

А.Г. Гендрин, Е.И. Поспелова

## ИНФОРМАЦИОННО-ДИАЛоговая СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

В работе описана информационно-диалоговая система, предназначенная для тематической обработки данных дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности в окнах прозрачности. ИДС позволяет в диалоговом режиме рассчитывать коэффициент ослабления атмосферы, функцию пропускания, оптическую толщину, интенсивность излучения системы «атмосфера – подстилающая поверхность» и отдельных ее компонент в обычных условиях и в условиях разорванной облачности. Разработка ИДС в виде совокупности имеющих однотипную структуру блоков оставляет ее гибкой, открытой для дополнения и модификации.

### Введение

Широкое использование в народном хозяйстве данных дистанционного зондирования земной поверхности, морей и океанов, атмосферы с летательных аппаратов обуславливают актуальность задач интерпретации результатов измерений. Необходимыми этапами при обработке являются раскодировка получаемой информации, ее географическая и временная привязка и тематическая обработка. В настоящей работе предлагается описание создаваемой информационно-диалоговой системы (ИДС), использование которой позволяет производить тематическую обработку данных дистанционного зондирования параметров подстилающей поверхности и атмосферы в ИК окнах прозрачности.

ИДС представляет собой программный продукт, разработанный с использованием идеологии информационно-поисковых и диалоговых систем. Оснащение ИДС системой исходных данных, содержащей, с одной стороны, каталоги исходной спектроскопической информации, коэффициентов континуального поглощения и метеомоделей, а с другой стороны – программное обеспечение для манипулирования этими данными, позволяет отнести ее к разряду информационно-поисковых систем [1]. ИДС предназначена для расчета таких характеристик, как коэффициент ослабления, функция пропускания, оптическая толщина атмосферы, интенсивность излучения системы «атмосфера – подстилающая поверхность» и отдельных ее компонент, поправки к радиационной температуре.

Включенные в ИДС элементы диалога представляют собой:

- а) пронумерованный список атмосферных характеристик для указания системе требуемой функции;
- б) список параметров расчета выбранной характеристики для задания их значений.

ИДС функционирует в среде операционной системы СВМ (система виртуальных машин), управляющей работой ЕС ЭВМ. В СВМ ЕС реализована концепция множества виртуальных машин, каждая из которых является функциональным эквивалентом реальной ЭВМ, моделируемых при помощи реальных технических средств и программ СВМ и работающих под управлением ориентированной на обслуживание одной виртуальной машины операционной системы ПДО (подсистема диалоговой обработки) [2]. Для реализации элементов диалога использовались работающие в среде ПДО СВМ средства диалога с прикладной программой (PANEL). Эти средства позволяют определить форматированный экран, в котором выделяются приглашения (некий зафиксированный текст на экране, не изменяемый из прикладной программы) и поля ввода, в которые прикладная программа может помещать данные и считывать их в процессе диалога. PANEL может вызываться из программ на ФОРТРАНЕ, ПЛ-1, а также из процедур, написанных на ЕХЕС, универсальном языке программирования высокого уровня, работающем в среде ПДО.

### Состав и структура ИДС

В составе ИДС выделяются две компоненты: информационное обеспечение (ИО) и программное обеспечение (ПО). Рассмотрим каждую из этих компонент.

Информационное обеспечение ИДС. ИО ИДС состоит из трех каталогов: исходной спектроскопической информации, коэффициентов континуального поглощения и метеомоделей. Рассмотрим каждый из них.

Каталог исходной спектроскопической информации предназначен для решения задач моделирования характеристик поглощения молекулярными составляющими атмосферы и содержит параметры по семи газовым компонентам. За основу взята наиболее известная и используемая компиляция Кембриджской научно-исследовательской лаборатории ВВС [3], но в отличие от нее в данном каталоге представлена только информация, необходимая для численного моделирования оптических характеристик атмосферы, а именно: частоты центров линий, интенсивности и полуширины, приведенные к

температуре 296°K, энергии нижнего состояния и признаки изотопов. Индекс молекулы не задается. Специальная упаковка и отбор информации для конкретного круга задач позволили довести объем оперативной памяти на хранение параметров одной линии с 80 до 16 байт. Каталог хранится на магнитном диске, информация сгруппирована в записи, каждая запись содержит параметры по 448 спектральным линиям. Размер записи определялся из удобства пользования каталогом при обращении к магнитному диску в режиме прямого доступа. Описываемый каталог обслуживается рядом сервисных программ, осуществляющих заполнение каталога, считывание, изменение и дополнение информации, восстановление с магнитной ленты. Более подробное описание каталога содержится в [4]. Следует отметить, что каталог прост в эксплуатации, надежен (контролируется правильность занесения и считывания информации), допускает быстрое восстановление.

В каталоге непрерывного поглощения хранится информация по коэффициентам поглощения водяным паром для случаев самоуширения и уширения азотом, рассчитанная по-линейно по формулам обобщенного контура спектральных линий. Параметры тонкой структуры водяного пара берутся из каталога, описанного в [4]. Коэффициенты рассчитаны для двадцати одной частоты в окнах прозрачности и для восемнадцати температур реперного профиля, т. е. заданного профиля, значения которого имеют место в реальных условиях земной атмосферы для интервала от 220 до 310°K. В каталоге для каждой составляющей коэффициента поглощения хранится следующая информация: значения узлов частотной сетки; реперный профиль температур; значения коэффициентов поглощения (приведенные к единичному давлению); коэффициенты интерполяционных кубических сплайнов; параметры размерности равномерных частотной и температурной сеток. Следует отметить, что описанный каталог может быть использован для определения характеристик ослабления атмосферой при решении широкого круга задач, когда необходим учет поглощения водяным паром.

Каталог метеомоделей содержит информацию по профилям давлений, температур, влажности и концентрации озона для следующих метеомоделей: тропики; лето средних широт; зима средних широт; лето — арктика; зима — арктика; USA — 1962; данные метеостанций. Эта информация хранится в файле прямого доступа, одна запись описывает одну метеорологическую ситуацию. Такая структура каталога обусловлена удобством использования при численных расчетах.

Программное обеспечение ИДС. ПО ИДС написано на языке программирования ФОРТРАН-4 с использованием работающих в среде ПДО/СВМ средств диалога с прикладной программой (PANEL), каждая программа хранится в виде абсолютного модуля. Процедура, написанная на языке EXEC, начинает диалог с пользователем (реализованный также с помощью PANEL), заключающийся в следующем: пользователю предлагается список функций ИДС (пронумерованное «меню») и после указания требуемой начинается работать выполняющая эту функцию программа. В существующую версию ИДС входит восемь программ, выполняющих расчет:

- 1) коэффициента ослабления атмосферой;
- 2) функции пропускания атмосферой;
- 3) оптической толщи атмосферы;
- 4) интенсивности излучения атмосферы;
- 5) интенсивности излучения подстилающей поверхности;
- 6) интенсивности излучения системы «атмосфера — подстилающая поверхность»;
- 7) поправки к радиационной температуре;
- 8) интенсивности излучения системы «атмосфера — подстилающая поверхность» в условиях разорванной облачности.

Следует отметить, что ИДС позволяет вычислять все эти характеристики с произвольным разрешением по спектру, в любом частотном диапазоне окон прозрачности, при любых метеорологических ситуациях и трассах распространения излучения.

Все программы написаны с использованием структурного подхода к программированию и имеют однотипное строение. На рис. 1 приведена структура программы расчета интенсивности излучения атмосферы, структуры остальных программ ничем не отличаются от этой.

Отметим сначала общие черты, присущие всем программам, а затем более подробно рассмотрим особенности каждой из них. Каждая программа в первую очередь в диалоговом режиме получает от пользователя необходимые для вычисления требуемой характеристики значения и передает их подпрограммам ввода параметров расчета. Для различных функций требуются различные совокупности параметров. Для расчета коэффициента ослабления, функции пропускания и оптической толщи атмосферы требуется указать метеорологическую ситуацию, диапазон осреднения по частоте в котором будет вестись интегрирование, угол визирования и относительную погрешность численного интегрирования. Для расчета интенсивности излучения системы «атмосфера—подстилающая поверхность» в обычных условиях, отдельных ее компонент и поправки к радиационной температуре нужно добавить еще один параметр — температуру подстилающей поверхности. А для расчета интенсивности системы в условиях разорванной облачности в дополнение к вышеперечисленным параметрам указываются еще и объемный коэффициент ослабления облачным слоем, балл облачности, вероятность покрытия облачным слоем и выраженная в километрах высота облачного слоя. После этого происходит генерация соответствующих введенным параметрам констант — приведение в соответствие размерностей, учет геометрии расчета, вычисление дополнительных констант для оптимизации расчета.

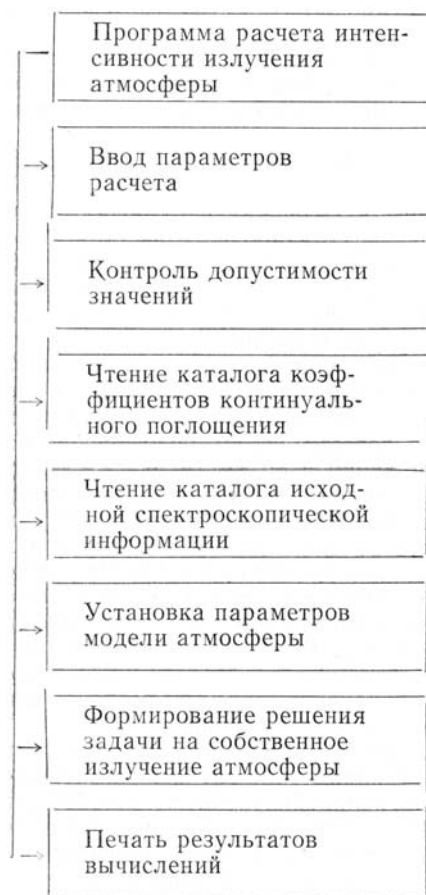


Рис. 1. Структура программы расчета интенсивности излучения атмосферы

Подпрограмма контроля допустимости значений проверяет значения введенных параметров расчета и производных величин (некоторые геометрические параметры расчета, траектории излучения) на соответствие выбранной пользователем модели.

Подпрограмма чтения каталога коэффициентов континуального поглощения осуществляет обращение к магнитному диску для считывания хранящихся там значений приведенных к одинаковой размерности коэффициентов поглощения. Считывание ведется обычными средствами языка ФОРТРАН-4, а структура каталога приведена в описании ИО ИДС.

Подпрограмма чтения каталога исходной спектроскопической информации осуществляет обращение к магнитному диску для считывания информации по параметрам тонкой структуры спектров атмосферных газов. Как и в предыдущей подпрограмме, считывание ведется обычными средствами языка, структура каталога также описана ранее. Следует особо отметить, что ввиду большого объема каталога читаются только те его записи, в которых содержится информация, соответствующая условиям расчета, определенным пользователем при вводе параметров. Проверка на соответствие заключается в следующем: если значения элементов помещенного в начало каждой записи массива частот центров линий входят в заданный пользователем интервал, то из такой записи формируются массивы частот центров линий, интенсивностей, полуширин, энергий нижнего состояния и признаков изотопов, в противном случае запись пропускается.

Подпрограмма установки параметров модели атмосферы вычисляет значение, максимального номера слоя в формируемой модели атмосферы и проверяет его на соответствие заданным параметрам.

Подпрограмма формирования решения задачи, так же как и подпрограмма ввода параметров, является специфической для каждой из выполняемых системой функций, но, как уже отмечалось, эти подпрограммы имеют однотипное строение. На рис. 2 представлена структура подпрограммы формирования решения задачи на собственное излучение атмосферы, структуры остальных подпрограмм этого назначения ничем не отличаются.

Далее, аналогично описанию предыдущего уровня, рассмотрим сначала подпрограммы, общие для каждой из выполняемых ИДС функций.

Подпрограмма интегрирования по частоте представляет собой адаптивную квадратурную процедуру, основанную на формуле Ньютона–Котеса восьмого порядка. Эта процедура позволяет получать значения интегралов с указанной пользователем относительной погрешностью за минимально возможное время. Подробное описание этой процедуры содержится в [5].



Рис. 2. Структура подпрограммы формирования решения задачи на собственное излучение атмосферы

Подпрограмма двумерной интерполяции на основе считываемых с магнитного диска коэффициентов непрерывного поглощения и коэффициентов интерполяционного кубического сплайна реализует интерполяцию по двум направлениям — по частотам и температурной сетке — для получения недостающих коэффициентов. Алгоритм интерполяционной схемы описан в [5].

Подпрограмма счета селективного поглощения позволяет учесть реальную структуру спектров ослабления молекулярных компонент атмосферы, активных в заданном диапазоне. Расчет проводится по формулам лоренцевского контура спектральных линий и фойгтовского. При расчете по формуле Фойгта используется методика, основанная на БПФ [6].

Подпрограмма, формирующая численное значение интенсивности излучения подстилающей поверхности, не требуется для расчета коэффициента ослабления, для всех остальных характеристик она необходима. Расчет проводится по формуле Планка.

Поскольку подпрограммы численного представления подынтегральной функции зависят от вида этой функции, то они являются специфическими для каждой характеристики. При расчете коэффициента ослабления используется пакет подпрограмм моделирования коэффициентов поглощения [7, 8]. Функция пропускания атмосферы вычисляется по—линейным методом, при этом используется комплекс программ счета функции пропускания, описанный в [9]. Расчет оптической толщи атмосферы также производится по—линейным методом с помощью комплекса программ для расчета спектрального пропускания [10]. Расчет поправки к радиационной температуре и интенсивности излучения системы «атмосфера—подстилающая поверхность» и отдельных ее компонент в условиях безоблачной атмосферы проводился на основе моделирования оптикоспектральных характеристик атмосферы [11, 12]. Учет разорванной облачности производится по формулам, полученным Г.А. Титовым. [13]. Как уже отмечалось, для проведения расчетов по этим формулам необходимо задание коэффициента объемного ослабления облачного слоя, высоты, балла облачности и вероятности покрытия.

Подпрограммы печати результатов вычислений также зависят от задаваемой функции. Каждая из этих подпрограмм сохраняет результат вычисления затребованной характеристики и значения введенных пользователем параметров расчета.

## Заключение

Описанная ИДС позволяет в диалоговом режиме вести обработку данных, полученных при дистанционном зондировании атмосферы для расчета широкого спектра оптических характеристик. ИДС разработана в виде совокупности имеющих однотипную структуру блоков, вследствие чего она является мобильной, открытой для дополнений и модификации системой. Данная версия системы является первой и, естественно, будет совершенствоваться в направлении расширения выполняемых функций, уточнения и учета новых данных об уже имеющихся функциях.

1. Информационные системы общего назначения. Аналитический обзор систем управления базами данных/Пер. с англ. под ред. Е.Л. Ющенко. — М.: Статистика, 1975. — 472 с.
2. Булко И.М., Дорожко Н.Н., Дудин Л.И. и др. Система виртуальных машин для ЕС ЭВМ: Справочник. — М.: Финанса и статистика, 1985. — 360 с.
3. Mc. Clatchey R.A., Benedict W.S., Clough S.A., et al. Atmospheric Absorption Line Parameters Compilation. — AFCRL-TR-73-0096, 1973, Envir. research pap., № 434.
4. Гендрин А.Г. — В кн.: VII Всес. симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. (Тез. докладов). — Томск: Изд. ТФ СО АН СССР, 1982, с. 93—96.
5. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулдер К. Машинные методы математических вычислений. — М.: Мир, 1980. — 290 с.

6. Гапонов В. А. Пакет подпрограмм быстрого преобразования Фурье с приложениями к моделированию случайных процессов. — Новосибирск, 1976, № 14–76. (Препринт/Ин-т теплофизики СО АН СССР).
7. Гендрин А. Г. Программное обеспечение моделирования непрерывного поглощения. — Томск: ИОА СО АН СССР, 1982. — 30 с. Деп. в ВИНТИ, № 6077–82.
8. Гендрин А. Г. Пакет подпрограмм моделирования коэффициентов поглощения. — Томск: ИОА СО АН СССР, 1982. — 28 с. Деп. в ВИНТИ, № 4192–82.
9. Гендрин А. Г., Фомин В. В. — В кн.: Спектроскопия атмосферных газов и распространение оптических волн. ■ — Томск: ИОА СО АН СССР, 1980, с. 114–123.
10. Гендрин А. Г., Фомин В. В. — В кн.: Спектроскопия атмосферных газов и распространение оптических волн. — Томск: ИОА СО АН СССР, 1980 с. 103–113.
11. Зуев В. Е., Крутиков В. А., Селиванов А. С., Фомин В. В., Гендрин А. Г. — В кн.: Всес. конференция «Биосфера и климат по данным космических исследований». (Тез. докладов). — Баку: ИКИПР АН Аз.ССР, 1982, с. 261–264.
12. Афонин С. В., Гендрин А. Г., Фомин В. В. Атлас интенсивности теплового излучения системы «атмосфера — подстилающая поверхность Земли» в диапазоне 8–13 мкм. Ч. I. Общие принципы построения модели для численных расчетов. — Томск: ИОА СО АН СССР, 1983. — 13 с. Деп. в ВИНТИ, № 6377–83.
13. Титов Г. А. — В кн.: Радиация, облачность, аэрозоль в атмосфере и методы их исследования. Материалы XII совещания по актинометрии. — Иркутск, 1984, с. 177–179.

Институт оптики атмосферы  
СО АН СССР, Томск

Поступила в редакцию  
19 февраля 1988 г.

A. G. Gendrin, E. I. Pospelova. **An Information–Interactive System for Atmospheric Remote Sensing” Data Processing.**

An information–interactive problem–oriented system designed for processing data from remote sounding of the atmosphere and underlying surface in atmospheric windows is discussed.

The proposed software allows atmospheric extinction coefficient, transmittance function, optical depth, and radiation intensity of the «atmosphere — underlying surface» system and its components under standard conditions and in broken cloudiness to be computed in the interactive regime.

The system in question is flexible and open–ended as it represents a set of similarly structured programme blocks.