

КОСМИЧЕСКАЯ ИК-ДИАГНОСТИКА ТЕХНОСФЕРЫ

Оценка возможностей и перспектив космической инфракрасной диагностики техносферы

В.К.Шухостанов, А.Г. Цыбанов

отделение «Диагностика и безопасность техносферы» РАЕН,

Л.А.Ведешин Президиум РАН,

В.В.Егоров Институт космических исследований РАН



Объекты техносферы

Магистральные и производственные трубопроводы, хранилища углеводородного сырья.

Крупные инженерные сооружения (промышленные предприятия, мосты, плотины, дамбы, терминалы, хранилища твердых и жидких отходов, отработанного ядерного топлива).

Транспортные сооружения – железные и шоссейные дороги, тоннели, эстакады, аэродромы



Задачи дистанционной ИК-диагностики объектов техносферы:

- проведение предпроектных исследований будущих трасс и площадей, выделяемых под строительство объектов техносферы;
- контроль хода строительства указанных объектов;
- мониторинг состояния объектов техносферы;
- контроль экологического состояния природных систем в зоне расположения и эксплуатации объектов.



Аэрокосмические ИК-сенсоры

1. ИК-радиометры, обладающие небольшим числом спектральных каналов в диапазоне 2,5 - 5 и 8-15 мкм с разрешением 1-2 м (авиационные) и 0,1 – 1,4 км (космические), $\sigma_T = 0,2 - 0,4$ К.
2. Многозональные сканеры, имеющие, в том числе, 5-10 ИК-каналов, с разрешением 0,09 – 1,1 км, $\sigma_T = 0,2 - 1,0$ К;
3. Гиперспектрометры, снабженные каналами промежуточного (1 - 2,4 мкм), среднего (2,4 – 5,2 мкм) ИК-диапазонов (до 128 каналов), разрешение 1 м (а) и 0,7 км (к), $\sigma_T = 0,3 - 1,2$ К.
4. Тепловизоры (а), среднего и дальнего ИК-диапазона с разрешением 0,1 – 3 м, $\sigma_T = 0,025 - 0,15$ К.

Причины возникновения температурных контрастов на земной поверхности:

- различие в интенсивности поглощения солнечной радиации материалом самого зондируемого объекта или покрывающего его грунта;
- различие свойств (комковатость, плотность) грунта на трассе трубопровода или в районе расположения подземного хранилища по сравнению со смежными участками почвы;
- передача тепла от подповерхностного объекта поверхностному слою почвы;
- различие в характере растительности в районе расположения объекта техносферы.



$$T_{я} = \chi T,$$

КОСМИЧЕСКАЯ ИК-ДИАГНОСТИКА ТЕХНОСФЕРЫ

Типичные приземные температурные контрасты

$$T_{я} = \chi \cdot T, \quad \Delta T_{яИ} = \Delta T_{я} \cdot K_{ИЗМ}$$

1. Нефтегазопроводы, нефтехранилища и трубы городских коммуникаций, расположенные на глубине 1 м имеют поверхностный контраст 2 К, а при наличие утечек – 2,5К.
2. В районах морской добычи нефти граница пятна «нефть – вода» в дневное время имеет контраст 1,5К, а в ночное - аналогичную величину отрицательного контраста.

$$T_{я} = \chi T,$$



КОСМИЧЕСКАЯ ИК-ДИАГНОСТИКА ТЕХНОСФЕРЫ

Пример расчета обнаружительной способности спутниковых ИК-сенсоров (теорема Неймана-Пирсона)

Пусть $p_{\text{пр}} = 0,9$, $p_{\text{лт}} = 0,1$, тогда величина порога приращения радиояркости должна составлять $\Delta T_{\text{пор}} = 1,28\sigma_T$, где σ_T – СКО шума ИК-сенсора на выходе усредняющего фильтра. При этом сам температурный контраст должен быть не менее $\Delta T_{\text{я}} = 2,56\sigma_T$. Так, при использовании ИК-сенсора ИСЗ Aster с разрешением 90 м, имеющего $\sigma_T = 0,3$ К, с учетом величины приземного контраста (2 К) и диаметра трубы 1,4 м, измеренный контраст будет равен 0,03 К вместо требуемой величины в 0,768 К. Это означает, что данный объект не будет обнаружен с заданными параметрами $p_{\text{пр}}$ и $p_{\text{лт}}$.

КОСМИЧЕСКАЯ ИК-ДИАГНОСТИКА ТЕХНОСФЕРЫ

Оценка перспективных возможностей ИК-диагностики

Пространственное разрешение с высоты 600-1000 км – 30 -50 м.

Энергетическое разрешение – 10^{-4} , т.е. $\Delta T_{\text{я}} = 0,03 \text{ К}$ для $T = 300 \text{ К}$.

Минимальные температурные приземные контрасты объектов космической ИК-диагностики:

- магистральные трубопроводы ($\varnothing = 1,0 \text{ м}$): 1,0 – 1,5 К,
- подземные хранилища ($\varnothing = 10 \text{ м}$): 0,35 – 0,57 К,
- трубы городских коммуникации ($\varnothing = 0,1 – 1,0 \text{ м}$): 1 – 10 К,
- пятна нефти: 0,1 К.

КОСМИЧЕСКАЯ ИК-ДИАГНОСТИКА ТЕХНОСФЕРЫ

Заключение

Как показывают оценки перспективных возможностей средств космической ИК-диагностики, параметры сенсоров могут быть в ближайшие годы доведены до 30-50 м по пространственному разрешению, 5-10 нм по спектральному разрешению и до 0,03 К по температурной чувствительности. Последнее позволяет утверждать, что крупные объекты техносферы (магистральные и производственные трубопроводы, хранилища углеводородного сырья и т.п.), а также пятна нефти на морской поверхности будут уверенно обнаруживаться и исследоваться с помощью аэрокосмических ИК-сенсоров теплового диапазона, если приземные температурные контрасты этих объектов составляют более 0,35 – 1,5 К ($>0,1$ К для нефтяных пятен). В то же время для уверенного обнаружения относительно малоразмерных объектов, типа труб городских коммунальных сетей, поверхностный контраст должен превышать 3 – 10 К.

$$\sigma_{Y_i} = \frac{\sqrt{S_{\text{ПЛЭ}} \cdot \Delta f_c^1 \cdot k_{\text{ш}}}}{D_{i2}},$$

Приложение

Сигнал и шум

$$Y_i^j = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot c^2 h}{\lambda_i^5} \right) \cdot \exp\left(-\frac{hc}{kT_0 \lambda_i} \right) \cdot S_{\text{ex}} \cdot \chi_i(\theta, \vec{a}) \cdot \omega \cdot \Delta\lambda_1 \cdot \eta_i \cdot T'_a,$$

$$\sigma_{Y_i} = \frac{\sqrt{S_{\text{ПЛЭ}} \cdot \Delta f_c^1 \cdot k_{\text{ш}}}}{D_{i2}}, \quad D_{i1} = 2 \cdot 10^{10} \cdot \frac{\text{см} \cdot \Gamma \mu^{0,5}}{\text{Вт}}, \quad \Delta f_c^1 = \frac{L_y \cdot V}{2m \cdot \delta^2}$$

