ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА, 2002, № 3, с. 1–8

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

УДК 528.873.041.3

ОПЫТ НАЗЕМНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2002 г. Я. А. Виролайнен*, Х. Грассел, С. Бакан, Х.-Д. Хольвейг, А. В. Поляков, Ю. М. Тимофеев

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского государственного университета, Россия

Институт метеорологии им. Макса Планка, Гамбург, Германия

**Тел.: (812)428-43-47; e-mail: YanaVirolainen@pobox.spbu.ru*

Поступила в редакцию 25.06.2001 г.

Приведены результаты дистанционных измерений температурного профиля и газового состава атмосферы, основанные на интерпретации спектров нисходящего теплового ИК-излучения, измеренных в условиях безоблачной атмосферы Фурье-интерферометром OASIS. Института метеорологии Макса Планка (Гамбург, ФРГ). Показана возможность определения рассматриваемым методом общего содержания (ОС) H_2O, CH_4 и N_2O с погрешностями 3–5%, а также вертикальных профилей температуры и влагосодержания в нижней тропосфере (до высот 3–5 км) с погрешностями 1–2 К и 5–10% соответственно. Метод позволяет отслеживать с высокой точностью (до 5%) временные вариации ОС водяного пара, а также наблюдать суточный ход ОС CH_4 и H_2O. Полученные в рассмотренный период времени результаты демонстрируют постоянство содержания в атмосфере метана и наличие слабого суточного хода для N_2O (до 5%). Сопоставление результатов дистанционных измерений с независимыми данными показывает их согласие в пределах погрешностей измерений различных методов.

ВВЕДЕНИЕ

Значительное количество информации о разнообразных характеристиках атмосферы в настоящее время получается с помощью дистанционных (спутниковых, наземных и др.) методов. Среди них важную роль играют методы, основанные на измерениях спектральной и угловой структуры теплового излучения атмосферы, особенно применительно к спутниковой геометрии измерений [1–5]. Несмотря на значительные усилия и длительный опыт в разработке и реализации этих методов, они в ряде случаев не удовлетворяют сформулированным Всемирной метеорологической организацией (ВМО) требованиям к точности и вертикальному разрешению измерений вертикальных профилей температуры и характеристик газового состава атмосферы, подробно рассмотренным в отчете ВМО [6]. С целью повышения точности и вертикального разрешения дистанционных измерений осуществляется дальнейшее развитие аппаратурной базы дистанционного зондирования (ДЗ), в частности, создание Фурье-спектрометров относительно высокого спектрального разрешения (0.3–1.0 $см^{-1}$) для средней и дальней ИК-областей спектра (3–20 мкм). Примерами такой аппаратуры являются спектрометры MIPAS, NAST [7, 8], проведение космических экспериментов с которыми планируется в ближайшие годы.

Для отработки как самой методики измерений, так и методик интерпретации данных измерений созданы наземные и самолетные варианты Фурье-спектрометров, ряд которых эксплуатируется в разных странах (США, ФРГ, Великобритания и т.д.). Наземные измерения теплового излучения с помощью Фурье-спектрометров, кроме того, имеют и важное самостоятельное значение. Эти измерения успешно используются для уточнения радиационных моделей в ИК-области спектра (в частности, уточнения континуального коэффициента поглощения водяного пара в окнах прозрачности), разработки и реализации дистанционных методов измерений вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы. Проводятся также исследования по оценке возможности определения с помощью рассматриваемой аппаратуры содержания различных парниковых и озоноразрушающих газов [9–11]. Важность этого направления исследований связана, кроме всего прочего, с возможностью использования этих систем измерений для постоянной валидации спутниковых данных.

В работе [12] приведены результаты исследования возможности извлечения информации об общем содержании (ОС) озона, N_2O, CH_4, CO, CFC-11 и CFC-12 из спектральных измерений излучения аппаратурой рассматриваемого типа. Показаны хорошие перспективы получения данных не только об ОС ряда газов, но также и об их

содержании в толстых атмосферных слоях. В работе [13] наряду с результатами методических исследований приведены примеры интерпретации измерений нисходящего теплового излучения, осуществленных в Потсдамской метеорологической обсерватории (ФРГ), и успешного определения вертикальных профилей влажности и ОС озона, N_2O, CH_4, CFC-11 и CFC-12. В данной работе эти исследования продолжены на основе использования измерений Фурье-спектрометра Института метеорологии Максам Планка (Гамбург, ФРГ).

ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ И ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В Институте метеорологии Макса Планка при различных атмосферных исследованиях используется Фурье-спектрометр OASIS (Ocean and Atmospheric Sounding Interferometer System) для наземных измерений теплового излучения [14]. Основу прибора составляет интерферометр BOHEM MR 157. Использование в приборе двух приемников излучения (охлаждаемых жидким азотом) позволяет осуществлять измерения в спектральных областях 650–1400 см$^{-1}$ (7–15 мкм) и 2000–17000 см$^{-1}$ (0.7–5 мкм) с максимальным спектральным разрешением 1 см$^{-1}$. Абсолютная калибровка измерений в натурных условиях в средней ИК-области спектра осуществляется с помощью двух "черных тел" – специальных источников излучения при двух температурах (25° и 50°С). Кроме этого, для специального контроля калибровки в лабораторных условиях используется также низкотемпературное черное тело при температуре –80°С.

В настоящей работе представлены результаты интерпретации измерений нисходящего теплового излучения в средней ИК-области спектра, осуществленных во время проведения специальной экспериментальной программы LACE (Lindenberg Aerosol Characterization Experiment), 5.08–14.08.1998 г. в Метеорологической обсерватории Линденберга. Во время проведения программы LACE дополнительно к интерферометрическим проводились также измерения параметров атмосферы – метеорологические (радиозонды, самолеты), лидарные (определение вертикальных профилей содержания водяного пара и озона), микроволновые измерения ОС водяного пара и т.д.

СРАВНЕНИЯ ИЗМЕРЕННЫХ И РАССЧИТАННЫХ СПЕКТРОВ НИСХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

На первом этапе наших исследований были проведены сопоставления измеренных спектров нисходящего теплового излучения с расчетными, полученными на основе разработанной ранее радиационной модели [15] и независимых измерений различных параметров атмосферы. Все сопоставления были проведены для условий безоблачной атмосферы.

Проведенные расчеты показали существенно различную степень согласия экспериментальных и расчетных спектров излучения в разных условиях сравнения и при использовании в расчетах данных о параметрах атмосферы, полученных разными датчиками. Отметим, что основными причинами рассогласований могут быть погрешности измерений нисходящего излучения, погрешности используемой радиационной модели атмосферы, а также погрешности измерений и задания параметров физического состояния атмосферы, используемых в расчетах. Все эти факторы могут иметь разное значение в различных условиях. На рис. 1 приведен типичный пример сравнения экспериментальных и расчетных спектров. В верхней части рисунка приведен экспериментальный спектр, а в нижней – разности экспериментальных и расчетных спектров вместе с уровнем погрешностей измерений нисходящего теплового излучения интерферометром OASIS (шкала слева). Это рисунок наглядно демонстрирует влияние исходной метеорологической информации на расчетные величины излучения и величины рассогласований между расчетом и экспериментом. В период осуществления программы LACE проводились сравнения двух типов датчиков измерений влажности воздуха (сокращения на рис. 1 – rs80 и rs90). Из рис. 1 видно, что использование данных измерений датчика rs90 позволяет существенно снизить рассогласования между экспериментом и расчетом. Приведенный пример наглядно показывает важность подобных сопоставлений как для анализа качества измерений, так и для проверки исходной метеорологической информации. Результаты этих сопоставлений использовались для уточнения параметров алгоритма обращения радиационных данных, а также при анализе согласования дистанционных измерений содержания водяного пара рассматриваемым методом с независимыми измерениями.

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

В работе [13] приведены примеры определения различных параметров атмосферы на основе интерпретации измерений спектров нисходящего теплового излучения интерферометром Потсдамской метеорологической обсерватории (ФРГ). Разработанные для этой интерпретации алгоритмы и программы были адаптированы к характеристикам интерферометра OASIS. Основные отличия двух приборов и соответственно модификаций алгоритмов состоят в спектральном разрешении и уровне погрешности измерений. Были проведены также методические исследования по анализу возможностей дистанционных измерений с помо-

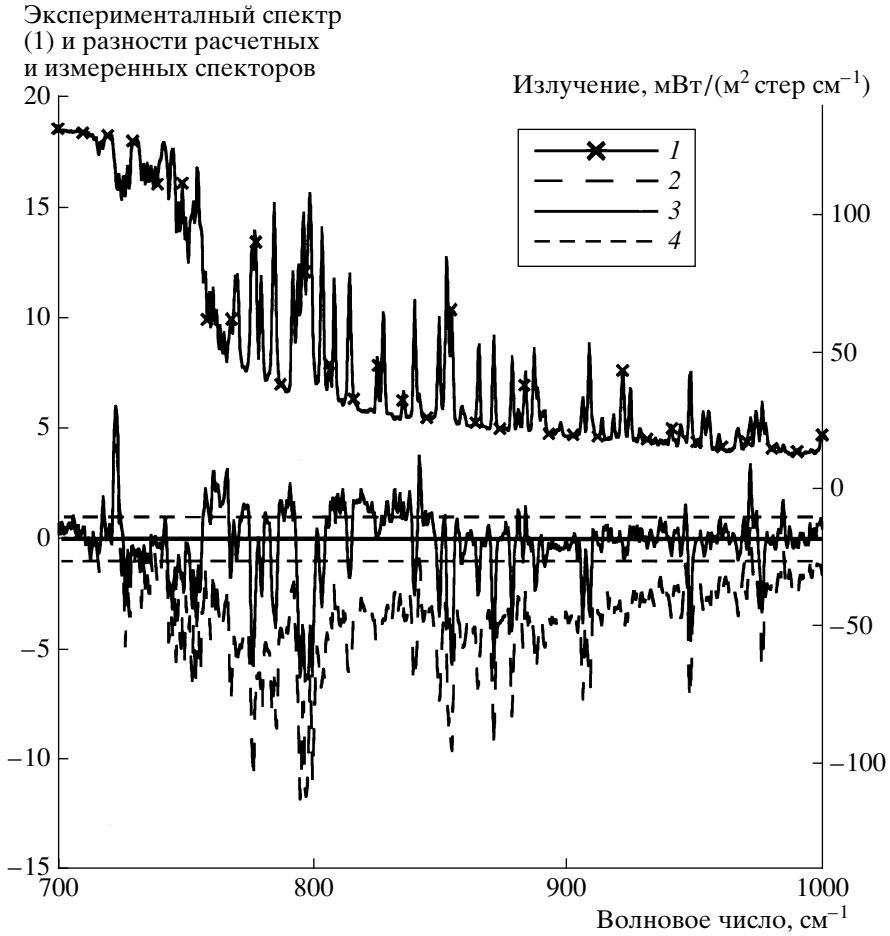

Рис. 1. Измеренный (*1*) и рассчитанные по данным радиозондов rs80 (*2*) и rs90 (*3*) спектры нисходящего теплового ИК-излучения, а также случайный шум измерения излучения (*4*).

щью интерферометра OASIS. Они, в частности, показали, что уровень случайных погрешностей измерений нисходящего излучения не позволяет с приемлемой точностью определять ОС в атмосфере озона и хлор-фторуглеродов (CFC-11 и CFC-12).

Для восстановления параметров атмосферы использовался алгоритм решения нелинейных интегральных уравнений, основанный на методе статистической регуляризации и использовании ограничений изменения искомого решения на каждом шаге итераций [13, 16]. Существенно отметить, что при интерпретации измерений нисходящего излучения в качестве априорной информации использовались локальные эмпирические ковариационные матрицы температуры и влажности атмосферы, построенные на основе соответствующих радиозондовых измерений.

ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рисунок 2*а* демонстрирует восстановление профиля температуры в нижнем трехкилометровом слое при наличии в нижней тропосфере мощной инверсии температуры. Необходимо отметить, что такое состояние атмосферы не является “типичным” с точки зрения используемой априорной статистики (это видно из приведенного среднего профиля температуры). Для сравнения на рисунке приведен температурный профиль, полученный по данным радиозондирования с погрешностью около 0.5 K. Однако, хотя погрешности восстановления температуры из спектров теплового излучения в этом случае существенно больше, чем в случаях отсутствия приземной инверсии, дистанционный метод уверенно восстанавливает эту инверсию, хотя и с меньшей (на 2.5 K) амплитудой. Рисунок 2*б* представляет статистические характеристики восстановления температурного профиля (среднее рассогласование двух типов измерений, случайную и систематическую компоненту этих рассогласований), полученные по ряду сопоставлений (около 20) восстановленных вертикальных профилей температуры с данными прямых радиозондовых измерений. На рис. 2 также представлена априорная неопределенность

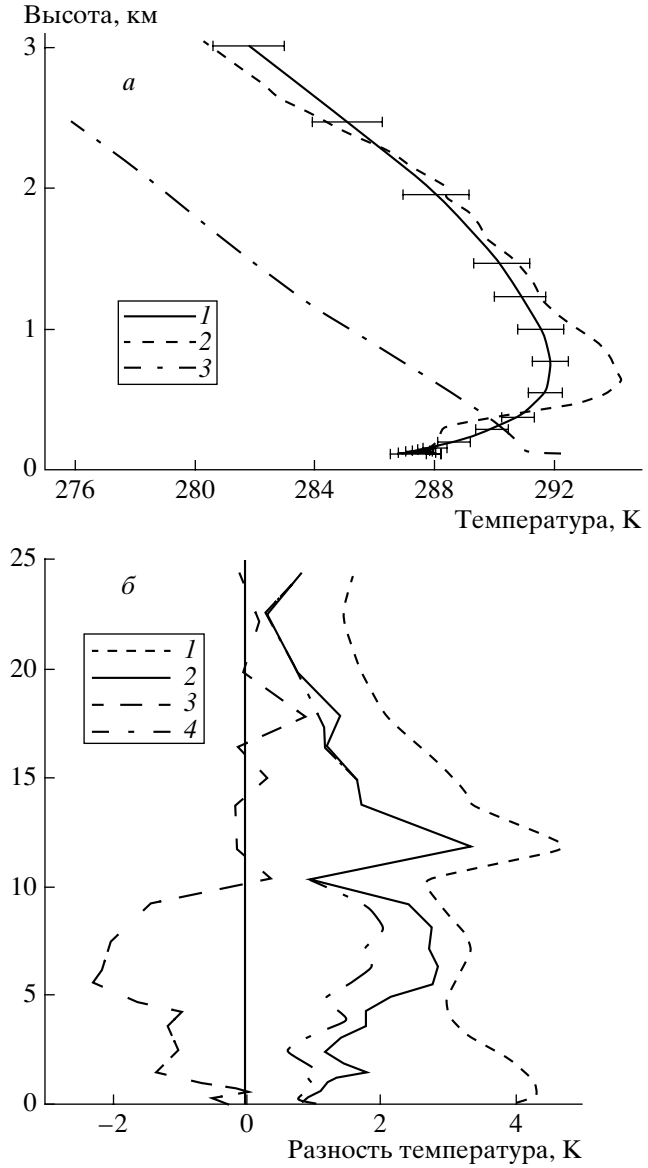

Рис. 2. *а* – Температурные профили, полученные из спектров нисходящего теплового ИК-излучения (*1*), по данным радиозондирования (*2*), а также средний профиль (*3*). *б* – Статистические характеристики восстановления температурного профиля из измеренных интерферометром спектров по сравнению с данными радиозондирования: априорная неопределенность (*1*); погрешность восстановления (*2*), ее систематическая (*3*) и случайная (*4*) компоненты.

профиля температуры. Видно, что в нижнем слое тропосферы (0–2 км) после проведения дистанционных измерений априорная неопределенность уменьшается с 4 до 1–1.5 К. Из рисунка также легко заметить, что в слоях 0–5 км и 15–25 км рассогласование температур, полученных двумя методами, не превышает 1.5–2 К, т.е. рисунок демонстрирует высокую точность восстановления даже в нижней стратосфере. Этот результат обусловлен использованием эмпирической статистики температуры для места проведения радиационных измерений и наличием в этой статистике заметных отрицательных корреляций между тропосферными и стратосферными температурами.

В большинстве случаев радиозондовые и дистанционные измерения совпадают в пределах суммарных ошибок двух методов измерений (как уже упоминалось выше, погрешность радиозондирования температурного профиля не превышает 0.5 К, теплового метода – 1–2 К). Исключение составляет область тропопаузы, где наблюдается резкое изменение градиента температуры. В целом априорная неопределенность температурного профиля (достаточно малая для локальной статистики – 3–5 К) уменьшается при использовании измерений нисходящего теплового излучения на 1–3 К.

ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

На рис. 3 приведен типичный пример восстановления вертикального профиля отношения смеси водяного пара (в сравнении с радиозондовыми измерениями). Горизонтальными отрезками показаны погрешности измерения для каждого уровня в атмосфере. Согласие между двумя типами измерений можно признать очень хорошим, принимая во внимание, что наземные дистанционные измерения имеют достаточно ограниченное вертикальное разрешение и, конечно, не могут воспроизвести “тонкую структуру” вертикального распределения влажности атмосферы, которая проявляется в радиозондовых измерениях. Так, например, почти постоянное отношение смеси водяного пара на высотах 150–180 м и быстрое падение его в средней тропосфере существенно сглажены в дистанционных измерениях. Учитывая, что точность радиозондирования по влажности составляет около 10%, можно утверждать, что оба измеренных профиля отношения смеси водяного пара в атмосфере совпадают в пределах суммарных погрешностей измерений на большинстве уровней в рассматриваемом слое 0–3 км. Анализ статистических характеристик согласования радиозондовых и интерферометрических измерений отношения смеси водяного пара для двух десятков случаев первой половины августа 1998 г. показал, что в слое 0–1 км результаты двух видов измерений практически совпадают. При этом наблюдается некоторое рассогласование вблизи поверхности, связанное, по всей видимости, с различным местом проведения интерферометрических измерения и запусков радиозондов. Напомним, что при обращении спектральных данных использовались результаты измерения приземной температуры и влажности, полученные вблизи интерферометра, которые в ряде случаев существенно отличались от соответствующих данных радиозонда. Также

отметим, что интерферометр был размещен стационарно, частично под закрытым тентом, что могло приводить в зависимости от погодных условий к повышенной или пониженной по сравнению с окружающей средой температуре воздуха в непосредственной близости к прибору. С другой стороны, запуски радиозондов производились с различных точек на склоне холма, при этом менялось не только расстояние от интерферометра (в пределах 100 м), но и высота над уровнем моря (в пределах 10–115 м).

Проведенные в работе [12] теоретические исследования потенциальной точности восстановления влагосодержания в различных тропосферных слоях, по данным наземных измерений теплового ИК-излучения, показали, что возможно также определение содержания водяного пара в нескольких слоях с различной степенью точности. Результаты восстановления, проведенные в данной работе на основе натурных измерений излучения, подтвердили теоретические оценки.

В таблице представлены некоторые статистические характеристики анализа рассогласований ОС водяного пара и содержания водяного пара в нескольких слоях, измеренных в г. Линденберг (Германия) в августе 1998 г. двумя методами: по интерферометрическим данным и по данным радиозондирования (использовались данные радиозонда rs80). Во втором столбце таблицы также представлены данные отклонения среднего восстановленного профиля от среднего глобального профиля, полученного из статистики радиозондовых данных в июле–августе 1998 г. Прежде всего необходимо отметить, что статистика (локальная) дней, выбранных для сравнения независимых методов измерения влажности атмосферы, (интерферометрические измерения проводились именно в эти дни) отличается от средней глобальной статистики во всех слоях в сторону уменьшения на 10–30% ОС водяного пара, т.е. влагосодержания в рассмотренной выборке ниже, чем в используемой априорной статистике. Как видно из третьего столбца таблицы, практически нет систематического отклонения по общему содержанию водяного пара и содержанию водяного пара в нижних тропосферных слоях между двумя методами измерений. В то же время для слоя атмосферы выше 4 км (где рассматриваемый дистанционный метод мало информативен) наблюдается систематическое занижение влагосодержания, полученного дистанционным методом, по сравнению с радиозондовым. Тем не менее подчеркнем, что рассогласование определения общего влагосодержания атмосферы двумя методами (тепловым дистанционным и радиозондом rs80) не превышает 5%, содержания в слоях 0–1 и 1–4 км – 8 и 12% соответственно.

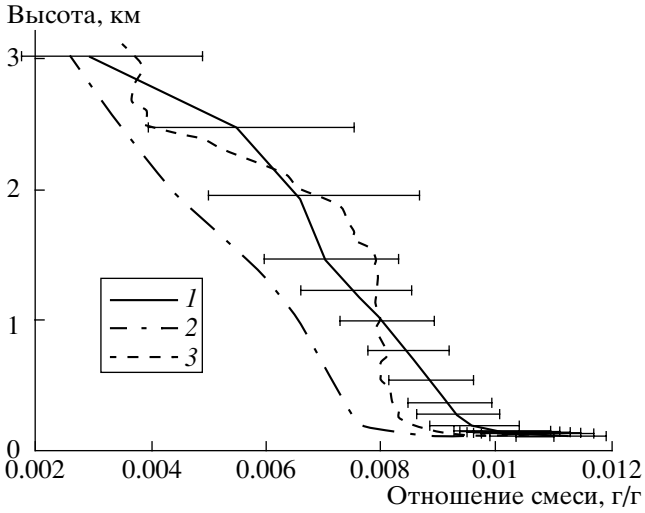

Рис. 3. Профили отношения смеси водяного пара, полученные из спектров нисходящего теплового ИК-излучения (*1*), по данным радиозондирования (*3*), а также средний профиль (*2*).

Возможности исследований временных вариаций ОС водяного пара с помощью рассматриваемого дистанционного наземного ИК-метода демонстрирует рис. 4. На нем дано сопоставления измерений ОС H_2O, осуществленных радиозондами (rs80 и rs90) и МКВ-радиометром (измерения теплового излучения в линии излучения при 1.37 см) в течение пяти дней 8–12 августа 1998 г. в Линденберге. Сплошной кривой показаны результаты микроволнового зондирования, проводившиеся непрерывно, при этом в ряде случаев отсутствуют сравнения с другими методами из-за наличия облачности или осадков, когда соответствующие радиозондовые и интерферометрические измерения не проводились. Приведенное сопоставление показывает, что в большинстве случаев все виды дистанционных измерений совпадают в пределах суммарных ошибок этих методов измерений. Так же легко заметить хорошее согласование (в пределах 2–5%) результатов, полученных интерферометрическим и микроволновым методами, а также явное рассогласование двух типов радиозондовых изме-

Характеристики точности восстановления содержания водяного пара (в относительных единицах) в различных слоях атмосферы в Линденберге, август 1998 г.

Слой атмосферы, км	Среднее восстановленное минус среднее глобальное	Среднее локальное минус среднее восстановленное	Погрешность восстановления
0–25	–0.20	–0.014	0.05
0–1	–0.14	–0.003	0.08
1–4	–0.25	–0.071	0.12
4–25	–0.27	0.410	0.53

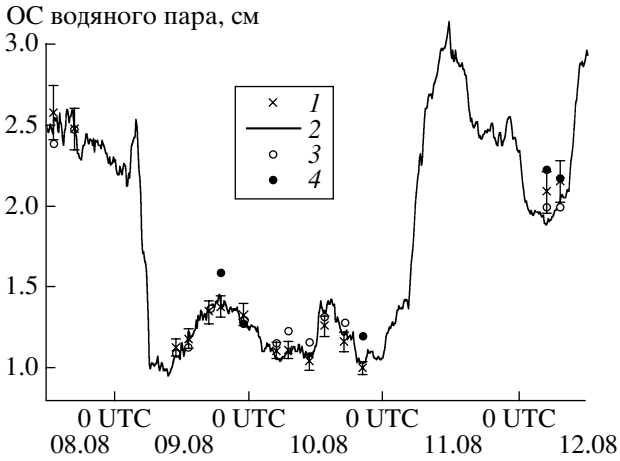

Рис. 4. Суточный ход общего влагосодержания, полученный в августе 1998 г. в Линденберге из интерферометрических данных (*1*), микроволновым методом (*2*), по данным радиозондов rs80 и rs90 (*4*).

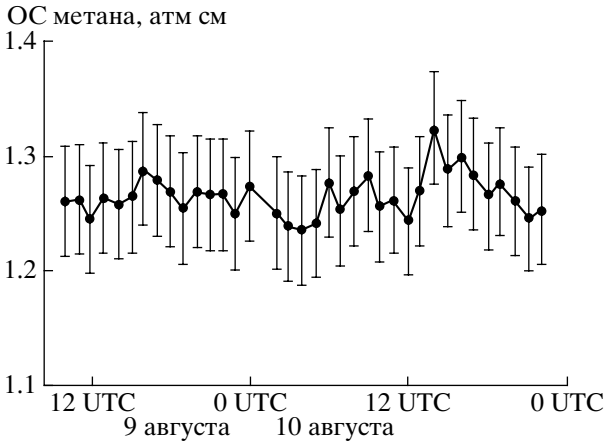

Рис. 5. Суточный ход общего содержания метана, полученный в августе 1998 г. в Линденберге из измерений нисходящего теплового ИК-излучения.

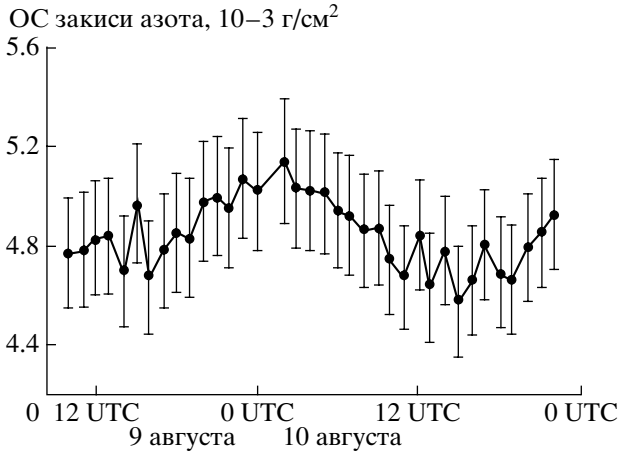

Рис. 6. Суточный ход общего содержания закиси азота, полученный в августе 1998 г. в Линденберге из измерений нисходящего теплового ИК-излучения.

рений. Останавливаясь подробнее на случае измерений, проведенных 12 августа в 7 утра (UTC) (см. рис. 4), для которого дан пример сравнения спектров (см. рис. 1), необходимо обратить внимание на то, что ОС водяного пара, полученное из интерферометрических измерений и радиозондом rsz90, практически совпадает, что хорошо согласуется с приведенным нам рис. 1 сопоставлением измеренного и рассчитанного по данным радиозонда спектров. Это свидетельствует о более корректном в данном случае измерении влажности радиозондом rs90 по сравнению с радиозондом rs80, а также об адекватности используемой методики интерпретации измеренных спектров нисходящего теплового ИК-излучения.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ CH_4 И N_2O

В настоящее время проводятся систематические измерения приземных концентраций, а также исходящих из почвы сельскохозяйственных полей потоков таких важных парниковых газов, как CH_4 и N_2O (например, [4, 17]). Кроме того, ОС этих газов измеряется в дневное время с помощью наблюдений спектров прямого солнечного излучения в ряде пунктов земного шага (например [18]). Однако практически отсутствуют исследования суточного хода ОС этих газов. Дистанционный метод, основанный на интерпретации измерений нисходящего теплового ИК-излучения, позволяет получать такую информацию. На рис. 5 и 6 приведен суточный ход общего содержания CH_4 и N_2O соответственно, зарегистрированный с помощью рассматриваемого дистанционного метода 9–10 августа 1998 г. в Линденберге. В количественном отношении ОС метана, полученное рассмотренным методом в Линденберге, хорошо согласуется с независимыми спектроскопическими измерениями в сходных природных условиях в Петергофе (Санкт-Петербург) [18]. Ёс учетом погрешностей восстановления общего содержания этих газов, приведенных на рис. 5 и 6 и составляющий 3–4%, можно утверждать, что в рассматриваемый период содержание метана практически не менялось. С другой стороны, для общего содержания N_2O наблюдается слабый суточный ход с максимумом в ранние утренние часы (24 ч местн. врем.) и минимумами около 17–19 ч местн. врем. Отметим, что измерения излучения проводились в сельской местности, окруженной со всех сторон сельскохозяйственными полями. Поэтому наличие суточного хода ОС закиси азота может быть связано с максимумом эмиссии N_2O с полей, характер который частично определяется соответствующей влажностью и температурой почвы [17]. Эти результаты согласуются с данными приземных измерений закиси азота [4] и с возможным изменением направления ветра.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе проведенной интерпретации измерений нисходящего теплового ИК-излучения, осуществленных с помощью Фурье-интерферометра Института метеорологии Макса Планка, можно сделать следующие выводы:

1. Дистанционный метод в условиях безоблачной атмосферы позволяет с хорошей точностью восстанавливать вертикальные профили температуры (1–2 K) и содержания водяного пара (5–10%) в нижней тропосфере (до 3–5 км). При использовании адекватной априорной статистики искомых профилей удается восстанавливать профили температуры до высот 25 км (за исключением области тропопаузы) с погрешностью, не превышающей 1.5–2 K. Кроме того, использованный дистанционный метод уверенно регистрирует приземные инверсии температуры.

2. Измерения нисходящего теплового ИК-излучения позволяют с высокой точностью (до 5%) отслеживать временны́е вариации общего содержания водяного пара. Рассогласования дистанционных ИК-измерений ОС водяного пара и независимых радиозондовых и МКВ-измерений в среднем составляют 3–5%. Результаты восстановления, проведенные в данной работе на основе натурных измерений излучения, подтвердили выводы методических исследований [12] по возможности определения содержания водяного пара в толстых слоях атмосферы.

3. Приведены примеры суточного хода общего содержания CH_4 и N_2O, измеренного с погрешностью 3–4%, показывающие отсутствие хода в рассмотренный период времени для метана и наличие слабого суточного хода для N_2O (до 5%). По нашим данным, указанная информация о суточном ходе общего содержания этих газов получена впервые.

Необходимо отметить, что оцененные в работе точности восстановления рассмотренных атмосферных параметров удовлетворяют требованиям к точности измерений, сформулированным в отчете ВМО [6].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках выполнения грантов РФФИ (№ 00-05-62224, № 01-05-06216) и грантов INTAS (№ 1511, № YSF 00-167).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М.* Термическое зондирование атмосферы со спутников. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 410 с.
2. *Малкевич М.С.* Оптические исследования атмосферы со спутников. М.: Наука, 1973. 303 с.
3. *Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М.* Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 280 с.
4. *Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М.* Газовые примеси в атмосфере. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 192 с.
5. *Тимофеев Ю.М.* Спутниковые методы исследований газового состава атмосферы // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. № 5. С. 451–472.
6. WMO/CEOS Report on a strategy for intergrating satellite and ground-based observations of ozone. MO GAW. № 1046. P. 124.
7. *Clarmann T.V., Linden A., Oelhaf H.* The simultaneous retrieval of pressure and temperature from MIPAS limb emission spectra. Final rreport. ESA purchase order № 131253, March, 1994.
8. *Cousins D., Smith W.L.* National Polar-orbiting Environmental Satellite System (NPOESS) Airborne Sounder Tested-Interferometer (NAST-I). Proc. SPIE 3127. 1997. P. 323–331.
9. *Tobin D.C. et al.* Downwelling spectral radiance observations at the SHEBA ice station: Water vapor continuum measurements from 17 to 26 μm // J. Geoph. Res. 1999. V. 104. № D2. P. 2081–2092.
10. *Spänkuch D., Döhler W., Güldner J., Keens A.* Ground-based Passive Atmospheric Remote Sounding by FTIR Emission Spectroscopy // First Results with EISAR. Beitr. Phys. Atmosph., February 1996. P. 97–111.
11. *Bakan S. et al.* First Interferometer Application ofr Remote Sensing // Proceedings of the Atmospheric Processes and Remote Sensing Working Group Meeting. Hamburg, Germany, 1996. P. 43–46.
12. *Виролайнен Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.* О зондировании атмосферы по данным измерений нисходящего теплового ИК-излучения // Исслед. Земли из космоса. 1998. № 3. С. 31–37.
13. *Виролайнен Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. и др.* Определение характеристик газового состава атмосферы по измерениям нисходящего теплового ИК-излучения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37. № 1. С. 1–8.
14. *Bakan S.* OASIS (Ocean and Atmospheric Sounding Interferometer System) – status and plans. Proceedings of the Max-Planck-Insitute fur Meteorologie. Climate Processes Departmsnt Workshop. 1–2 Jone 1999, Haus Rissen, Hamburg. P. 23–26.
15. *Виролейнен Я.А., Поляков А.В.* Алгоритм прямого расчета функций пропускания в задачах наземного дистанционного зондирования атмосферы // Вестн. СПб. ун-та. 1999. Сер. 4. Вып. 1 № 4). С. 29–35.
16. *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.
17. *Venterea R.T., Dennis E.R.* Nitric and nitrous oxide emissions following fertillizer application to agricultural soil: Biotic and abiotic mechanisms and kinetics // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. № D12. P. 15117–15129.
18. *Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М.* Спектроскопические измерения общего содержания метана в районе Санкт-Петербурга // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37. № 1. С. 9–15.

GROUND-BASED THERMAL FOURIER-SPECTROMETER REMOTE SENSING EXPERIMENT

Ya. A. Virolainen, H. Grass, S. Bakan, H. D. Hollweg, A. V. Polyakov, Yu. M. Timofeyev

Scientific-Research Institute of Physics, St. Petersburg State University;
Max-Plank Institute for Meteorology, Hamburg, Germany

The results of temperature and trace gases content retrieval based on interprretation of downwelling thermal IR-radiance spectra measured by OASIS interferometer (Max-Plank Instittute for Meteorology, Hamburg, Germany) in clear-sky conditions are given and analyzed. The possibility of total H_2O, CH_4 and N_2O content determining with 3–5% accuracy as well as temperature and moisture profiles retrieval in low troposphere (up to 3–5 km) with 2 K and 5–10% accuracy, respectively, is shown. The considered remote sensing method allows monitoring of total water vapour temporal variations with high accuracy (up to 5%) as well as of diurnal cycle of CH_4 and N_2O content. The analysis of two-days continuous spectra measurements interpretation shows that on these days methane column content had no evident variations, nitrous oxide column amount varied with 5% amplitude. The comparison of remote sensing measurements with independent data shows their agreement within limits of both methods accuracy.