
УДК 551.501: 629.195.1

Доктор техн. наук А.Х. Ахмеджанов¹
Канд. физ.-мат. наук Н.Д. Ахметов¹
Канд. техн. наук Т.К. Караданов¹

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: атмосфера, метан, содержание, вертикальный профиль, дистанционное зондирование, излучение.

Приводятся результаты исследования возможности использования спутниковой информации для восстановления концентраций малых газовых составляющих в атмосфере с целью их мониторинга на основе измеряемых на спутнике параметров атмосферы. Расчет концентрации основан на селективных свойствах поглощения излучения метана в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра.

С ростом содержания метана изменяются химические процессы в атмосфере, что может привести к ухудшению экологической ситуации на Земле. Метан поступает в атмосферу из литосферы, с поверхности Земли и океана [1]. Повышение температуры атмосферы может привести к началу не контролируемого испарения метана со дна Мирового океана и территорий вечной мерзлоты Сибири [2]. Особенно серьезна ситуация с внутриконтинентальными морями (Чёрное, Азовское и Каспийское), которые будут прогреваться значительно быстрее, чем весь Мировой океан. Результаты измерения потоков метана в Западной Сибири показали, что наибольшие значения удельных потоков метана наблюдаются на участках леса избыточным увлажнением, а наименьшие значения отмечены в лесах периодического сезонного заболачивания [3]. Доминирующий вклад в образование общего потока метана в атмосферу на территории Казахстана вносят сельскохозяйственные площади, животные и степные пожары. Проведены измерения приземной концентрации и общего содержания метана в атмосфере Северо-Западного региона России [6]. Метан поглощает излучение Земли в тех ок-

¹ АО «НЦКИТ» АК МИР РК, г. Алматы, Казахстан

нах спектра, которые оказываются прозрачными для других парниковых газов [4]. Количество информации о пространственно-временной изменчивости общего содержания метана ограничено из-за небольшого числа наземных станций [5]. Изучение пространственно-временной изменчивости метана в атмосфере для различных временных масштабов является актуальным вопросом.

Для восстановления концентрации атмосферных газов используются методы, основанные на поглощении излучения в инфракрасной области электромагнитного спектра. В настоящее время получены спектральные характеристики газового состава атмосферы, являющиеся физической основой всех дистанционных методов измерений. Определены спектрально локализованные полосы поглощения для малых газовых составляющих с использованием банков данных HITRAN (High-resolution TRANsmission), GEISA (Gestion et Etude des Information Spectroscopiques Atmospheriques). Глобальный атмосферный реанализ спутниковых данных (MERRA) осуществляется НАСА (GMAO) в рамках глобального управления, моделирования и ассимиляции спутниковых данных. MERRA-2 обеспечивает систематизированный, однородный учет глобальной атмосферы и включить дополнительные аспекты климатической системы, включая газовые компоненты и улучшенное представление поверхности Земли.

В случае длинноволнового излучения можно пренебречь рассеянием и считать, что выполняются условия термодинамического равновесия, при котором основные величины этой системы колеблются возле своих средних значений с небольшими отклонениями при отсутствии сильного внешнего вмешательства. Измеряемое спутниками тепловое излучение, есть сумма всех излучений элементарных слоев атмосферы, характеризующееся функцией ослабления теплового излучения $F_\lambda(p)$, зависящая от давления P и температуры $T(p)$, а также от длины волны λ (или частоты ν), на котором фиксируется излучение, угла визирования ϑ со спутника.

Уравнение переноса длинноволнового излучения в атмосфере в изобарической системе координат можно представить в виде:

$$J_\lambda^\uparrow(p) = B_\lambda[T(p_0)] * F_\lambda(p_0) + \int_{p_0}^0 B_\lambda[T(u)] \frac{dF_\lambda(u)}{du} du, \quad (1)$$

где $J_\lambda^\uparrow(p)$ – восходящее тепловое излучение, $B_\lambda[T(p)]$ – функция Планка, $p_0 = 1000$ гПа – давление на земной поверхности.

Функция ослабления теплового излучения определяется в виде:

$$F_{\lambda} = e^{-\frac{\alpha_{\lambda} \rho z}{\cos \vartheta}},$$

где α_{λ} – массовый коэффициент поглощения атмосферным газом.

Содержание метана до больших высот практически не меняется и можно приблизительно считать его постоянным до определенной высоты (30 км), поэтому можно определить концентрацию газа по следующие дискретные уравнения:

$$J_{\lambda}^{\uparrow}(p_N) = B_{\lambda}[T(p_0)] * F_{\lambda}(p_0) + \sum_{i=1}^N B_{\lambda}[T(p_i)] (F_{\lambda}(p_{i+1}) - F_{\lambda}(p_i)). \quad (2)$$

Функция ослабления теплового излучения определяется в виде:

$$F_{\lambda}(p_i) = e^{-\frac{\alpha_{\lambda} \rho (p_N - p_i)}{\cos \vartheta}}, \quad (3)$$

где α_{λ} – массовый коэффициент поглощения излучения, ρ - плотность газа.

Разложение в ряд этой функции будет иметь вид:

$$F_{\lambda}(p_i) = 1 - \frac{\alpha_{\lambda} \rho}{\cos \vartheta} (p_N - p_i). \quad (4)$$

После постановки (3) в (2) получим:

$$J_{\lambda}^{\uparrow}(p_N) = B_{\lambda}[T(p_0)] * \left(1 - \frac{\alpha_{\lambda} \rho}{\cos \vartheta} (p_N - p_0) \right) + \sum_{i=1}^N B_{\lambda}[T(p_i)] \frac{\alpha_{\lambda} \rho}{\cos \vartheta} ((p_{i+1} - p_i)), \quad (5)$$

где $J_{\lambda}^{\uparrow}(p_N)$ – измеряемое на спутнике уходящее инфракрасное излучение.

$$\rho = \frac{B_{\lambda}[T(p_0)] - J_{\lambda}^{\uparrow}(p_N)}{\frac{\alpha_{\lambda}}{\cos \vartheta} ((p_N - p_0) B_{\lambda}[T(p_0)] - \sum_{i=1}^N B_{\lambda}[T(p_i)] (p_{i+1} - p_i))}. \quad (6)$$

Наиболее подходящим в задачах исследования атмосферы является инфракрасный зонд AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), который является спектрометром высокого разрешения, измеряющий инфракрасное излучение Земли в спектральном диапазоне от 3,75 до 15,4 мкм. Получен космический снимок за 26 августа 2018 г. по 791 каналу инфракрасного диапазона AIRS, соответствующий полосе поглощения метана 7,7 мкм (рис.1а). Вертикальный профиль содержания метана в атмосфере (рис.1б) на расчетной территории за 26 августа 2018 г. Для метана с полосой поглощения 7,7 мкм из базы данных HITRAN был получен спектр коэффициента молекулярного поглощения метаном с размерностью см^{-1} в зависимости от волнового числа WN . Значение линейного коэффициента поглощения метаном: $= 20 \text{ м}^{-1}$. Массовый коэффициент поглощения метана $\alpha_{\lambda} = 6,67 \text{ м}^2/\text{мг}$. Распределения

интенсивности восходящего излучения и приземной температуры в (°K) на расчетной территории по данным AIRS показаны на рис. 2. Распределение содержания метана (ppb) на уровне 100 гПа по расчетной территории 26 августа 2018 г. по данным AIRS с расчетным участком представлены на рис. 3. Расчетное распределение концентрации CH₄ 26 августа 2018 г. на плоскости 100 гПа показано на рис. 4. Сопоставление этих распределений показывает в целом согласованность. Расчетное распределение является более сглаженным.

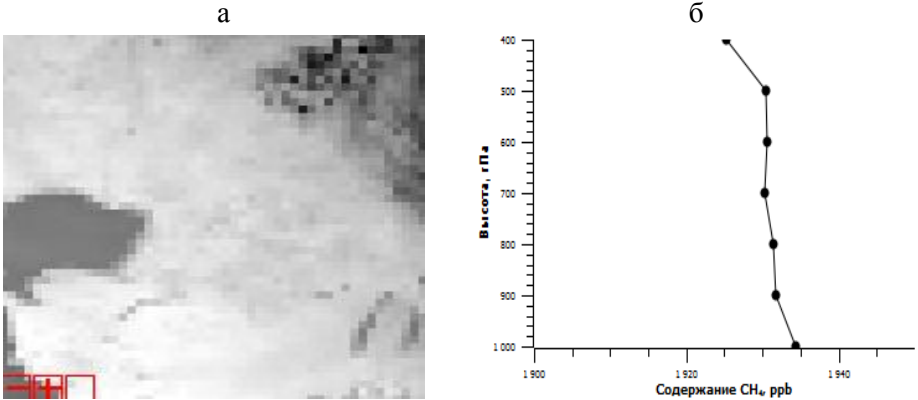


Рис. 1. Космический снимок (а) 791 канала AIRS на 26 августа 2018 года и профиль содержания метана в атмосфере (б).

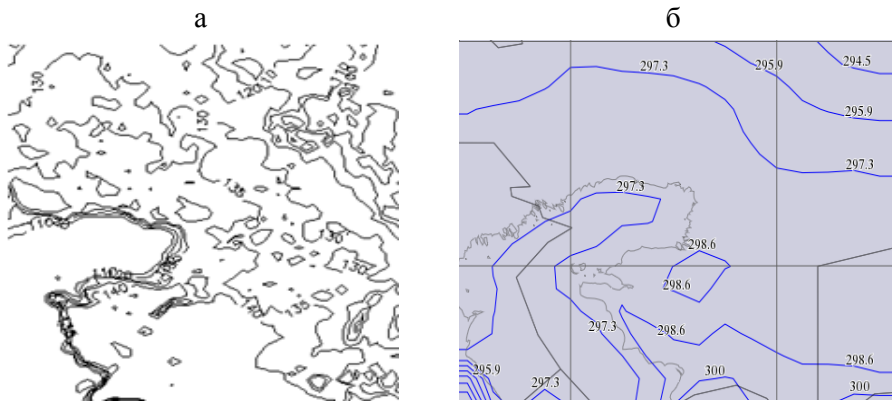


Рис. 2. Интенсивность восходящего излучения (а) с размерностью $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{мкм ср}} \right]$ и приземная температура (°K) (б) по данным AIRS.

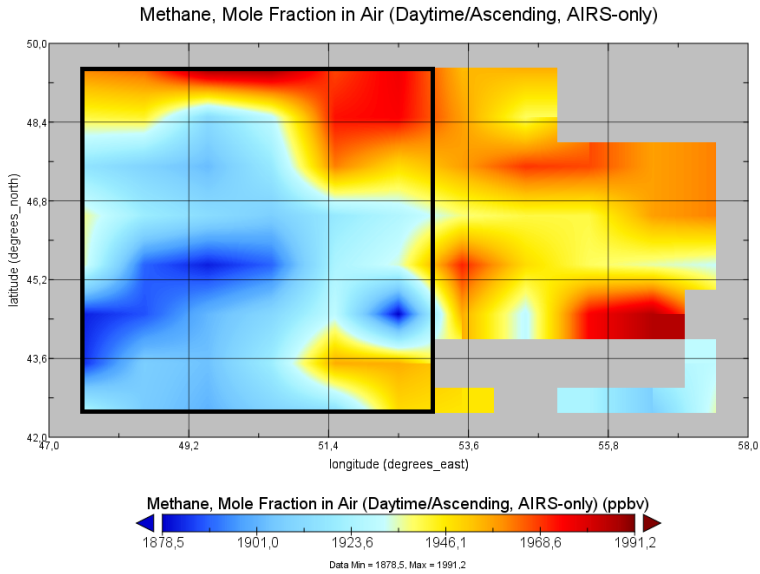


Рис. 3. Распределение содержания метана (ppbv) на уровне 100 гПа по расчетной территории 26 августа 2018 г. по данным AIRS с расчетным участком.

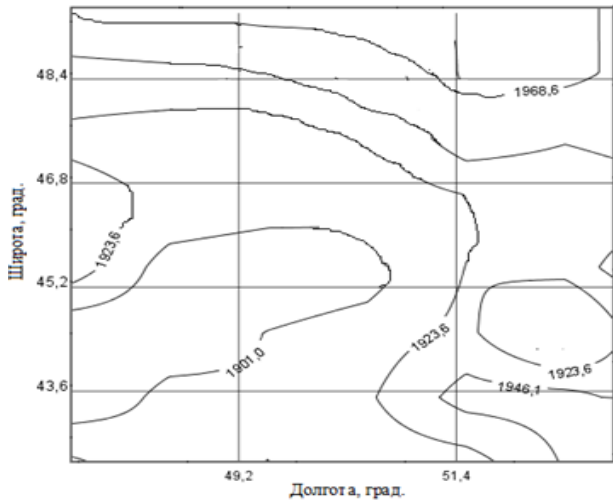


Рис. 4. Расчетное распределение концентрации CH_4 26 августа 2018 г. на плоскости 100 гПа по выделенному участку.

Результаты работы показывают возможность использования спутниковой информации для восстановления концентраций малых газовых составляющих в атмосфере с целью их мониторинга на основе измеряемых на спутнике параметров атмосферы. Проведенный расчет концентрации ме-

тана, основанный на селективных свойствах поглощения излучения метаном в инфракрасной области электромагнитного спектра, показывает удовлетворительную согласованность с данными дистанционного зондирования.

Работа выполнена в рамках целевой программы BR05336383 Аэрокосмического комитета Министерства цифрового развития, оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Кудрявцев В.П. Глобальный поток метана в атмосферу и его сезонные вариации // Физика земли. – 2010. – № 4. – С. 78-85.
2. Гракович В.Ф., Токарев Ю.Н., Мельников В.В. Экологические и технологические аспекты энергетической безопасности России // Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «ВИМИ». – 2014. – Вып. 4. – С. 55-61.
3. Глаголев М.В., Ильясов Д.В., Терентьева И.Е., Сабреков А.Ф., Краснов О.А., Максюттов Ш.Ш. Потоки метана и диоксида углерода в заболоченных лесах южной и средней тайги Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Вып. 4. – С. 301-309.
4. Макарова М.В., Поберовский А.В., Яговкина С.В., Кароль И.Л., Лагун В.Е., Парамонова Н.Н., Привалов В.И. Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере северо-западного региона российской федерации // Известия российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 2. – С. 237-249.
5. Хаматнурова М.Ю., Грибанов К.Г., Захаров В.И. Разработка алгоритмов определения распределения метана в атмосфере из спектров спутникового радиометра IASI/METOP // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30. – № 9. – С. 794-798.
6. Bousquet P., Ciais P., Miller J.B., Dlugokencky E.J., Hauglustaine D.A., Prigent C., Van der Werf G.R., Peylin P., Brunke E.G., Carouge C., Langenfelds R.L., Lathière J., Papa F., Ramonet M., Schmidt M., Steele L.P., Tyler S.C., White J. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability // Nature. – 2006. – V. 443. – P. 439-443.

Поступила 19.04.2019

Техн. ғылымд. докторы
Физ.-мат. ғылымд. канд.
Техн. ғылымд. канд.

А.Х. Ахмеджанов
Н.Д. Ахметов
Т.К. Караданов

ҚАШЫҚТЫҚТАН ӨЛШЕУ МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША ҚАЗАҚСТАН АТМОСФЕРАСЫНДАҒЫ МЕТАН ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

Түйін сөздер: атмосфера, метан, құрылым, тік профиль, қашықта өлшеу, сәулелену

Жерсеріктерде өліенетін атмосфералық параметрлер негізінде олардың мониторингін жүргізу мақсатында атмосферадағы шағын газ компоненттерінің концентрациясын қалпына келтіру үшін жерсеріктік ақпаратты пайдалану мүмкіндігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Концентрация есептеуі электромагниттік спектрдің инфрақызыл диапазонында метанның таңдаулы сiңіру қасиеттеріне негізделген.

Akhmedzhanov A.Kh., Karadanov T.K., Akhmetov N.D.

METHANE CONTENT STUDY IN THE ATMOSPHERE OF KAZAKHSTAN ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

Keywords: atmosphere, gas content, profile, remote sensing, sun radiation

The study of satellite information using possibility to restore the concentrations of small gas components in the atmosphere for their monitoring based on satellite-measured parameters of the atmosphere are presented. The concentration calculation is based on the selective absorption properties of methane radiation in the infrared range of the electromagnetic spectrum.