

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

УДК 555.18+556.25

В.В. Зуев, М.Ю. Катаев, В.Н. Маричев, А.А. Мицель, И.В. Бойченко

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ, АНАЛИЗА И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Поступила в редакцию 30.12.98 г.

Принята к печати 10.03.99 г.

Рассматриваются назначение, структура и принципы построения информационной системы для обработки, анализа и хранения данных стратосферных оптических измерений. Система находится в стадии разработки и предназначена для выявления процессов и закономерностей, связанных с озоном и озоновым слоем в стратосфере.

Для обработки и анализа используются разнородные данные: лидарного зондирования (высотное распределение озона, температуры, отношения рассеяния), пассивного зондирования (общее содержание озона, распределение и общее содержание двуокси азота), а также различные модельные данные.

Представлена функциональная схема системы, рассмотрены взаимосвязи составляющих блоков-подсистем. Описаны алгоритм работы и интерфейс системы. Рассмотрены перспективы развития и дальнейшего совершенствования системы, в том числе использование глобальной компьютерной сети Интернет.

Введение

Изменение климата на планете вызывает повышенное внимание к изучению климатообразующих факторов. Выполненные в последние годы исследования показали, что значительный вклад в развитие и протекание климатических процессов дает стратосфера. Изменение газового состава и наполнение стратосферы аэрозолями приводят в конечном счете к изменению климата. Несмотря на многолетние исследования, проблема взаимодействия и поведения различных компонент стратосферы по-прежнему остается в центре внимания и для своего решения требует привлечения новых высокоточных измерений, совершенных математических методов и алгоритмов, а также создания информационных систем и баз данных.

На Сибирской лидарной станции высотного зондирования ИОА (единственной к востоку от Урала) накоплен богатый экспериментальный материал, полученный при помощи как активного, так и пассивного зондирования. Данные измерений лазерными методами (тропосферный и стратосферный профиль озона, температуры и отношения рассеяния на нескольких длинах волн [1]) в сочетании с данными пассивных методов (общее содержание О₃ и NO₂ и профиль NO₂) позволяют выявить новые закономерности развития и протекания различных атмосферных процессов над г. Томском.

Изучение высотного распределения и динамики атмосферного аэрозоля, температуры и газового состава (О₃ и NO₂) важно для решения ряда задач, связанных с влиянием этих компонент на перенос радиации, фотохимические процессы и др., и, наоборот, влиянием некоторых атмосферных процессов (например, синоптических) на эти компоненты.

В связи с этим начата разработка информационной системы (ИС), которая позволит проводить накопление, обработку и анализ разнородной экспериментальной информации (данные лазерного и пассивного зондирования,

профили газовых компонент и их общее содержание, приземные значения метеопараметров и др.) с целью выявления временных и пространственных закономерностей в поведении изучаемых компонент стратосферы.

Описание информационной системы

Необходимость создания такой ИС, содержащей в себе различные экспериментальные данные (температура, аэрозоль и газовые составляющие атмосферы) и разнотипные исследуемые величины (приземная температура и профиль температуры, общее содержание озона (ОСО), приземный озон и профиль озона и др.), порождается сложными взаимосвязями этих параметров в атмосфере [2–4].

При разработке ИС были поставлены следующие задачи: 1) получить ИС с удобным и понятным (дружественным) интерфейсом; 2) наполнить ИС современными и традиционными методами обработки экспериментальных данных и методами анализа (Фурье-анализ, статистический, пространственно-временной статистический и корреляционный анализы) как измеренных, так и «обработанных» данных (профили озона, температуры и отношения рассеяния, а также ОС озона и двуокси азота); 3) создать архивы экспериментальных и «обработанных» данных для комплексного их использования при решении задач геофизической направленности; 4) добиться наибольшей гибкости ИС с целью решения достаточно широкого круга как обратных задач, так и задач геофизического анализа; 5) иметь быстрый и удобный доступ к различным экспериментальным и «обработанным» данным.

Блок-схема ИС (рис. 1) состоит из следующих программ: 1) «календаря» – программы ввода и выбора из базы данных измеренных или обработанных значений для последующих манипуляций с ними; 2) базы данных; 3) программы обработки выбранной информации;

- 4) программы статистического анализа данных;
- 5) программ составления отчета, печати и графики.

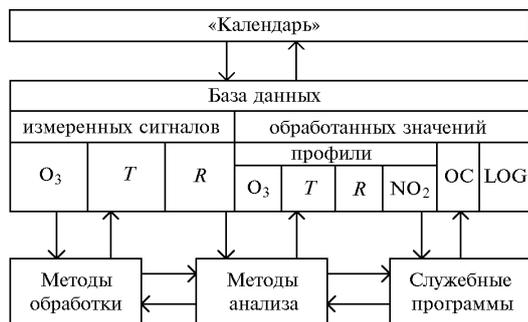


Рис. 1. Блок-схема информационной системы

Заложенные в ИС программы, реализующие диагностику проводимых действий и вычислений, позволяют локализовать и интерпретировать ошибки действий или вычислений для своевременного их обнаружения и устранения.

Рассмотрим функциональное наполнение каждого из блоков ИС и их взаимодействие. Программа «календарь» представляет собой программу считывания, записи и управления информационными потоками на пути от базы данных до «активного» блока (блока, программы которого задействованы пользователем). Настоящая версия ИС содержит простую и наглядную структуру хранения информации (базу данных) об «обработанных» значениях для профилей озона, температуры, отношения рассеяния, об измеренных озонных, температурных и аэрозольных сигналах. Параметры обработки данных хранятся в файлах блока «LOG». Это позволяет при просмотре профилей или других результатов увидеть также информацию о методах и параметрах, с помощью которых эти данные были получены. В блоке «OC» хранится информация об общем содержании газовых компонент атмосферы (общее содержание озона в стратосфере по лидарным данным, из данных M-124 и общем содержании NO₂, полученном при интерпретации данных яркости неба в зените).

Следующим по важности блоком является блок обработки измеренных лидарных сигналов относительно профиля озона, температуры и отношения рассеяния.

Отдельные части блока обработки экспериментальных данных рассмотрим более подробно. Определение профиля озона из лидарных эхосигналов, полученных с помощью лидара дифференциального поглощения, сводится к задаче дифференцирования функции $f(z)$ [5]:

$$f(z) = \frac{1}{2} \ln \frac{U_{of} - U_{of}^\Phi}{U_{on} - U_{on}^\Phi} + \psi(z); \quad (1)$$

$$\psi(z) = \frac{1}{2} \ln \frac{\beta_{on}(z)}{\beta_{of}(z)} - [\tau_{on}(z) - \tau_{of}(z)], \quad (2)$$

где $U_{of}(z)$, $U_{on}(z)$ – зарегистрированные с высоты z эхосигналы на длинах волн λ_{on} , λ_{of} ; $\beta_{on}(z)$ и $\beta_{of}(z)$ – коэффициенты обратного рассеяния на длинах волн λ_{on} , λ_{of} (в нашем случае 308 и 353 нм); $\tau_{on}(z)$, $\tau_{of}(z)$ оптические толщии молекулярного рассеяния и аэрозольного ослабления и мешающих газов (SO₂ и NO₂); $U_{on}(z)$, $U_{of}(z)$ – сигналы фоновой засветки.

Функция $\psi(z)$ в выражении (2) должна определяться из независимого эксперимента либо задаваться из модельных представлений. Концентрация озона определяется из выражения

$$\rho(z) = [1/2K(z, T)] \Phi(z), \quad (3)$$

где $\Phi(z)$ – регуляризованный аналог производной $f'(z)$ функции $f(z)$; $K(z, T) = K_{on}(z) - K_{of}(z)$ – дифференциальное сечение поглощения O₃, T – температура.

Для уменьшения конечной погрешности обрабатываемых эхосигналов в программе предусмотрена процедура «сжатия» сигналов [5]. Эта процедура подразумевает увеличение лидарного высотного строба методом сложения смежных (по высоте) значений стробов и нахождение затем эффективного среднего. Этим достигается уменьшение флуктуаций лидарного сигнала на больших высотах.

При анализе и обработке эхосигналов возникают проблемы, касающиеся искажений сигналов в фоторегистраторе лидара при работе в режиме счета фотонов [7–10], молекулярно-аэрозольной коррекции сигналов. Для их решения необходимо знать профили коэффициентов аэрозольного (α_a , β_p^a) и молекулярного рассеяния (α_m , β_p^m), которые вычисляются либо на основе модельных профилей температуры и давления [11–13], либо на основе экспериментальных профилей, и решения обратной задачи (известно, что задача дифференцирования эмпирических функций относится к классу некорректно поставленных задач [14]).

В настоящее время для решения задачи дифференцирования функции (1) используют различные методы. В работе [6] проведено сравнение трех методов – метода сплайн-функций, метода регуляризации и метода оптимальной параметризации. Показано, что из трех методов в настоящее время наиболее приемлемым является метод сплайн-функций. В данной ИС мы используем метод сплайн-функций, реализованный в пакете Сплайн [15].

Следующим среди методов обработки лидарных сигналов выделим метод восстановления отношения рассеяния, являющегося одной из основных характеристик при описании вертикального распределения аэрозоля. Восстановление вертикальной стратификации аэрозоля (через отношение рассеяния)

$$R(h) = [\beta_m(h) + \beta_a(h)]/\beta_m(h) \quad (4)$$

проводится по наиболее часто встречающейся на практике одноволновой методике (на длине волны 353 нм) с калибровкой сигнала по молекулярному рассеянию [16, 17].

Лазерный метод восстановления температуры основан на использовании явлений молекулярного рассеяния света. При отсутствии эффектов резонансного рассеяния и при незначительной концентрации аэрозолей в атмосфере коэффициент обратного рассеяния $\beta_m \gg \beta_a$ и эхосигнал однозначно связан с коэффициентом молекулярного рассеяния α_m , который, в свою очередь, пропорционален плотности атмосферы. Температура воздуха рассчитывается с помощью уравнений гидростатики и состояния на основе данных о плотности атмосферы. Решение лидарного уравнения относительно коэффициента молекулярного рассеяния найдено в пренебрежении аэрозольным рассеянием, общий вид решения дан, например, в [18].

Следующий блок – «*программы статистического анализа данных*» – предназначен для выявления геофизических закономерностей протекания атмосферных процессов взаимодействия различных компонентов (газы и аэрозоль) с озоном. Для обнаружения этих закономерностей необходимо при помощи статистических методов рассчитать временной ход ОСО и проследить связь его с аэрозольным наполнением атмосферы, с высотой максимума озонного профиля, стратификацией температуры и др. [19–21].

Выявление закона распределения озона в зависимости от высоты, поиск трендов и циклов изменения параметров распределения должны ответить на вопросы, связанные с динамикой озонного профиля и других компонентов атмосферы. Возможно изучение взаимосвязи наземных метеопараметров с параметрами озонного профиля или профиля температуры.

Блок методов анализа позволяет также строить средние профили и высотные матрицы ковариации физических параметров атмосферы. Эта информация, в свою очередь, может быть использована в дальнейшем для обработки различных экспериментальных данных с помощью методов статистической (оптимальной) параметризации [6].

Последний блок – *служебные программы* – предназначен для визуализации данных измерений, результатов обработки и анализа в табличном или графическом виде. Для удобного представления информации расчетов и анализа предусмотрен режим формирования «отчета».

Описание программного продукта

Первый, начальный цикл программы включает в себя следующие этапы:

1) выбор объектов обработки (файлов с данными определенного сеанса зондирования); 2) обработка объектов в автоматическом режиме с параметрами, определенными по умолчанию в конфигурационном файле, например параметрами сжатия, дифференцирования, сглаживания; 3) отображение полученных результатов в графическом или табличном виде.

Итак, пользователь выбирает в блоке «календарь» файлы за те дни, в которые были сеансы зондирования, подтверждает свой выбор и программа выполняет п. 2 и 3.

После выполнения п. 3 на экране строятся высотные профили концентрации озона. Далее, пользователь получает возможность выбора: просмотреть значения оптической толщи, модельного профиля, построить изолинии, изменить параметры обработки, добавить (удалить) объекты. При изменении параметров обработки программа пересчитывает данные и отображает их на графическом элементе – чарте (chart-схема). Таким образом, наглядно представляется непосредственное влияние тех или иных параметров расчета на конечный результат. После каждой итерации у пользователя имеется возможность сохранить полученные результаты или загрузить ранее сохраненные для сравнения и дальнейшей обработки. Основная рабочая панель системы изображена на рис. 2.

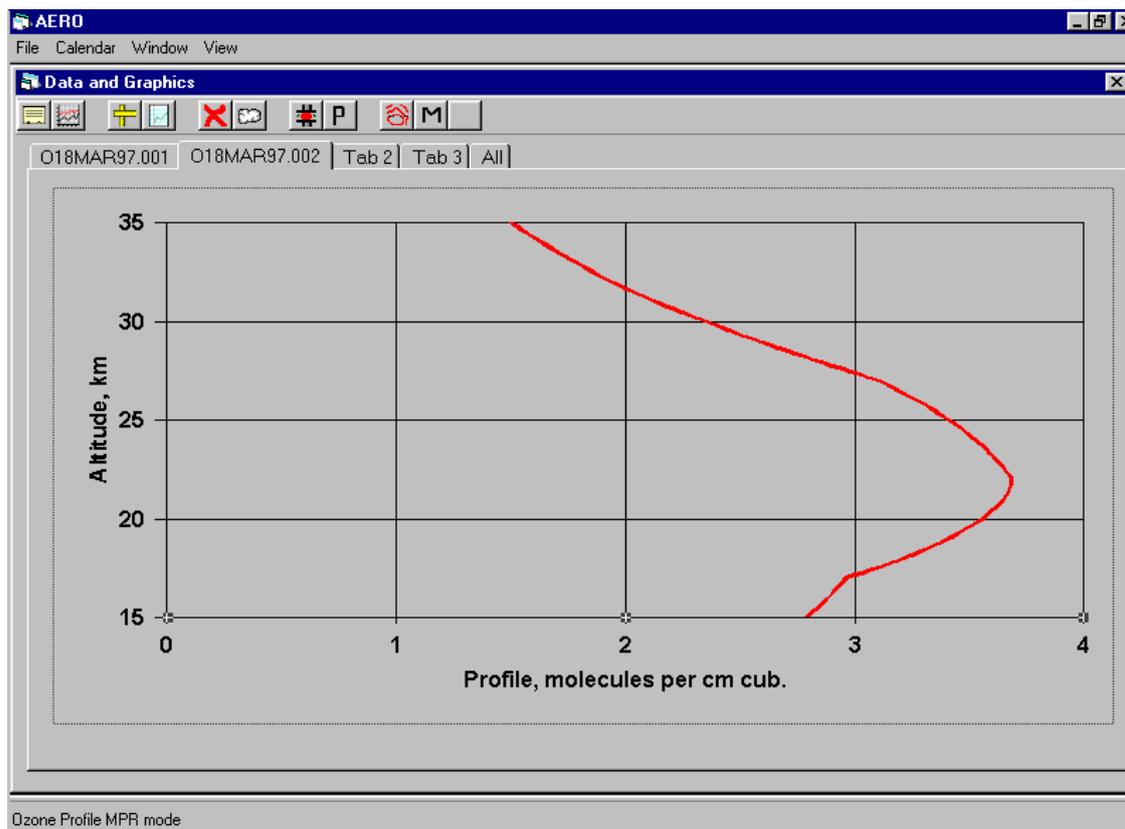


Рис. 2. Основная рабочая панель системы. Профиль концентрации озона

Первоначально при создании системы задумывалось использовать язык программирования Microsoft Visual Basic 4.0. Но во время практической реализации системы

выяснились существенные недостатки этого языка: неоптимальность создаваемого машинного кода, отсутствие достаточных встроенных средств для работы с Интернет-

том. Поэтому в конце 1997 г. было принято решение использовать Microsoft Visual Basic 5.0. К этому моменту было закончено концептуальное проектирование системы. В настоящий момент система создается на объектно-ориентированной основе. В частности, объектом является совокупность данных, методов и параметров, относящихся только к одному файлу (сеансу) исходных данных.

Все процедуры обработки содержатся в подключаемых библиотеках, что значительно упрощает их замену при доводке и отладке пакета уже на этапе эксплуатации. Объект данных передается в процедуры как параметр. Выборка данных для обработки значительно упрощена благодаря возможности объектно-ориентированного программирования.

Процедура обработки выбирает необходимые данные и параметры из объекта и производит над ними соответствующие действия. Результаты действий процедуры заносятся в определенные для этого области данных объекта. Передаваемый параметр выступает также в роли возвращаемого и, являясь объектом в смысле объектно-ориентированного программирования, содержит также механизм проверки корректности заносяемых данных.

После выполнения операций над объектом на уровне методов и алгоритмов обработки объект передается в подсистему графического отображения данных и результатов. Здесь производится построение графиков на графических элементах для каждого объекта.

В настоящий момент производятся отладка и дополнение существующего набора методов обработки данных.

В будущем предполагается дополнить ряд возможностей системы статистическим корреляционным анализом, графическими возможностями, сравнением с другими базами и данными, полученными из других источников.

Так как насущной необходимостью сегодняшнего дня становится задача глобального мониторинга окружающей среды, то рассматриваемая система получит при дальнейшем своем развитии возможность принимать и передавать данные, используя глобальную компьютерную сеть Интернет, стек протоколов TCP/IP и клиент-серверные технологии.

1. Бурлаков В.Д., Зуев В.В., Маричев В.Н. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1022–1027.
2. Атмосферный озон. М.: Наука, 1983. 144 с.
3. Гуцин Г.П., Виноградова Н.Н. Суммарный озон в атмосфере. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 238 с.
4. Розенберг Г.В. Сумерки. М.: Наука, 1969. 350 с.
5. Зуев В.В., Катаев М.Ю., Маричев В.Н., Мицель А.А. // Деп. Изв. вузов Физика. № 11. Рег. № 2672-В94. 25 с.
6. Ельников А.В., Зуев В.В., Катаев М.Ю., Маричев В.Н., Мицель А.А. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 576–587.
7. Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 232 с.
8. Надеев А.И., Щелевой К.Д. // Тез. докл. 8 Всес. симп. по лазерн. и акуст. зондир. атмосферы. Томск, 1984. Т. 2. С. 310–313.
9. Аршинов Ю.Ф., Бобровников С.М., Надеев А.И., Щелевой К.Д. // Тез. докл. 8 Всес. симп. по лазерн. и акуст. зондир. атмосферы. Томск, 1984. Т. 2. С. 280–282.
10. Астафуров В.Г., Мицель А.А. Особенности обработки лидарных сигналов при измерении газовых примесей атмосферы // Автометрия. 1984. Т. 1. С. 92–97.
11. Зуев В.В., Катаев М.Ю., Маричев В.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 9. № 9. С. 638–645.
12. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 199 с.
13. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптические модели атмосферы. Томск: Изд-е ТФ СО АН СССР, 1982. С. 153.
14. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 255 с.
15. Катаев М.Ю., Мицель А.А. // Изв. вузов. Физика. 1992. Т. 11. Деп. в ВИНТИ, рег. Т1186-В92. 37 с.
16. Бурлаков В.Д., Зуев В.В., Ельников А.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 10. С. 1496–1500.
17. Laser monitoring of the Atmosphere / Ed. by E.D. Hinkley. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 312 p.
18. Катаев М.Ю., Матвиенко Г.Г., Мицель А.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 5. С. 642–646.
19. Матвеев Л.Т. Общий курс метеорологии. Л.: Гидрометеоздат. 1976. 639 с.
20. Кузнецов Г.И., Красовский А.Н., Людчик А.М. и др. // Оптический журнал. 1993. № 3. С. 24–27.
21. Александров Э.Л., Кароль И.Л., Рапинова Л.Р. и др. Атмосферный озон и изменчивость глобального климата. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 166 с.

V.V. Zuev, M.Yu. Kataev, V.N. Marichev, A.A. Mitsel, I.V. Boichenko. Information System for Processing, Analysis, and Storage of Stratospheric Optical Measurements.

A purpose, structure, and construction principles of an information system designed for a processing, an analysis, and a storage of stratospheric optical measurements are presented in the paper. The system is now in the development stage. It is intended for investigation of the processes and regularities connected with the ozone and the stratospheric ozone layer. A variety of data are used in the analysis and the processing: lidar sounding data (height distribution of the ozone, temperature, and scattering ratio), the passive sounding data (the ozone total content, distribution and total content of nitrogen peroxide), and various model data. The services and interconnections of the system blocks are presented as well as the algorithm of the system operation and the interface specifications. The prospects of the system development are treated including a use of Internet.