

М. А. Кшевецкая, А. В. Поберовский

СИСТЕМА АРХИВИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ИК-СПЕКТРОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ*

Исследование современных изменений климата нашей планеты является актуальным направлением в области физики атмосферы [1]. В последние десятилетия имеет место рост содержания ряда парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , фреоны), что изменяет радиационные свойства атмосферы Земли и является одной из причин изменений климата. Антропогенные выбросы озоноразрушающих газов (фреоны, оксиды азота) приводят к нарушению естественных процессов формирования озоносферы Земли и уменьшению содержания озона в атмосфере [2]. Важное значение в мониторинге имеют наземные дистанционные методы исследования газового состава атмосферы, в частности метод измерений спектров поглощения солнечного излучения.

В России наземные спектроскопические исследования газового состава атмосферы были начаты в 70-е годы прошлого столетия В. И. Диановым-Клоковым в ИФА РАН [3]. В настоящее время регулярные измерения характеристик газового состава атмосферы осуществляются на станциях международной сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change [4]), а также рядом научных коллективов, в том числе в России (см., например, [5, 6]).

Станции NDACC оборудованы фурье-спектрометрами (ФС) высокого разрешения, позволяющими измерять спектры солнечного излучения в широкой области и определять одновременно содержание большого количества атмосферных газов. В рамках национального проекта «Образование» физическим факультетом СПбГУ приобретён ФС «IFS-125», на базе которого создан спектральный комплекс для измерений ИК-спектров солнечного излучения с разрешением до $0,002 \text{ см}^{-1}$ в области 1–15 мкм. В процессе создания и настройки спектрального комплекса были разработаны и изготовлены ориентированная на Солнце следящая система (СС) и система автоматического управления режимом её работы, система ввода солнечного потока в ФС, аналоговый канал контроля облачности [7]. Регулярные измерения начали проводиться с января 2009 г. в Старом Петергофе ($59,8822^\circ \text{ с.ш.}$, $29,8210^\circ \text{ в.д.}$).

Наземные спектры солнечного излучения содержат большое количество информации о различных параметрах физического состояния атмосферы (элементах вертикальной структуры и общих содержаниях более 25 атмосферных газовых составляющих, температуре, характеристиках аэрозолей), о количественных характеристиках молекулярного поглощения в земной атмосфере и о солнечном излучении. Полученные данные являются уникальными и требуют длительного надёжного хранения и возможности неоднократной обработки (в частности, при совершенствовании методик и алгоритмов решения обратных задач атмосферной оптики, уточнении спектроскопических параметров молекулярного поглощения, изучении долговременных трендов различных газов).

Традиционно в лабораториях, имеющих дело с большим количеством спектров, данные организованы в виде каталогов, систематизированных по дате и/или спектральному диапазону. Такой подход не всегда удобен с точки зрения быстрого поиска по

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-00857-а, РФФИ 08-05-00952-а.

© М. А. Кшевецкая, А. В. Поберовский, 2010

одному или нескольким параметрам, а также не всегда может обеспечить защиту данных от пользовательских ошибок или системных сбоев. Программный продукт “Orus”, предоставляемый производителем ФС “Brucker”, имеет встроенную функцию хранения и систематизации данных измерений, но эта система оказалась излишне многофункциональной, что затрудняет работу с ней. Кроме того, имеются существенные ограничения на использование “Orus” в соответствии с лицензионным соглашением.

В районе Санкт-Петербурга измерения солнечных спектров возможно производить около 80 дней в год. В день снимается в среднем 10–20 спектров объёмом 10–50 Мгб памяти каждый. Кроме того, необходимо сохранять сопутствующую каждому измерению дополнительную информацию. Таким образом, необходимый для хранения данных объём памяти непрерывно увеличивается.

При большом объёме и количестве файлов поиск по набору параметров без использования специализированных компьютерных приложений чрезвычайно затруднителен. Следует также отметить необходимость ограничения прав доступа пользователей к файлам в целях сохранения целостности, непротиворечивости, корректности архивных данных. Кроме ошибок пользователей вред архиву могут нанести системные сбои и механические повреждения носителя, поэтому есть необходимость в регулярно пополняемой копии архива на независимом носителе.

С учётом вышесказанного создана система архивирования экспериментальных данных, обладающая следующими возможностями:

- наличие удобного и понятного графического интерфейса;
- возможность пополнения архива;
- возможность корректировки архива без нарушения его целостности;
- возможность поиска данных по различным параметрам;
- возможность одновременного доступа для нескольких пользователей;
- мобильность архива, в том числе удобное создание резервных копий;
- высокая скорость работы с архивными данными.

Такая система хранения была реализована в виде SQL-базы данных, представляющей собой «таблицу», в «ячейках» которой записаны

- интерферограмма (в формате программы OPUS, прилагающейся к ФС Bruker IFS125);
- спектр в формате .dpt (Data Point Table);
- Sha1-суммы исходных файлов (для проверки уникальности интерферограмм);
- дата и время снятия интерферограммы;
- код спектрального фильтра, используемого при измерении спектра, и диапазон длин волн, который он выделяет из полного спектра солнечного излучения;
- технические параметры установки для каждого измерения (угловая апертура прибора, частота сканирования, спектральное разрешение прибора);
- краткие примечания о приземных метеорологических параметрах и погодных условиях, аппаратной функции, сбоях следящей системы.

На языке программирования Python с использованием библиотеки GTK создан графический интерфейс, что позволяет пользователям удобно работать с описанной базой данных.

С помощью созданной системы хранения пользователи могут по набору параметров найти и скопировать исходные файлы интерферограмм, файлы в формате DPT и выдержки из лабораторного журнала в текстовом формате. Кроме того, в разделе “Information” можно найти ссылки на метеоданные, необходимые для обработки снятых

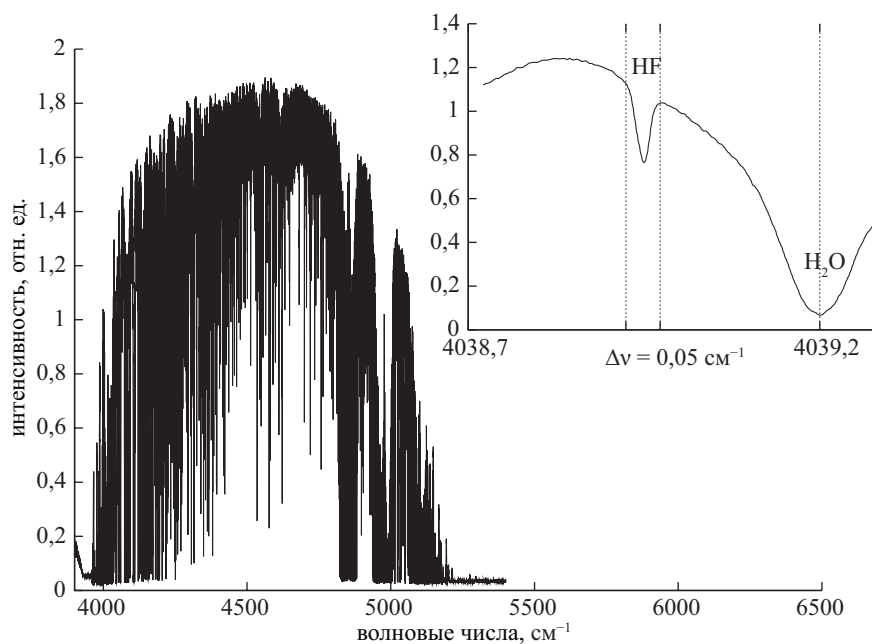


Рис. 1. Спектр, снятый с высоким спектральным разрешением:

общий вид и участок спектра с узкой линией поглощения HF $4038,25 \text{ см}^{-1}$ и более широкой линией поглощения воды

спектров, программы, которые могут быть полезны при обработке спектров, полную электронную версию лабораторного журнала, а также контактные данные.

Архив мобилен, то есть переносим на различные носители и различные рабочие станции, следовательно, целесообразно привести некоторые технические и системные требования:

1. Достаточный объём памяти (в настоящее время архив занимает $\sim 42 \text{ Гб}$ и продолжает активно расти);
2. Unix-подобная операционная система+PyGtk или Windows + Cygwin + SQLite + PyGtk;
3. Файловая система с поддержкой файлов больших размеров (в Windows только NTFS).

Наличие разработанного каталога спектров солнечного излучения позволяет проводить исследования газового состава атмосферы вблизи Санкт-Петербурга, сезонного хода содержаний различных газовых составляющих, а также их долговременных трендов. Измеренные спектры солнечного излучения с высоким спектральным разрешением используются в настоящее время для определения общего состава более чем 10 атмосферных газов (см., например, [7]) (рис. 1). На рис. 2 приведён временной ход общего содержания этана, рассчитанного по интервалу волновых чисел $2976,6\text{--}2977,1 \text{ см}^{-1}$, с марта по август 2009 года, а также отмечены дневные изменения содержания C_2H_6 .

Наблюдаются значительные вариации содержания C_2H_6 : содержание уменьшается от $(3,4\text{--}3,8) \cdot 10^{16} \text{ мол/см}^2$ весной до $(1,2\text{--}1,4) \cdot 10^{16} \text{ мол/см}^2$ в августе, т. е. почти в четыре раза. Подобный сезонный ход наблюдается в Арктике [9] и на европейских станциях NDACC.

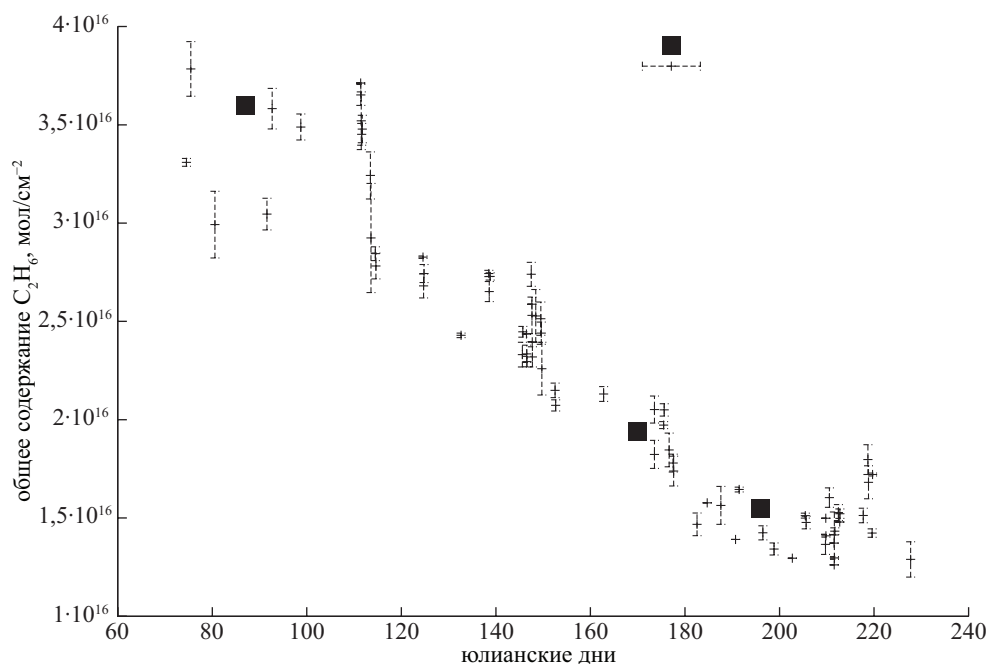


Рис. 2. Временной ход общего содержания C_2H_6

В созданной системе архивирования предусмотрена возможность расширения и модификации базы данных и компьютерного приложения для работы с ней. Для расширения возможностей сотрудничества с исследователями в области атмосферной оптики и газового состава атмосферы созданную базу данных наземных измерений спектров солнечного поглощения с высоким спектральным разрешением предполагается предоставить для Internet-доступа.

Литература

1. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 996.
2. Progress Report on the Implementation of the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC 2004-2008 // August 2009 GCOS-129 (WMO-TD/No. 1489, GOOS-173, GTOS-70). P. 112.
3. Дианов-Клоков В. И. Спектроскопические исследования фонового содержания газовых примесей в атмосфере // Вестн. АН СССР 1980. Т. 4. С. 33–41.
4. <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov>
5. Арефьев В. Н., Каменоградский Н. Е., Кашин Ф. В. Систематические измерения концентрации углекислого газа в атмосфере // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 6. С. 584–593.
6. Мироненков А. В., Поберовский А. В., Тимофеев Ю. М. Спектроскопические измерения общего содержания метана в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 32. № 4. С. 471–478.

7. *Поберовский А. В.* Наземные измерения ИК спектров солнечного излучения с высоким спектральным разрешением // Оптика атмосферы и океана. (В печати.)

8. *Поберовский А. В., Поляков А. В., Тимофеев Ю. М.* Измерения общего содержания HF в районе С.-Петербурга // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. (В печати.)

9. *Notholt J., Meier A., Peil S.* Total column densities of tropospheric and stratospheric trace gases in the undisturbed arctic summer atmosphere // J. of Atmospheric Chem. 1995. Vol. 20. P. 311–332.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2009 г.