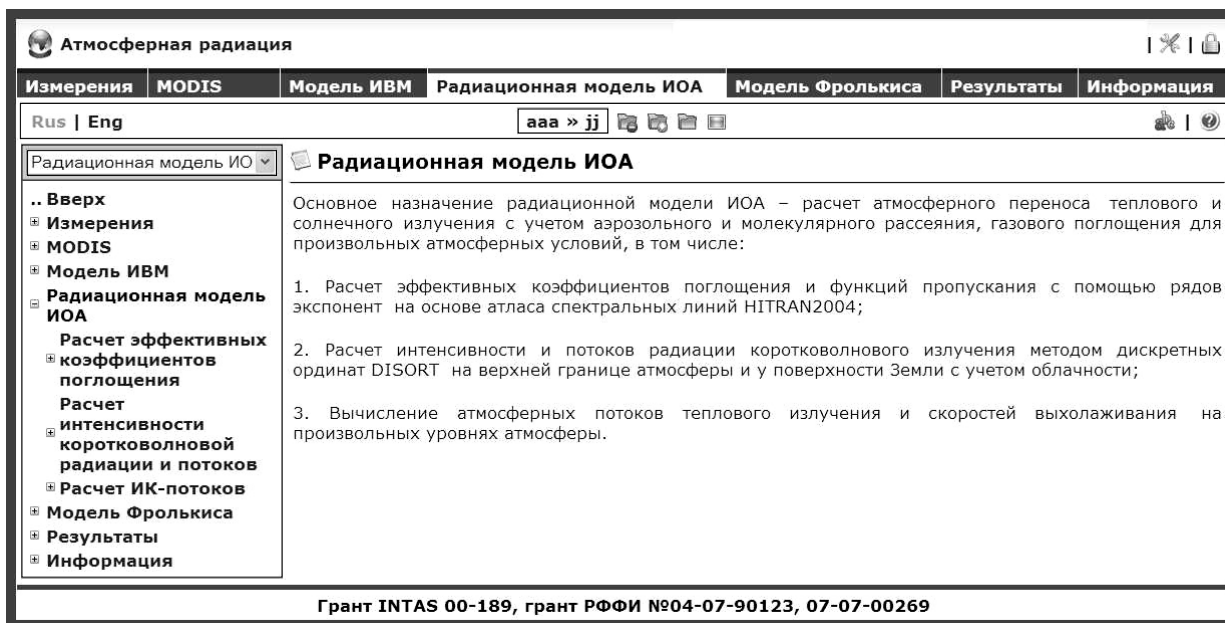


Рис. 1. Интерфейс информационно-вычислительной системы «Атмосферная радиация»

с помощью запроса на языке MySQL. Пользователь, имея в распоряжении такую базу данных, может при формировании своих наборов данных опираться на справочную информацию и учитывать региональные особенности аэрозольных и облачных характеристик.

РИВС «Атмосферная радиация» (рис. 1) включает несколько моделей расчета атмосферного переноса теплового и солнечного излучения с учетом аэрозольного и молекулярного рассеяния, газового поглощения для произвольных атмосферных условий, в том числе:

а) Модель расчета восходящих и нисходящих спектральных потоков и интенсивности коротковолнового излучения на верхней и нижней границах атмосферы. При решении уравнения переноса излучения используется пакет программ DISORT [5]. Молекулярное поглощение учитывается на основе рядов экспонент, параметры которых рассчитываются прямым методом *line-by-line* [22]. Пользователю предоставляется выбор параметров линий атмосферных газов из различных спектроскопических банков данных. Для этого организована связь с РИВС «Молекулярная спектроскопия» (<http://saga.atmos.iao.ru>).

б) Модель расчета длинноволновых восходящих и нисходящих потоков радиации, а также скорости радиационного выхолаживания атмосферы на произвольных уровнях по высоте. Расчет производится в тепловом диапазоне спектра от 0 до  $3000\text{ см}^{-1}$  со спектральным разрешением  $20\text{ см}^{-1}$  для атмосферных высот от 0 до 100 км для различных метеомоделей.

Разработан интерфейс для расчета интегральных потоков радиации для моделей ИВМ РАН [12] и модели V.A. Frolkis [13]. Данные радиационные блоки дают возможность рассчитать восходящие и нисходящие интегральные потоки радиации, а также скорость радиационного выхолаживания атмосферы.

## Радиационная модель переноса оптического излучения в атмосфере

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 расчета *line-by-line*. Однако такие методы очень трудоемки даже для современных ЭВМ. По этой причине необходимы эффективные методы повышения скорости вычислений. Для проведения радиационных расчетов необходима информация о газово-аэрозольном составе атмосферы, облачности, подстилающей поверхности, метеорологическом состоянии и т.п.

Следует особо отметить, что стремление повысить скорость расчета переноса радиации приводит к использованию различного рода аппроксимаций и, как следствие, к различным способам представления исходной информации, поэтому 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.

Из-за трудоемкости прямые методы расчета имеют ограниченное применение, поэтому для задач, требующих высокой скорости и некритичных по точности, было решено использовать архивы *look up table*, а для широкополосных радиометров — метод рядов экспонент, параметры которых рассчитываются на основе метода *line-by-line*.

Разложение функции пропускания, обусловленной молекулярным поглощением, в ряд экспонент [23–26] позволяет решить некоторые проблемы,

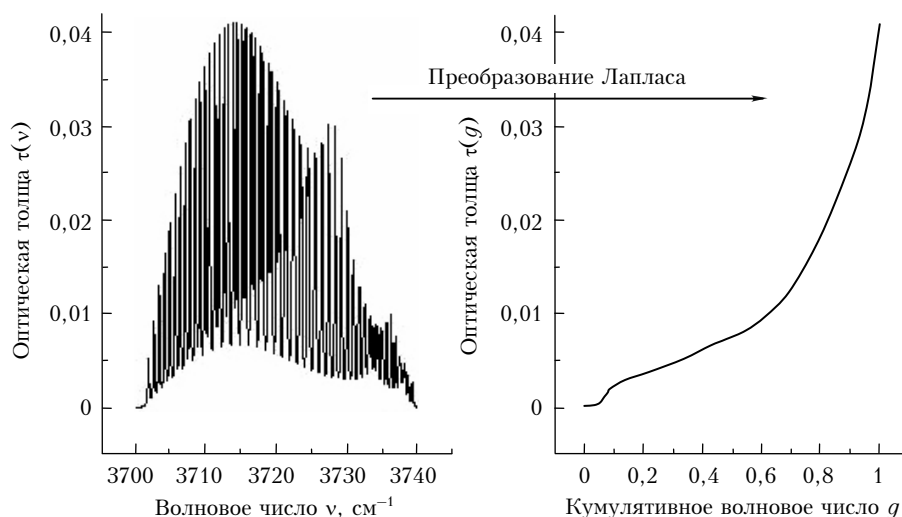


Рис. 2. Преобразование Лапласа спектра поглощения

возникающие при численных расчетах: оно описывает функцию пропускания с высокой точностью (отличие от прямого счета в среднем составляет ~1%), является малопараметрическим (число членов ряда не превышает 5–7) и имеет экспоненциальную функциональную зависимость, как и при расчетах *line-by-line*, что обеспечивает удобство его применения в различных вычислительных схемах, когда существен учет многократного рассеяния [24].

Для разложения функции пропускания в ряд экспонент используется преобразование Лапласа. Оно позволяет перейти от быстроменяющегося коэффициента молекулярного поглощения к эффективному коэффициенту поглощения, описываемому гладкой, монотонно-возрастающей функцией, и на несколько порядков уменьшить число точек при ее численном интегрировании. На рис. 2 приведен графический пример такого преобразования.

Развиваемый нами подход для расчета потоков радиации основан на модификации метода *k*-распределения, одновременно учитывающего все газы. Термин «*k*-распределение» [25], используемый вместо термина «ряды экспонент», появился в зарубежных публикациях. 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 такая функция распределения оказывается зависящей от термодинамических параметров атмосферы. Спектр поглощения в приземном слое значительно отличается от спектра поглощения на больших высотах, поэтому метод *k*-распределения дает погрешности до 5% при описании функций пропускания. Нами разработан метод учета перекрытия полос разных газов [26, 27], который позволяет свести эту ошибку к минимуму.

В наших работах [24, 25] 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.

Радиационные характеристики атмосферы определяются в несколько этапов. Сначала рассчитываются вертикальные профили коэффициентов молекулярного поглощения с высоким спектральным разрешением методом *line-by-line*, использующим спектральные линии поглощения атмосферных газов из БД HITRAN, а затем 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 аэрозолем 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 практически любого метода. Мы выбрали метод дискретных ординат DISORT [5], так как он сочетает в себе высокую скорость и хорошую точность вычислений.

В ИВС «Атмосферная радиация» представлена радиационная модель ИОА, основанная на расчете:

- 1) эффективных коэффициентов молекулярного поглощения и функций пропускания, обусловленных молекулярным поглощением, с использованием рядов экспонент и метода *line-by-line*;
- 2) коротковолновых интенсивностей и потоков радиации на основе разложения в ряд экспонент;
- 3) длинноволновых потоков и притоков радиации.

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.

Поскольку для расчета эффективных коэффициентов поглощения используется прямой метод счета *line-by-line*, то для повышения скорости вычислений используется многосеточный метод [25], разработанный Б.А. Фоминым, что позволяет на 2–3 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 [6], позволяет добиться более высокой скорости счета и не имеет ограничений на форму контура спектральной линии.

Достоинство нашего подхода состоит не только в том, что расчеты полей интенсивностей проводятся непосредственно в ИВС, имеющей дружественный интерфейс, но также и в том, что применение современных методов к параметризации молекулярного поглощения позволяет легко переходить от одной версии спектроскопической базы данных к другой.

## Интерфейс для расчета переноса радиации в атмосфере Земли

Все входные параметры описываемой нами радиационной модели делятся на две группы. Первая группа параметров может задаваться и изменяться пользователем, а вторая представлена в системе в виде встроенных моделей.

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

- «начальные условия», в которых задаются общие параметры расчета (рис. 3, *а*) (число слоев, на которые разбита атмосфера, число гауссовских квадратур для расчета эффективных коэффициентов поглощения, альbedo поверхности, зенитный и азимутальный углы Солнца, зенитный угол трассы, число азимутальных углов приемника), полярные углы приемника, тип аппаратной функции и ее параметры, а также возможность учитывать или не учитывать при расчетах облачность;

- «параметры атмосферы» (рис. 3, *б*), где пользователь может выбрать метеомодель и задать ее настройки, в которые входит список газов, учитываемых в расчетах;

- «спектроскопические данные», где происходит взаимодействие с ИВС «Атмосферная спектроскопия» (<http://saga.atmos.iao.ru>), в результате которого пользователь может выбрать интересующий его банк данных, содержащий параметры спектральных линий для выбранных им газов при настройке параметров атмосферы;

- «параметры аэрозоля», которые позволяют выбрать аэрозольную модель (Крекова–Рахимова [10] или произвольную) и задать высотные профили коэффициента аэрозольного ослабления и альbedo однократного рассеяния для аэрозоля, а также задать параметры индикатрисы рассеяния в случае выбора произвольной аэрозольной модели;

- «модель облачности» – часть интерфейса, которая 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.

На сайте имеется возможность расчета восходящих и нисходящих длинноволновых потоков радиации, а также скорости радиационного выхолаживания атмосферы на произвольных уровнях по высоте от 0 до 100 км для различных метеомоделей. Пользователю предоставляется выбор из 5 моделей континуума водяного пара: RSB [28], ARF [29], CKD1, CKD2.4 [30], MT\_CKD [31, 32]. Расчет производится в тепловом диапазоне спектра от 0 до 3000 см<sup>-1</sup> со спектральным разрешением 20 см<sup>-1</sup>.

Параметры расчета	
Число случаев, 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°)	60
Азимутальный угол Солнца (0–180°)	0
Зенитный угол трассы (0–180°)	120
Число азимутальных углов приемника (1–3)	3
Учитывать облачность	<input checked="" type="checkbox"/>

*а*

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

*б*

Рис. 3. Интерфейсы задания «начальных условий» (*а*) и «параметров атмосферы» (*б*)

Высота (км)	Восходящий поток ИК-радиации (Вт/м <sup>2</sup> )	Нисходящий поток ИК-радиации (Вт/м <sup>2</sup> )	Суммарный поток (Вт/м <sup>2</sup> )	Скорость радиационного выхолаживания атмосферы (К/день)
1	410.184	308.297	101.887	2.1542
2	394.364	265.642	128.722	2.3783
3	378.271	224.712	153.559	1.8917
4	361.632	188.15	173.481	2.1338
5	347.316	157.789	189.527	1.7913
6	334.998	131.731	203.267	1.7541
7	323.738	108.25	215.488	1.7065
8	313.983	87.4361	226.547	1.7554
9	305.738	69.1105	236.628	1.8027
10	298.902	51.9584	246.944	2.2178
11	293.827	36.884	256.943	2.2449
12	289.451	26.2987	263.153	1.5581
13	286.033	21.3307	264.703	0.4408
14	283.87	19.418	264.452	-0.0824
15	282.687	18.0445	264.642	0.0707

Рис. 4. Интерфейс для вывода результатов расчета длинноволновых потоков радиации и скоростей радиационного выхолаживания атмосферы

Результаты расчета потоков представляются в табличном виде (рис. 4).

### Заключение

В результате шестилетней работы при поддержке РФФИ (гранты № 04-07-90123, 07-07-00269) была создана РИВС «Атмосферная радиация», содержащая информацию об аэрозольных и метеорологических характеристиках атмосферы, а также модели для расчета радиационных характеристик атмосферы Земли.

Все модели, представленные на сайте, прошли тестирование на основе независимых расчетов и литературных данных. Была проведена интеркалибровка радиационной модели ИОА с пакетом программ, основывающимся на методе Монте-Карло [33]. Расхождения между расчетами не превышали 1–3%.

1. *The Atmospheric Radiation Measurement Program*, URL: <http://www.archive.arm.gov/about.html>
2. *Atmospheric Infrared Sounder, Jet propulsion laboratory*, URL: <http://airs.jpl.nasa.gov>
3. *Halthore R.N., Crisp D., Schwartz S.E., Anderson G.P., Berk A., Bonnel B., Boucher O., Chang F.-L., Chou M.-D., Clothiaux E.E., Dubuisson P., Fomin B., Fouquart Y.,*

*Freidenreich S., Gautier C., Kato S., Laszlo I., Li Z., Mather J.H., Plana-Fattori A., Ramaswamy V., Ricchiuzzi P., Shiren Y., Trishchenko A., Wiscombe W.* Intercomparison of shortwave radiative transfer codes and measurements // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. N 11. D11206.

4. *International TOVS Group*, Intercomparison of forward and Jacobian radiative transfer models for HIRS and AMSU channels, URL: <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/intercomparison/>
5. *DISORT* ([ftp://climate.gsfc.nasa.gov/pub/wiscombe/Multiple\\_Scatt](ftp://climate.gsfc.nasa.gov/pub/wiscombe/Multiple_Scatt)).
6. *Wang J., Anderson G.P.* Validation of FASCOD and MODTRAN3: Comparison of Model Calculations with Interferometer Observations from SPECTRE and ITRA, in *Passive Infrared Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere* // *Proc. SPIE.* 1994. V. 2309. P. 170–183.
7. *Radiative Transfer Working Group*, Line-by-line Radiative Transfer Model, URL: [http://rtweb.aer.com/lblrtm\\_frame.html](http://rtweb.aer.com/lblrtm_frame.html)
8. *Center for Astrophysics, HITRAN*, URL: <http://cfa-www.harvard.edu/hitran>
9. *Gordov E.P., Fazliev A.Z., Lykosov V.N.* Web portal on environmental sciences «ATMOS» // *Adv. Geosci.* 2006. V. 8. P. 33–38.
10. *Фирсов К.М., Фазлиев А.З., Сакерин С.М., Журавлева Т.Б., Фомин Б.А., Захаров В.И.* Информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация».

- Современное состояние, перспективы развития // Тр. 9-й Всерос. научн. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL'2007. Переславль-Залесский, 2007. Ч. 1. С. 62–66.
11. *Фирсов К.М., Фазлиев А.З., Чеснокова Т.Ю., Козодоева Е.М.* Распределенная информационно-вычислительная система «Атмосферная радиация» // XI Всерос. научн. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции»: Материалы конференции. г. Петрозаводск 17–21 сентября 2009 г. С. 393–399.
  12. *Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лыкозов В.Н.* Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. Описание модели A5421 версии 1997 года и результатов эксперимента по программе АМІР П. М.: ВИНИТИ, 1998, URL: <http://climate.atmos.iao.ru/serv/mono/mod/>
  13. *Frolkis V.A., Rozanov E.V.* Radiation Code for Climate and General Circulation Models // IRS'92 Current problems in Atmospheric Radiation / Ed. S. Keavallik. A. DEERPAK Publishing. Hampton, VA 23666, U.S.A., 1993. С. 176–179.
  14. *Фазлиев А.З.* Развитие информационных систем в ИОА СО РАН // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 10. С. 988–992.
  15. *Промежуточное программное обеспечение, средства создания и поддержки информационно-вычислительных систем.* Грант № 06-07-89201.
  16. *Лаврентьев Н.А., Фазлиев А.З.* Учет вмешательства в системах управления потоками работ // Вычисл. технол. Спец. выпуск. 2008. Т. 13. № 3. С. 12–18.
  17. *Креков Г.М., Рахимов Р.Ф.* Оптические модели атмосферного аэрозоля. Томск: Изд. ТНЦ СО АН СССР, 1986. 294 с.
  18. *Креков Г.М., Рахимов Р.Ф.* Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 198 с.
  19. *Hu Y.X., Stammes K.* An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models // J. Climate. 1993. V. 6. N 4. P. 728–742.
  20. *Slingo A.A.* GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds // J. Atmos. Sci. 1989. V. 46. N 10. P. 1419–1427.
  21. *MODIS Atmosphere.* URL: [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD06\\_L2/index.html](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD06_L2/index.html)
  22. *Mitsel' A.A., Ptashnik I.V., Firsov K.M., Fomin B.A.* Efficient technique for line-by-line calculating the transmittance of the absorbing atmosphere // Atmos. and Ocean. Opt. 1995. V. 8. N 10. P. 847–850.
  23. *Firsov K.M., Mitsel A.A., Ponomarev Yu.N., Ptashnik I.V.* Parametrization of transmittance for application in atmospheric Optics // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1998. V. 59. N 3–5. P. 203–213.
  24. *Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю., Белов В.В., Серебрянников А.Б., Пономарев Ю.Н.* Ряды экспонент в расчетах переноса излучения методом Монте-Карло в пространственно неоднородных аэрозольно-газовых средах // Вычисл. технол. 2002. Т. 7. № 5. С. 77–87.
  25. *Мицель А.А., Фирсов К.М., Фомин Б.А.* Перенос оптического излучения в молекулярной атмосфере. Томск: STT, 2001. 444 с.
  26. *Чеснокова Т.Ю., Фирсов К.М., Воронина Ю.В.* Применение рядов экспонент при моделировании широкого спектра потоков солнечного излучения в атмосфере Земли // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20. № 9. С. 799–804.
  27. *Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю.* Новый метод учета перекрытия полос поглощения атмосферных газов при параметризации уравнения переноса // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 4. С. 410–415.
  28. *Robert R., Selby J., Biberman L.* Infrared Continuum Absorption by Atmospheric Water Vapor in the 8–12- $\mu$ m Window // Appl. Opt. 1976. V. 15. N 9. P. 2085–2090.
  29. *Arefiev V.N.* Molecular absorption and extinction of infrared emission at the atmosphere: Thesis for a Doctor's degree, 1990.
  30. *Clough S., Kneizis F., Davies R.* Line Shape and the Water Vapor Continuum // Atmos. Res. 1989. N 23. P. 229–241.
  31. *Mlawer E.J., Clough S.A., Brown P.D., Tobin D.S.* Collision-induced effects and the water vapor continuum // Proc. the Eighth ARM Science Team Meeting. Tuscon, Arizona, 1998. P. 503–511.
  32. *Continuum Model, Radiative Transfer Working Group.* URL: [http://rtweb.aer.com/continuum\\_description.html](http://rtweb.aer.com/continuum_description.html)
  33. *Журавлева Т.Б., Фирсов К.М.* Алгоритмы расчетов спектральных потоков солнечной радиации в облачной и безоблачной атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 11. С. 903–911.

*К.М. Фирсов, Т.Ю. Чеснокова, Е.М. Козодоева, А.З. Фазлиев. The distributed information-computational system «Atmospheric radiation».*

The internet-accessible distributed information-computational system «Atmospheric radiation» is described. The servers of the system are situated at the Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Tomsk), Volgograd State University, and Ural State University (Ekaterinburg). The information-computational system not only provides an access to data, but allows calculating the radiative characteristics of the Earth atmosphere. The system is aimed at investigations of radiative transfer in the Earth atmosphere. The radiative models of the system are interesting for post-graduate students, students and specialists in an area of the atmospheric radiation and climate.