

# Выбор спектрального участка для спутникового мониторинга содержания метана в приземном слое атмосферы

*Втюрин С.А.<sup>1</sup>, Князев Н.А.<sup>1</sup>*

Институт космических исследований РАН, (ИКИ РАН), г. Москва

Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»

*секция* Вопросы создания и использования приборов и систем для спутникового мониторинга состояния окружающей среды

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, пропускание атмосферы, численное моделирование, мониторинг, малые газовые составляющие.

Метан является одним из главных климатообразующих парниковых газов атмосферы Земли. Представляет интерес и выявление изменений содержания метана в приземном слое атмосферы вследствие утечек (аварий) на газопроводах, природных подповерхностных и промышленных выбросов метана и пр. Для решения этих задач предлагается проанализировать возможность использования космических средств наблюдения Земли. Здесь рассматривается вопрос выбора для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса спектрального участка для выявления изменений содержания метана в приземном слое атмосферы.

В части выбора участка спектра для зондирования приповерхностного слоя атмосферы здесь необходимо сделать следующее замечание- зондирование поверхности и приповерхностного слоя атмосферы из космоса возможно только в "окнах" прозрачности. Это обусловлено физикой процесса переноса электромагнитного излучения- при большей оптической толщине атмосферы уходящее ИК излучения формируется все более верхними слоями атмосферы- поверхность в таком участке спектра просто не видна.

Обсуждение вопроса возможности индикации той или иной газовой компоненты в нижних слоях атмосферы космическими средствами ДЗЗ носит условный характер, пока не будет проведено моделирование регистрируемого на спутнике уходящего от поверхности излучения. Такой подход предопределяет и решение вопроса о создании целевой спутниковой аппаратуры- только на основе численного моделирования для того или иного участка спектра с учетом различных мешающих факторов (вариации состояния атмосферы и поверхности) возможен выбор спектрального диапазона, необходимого спектрального и радиометрического разрешения, реализация которых в конструкции спутникового прибора обеспечат успешное решение целевых задач.

Для задачи спутниковых наблюдений вариаций содержания метана представляет интерес мощная полоса поглощения электромагнитного излучения метаном- полоса 7.7 мкм. Длинноволновое крыло полосы 7.7 мкм примыкает к "окну" прозрачности 8-12 мкм.

Однако полоса метана перекрывается полосой поглощения 6.3 мкм водяного пара (рис. 1). Предлагается проанализировать возможность определения содержания метана по измерениям уходящего ИК излучения в длинноволновом крыле полосы 7.7 мкм.

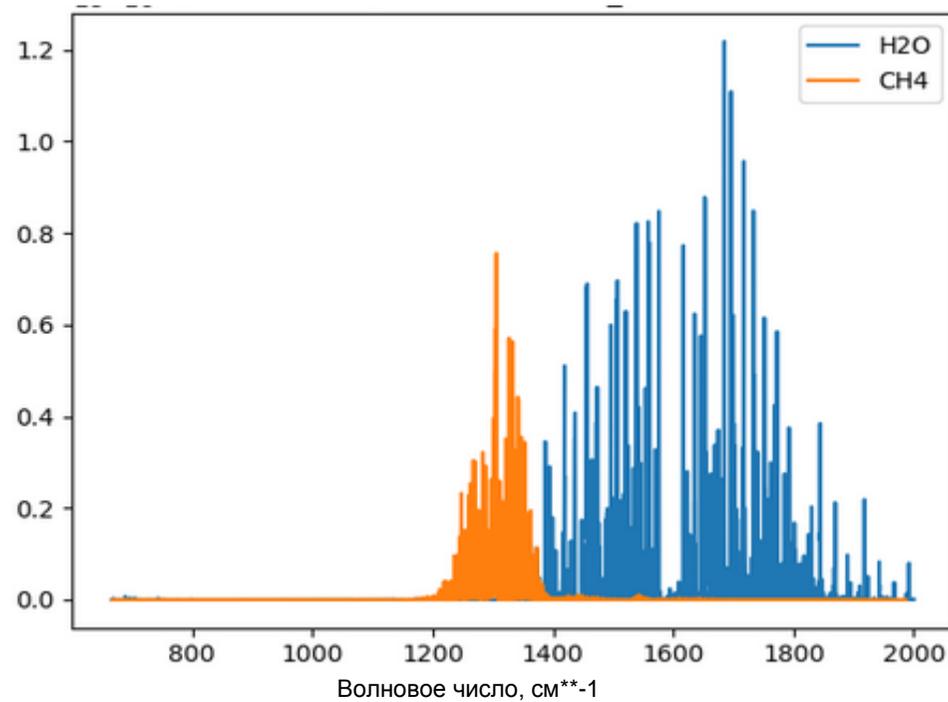


Рис. 1. Спектры метана и водяного пара

Для этого проводился расчет интенсивности уходящего ИК излучения в диапазоне 8- 9 мкм с использованием атласа спектральных линий атмосферы [1, 2]: модель атмосферы- лето, средние широты, излучательная способность поверхности  $\varepsilon_0=1$ , направление зондирования- надир. Процедура численного моделирования уходящего ИК излучения описана в [3]. Расчеты выполнены в соответствии с уравнением переноса в интегральном виде (1):

$$I(\lambda) = \varepsilon_0(\lambda) B_\lambda(T_0) P_\lambda(0, L) - \int_0^1 B_\lambda[T(R)] \frac{\partial P_\lambda(0, R)}{\partial R} dR, \quad (1)$$

где

$\varepsilon_0(\lambda)$ - излучательная способность поверхности (элемента ландшафта) в направлении зондирования,  $\varepsilon_0(\lambda) = 1 - \rho_\lambda$ ;

$B_\lambda(T)$ - функция Планка при температуре  $T$ ;

$P_\lambda(0, R)$ - функция пропускания атмосферы на пути зондирования.

$T_0$ - температура поверхности;

$T(R)$  – вертикальный профиль температуры атмосферы;

$R$ - высота в относительных единицах давления ( $R = p/p_0$ ),  $p_0$ - давление у поверхности).

При расчетах функций пропускания (коэффициентов поглощения) использовался лоренцевский контур.

Результаты численного моделирования показывают, что вклад 2-х компонент атмосферы (водяного пара и метана) в уходящее ИК излучение в спектральном участке 8- 8.5 мкм почти одинаков (в раза полтора выше у водяного пара: 0.0054 против 0.0034 у метана в относительных единицах) для стандартных профилей в средноклиматических моделях атмосферы

При моделировании варьировались значения содержания метана в нижнем слое атмосферы-моделировалось изменение содержания метана в приземном слое в 5, 10 50 раз. Результаты моделирования показывают изменения рассчитанных интенсивностей уходящего ИК излучения при разных концентрациях метана у поверхности, что свидетельствует о возможности использования спутниковых средств этого спектрального диапазона для мониторинга содержания метана в приземном слое.

Оценивалось также при моделировании влияние содержания наиболее изменчивой компоненты атмосферы- водяного пара. Проведение таких работ будет продолжено.

Работа выполнена по теме "Мониторинг".

## Литература

1. McClatchy R. A., Fenn R. W., Selby J. A. et al. Optical properties of the atmosphere (Revised). *AFCRL-71-0279*, 1971.
2. I.E. Gordon, L.S. Rothman, C. Hill et al., "The HITRAN2016 Molecular Spectroscopic Database", *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **203**, 3-69 (2017).
3. Князев Н.А. О селективном поглощении атмосферы при дистанционном термическом зондировании Земли из космоса. *Иссл. Земли из космоса*. 1988, № 4, с. 12-24.