

К.Г. Грибанов<sup>1</sup>, Р. Имасу<sup>2</sup>, А.Ю. Топтыгин<sup>1</sup>, В. Блойтен<sup>3</sup>,  
А.В. Наумов<sup>4</sup>, В.И. Захаров<sup>1</sup>

## Метод и результаты по определению метана в атмосфере Западной Сибири из данных сенсора AIRS

<sup>1</sup>Уральский госуниверситет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Center for Climate System Research, University of Tokyo, Chiba, Japan

<sup>3</sup>Department of Physical Geography, Utrecht University, Nederland

<sup>4</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 21.02.2007 г.

Обсуждаются метод определения содержания метана в атмосфере из спектров сенсора AIRS на спутнике AQUA и его апробация на данных 2005–2006 гг. Приводятся карты горизонтального распределения метана и его сезонные вариации в атмосфере болотной экосистемы Западной Сибири. Для решения задачи использовались выборки спектров AIRS за период весна 2005 г. – осень 2006 г. для условий чистого неба и прямая/обратная модель FIRE-ARMS. Определялось полное содержание метана в атмосферном столбе, и строились среднесезонные карты горизонтального распределения метана в атмосфере Западной Сибири (58–67° с.ш.; 58–90° в.д.). По усредненным по всей исследуемой области среднесезонным значениям содержания метана в атмосфере были выявлены его сезонные вариации над данной территорией за исследуемый период.

### Введение

Ключевыми проблемами XXI в. являются накопление парниковых газов в атмосфере и глобальное потепление. Субарктическая зона болотной экосистемы Западной Сибири наиболее чувствительна к росту приземной температуры воздуха, что инициирует процесс таяния вечной мерзлоты [1]. Исследование воздействия глобального потепления на углеродный баланс арктической и субарктической болотной экосистем очень важно вследствие ожидаемого масштабного размораживания торфяных слоев, в которых депонировано огромное количество органического углерода. Размораживание торфяников может привести к существенному возрастанию эмиссии метана (CH<sub>4</sub>) из болот обширной субарктической зоны Западной Сибири, накоплению его в атмосфере и росту парникового эффекта.

Наиболее перспективным методом глобального мониторинга процесса накопления парниковых газов в атмосфере и выявления основных источников их эмиссии является термическое зондирование Земли из космоса [2]. Давно и активно разрабатываются различные методы для определения вертикальных профилей атмосферных газов из эмиссионных спектров атмосферы, регистрируемых со спутников [3–8]. Данные сенсоров нового поколения, таких как IMG на спутнике ADEOS [9, 10], AIRS на спутнике AQUA [11], TES на спутнике AURA [12] и IASI на спутнике METOP [13], имеющие достаточно высокое спектральное разрешение (0,1–0,5 см<sup>-1</sup>) в тепловом инфракрасном диапазоне 600–2000 см<sup>-1</sup>, позволяют восстанавливать вертикальные профили и полное со-

держание в атмосферном столбе различных парниковых газов, таких как H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> [10, 14–19], и даже их изотопомеров, например HDO и отношение HDO/H<sub>2</sub>O в атмосфере [20]. С помощью сенсора SCIAMACHY на борту спутника Envisat были недавно представлены первые измерения распределения метана в нижней атмосфере, сделанные из космоса [21, 22]. Однако над зоной вечной мерзлоты болотной экосистемы Западной Сибири данных о сезонных вариациях метана в атмосфере не было получено.

Нами предпринята попытка определить из спектров AIRS 2005–2006 гг. сезонные вариации метана в атмосфере над болотной экосистемой Западной Сибири (58–67° с.ш.; 58–90° в.д.), включающей часть субарктической зоны вечной мерзлоты.

Из работавших сенсоров на орбите в 2005–2006 гг. AIRS (NASA) является наиболее подходящим для мониторинга содержания метана в атмосфере над большими территориями. Это решеточный спектрометр достаточно высокого разрешения (~0,5 см<sup>-1</sup>) с 2378 спектральными каналами в тепловом инфракрасном диапазоне 3,7–15,4 мкм [11]. Он сканирует атмосферу в поперечном направлении в интервале углов ±49,5° относительно надире. Каждая линия сканирования состоит из 90 пикселей размером 13,5 км в надире и 41 × 21,4 км при максимальном угле сканирования с орбиты 705,3 км. AIRS обеспечивает полное покрытие глобуса каждые 12 ч, что дает возможность накапливать достаточное количество спектров, полученных в условиях чистого неба, для покрытия всей территорией Западной Сибири за сезон.

Задачи данной работы – определить горизонтальное распределение содержания метана в атмосфере и выявить его среднесезонные вариации над обширной болотной экосистемой Западной Сибири с помощью данных спектров AIRS/AQUA в условиях чистого неба.

Прямая и обратная модель FIRE-ARMS, апробированная ранее на спектрах IMG [14, 23], была адаптирована для задачи определения содержания метана в атмосферном столбе из спектров AIRS. В данном методе на первом этапе восстанавливается вертикальный профиль температуры из спектрального интервала 680–830 см<sup>-1</sup> классическим методом оптимальной статистической оценки [4, 5, 24], затем определяется полное содержание метана в атмосферном столбе из спектрального интервала 1298–1308 см<sup>-1</sup> с помощью метода минимизации с ограничениями. Особенности этого обратного кода и результаты восстановления из спектров AIRS 2005–2006 гг. по горизонтальному распределению метана в атмосфере Западной Сибири обсуждаются в данной статье.

## Метод восстановления содержания CH<sub>4</sub> в атмосфере из спектров AIRS и результаты

Уравнение переноса для уходящего в космос теплового излучения Земли, наблюдаемого со спутника в надир в безоблачной слабоаэрозольной атмосфере, имеет вид [25]:

$$W_v = \varepsilon_v B_v(T_0) \exp\left(-\int_0^H k_v dh\right) + \int_0^H k_v B_v \exp\left(-\int_h^H k_v dh'\right) dh + (1 - \varepsilon_v) W_v^{down} \exp\left(-\int_0^H k_v dh\right), \quad (1)$$

$$W_v^{down} = \int_0^H dh k_v B_v \exp\left(-\int_0^h k_v dh'\right),$$

где  $W_v$  – спектральная яркость уходящего теплового излучения;  $W_v^{down}$  – нисходящее излучение, Вт/(м<sup>2</sup>·см<sup>-1</sup>·ср), частоты  $\nu$ ;  $B_v(T(h))$  – планковская функция излучения черного тела при температуре  $T(h)$ ;  $\varepsilon_v$  – излучательная способность поверхности;  $h$  – высота;  $H$  – высота верхней границы атмосферы;  $k_v(h)$  – коэффициент поглощения газовых составляющих атмосферы, рассчитываемый методом *line-by-line* суммирования с использованием спектроскопических параметров из базы данных HITRAN-2000 [26]. Учет континуального поглощения водяным паром учитывается в рамках модели SKD 2,4 model [27], эффект смещения линий в полосе CO<sub>2</sub> – по модели [28]. Для наклонной трассы  $dh$  в (1) заменяется на  $\sec\theta dh$ , где  $\theta(h)$  – зенитный угол наблюдения как функция высоты, учитывающей сферичность атмосферы. Описанная модель

используется в программном пакете FIRE-ARMS (<http://remotesensing.ru>) и применяется в данной статье для расчетов спектральной яркости уходящего излучения, регистрируемого в спектральных каналах AIRS. Программный пакет FIRE-ARMS выполняет *line-by-line* расчеты величины  $W_v$  с шагом до 0,0001 см<sup>-1</sup> с последующей ее сверткой с аппаратной функцией сенсора AIRS. Кроме того, данный пакет имеет возможность расчета таблиц сечений поглощения для отдельных газов, что позволяет впоследствии значительно ускорить расчеты спектров и производных. В качестве численных значений излучательной способности поверхности  $\varepsilon_v$  при расчетах  $W_v$  над регионом Западной Сибири использовались данные по излучательной способности различных типов поверхности, собранные на CD-ROM HITRAN-96 [26].

Алгоритм обработки каждого измеренного спектра AIRS состоял из следующих шагов:

1) Определение вертикального профиля температуры по итерационной схеме метода оптимального статистического оценивания, как описано в [24], с использованием неперекрывающихся спектральных интервалов из района 680–830 см<sup>-1</sup> с достаточно хорошей плотностью температурных весовых функций от поверхности до высоких слоев атмосферы, в которых влиянием вариаций водяного пара на эмиссионный спектр атмосферы можно пренебречь [29]:

$$x_{k+1} = C_k(y - y_k) + (I - C_k K_k)(x_0 - x_k) - x_k;$$

$$C_k = (K_k^T S_\varepsilon^{-1} K_k + S_a^{-1})^{-1} K_k^T S_a^{-1},$$

где  $x_{k+1}$ ,  $x_k$  – искомый вектор (профиль температуры) на итерации  $k + 1$  и  $k$ ;  $x_0$  – начальное приближение;  $y$ ,  $y_k$  – измеренный и расчетный спектры (в выбранных спектральных интервалах);  $I$  – единичная матрица;  $K_k$  – якобиан прямой модели;  $S_\varepsilon$  – ковариационная матрица ошибок измерения спектра;  $S_a$  – априорная ковариационная матрица искомого вектора.

Ковариационные матрицы  $S_a$  вертикальных профилей температуры строились для разных сезонов из данных зондовых измерений метеообсерваторий, расположенных в Западной Сибири: Печора (65,12° с.ш., 57,10° в.д.), Салехард (66,53° с.ш., 66,67° в.д.), Ханты-Мансийск (61,02° с.ш., 69,03° в.д.), Туруханск (65,78° с.ш., 87,93° в.д.), доступных с сайта Британского центра атмосферных данных BADC (<http://badc.nerc.ac.uk>).

2) Для вертикального профиля водяного пара использовался средний за месяц (соответствующий времени измерения обрабатываемого спектра) профиль радиозондовых измерений ближайших метеообсерваторий.

3) Определение эффективного вертикального профиля метана методом минимизации функционала  $F$  [14] с ограничениями на возможные вариации метана, апробированным на спектрах IMG ранее [23]:

$$F(x) = \frac{1}{2} \sum_i^M [W_i^{cal}(x) / W_i^{obs} - W_i^{obs} / W_i^{cal}(x)]^2, \quad (3)$$

где  $M$  — число учитываемых в данной задаче спектральных каналов сенсора AIRS.

При этом использовался интервал  $1298\text{--}1308\text{ см}^{-1}$ , поскольку в этом интервале вариации водяного пара практически до 300% около среднемесячного значения пренебрежимо мало изменяют спектр яркости излучения. Суть методики — это подгонка измеренного и модельного спектров при минимизации целевой функции вида (3). При этом на искомое решение накладываются ограничения:

$$ax_i^{ref} \leq x_i \leq bx_i^{ref}, \quad (4)$$

где  $x_i$  и  $x_i^{ref}$  — варьируемый искомый и опорный атмосферный параметр (концентрация  $\text{CH}_4$ ) на  $i$ -й высоте, а параметры  $a$ ,  $b$  удовлетворяют условиям  $0 < a < 1$  и  $b > 1$ . Для минимизации (3) использовался алгоритм Флетчера—Ривза, модифицированный для ограничений (4). Использовались значения  $a = 0,9$  и  $b = 1,8$  при модельной концентрации метана у поверхности  $1,7$  ppm, допустимый интервал вариации концентрации составлял в районе  $1,5\text{--}3,0$  ppm, что согласуется с самолетными измерениями в регионе Западной Сибири [30]. Значительные вариации метана наблюдались в нижней атмосфере, начиная от поверхности до  $7$  км. Поэтому в данном методе восстанавливался так называемый эффективный профиль, т.е. принимались во внимание возможные вариации концентрации метана только в следующих 10 атмосферных слоях:  $0\text{--}100$  м,  $100\text{--}500$  м,  $0,5\text{--}1$  км и далее от  $1$  до  $8$  км по  $1$  км каждый слой. Выше  $8$  км профиль метана аппроксимировался стандартной моделью атмосферы.

Расчет содержания метана во всем атмосферном столбе проводился, исходя из полученных вертикальных эффективных профилей метана и температуры:

$$\text{total CH}_4 = 10^6 N_A^{-1} \int_0^H \frac{p}{kT} N_{\text{CH}_4} dh,$$

где  $\text{total CH}_4$  — полное содержание метана в атмосферном столбе, моль/ $\text{м}^2$ ;  $N_A$  — число Авогадро;  $p$ ,  $T$  — вертикальные профили давления и температуры;  $N_{\text{CH}_4}$  — концентрация метана, ppm.

Оценка ошибок описанного алгоритма была выполнена по схеме замкнутых модельных экспериментов на синтетических спектрах AIRS. Для выбранного набора атмосфер (наборов профилей) с помощью ПО FIRE-ARMS рассчитывались фрагменты AIRS — подобных ИК-спектров (с соответствующим типом и шириной аппаратной функции, заданной спецификацией прибора), включающих требуемые для метода восстановления профиля температуры и метана спектральные интервалы. К этим спектрам был добавлен нормально распределенный шум с уровнем, характерным для используемых спектральных каналов AIRS. Затем из модельных спектров по вышеописанной методике восстанавливались эффективный профиль метана и его полное содержание в атмосферном столбе, проводилось сравнение результатов с исходными (известными) профилями и полным содержанием метана. Вычислялось среднеквадратическое отклонение.

В результате было установлено, что относительная точность предложенной схемы определения содержания метана в полном атмосферном столбе из спектров AIRS составляет около 2,5%. Это можно считать приемлемым для целей детектирования сезонных вариаций метана в атмосфере. Однако необходимо отметить, что данную оценку следует рассматривать как ошибку непосредственно самой схемы (алгоритма) решения обратной задачи определения метана в атмосфере из спектров AIRS. То есть оценку ошибки снизу, без учета возможных неопределенностей, связанных с вариациями излучательной способности поверхности для весенних, летних и осенних сезонов, с влиянием аэрозоля в случаях его значительных концентраций в наблюдаемой атмосфере, а также с возможными неточностями в значениях интенсивностей линий поглощения атмосферных газов в базе данных HITRAN.

В целях независимой оценки достоверности метода было произведено сравнение восстановленной из спектра AIRS концентрации метана в приземном слое ( $0\text{--}100$  м) с синхронизованным по времени прямым измерением метана (с помощью хроматографа) на ключевом участке болот Западной Сибири, проводившимся в рамках проекта ИНТАС CASUS 03-51-6294. Прямые хроматографические измерения метана проводились эпизодически в районе  $60,58^\circ$  с.ш.,  $70,10^\circ$  в.д. с  $17.06.04$  по  $12.09.04$ ; брались пробы воздуха на высоте  $2$  м от поверхности в различных местах ключевого участка. Регистрируемые концентрации метана в основном варьировались от  $1,48$  до  $3,89$  ppm. Удачная для сравнительного эксперимента ситуация безоблачного неба наблюдалась  $18.06.2004$ . Обработка спектра AIRS, измеренного над указанным районом в этот день, дала значение концентрации метана  $2,04$  ppm для приземного слоя  $0\text{--}100$  м. Результат усредненных по участку прямых измерений метана в этом районе на высоте  $2$  м дал значение  $2,58$  ppm. Такое согласие является вполне приемлемым для данных задач.

Предложенный метод был применен к обработке спектров регистрируемых сенсором AIRS над регионом Западной Сибири. Производился отбор образцов спектров AIRS начиная с весны 2005 г. до зимы 2005/06 г., измеренных в условиях безоблачного неба над районом ( $58\text{--}67^\circ$  с.ш.,  $58\text{--}90^\circ$  в.д.). Все спектры обрабатывались этим методом с целью получения данных содержания метана в атмосфере над исследуемым районом и нанесения их на карту. Карты среднесезонного содержания метана строились путем усреднения значений  $\text{total CH}_4$  в каждой ячейке сетки размером  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  по широте и долготе, восстановленных по выборке безоблачных спектров AIRS за сезон.

Полученные сезонные карты горизонтального распределения метана в атмосфере Западной Сибири представлены на рис. 1.

Относительно высокие весенние значения метана в атмосфере являются следствием выбросов накопившегося за зиму метана из болот в результате таяния снега и почвы, а его горизонтальное распределение обусловлено как динамикой процессов таяния, так

и характерной розой тропосферного ветра в этот период. Аналогичные значения по содержанию метана в атмосфере этого региона ранее были получены из данных сенсора IMG со спутника ADEOS за апрель 1997 г. [15].

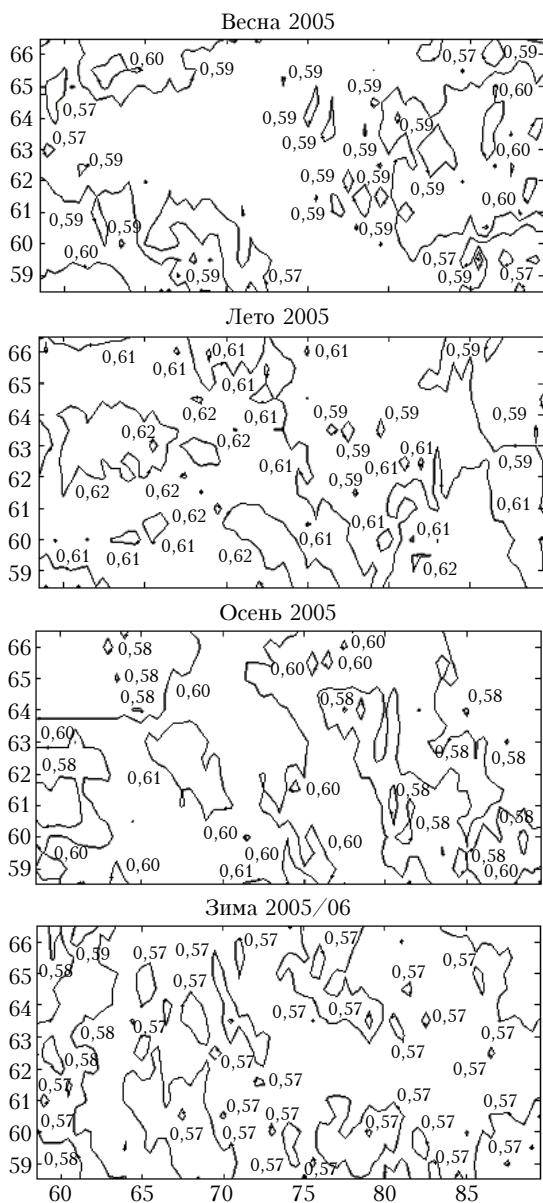


Рис. 1. Горизонтальное распределение содержания метана в атмосфере Западной Сибири весной, летом, осенью 2005 г. и зимой 2005/06 г., полученное по выборке спектральных данных сенсора AIRS со спутника AQUA для чистого неба

В летний период наблюдается более равномерное распределение метана в атмосфере Западной Сибири в результате того, что в этот период весь регион становится источником эмиссии болотного метана в атмосферу. Зимой (в отсутствие естественной эмиссии метана из болот) наблюдается практически равномерное распределение фонового атмосферного метана с незначительным превышением в западной части региона. Это может быть связано с деятельностью

нефтегазового комплекса в этом районе и наличием значительных постоянно действующих антропогенных источников эмиссии метана, таких как компрессорные станции по перекачке природного газа по магистральным трубопроводам. Такого рода карта, построенная для удачного одномоментного снимка AIRS достаточно большого безоблачного участка (около  $1000 \times 1000$  км) над наблюдаемым регионом в зимний период при стабильной предшествующей картине ветра, может дать горизонтальное распределение метана, отражающее локализацию основных источников его антропогенной эмиссии.

На рис. 2 показана сезонная зависимость усредненного по всей наблюдаемой территории содержания метана в атмосфере Западной Сибири.

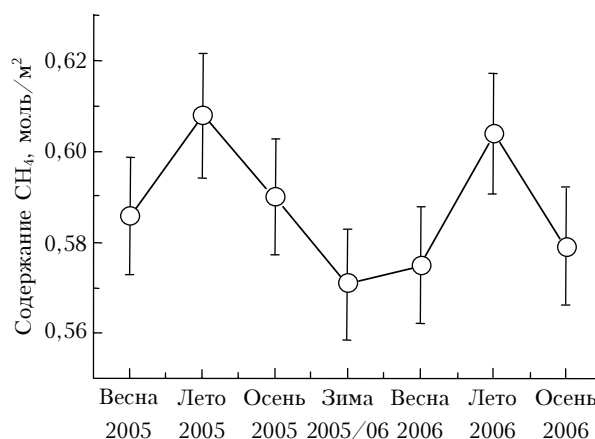


Рис. 2. Сезонные вариации содержания метана в атмосферном столбе после усреднения по всей исследуемой территории Западной Сибири (58–67° с.ш.; 58–90° з.д.)

При данном уровне ошибки метода (приведенном на графике) надежно установить можно только наличие вариаций между содержанием метана в атмосфере в зимний и летний периоды. Среднее значение метана в атмосфере за весь приведенный на графике период составляет величину около  $0,59$  моль/м<sup>3</sup>. Наблюдаемую разницу около  $0,04$  моль/м<sup>3</sup> между летним 2005 г. и 2006 г. и зимним (2005/06 г.) содержанием метана в атмосфере Западной Сибири можно трактовать как чистый вклад естественной эмиссии метана из болот за летний период.

## Заключение

Полученное в работе повышенное содержание метана в атмосфере Западной Сибири в весенний, летний и осенний сезоны по отношению к зимнему сезону, очевидно, обусловлено наличием естественной эмиссии метана из болот (весь летний период и примерно вторую половину весеннего и первую половину осеннего сезонов) на этих широтах (58–67° с.ш., 58–90° в.д.). Содержание метана в атмосфере Западной Сибири в течение всего этого периода является суммой фонового содержания метана в атмосфере и дополнительного вклада от эмиссии с болот. В зимний сезон из-за промерзания почвы процесс естественной эмиссии метана из болот

приостанавливается и его содержание в этот период определяется в основном фоновым содержанием метана в атмосфере. Добавка антропогенного метана из-за его эмиссии с объектов нефтегазового комплекса, расположенных в западной части этого региона, менее значительна, чем в результате его естественной эмиссии с болот летом и в теплые периоды весеннего и осеннего сезонов.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить команду AIRS за предоставление необходимых данных и особенно Т. Pagano и Ф. Irgon за обсуждение метода восстановления содержания метана в атмосферном столбе из спектров AIRS и полученных результатов. Один из авторов благодарен Tadao Aoki за обсуждение метода определения метана в атмосфере, Claude Camy-Peyret за полезные комментарии, касающиеся предложенной схемы минимизации ее ограничениями.

Работа была частично поддержана грантами РФФИ ЮГРА № 03-07-96836, ИНТАС CASUS 03-51-6294, РФФИ № 06-01-00669 и проектом JAXA GOSAT.

1. Calaghan T.V., Jonasson S. Arctic ecosystems and environmental change // Phil. Trans. Roy. Soc. London. A. 1995. V. 352. P. 259–276.
2. Тимофеев Ю.М. Спутниковые методы исследования газового состава атмосферы (обзор) // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1989. Т. 26. № 5. С. 451–472.
3. Chahine M.T. Inverse problems in radiative transfer: determination of atmospheric parameters // J. Atmos. Sci. 1970. V. 27. P. 960–967.
4. Покровский О.М., Тимофеев Ю.М. Общий статистический подход к решению обратных задач атмосферной оптики // Метеорол. и гидрол. 1972. № 1. P. 52–59.
5. Rodgers C.D. Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation // Rev. Geophys. and Space Phys. 1976. V. 14. P. 609–624.
6. Chedin A., Scott N.A., Wahihe C., Moulinier P. The improved initialization inversion method: a high resolution physical method for temperature retrievals from the TIROS-N series // J. Clim. Appl. Meteorol. 1985. V. 24. P. 128–148.
7. Smith W.L., Woolf H.M., Revercomb H.E. Linear simultaneous solution for temperature and absorbing constituents profiles from radiance spectra // Appl. Opt. 1991. V. 30. N 9. P. 1117–1123.
8. Ma X.L., Schmit T.J., Smith W.L. A nonlinear physical retrieval algorithm – its application to the GOES-8/9 Sounder // J. Appl. Meteorol. 1999. V. 38. P. 501–513.
9. Kobayashi H., Ed. Interferometric Monitor for Greenhouse Gases: IMG Project Technical Report / IMG Mission Operation & Verification Committee, CRIEPI; Tokyo, Japan. 1999.
10. Imasu R. Meridional distribution feature of minor constituents as observed by IMG sensor aboard ADEOS satellite // Adv. Space Res. 1999. V. 25. P. 959–952.
11. Pagano T.S., Aumann H.H., Hagan D., Overoye K. Pre-launch and In-Flight Radiometer Calibration of the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) // IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens. 2003. V. 41. N 2. P. 343–351.
12. Beer R., Glavich T.A., Rider T.M. Tropospheric emission spectrometer for Earth Observing System's Aura satellite // Appl. Opt. 2001. V. 40. N 15. P. 2356.
13. Lerner J.A., Weisz E., Kichengast G. Temperature and humidity retrieval from simulated Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) measurements // J. Geophys. Res. D. 2002. V. 107. N 14. P. 4189.
14. Gribanov K.G., Zakharov V.I., Tashkun S.A., Tyuterev V.I.G. A new software tool for radiative transfer calculations and its application to IMG/ADEOS data // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2001. V. 68. N 4. P. 435–451 (<http://remotesensing.ru>).
15. Clerbaux C., Hadji-Lazaro J., Turquety S., Megie G., Coheur P.-F. Trace gas measurements from infrared satellite for chemistry and climate applications // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2003. V. 3. P. 2027–2058.
16. Jones D.B.A., Bowman K.W., Palmer P.I., Worden J.R., Jacob D.J., Hoffman R.N., Bey I., Yantosca R.M. Potential of observations from the Tropospheric Emission Spectrometer to constrain continental sources of carbon monoxide // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108. N 24. 4789, doi:10.1029/2003JD003702, 2003.
17. Crevoisier C., Heilliette S., Chedin A., Serrar S., Armande R., Scott N.A. Midtropospheric CO<sub>2</sub> concentration retrieval from AIRS observations in the tropics // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. P. 1–4. L17106, doi:10.1029/2004GL020141, 2004.
18. Grieco G., Luchetta A., Masiello G., Serio C., Viggiano M. IMG O<sub>3</sub> retrieval and comparison with TOMS/ADEOS columnar ozone: an analysis based on tropical soundings // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. V. 95. P. 331–348.
19. Chahine M., Yung Y., Li Q., Olsen E., Chen L., Krakauer N. AIRS CO<sub>2</sub> Retrievals Using the Method of Vanishing Partial Derivatives (VPD). Presentation on AIRS Science Team meeting, Caltech-Pasadena, CA, March 7–10, 2006.
20. Zakharov V.I., Imasu R., Gribanov K.G., Hoffmann G., Jouzel J. Latitudinal distribution of the deuterium to hydrogen ratio in the atmospheric water vapor retrieved from IMG/ADEOS data // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. N 12. L12104. P. 1–4.
21. Frankenberg C., Meirink J.F., van Weele M., Platt U., Wagner T. Assessing Methane Emission from Global Space-Borne Observations // Science. 2005. V. 308. N 5724. P. 1010–1014.
22. Dils B., et al. Comparisons between SCIAMACHY and ground-based FTIR data for total columns of CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6. P. 1953–1976.
23. Грибанов К.Г. Разработка методов определения атмосферных параметров по результатам измерения теплового излучения Земли с высоким спектральным разрешением: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Заречный, 2002. 103 с.
24. Rogers C.D. Inverse methods for atmospheric sounding. Theory and practice // World Sci. 2000.
25. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Термическое зондирование атмосферы со спутников. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 280 с.
26. Rothmann L.S., et al. The HITRAN molecular spectroscopic database: edition of 2000 including updates through 2001 // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2003. V. 82. P. 5–44.
27. Tobin D., et al. Downwelling Spectral Radiance Observations at the SHEBA Ice Station: Water Vapor Continuum Measurements from 17–26 micrometer // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 2081–2092.
28. Rodrigues R., Jucks K.W., Lacombe N., Blanquet G., Walrand J., Traub W.A., Khalil B., Le Doucen, Valentin A., Camy-Peyret C., Bonamy L., Hartmann J.M. Model, software, and database for computation of line-mixing effects in infrared Q-branches of atmospheric

- CO<sub>2</sub>. I. Symmetric isotopomers // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1999. V. 61. P. 153–184.
29. *Gribanov K.G., Zakharov V.I.* Neural network solution for temperature profile retrieval from infrared spectra with high spectral resolution // Atmos. Sci. Lett. 2004. V. 5. Issue 1–4. P. 1–11.
30. *Nakazawa T., Sugawara S., Inoue G., Machida T., Maksyutov S., Mukai H.* Aircraft measurements of the concentrations of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CO and the carbon and oxygen isotopic ratios of CO<sub>2</sub> in the troposphere over Russia // J. Geophys. Res. D. 1997. V. 102. N 3. P. 3843–3859.

*K.G. Gribanov, R. Imasu, A.Yu. Toptygin, W. Bleuten, A.V. Naumov, V.I. Zakharov.* **Method and results of retrieval of methane content in atmosphere of Western Siberia from AIRS data.**

The paper discusses method of determination of methane content in atmosphere from spectra of sensor AIRS boarded on AQUA satellite and its approbation on data of 2005–2006. Maps of horizontal distribution of methane and results of seasonal variations of CH<sub>4</sub> in atmosphere over wetland of Western Siberia are presented. Sets of clear sky AIRS spectral data selecting within period from spring 2005 to autumn 2006 and forward/inverse model FIRE-ARMS were used for this task. Methane content in total atmospheric column was determined and seasonal maps of horizontal methane distribution in atmosphere of Western Siberia (58–67N; 58–90E) were constructed. Seasonal mean variations of methane in atmosphere of the investigated area were revealed.