

«Око земли – всевидящий глаз» - глобальная аэрокосмическая система дистанционной интроскопии

Мухамедяров Роберт Давлетович, Генеральный директор, академик Академии
естественных наук РФ (ЗАО "Институт аэрокосмического приборостроения", г. Казань /
Казань, Россия),

m.robert17@mail.ru

Сегодня в период мирового кризиса аэрокосмическое дистанционное зондирование Земли с авиационных и космических носителей является наиболее быстрорастущим сегментом аэрокосмической промышленности в наиболее промышленно развитых странах, в том числе странах Евроазиатского региона.

В этой зарождающейся сфере услуг работают наиболее подготовленные кадры еще с советских времен в странах СНГ и наиболее продвинутая молодая поросль зарождающейся евроазиатской интеграции.

Появление новых фундаментальных идей и новых супертехнологий в этом зарождающемся сегменте евроазиатской интеграции скорее закономерность, однако, как я неоднократно высказывался по этому поводу [1-12], требует очень большой координации сил и ресурсов, как в странах СНГ, так и в мировом сообществе.

Наш дом – планету Земля, как объект исследования с точки зрения аэрокосмического мониторинга в оптическом диапазоне длин волн [1-15] можно рассматривать как гигантскую термодинамическую открытую геосистему, своего рода тепловую машину, которая характеризуется процессами обмена веществом и энергией с окружающей космической средой, включающей как внутренние части нашей планеты, так и мировое пространство. Обмен веществом и энергией между компонентами геосистем является фактором, определяющим ее внутреннее единство.

Планета Земля и Солнце существуют в виде материи – вещества, разогретые до определенных температур на поверхности $T_3 = 257$ К и $T_c = 5770$ К в среде реликтового излучения фотонов, соответствующее температуре глубочайшего холода Космоса 2,7 К.

Термодинамическая теория таких тепловых машин известна, при этом приращение энтропии

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\Delta Q}{T},$$

где ΔQ – количество приращения теплоты при температуре T .

Коротковолновое тепловое излучение, приходящее на Землю от Солнца, составляет около $E_c = 230$ Вт/м² и соответствует температуре поверхности Солнца около $T_c = 5770$ К, тогда средняя плотность потока энтропии с поверхности Земли составит

$$\mathcal{E} = \frac{4}{3} E_c \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_3} \right) \approx -1 \text{ вт} / \text{м}^2 \text{ К}.$$

при $T_3 = 257$ К

Структура и динамика процессов, протекающих в ландшафтной сфере в поверхностных слоях Земли, зависят от количества энергии, поступающей в геосистему.

Процессы эволюции и самоорганизации на Земле происходят в тонком слое земной поверхности, состоящем из скальных и осадочных пород, вод и атмосферы.

Эволюция и самоорганизация выражается в виде геологических, атмосферных и биологических процессов.

Процессы эволюции и самоорганизации на планете Земля происходят за счет разности (градиента) температур между поверхностью Солнца или поверхностью Земли, с одной стороны, и температурой космического пространства, с другой стороны.

Лучшие аэрокосмические тепловизоры-радиометры на сегодняшний день обладают температурной чувствительностью, то есть эквивалентной шуму разностью температур $\Delta T_{\Sigma} = 0,1 \div 0,3$ К, что на два порядка больше предельных для этого атмосферного окна $8 \div 14$ мкм величин, обусловленных шумами фона. Это означает, что объем информации о коэффициентах отражения от различных объектов эквивалентен информативности глаза при освещенности на 4 порядка меньше средней дневной освещенности, что соответствует глубоким сумеркам.

При наблюдении объектов на поверхности Земли в безоблачную погоду коэффициент контраста составляет не более, чем величину $\sin^2 75^\circ = 0,933$, тогда вариации температуры пересчитываются в вариации излучательной способности с коэффициентом $4\varepsilon_{cp}/\beta T_3 \cdot 100\% = 1,39\% \text{ град}^{-1}$. Но для проникновения в глубину геологических структур ландшафта и предсказания стихийных и геотехногенных ситуаций в нашем доме – планете Земля, понадобился принципиально новый метод повышения температурной чувствительности – метод видеотепловизионной генерализации Мухамедярова (МВТГМ) [6-14].

Метод видеотепловизионной генерализации Мухамедярова (МВТГМ) основан на прикладных следствиях двух лемм-гипотез, выдвинутых и активно используемых автором с 80-тых годов прошлого столетия [1-14]:

- «тепловое излучение помнит о своем происхождении»;
- «глубинная структура Земли полупрозрачна в оптическом диапазоне длин волн».

Существенная новизна МВТГМ состоит в следующем. Предшествующие карты теплового поля Земли основываются на контактных методах определения температур в скважинах с помощью датчиков, число которых ограничено. Поэтому распределение температур, получаемое этими методами, необходимо дискретное. МВТГМ позволяет получить континуальную картину распределения температур, и в этом его качественное отличие от контактных методов. Практически реализуется эффект непрерывного зондирования и выявления аномалий плотности Земли по глубине по соответствующим аномалиям температурного поля, полученного с использованием весовой функции, на основе трехмерной пирамиды вклада теплового излучения элементов земной коры в результирующее излучение элемента поверхности Δ . При этом имеет место фундаментальное соотношение: $\Delta^{\ell} \Delta T_p = const$, где Δ – элемент пространственного разрешения, ΔT_p – эквивалент шумовой радиационной температуры, характеризующий основные функциональные параметры аэрокосмической аппаратуры видеотепловизионной съемки, $\ell = 2,5 \div 2,72$. Фактически производится размен пространственного и спектрального разрешения на температурную чувствительность, а степень генерализации МВТГМ определяется рядом целочисленных величин 1, 2, 3, 4, 5 и т.д., причем первый слой является исходным тепловым аэрокосмическим цифровым изображением.

В частном случае вид пространственной генерализации, полученный автором, будет:

$$\varphi(\mathbf{v}_{x,y}) = \left[\frac{\sum_i^{N_x} \sum_j^{N_y} (k_{ij} \cdot E_{ij})^{\alpha}}{\sum_i^{N_x} \sum_j^{N_y} (k_{ij} \cdot E_{ij})^{\beta}} \right]^{\frac{1}{\alpha-\beta}},$$

(1)

при $\alpha=0, \beta=\alpha-1$

$$\varphi(\varepsilon_{x,y}) = \frac{N_x N_y}{\sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{N_x} (k_{ij} \cdot E_{ij})^{-1}} \quad \text{- среднее гармоническое,}$$

(2)

а при $\alpha=1$, $\beta=\alpha-1$

$$\varphi(\varepsilon_{x,y}) = \frac{\sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{N_x} (k_{ij} \cdot E_{ij})}{N_x N_y} \quad \text{- среднее арифметическое}$$

(3)

Сигнал на i -ом приемнике определяется выражением:

$$E_{ij} = A \cdot S_{\lambda_{МАКС}i} \cdot \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} \varepsilon_{\lambda T} \cdot c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (\exp(c_2 / (\lambda \cdot T)) - 1)^{-1} \cdot \alpha_{\lambda i} d\lambda$$

(4)

где A – коэффициент, характеризующий оптическую систему;

$S_{\lambda_{МАКС}}$ – максимальная спектральная чувствительность;

α_{λ} – относительная характеристика приемника;

$b_{\lambda T}$ – спектральное распределение плотности энергии излучения:

$$b_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T} \cdot c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (\exp(c_2 / (\lambda \cdot T)) - 1)^{-1};$$

$\varepsilon_{\lambda T}$ – излучательная способность объекта;

$c_1 = 3,7413 \cdot 10^{-12}$ Вт·см²; $c_2 = 1,4388$ см·град;

λ – длина волны излучения, мкм; T – температура.

Для определенных классов геолого-геофизической среды [10] и инженерных сооружений [7-9, 11-13] α и β могут быть и дробными и позволяют выбрать величину глубины проникновения h_i при каждой ступени генерализации N , как по пространственному, так и спектральному разрешению [6,14], а также вид генерализации, например, среднее гармоническое при $\beta=\alpha-1$, $\alpha=0$ для суммирования различных слоев по теплопроводности.

Предлагаемый способ позволяет вести поиск аномалий температурного поля Земли с глубиной, то есть определять области аномалий массо-энергетического обмена в различных геолого-геофизических слоях Земли. Это достигается тем, что аэрокосмические цифровые тепловизионные изображения обрабатываются по предложенному способу, в частности, на основе модели трехмерной пирамиды вклада теплового излучения элементов земной коры в результирующее излучение в области окружающего элемента поверхности $\delta_{x,y}$.

Для оценки глубины проникновения h_N на уровне слоя N используется, полученное автором, следующее соотношение:

$$h_N = \frac{H^2}{h_T + H} \left(\frac{N\delta}{2} + \frac{N^2\delta^2}{4} \right); \quad (5)$$

где N – номер горизонтального слоя;

h_T – предполагаемое расстояние от объекта исследования до земной поверхности;

H – расстояние от датчика съемочной аппаратуры до земной поверхности;

δ – угловое пространственное разрешение съемочной аппаратуры, рад.

Нулевым слоем является панхроматическое изображение, изображение, полученное за счет отражательных характеристик объектов в видимом диапазоне электромагнитных волн, а первым слоем генерализации является тепловое изображение объектов земной поверхности, полученное при съемке в окне прозрачности атмосферы 7,5-13,5 мкм оптического диапазона волн, или, соответственно, из выражений 1 и 5 при N=1.

Из этого следует, что проникающая способность исходного теплового изображения h_1 равна величине полпикселя $h_1 = \frac{\delta_{x,y}}{2}$. Видеотепловизионные аэрокосмические съемки

привязаны к радиометрической температуре $T_{PB} = \sqrt[4]{\varepsilon} T_{TB}$, где \square – излучательная способность объекта поиска, T_{TB} – термодинамическая температура, $\square^2 \times (1,4,9,16,25$ и т.д.) – площади при каждой степени генерализации.

В частном случае, когда ищется подземное месторождение воды или подтопление вдоль трассы трубопровода, температура радиационная близка к температуре термодинамической, измеренной в скважине при длине волны излучения $\square_m = 11$ мкм, $\varepsilon_{\square} = 0,99153$

$$T_{PB} = \sqrt[4]{\varepsilon_B} \cdot T_{TB} = 0,998 T_{TB}.$$

В этом случае при длине волны принимаемого теплового излучения $\square_m = 11$ мкм температура радиационная соответствует термодинамической температуре подземных источников воды с точностью 0,2% [3].

Еще лучше для тарировки аэрокосмических данных использовать в зимнее время и в полярных районах использовать тепловое излучение льда при длине волны излучения $\lambda_m = 10,5$ мкм $\varepsilon_{\square} = 0,994$, при которой температура радиационная соответствует термодинамической температуре с большей точностью $T_{PL} = \sqrt[4]{\varepsilon_{\square}} \cdot T_{TL} = 0,9985$.

Излучательная способность различных типов земной поверхности - суши колеблется в пределах $\square = 0,8 \square 0,97$, поэтому суша днем нагревается за счет солнечного облучения, а ночью остывает.

Геотермический градиент в глубь Земли характеризует изменение температуры с глубиной h

$$G(T) = - \frac{\partial T}{\partial h} = - \frac{q_{\Sigma}}{\lambda}$$

(6)

и служит для определения областей неоднородностей теплового поля и их границ по глубине проникновения h в плоскости заданного разреза

$$q_{\Sigma} = q_k + q_{кв} + q_n,$$

(7)

где q - плотности тепловых потоков, обусловленных соответственно, кондуктивной теплопроводностью, конвекцией и лучистым обменом (излучением);

λ_T – теплопроводность материалов геофизической подосновы.

Наибольшая дифференциация горных пород наблюдается по коэффициентам теплопроводности (или обратной величине – тепловому сопротивлению r'), что можно выявить по второй производной температуры вглубь Земли h .

\square_T – теплопроводность возрастает с увеличением плотности горных пород и зависит от степени газо-, водо-, нефтенасыщения.

Также можно построить прирост горизонтального геотермического градиента температур

$$G(T) = \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial L} \right),$$

(8)

где T_T температура по горизонтали L .

Полная аппаратурная реализация технологии МВТГМ возможна в рамках международного проекта под названием «Аэрокосмическая система мониторинга и предсказания природных и техногенных катастроф, выявления термодинамической структуры геологической среды для поиска полезных ископаемых» («Око Земли - Всевидящий глаз»), осуществляемого в рамках ООН для реализации в программе межправительственных соглашений.

Для выполнения международного проекта «Око Земли - Всевидящий глаз» необходимы следующие условия [7-8]:

1. Не менее шести спутников на геостационарной орбите по экватору Земли объединены в две группировки по три спутника (рис.1) – вершины двух треугольных плоскостей, условно рассекающих Землю по экватору в виде «Звезды Давида». Геометрические размеры и угловое положение обоих треугольных плоскостей определяются лазерными дальномерами (с точностью ± 1 мм) и звездными датчиками на спутниках (с точностью $0,5 \div 1$ угловых сек.).

2. На больших инженерных сооружениях, таких как Великая китайская стена (длиной 7300 км), мосты, плотины, атомные и тепловые электростанции, устанавливаются теодолиты-дальномеры. Они одновременно работают по спутнику и по отражателям, установленным на сложных инженерных сооружениях. За счет этого достигается создание глобальной позиционной системы с точностью 1 мм за счет большой избыточности.

3. На спутниках, функционирующих на геостационарной орбите, устанавливается высокочувствительная радиометрическая аппаратура видимого и теплового диапазонов МТР, а также аппаратура с разрешением 1440 м в тепловом (дальнем инфракрасном) и 360 м в видимом диапазоне, а на спутниках, функционирующих на солнечно-синхронной орбите высотой $H=700$ км, - высокочувствительная радиометрическая аппаратура видимого с пространственным разрешением 70 м и теплового диапазонов 140 м с захватом на местности $136^\circ 4'$ ($5H=3500$ км).

Угловое разрешение δ многоспектрального тепловизора-радиометра (МТР), устанавливаемого на геостационарной орбите $H=35880$ км для проникновения в центр Земли $h_N = h_T = 6377$ км при числе ступеней генерализации $N = 225$ должно быть равно $\delta = 1,5777 \cdot 10^{-3}$ рад, при этом видимые диапазоны оптического спектра (нулевой слой) могут иметь разрешение на порядок лучше $\delta_B = 1,5 \cdot 10^{-4}$ рад.

4. На высотах от 50 м до 6000 м используется видеотепловизионная аппаратура сверхвысокого разрешения от 1 до 120 мм и температурным разрешением порядка 0,01 К, устанавливаемая на дирижаблях, встроенных в глобальную систему позиционирования с определением пространственного положения с точностью ± 1 мм.

Генерализация через специальные интегральные преобразования позволяет довести температурную чувствительность до $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$ К, что приводит к эффекту послынного ($1 \div 225$ слоев) проникновения вглубь Земли и непрерывному контролю движения литосферных плит толщиной $25 \div 35$ км, вызывающих скольжение, растяжение или разрывы (разломы), а также к более качественному и количественному описанию термодинамического состояния инженерных сооружений и технологических установок.

Таким образом, удастся синтезировать множество аэрокосмических видеотепловизионных картин-образов одного и того же объекта в различных спектральных N диапазонах оптического спектра. Сопоставляя их с первоначальными снимками видимого и ближнего инфракрасного диапазонов данного объекта, можно получить на одном «аналитическом уровне» взаимное расположение того, что находится над (под) землей и под водой на разных глубинах или определить техническое состояние инженерных сооружений в различные времена года и суток в статике и динамике [6-14].

На следующем этапе интерпретации дешифрованных снимков специалистами различных отраслей знаний: геологами, геофизиками, механиками – специалистами по неразрушающему контролю можно получить качественно новую информацию.

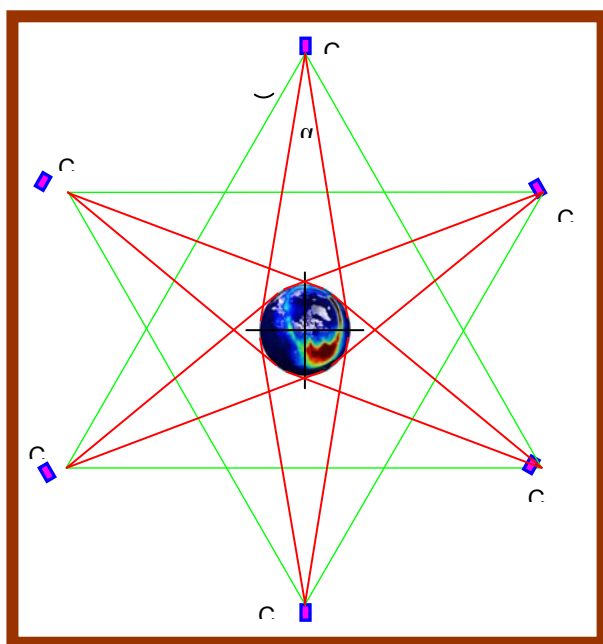
В том месте инженерного сооружения, где намечается предразрушение дифференциал (градиент) температуры резко изменяется, и может произойти разрыв. Но эти величины изменения термодинамической температуры очень малы - порядка $0,001 \div 0,00001$ К, но используя предложенный метод видеотепловизионной генерализации МВТГМ, их можно обнаружить и отслеживать. Дистанционное отслеживание столь малых изменений температур открывает новую страницу для предсказания техногенных катастроф и стихийных бедствий.

В различных изданиях и справочниках температура ядра Земли T_j колеблется в пределах $T_j = 3000$ К \div 20000 К. По закону Вина (следствие закона Планка [3]) максимум спектра излучения вычисляется из соотношения $\lambda_m T_j = const = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{град}$ и равно $\lambda_m = 0,58 \text{ мкм}$ при $T_j = 50000 \text{ К}$ и $\lambda_m = 0,29 \text{ мкм}$ при $T_j = 10000 \text{ К}$.

При таких температурах и высоких давлениях глубинные структуры Земли от центра $h_j = 6377 \text{ км}$ до глубин $h_N \approx 2000 \text{ км}$ практически оптически прозрачны для ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного собственного излучения, и из трех составляющих (7) кондуктивной теплопроводности, конвективным и лучистым теплообменом (излучением), а именно последняя, играют основополагающую роль в термодинамике Земли.

Последующие слои Земли вблизи поверхности, то есть от 2000 км до поверхности Земли – первый слой h_1 сдвигает спектр собственного излучения в дальний инфракрасный спектр в окно прозрачности атмосферы $\Delta\lambda = 7,5 \text{ мкм} \div 13,5 \text{ мкм}$ и здесь геологические среды становятся полупрозрачными, о чем свидетельствуют работы автора [7-14].

Используя технологию МВТГМ и получив экспериментальные данные с будущей системы «Око Земли – Всевидящий глаз», можно будет конкретно определить, какая истинная температура в нижних мантиях Земли и каков их физический состав по распределению излучательной способности по длинам волн [14], а самое главное в оперативном режиме отслеживать и предсказывать все стихийные и геотехногенные катастрофы нашего дома – планеты Земля.



В центре рисунка находится Земля; S1 \div S6 – геостационарные

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухамедяров Р.Д. Оценка одного класса дробно-линейных отображений оптических сигналов дистанционного зондирования. Исследования Земли из Космоса. № 3, 1980, с. 84-90.
2. Мухамедяров Р.Д., Тимофеев В.Н. О поляризационных характеристиках собственного излучения морской поверхности. Изв. АН СССР, сер. Физика атмосферы и океана, т.17, № 11, 1981, с.1178-1183.
3. Мухамедяров Р.Д. Теория и разработка оптико-электронных систем с симметричным входом. Докторская диссертация. 1991 г.
4. Мухамедяров Р.Д. Детермированный синтез оптико-электронных систем с симметричным входом. Оптический журнал. № 9, 1993.
5. Мухамедяров Р.Д. Приборы для дистанционного зондирования Земли в оптическом диапазоне длин волн. Оптический журнал. № 9, 1993.
6. Мухамедяров Р.Д., Харисов Р.И. Способ измерения температуры // Патент РФ № 2086935 от 10.01.1994 г.
7. Мухамедяров Р.Д. Аэрокосмический мониторинг состояния нефтегазопроводов и экологии окружающей среды. Волга-бизнес, спец. выпуск, Самара, 1997, с.17-23.
8. Мухамедяров Р.Д. Аэрокосмический мониторинг, методология и инструментальное обеспечение. Наука и техника в газовой промышленности, 2000, № 2, с. 89-93.
9. Мухамедяров Р.Д. Метод видеотепловизионной генерализации и его аэрокосмическое аппаратурное оснащение. Интервал, № 9(44), Самара, 2002, с. 59-62.
10. Христафорова Н.Н. Зависимость между тепловыми и упругими свойствами горных пород. Георесурсы, № 4(12), 2002, с. 9-10.
11. Мухамедяров Р.Д. Практические возможности видеотепловизионной генерализации и ее аэрокосмическое аппаратурное оснащение. Российский форум «Авиакосмические технологии и оборудование». Сборник докладов, г. Казань, 2002, с. 165-170.
12. Мухамедяров Р.Д. «Око Земли» - аэрокосмическая система мониторинга. Аэрокосмический курьер. 2006. № 3 (45). С. 44-45; 2007. № 2 (50). С. 74-75.
13. Мухамедяров Р.Д. Метод видеотепловизионной генерализации аэрокосмических съемок для решения геотехногенных задач. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 18-20 сентября 2008, с. 319-334.
14. Туманов В.Р., Мухамедяров Р.Д., Дабаев А.И. Поиски месторождений урана типа несогласия методом видеотепловизионной генерализации. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности», Алматы, 18-20 сентября 2008, с. 315-318.
15. Гатауллин Р.Н., Мухамедяров Р.Д., Харисов Р.И. Метод видеотепловизионной генерализации, основанный на многоспектральной съемке. Геодинамика, глубинные строения, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Пятые научные чтения Ю.П. Булашевича 06-10 июля 2009 г., Екатеринбург, с. 350-354.