

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.510.534

Я.А. Виролайнен, А.В. Поляков, Ю.М. Тимофеев

**Дистанционное зондирование температуры и газового
состава атмосферы с использованием наземных тепловых
ИК Фурье-спектрометров**

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского государственного университета

Поступила в редакцию 9.11.2006 г.

Разработано программно-методическое обеспечение (ПМО) для реализации технологии наземного дистанционного зондирования атмосферы Фурье-спектрометрами (ФС) со спектральным разрешением $0,1\text{--}1\text{ см}^{-1}$ (типа ИКФС-2). Рассматриваемая технология позволяет определять высотные профили температуры и влагосодержания, а также содержание в атмосфере ряда малых газовых составляющих (озон, метан и др.) на основе измеренных ФС спектров теплового ИК-излучения.

Выполнено тестирование разработанного ПМО на экспериментальном ансамбле измерений ФС OASIS. Приведены примеры интерпретации спектров нисходящего теплового ИК-излучения, а также проанализированы результаты восстановления атмосферных параметров в сравнении с данными независимых измерений. Проведенное сравнение показало, что практически для всех согласованных по времени измерений профили температуры по данным радиозондирования и по данным интерферометрических измерения совпадают для пограничного слоя атмосферы в пределах $1\text{--}1,5\text{ К}$. Рассогласование полученных из измерений излучения результатов с данными радиозондовых измерений по общему влагосодержанию не превышает 5%; рассогласование между интерферометрическими измерениями и измерениями спутникового прибора TOMS по общему содержанию озона не превышает $3\text{--}7\%$.

Введение

Дистанционные методы зондирования (космические, наземные, самолетные и т.д.) поставляют значительное количество информации о состоянии атмосферы для решения различных научных и прикладных проблем в области метеорологии, физики атмосферы, климатологии, океанологии и т.д. [1–3]. Особое внимание при этом в последние годы уделяется повышению точности и вертикального разрешения дистанционных методов измерений. Это связано с тем, что современные технологии зондирования атмосферы не всегда выполняют ряд требований к дистанционным измерениям, сформулированных международными рабочими группами. Так, например, до сих пор не удается реализовать точность оперативного температурного зондирования атмосферы в 1 К при вертикальном разрешении 1 км в тропосфере. Существуют также проблемы реализации необходимой точности при определении вертикальных профилей содержания водяного пара и озона в атмосфере.

В настоящее время во ФГУП «Центр Келдыша» (Москва) разрабатывается наземный прототип бортового инфракрасного (ИК) Фурье-спектрометра (ФС) ИКФС-2, который должен быть установлен на отечественном полярно-орбитальном метеоспутнике нового поколения «Метеор-3М» № 2 [4]. Совместно с микроволновым зондировщиком МТЗВА аппаратура ИКФС-2 должна стать основным космическим средством оперативного мониторинга атмосферы. Измерения аппаратуры ИКФС-2 повы-

шенной информативности в условиях безоблачной и малооблачной атмосферы планируется использовать для создания технологии дистанционного зондирования полей температуры, влажности и концентрации основных малых газовых составляющих (МГС) в атмосфере (O_3 , CH_4 , N_2O) с улучшенными (в сравнении с существующими технологиями космического мониторинга) точностными характеристиками. Это, в свою очередь, должно значительно улучшить качество численных прогнозов погоды на различные сроки и стимулировать современные исследования изменений климата нашей планеты.

Предварительная разработка и реализация наземного аналога рассматриваемого метода играют важную роль в отработке методики измерений и интерпретации спутниковых методов зондирования атмосферы. Кроме того, наземный метод измерения может быть использован как для валидации спутниковых измерений и определения их реальной точности, так и самостоятельно, для изучения вариаций различных атмосферных параметров с высоким временным разрешением. Особое значение наземный метод приобретает при исследовании параметров тропосферы в связи с известной низкой информативностью космических методов для этой области атмосферы [3].

1. Методика интерпретации спектров

Физико-математическая модель наземных дистанционных измерений параметров атмосферы с помощью наземных измерений ИК-спектров

нисходящего теплового излучения подробно рассмотрена в работах [5, 6]. Эта модель основана на интегральной форме уравнения переноса излучения.

Нисходящее тепловое излучение и его вариационные производные рассчитываются с помощью специально разработанной программы [7], основанной на прямом методе расчета и современных данных о параметрах тонкой структуры полос поглощения и континуальном поглощении атмосферных газов. Радиационная модель, использованная как для моделирования спектров в области 700–1350 см⁻¹, так и для решения обратной задачи, подробно описана в работе [7]. Напомним, что в ней учитывается селективное и континуальное молекулярное поглощение CO₂, H₂O, O₃, CH₄, N₂O, CFC-11 и CFC-12.

При решении обратной задачи мы объединяем профили температуры, давления и содержания атмосферных газов в единый вектор искомым атмосферных параметров \mathbf{x} . Тогда можно сформулировать обратную задачу как решение уравнения, учитывающего зависимость вектора излучения \mathbf{y} от вектора атмосферных параметров \mathbf{x} :

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}(\mathbf{x}_i) + \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ – в общем случае нелинейный оператор прямой задачи; $\boldsymbol{\varepsilon}$ – ошибка измерения, обусловленная шумами различного происхождения, а также методикой абсолютной калибровки спектров излучения.

Решение нелинейного уравнения (1) может быть интерпретировано как предел последовательности линейных задач, каждая из которых решается методом статистической регуляризации [8], при этом априорная информация о решении и погрешностях измерения остается неизменной, в то время как линейное приближение к оператору $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ последовательно уточняется в окрестности решения [9]. Итерационный процесс нахождения наиболее вероятной оценки $\hat{\mathbf{x}}$ описывается следующим выражением:

$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + (\mathbf{S}_a^{-1} + \mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} \mathbf{K}_i + \mathbf{L}^{-1})^{-1} \times \\ \times \{\mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} [\mathbf{y} - \mathbf{F}(\mathbf{x}_i)] - \mathbf{S}_a^{-1} (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_a)\}. \quad (2)$$

Здесь \mathbf{K} – матрица вариационных производных излучения по атмосферным параметрам; \mathbf{S}_ε – ковариационная матрица ошибок измерения; \mathbf{x}_a и \mathbf{S}_a – априорно задаваемые средний вектор и ковариационная матрица искомым атмосферных параметров; \mathbf{L} – некоторая положительно определенная матрица, вводимая для стабилизации решения и ограничивающая изменение решения на каждом шаге итерационного процесса.

Как показывает опыт интерпретации наземных измерений спектров теплового излучения, практически во всех экспериментальных данных в той или иной степени присутствуют погрешности абсолютной калибровки. Кроме того, мы не знаем в настоящее время с необходимой точностью параметров континуального поглощения различных атмосферных газов, а также не можем корректно учи-

тывать аэрозольную составляющую при расчете излучения в связи с отсутствием необходимой информации об аэрозоле в момент измерений. Для компенсации этих погрешностей и неопределенностей вводится корректирующее линейное слагаемое $I_{\text{кор}}$ [5]:

$$I_{\text{кор}} = c_1 \frac{\nu_2 - \nu}{\nu_2 - \nu_1} + c_2 \frac{\nu - \nu_1}{\nu_2 - \nu_1}. \quad (3)$$

Здесь c_1 и c_2 – коэффициенты калибровки, постоянные в некоторой области спектра, ограниченной волновыми числами ν_1 и ν_2 , представляющие собой смещения значения интенсивности излучения от его истинного положения на границах рассматриваемой области. Следует отметить, что коэффициенты c_1 и c_2 , определяемые совместно с искомыми параметрами состояния атмосферы, постоянны лишь на небольших спектральных интервалах (~50 см⁻¹), т.е. в каждой полосе (части полосы) поглощения того или иного газа они различны.

2. Потенциальная точность метода

Для проведения численных экспериментов нами был создан банк априорной информации о термодинамическом и газовом состоянии атмосферы. Моделирование случайных профилей атмосферных параметров осуществлялось на основе задаваемого среднего профиля, среднеквадратических вариаций и экспоненциальной корреляционной матрицы с помощью специально разработанного алгоритма и программы генерации случайных чисел. В качестве исходных данных для статистического моделирования были выбраны профили температуры, давления и содержания атмосферных газов из модели AFGL-86 [10]. Статистические характеристики смоделированных ансамблей (средние значения и их изменчивость) соответствуют изменчивости ансамблей натуральных измерений (см., например, [11–13]). Построенные ансамбли были использованы в замкнутых численных экспериментах при моделировании измеряемого излучения ФС, а также в качестве априорной информации при решении обратной задачи определения атмосферных параметров [см. выражение (2)].

Проведенные численные эксперименты на ансамбле из 200 реализаций показали, что погрешность восстановления температурного профиля до высот 5–8 км составляет 1–2 К, в пограничном слое атмосферы (0–2 км) – менее 1 К. При использовании схемы измерений, учитывающей также спектральные каналы из полосы поглощения озона, можно добиться улучшения оценок восстановления температурного профиля и в стратосфере. Для пограничного слоя атмосферы погрешность определения профиля влагосодержания составляет менее 5%.

Кроме того, наземные интерферометрические измерения ФС высокоинформативны по отношению к общему влагосодержанию. При задаваемой априорной неопределенности в 30–45% погрешность определения общего содержания (ОС) водяного пара составляет менее 1–2%. Исследование

точности рассматриваемого дистанционного метода в отношении других газов показало, что ОС таких МГС, как O_3 , CH_4 , N_2O , а также содержание озона в тропосфере определяются с погрешностью 2–9% в зависимости от модели атмосферы и схемы измерений.

Оценки потенциальной точности определения ОС атмосферных газов продемонстрированы в таблице. В третьем столбце таблицы приведены оценки потенциальной погрешности определения ОС МГС, полученные для наземного прототипа прибора ИКФС-2 при значении случайного шума измерения излучения $\sigma = 0,1 \text{ мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{см}^{-1})$. Это значение случайного шума рекомендовано для расчетов разработчиками аппаратуры ИКФС-2 [4]. Во втором столбце таблицы приведены значения задаваемой априорно естественной изменчивости рассматриваемых параметров.

Оценки потенциальной точности измерения ОС атмосферных газов Фурье-спектрометрами: ИКФС-2 и OASIS

МГС	Априорная неопределенность, %	Погрешность восстановления, %	
		ИКФС-2 ($\sigma_I = 0,1$)	OASIS ($\sigma_I = 0,5$)
H_2O	40	1–2	2–5
O_3	10	3–5	4–7
O_3 (тропосфера)	30	6–10	8–12
N_2O	10	~3	4–6
CH_4	10	~2,5	2,5–3

В четвертом столбце для сравнения приведены погрешности измерения содержания МГС, полученные для другого ФС – OASIS, который подробнее будет рассмотрен в следующем разделе. Отметим, что для прибора ИКФС-2 увеличение погрешности измерения излучения в 10 раз (с 0,1 до 1,0 $\text{мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{см}^{-1})$) может привести к увеличению погрешности определения атмосферных параметров в несколько раз.

3. Экспериментальные данные

Для отработки технологии интерпретации наземных измерений прибора ИКФС-2 мы использовали данные измерений ФС OASIS (Ocean and Atmospheric Sounding Interferometer System) Метеорологического института им. Макса Планка (Гамбург, Германия) [6, 14]. Отметим, что OASIS имеет характеристики, схожие с заявленными характеристиками прототипа ИКФС-2.

В нашем распоряжении имелись спектры нисходящего теплового ИК-излучения, зарегистрированные прибором OASIS во время измерительных кампаний на Балтийском море в апреле и июне 2000 г., а также в июне 2001-го. Отметим, что наряду с интерферометрическими измерениями 4 раза в день происходили запуски радиозондов, несущие информацию о температуре, влажности и скорости ветра.

На первом этапе анализа спектров нами были отобраны случаи, относящиеся к безоблачной атмо-

сфере, таких случаев оказалось около 500. Отбор проводился путем анализа спектрального поведения интенсивности излучения в областях атмосферного окна прозрачности 800–900 см^{-1} , а также в коротковолновом крыле полосы поглощения углекислого газа 4,3 $\mu\text{м}$.

С целью анализа информативности и погрешности измерения отобранных спектров для каждой измерительной кампании мы рассчитали ковариационные матрицы измеренных спектров излучения и исследовали чувствительность интенсивности излучения к изменению различных параметров атмосферы. Анализ собственных векторов и собственных чисел ковариационных матриц показал, что в кампании I (апрель 2000 г.) сильной изменчивостью обладает температурный профиль, а в кампаниях II и III (июнь 2000 и 2001 гг.) – профиль влагосодержания. Кроме того, в июне 2000 г. также наблюдается большая изменчивость содержания озона в атмосфере.

Характер убывания собственных чисел ковариационных матриц измеренных спектров позволил определить случайную погрешность измерения, которая для всех кампаний составила 0,6–0,9 $\text{мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{см}^{-1})$. При решении обратной задачи эти значения шума были взяты для одного из критериев останова (по среднеквадратической «невязке» в измеренном и рассчитываемом излучении) итерационного процесса [5].

4. Интерпретация измеренных спектров

При интерпретации спектров, измеренных прибором OASIS, используемая нами схема решения обратной задачи включала спектральные каналы из области 700–725 см^{-1} (для определения температурного профиля), из области 730–830 см^{-1} (для определения влагосодержания), а также из области полосы поглощения озона 995–1070 см^{-1} . Таким образом, из интерферометрических измерений мы восстанавливали температурный профиль, а также содержание водяного пара и озона в атмосфере.

Как уже упоминалось, во время интерферометрических измерений проводились регулярные запуски радиозондов. Таким образом, влагосодержание и температура измерялись двумя независимыми методами. Сравнение данных двух методов позволяет судить о действительной точности разработанной технологии дистанционного зондирования атмосферы с помощью наземных Фурье-спектрометров.

Анализ результатов сравнения показал, что практически для всех случаев профили температуры, полученные по данным радиозондирования и по интерферометрическим данным OASIS, в пограничном слое атмосферы совпадают в пределах 1–1,5 К. На рис. 1 приведены два примера восстановления температурного профиля: по данным радиозондирования и из интерферометрических измерений.

Для восстановленных из интерферометрических измерений профилей на рис. 1 также приведена оценка потенциальной погрешности метода.

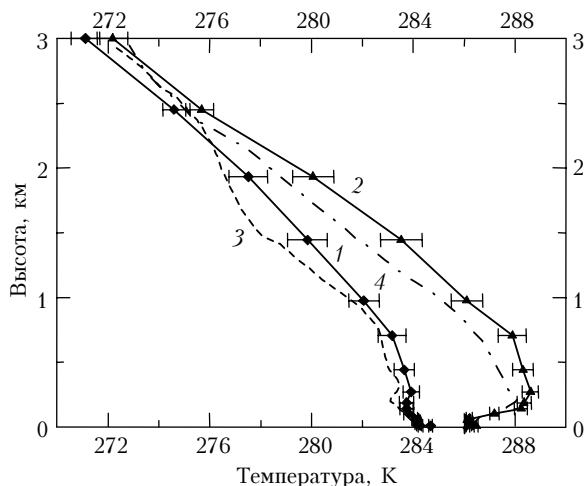


Рис. 1. Пример определения температурного профиля по данным измерений Фурье-спектрометра OASIS: 1 – OASIS (14.06.01; 05:15); 2 – OASIS (16.06.01; 17:41), и данным радиозондирования: 3 – p/зонд (14.06.01; 05:17); 4 – p/зонд (16.06.01; 17:31)

На рис. 1 хорошо видно согласование обоих результатов, в частности интерферометрические измерения позволяют с высокой точностью определять приземную инверсию температурного профиля.

На рис. 2 приведен пример временного хода ОС водяного пара для измерительной кампании III (июнь 2001 г.). Для интерферометрических измерений на рис. 2 указана также оцениваемая потенциальная погрешность измерений.

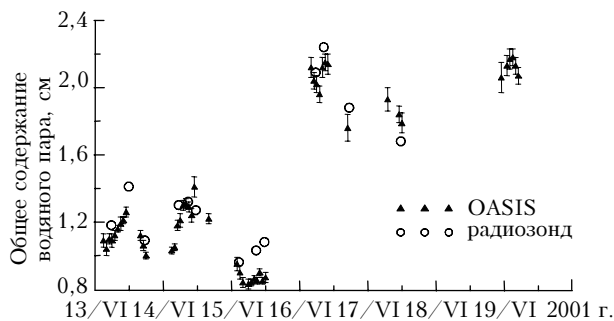


Рис. 2. Общее влагосодержание, полученное по данным измерений Фурье-спектрометром OASIS и данным радиозондирования во время измерительной кампании на Балтийском море

Как видно из рис. 2, ОС водяного пара за период с 13 по 19 июня 2001 г. менялось почти в 3 раза (от 0,8 до 2,3 см). При этом в большинстве случаев наблюдается хорошее согласие между восстановлением общего влагосодержания из спектрометрических данных и по данным радиозондирования. Для данных радиозондирования погрешность измерений не приведена, но известно, что радиозонды измеряют профиль влагосодержания в тропосфере с погрешностью порядка 5–10%. Таким образом, можно заключить, что результаты двух независимых методов измерения ОС водяного пара совпадают в пределах погрешностей обоих методов.

На рис. 3 приведен пример восстановления временного хода ОС озона в атмосфере (серия измерений в июне 2000 г.).

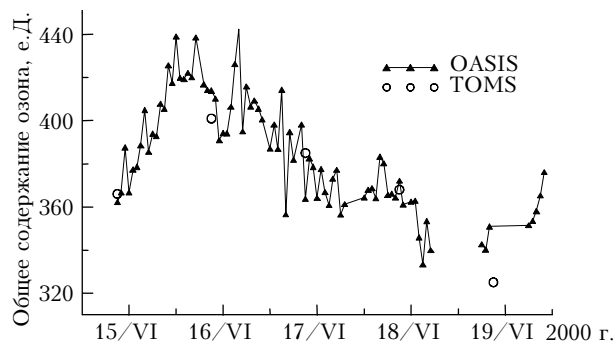


Рис. 3. Общее содержание озона, полученное по данным измерений Фурье-спектрометром OASIS и данным спутникового прибора TOMS во время измерительной кампании на Балтийском море

Треугольниками обозначены результаты интерпретации спектров нисходящего теплового ИК-излучения, измеренных прибором OASIS, кружками – данные спутникового прибора TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) [15]. Данные измерения ОС озона прибором TOMS взяты из открытого доступа на сайте <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/omi/data/Level3e/ozone/>.

Из рис. 3 видны значительные вариации ОС озона за небольшой период с 15 по 19 июня 2000 г. (с 320 до 440 е.Д.), которые с высоким временным разрешением отслеживаются наземным Фурье-спектрометром. Показано, что данные спутникового прибора TOMS, измерявшего ОС озона над местом проведения интерферометрических измерений один раз в сутки, хорошо согласуются с данными измерений OASIS. Для двух других измерительных кампаний также наблюдается хорошее согласие со спутниковыми данными TOMS в пределах оцениваемой погрешности измерения ОС озона Фурье-спектрометром 4–7%.

Кроме ОС озона нами также были получены данные по содержанию озона в толстых слоях атмосферы: в тропосфере (0–8,5 км) с погрешностью 3–7%, в области тропопаузы (8,5–11,5 км) с погрешностью 10–40% и в стратосфере (11,5–50 км) с погрешностью 8–15%. Случайная погрешность восстановления атмосферных параметров зависит от числа усредняемых спектров излучения. Поскольку озон в отличие от температуры и влажности изменяется медленнее, то для решения задачи по определению содержания озона можно усреднять измеренные спектры за часовой интервал. Вариации содержания озона в слоях позволяют судить, за счет какого слоя и, соответственно, какого механизма изменяется ОС озона.

5. Основные результаты и выводы

Для реализации технологии дистанционного зондирования атмосферы с помощью наземных Фурье-спектрометров (со спектральным разрешением лучше 1 см^{-1}), измеряющих тепловое ИК-

излучение в спектральной области 4–16 мкм, созданы методики и программы определения высотных профилей температуры и влажности, а также ОС ряда МГС.

Выполнено тестирование разработанного программно-методического обеспечения на спектрах, измеренных ФС OASIS, имеющим характеристики, сходные с характеристиками прототипа ИКФС-2.

Сравнение полученных результатов восстановления с данными независимых измерений показало, что:

– практически для всех согласованных по времени измерений профили температуры по данным радиозондирования и одновременные восстановления из данных интерферометрических измерений совпадают в пограничном слое атмосферы в пределах 1–1,5 К;

– рассогласование полученных из измерений излучения результатов с данными радиозондовых измерений по общему влагосодержанию не превышает 5%;

– рассогласование между интерферометрическими измерениями и измерениями спутникового прибора TOMS по общему содержанию озона не превышает 3–7%.

Приведенные результаты интерпретации спектров нисходящего теплового ИК-излучения продемонстрировали такое важное преимущество метода, как возможность подробного изучения временных вариаций атмосферных параметров в тропосфере.

Авторы благодарят С. Бакана и Х.-Д. Хольвега из Метеорологического института им. Макса Планка (Гамбург, Германия) за предоставленные экспериментальные данные и плодотворные обсуждения результатов исследования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Миннауки РП-13.1/001, а также грантов Минобрнауки России РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.383.

1. WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone Research and Monitoring Project: Report № 47. Geneva, 2003. 498 p.
2. Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М. Газовые примеси в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 192 с.
3. Тимофеев Ю.М. Спутниковые методы исследования газового состава атмосферы // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1989. Т. 25. № 5. С. 451–472.

4. Завелевич Ф.С., Головин Ю.М., Десятов А.В., Мащук Ю.П., Никулин А.Г., Романовский А.С., Горбунов Г.Г., Городецкий А.К. Фурье-спектрометр для дистанционного зондирования атмосферы Земли в интересах метеорологии // Тезисы докл. Междунар. симпоз. стран СНГ «Атмосферная радиация». СПб., 2006. С. 138.
5. Виrolainen Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Шпенкух Д., Делер В. Определение характеристик газового состава атмосферы по измерениям нисходящего теплового ИК-излучения // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2001. Т. 37. № 1. С. 1–8.
6. Виrolainen Я.А., Грассел Х., Бакан С., Хольвейг Х.-Д., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Опыт наземного зондирования атмосферы с помощью Фурье-спектрометрии теплового излучения // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 4. С. 43–49.
7. Виrolainen Я.А., Поляков А.В. Алгоритм прямого расчета функций пропускания в задачах наземного дистанционного зондирования атмосферы // Вестн. СПбГУ. Сер. 4. 1999. Вып. 1. № 4. С. 29–35.
8. Турчин В.Ф., Козлов В.П., Малкевич М.С. Использование методов математической статистики для решения некорректных задач // Успехи физ. наук. 1970. Т. 102. Вып. 3. С. 385–386.
9. Поляков А.В. К вопросу об использовании априорной статистической информации при решении нелинейных обратных задач атмосферной оптики // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 3. С. 11–15.
10. Anderson G.P., Clough S.A., Kneizys F.X., Chetwynd J.H., Shettle E.P. AFGL atmospheric constituent profiles (0–120 km). AFGL-TR-86-0110 // Environ. Res. Papers. 1986. N 954. 43 p.
11. Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Спектроскопические измерения общего содержания метана в районе Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2001. Т. 37. № 1. С. 67–73.
12. Güldner J., Spänkuch D. Results of Year-Round Remotely Sensed Integrated Water Vapor by Ground-Based Microwave Radiometry // J. Appl. Meteorol. 1999. V. 38. N 7. P. 981–988.
13. Spänkuch D., Döhler W. Statistische Charakteristik der Vertikalprofile von Temperatur und Ozon und ihre Kreuzkorrelation über Berlin // Geod. Geophys. Veröff. 1975. R. II. H. 19. 132 p.
14. Bakan S., Schlicht J., Hollweg H.-D., Fiedler L. Remote sensing of temperature and atmospheric constituents from surface based FTIR measurements // IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation. 2001. V. 147 / Ed. by W.L. Smith and Y. Timofeyev (Hampton, Va., USA: A. Deepak Publ.). P. 1125–1128.
15. Bowman K.P., Krueger A.J. A global climatology of total ozone from the Nimbus-7 Total Ozone Mapping Spectrometer // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. P. 7967–7976.

Ja.A. Virolainen, A.V. Polyakov, Yu.M. Timofeev. Remote sensing of the temperature and gas composition of atmosphere using the ground-based IR-Fourier spectrometers.

A technique and corresponding software for ground-based remote sensing of atmospheric parameters have been developed. This instrumentation based on Fourier-transform infrared (FTIR) spectrometers radiance measurements with 0,1–1,0 cm⁻¹ spectral resolution allows one to retrieve temperature and moisture profiles, as well as column content of different trace gases (ozone, methane, etc.).

Testing of the developed software on a large ensemble of experimental spectra measured by OASIS FTIR device has been carried out. The examples of atmospheric parameters retrieval and their comparison with independent measurements are demonstrated. The comparison analysis shows that in most cases the vertical profiles of temperature retrieved from FTIR measurements are in good agreement with radiosonde data (within 1–1,5 K for the boundary layer). The discordance in total water vapor column for retrieved from FTIR spectra and radiosonde data is not larger than 5%, in total ozone column for OASIS retrieval and TOMS measurements is not larger than 3–7%.