СПУТНИКОВЫЙ ПРОЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЯРНОГО ПЕРЕНОСА В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.В. Кузьмин, Е.А. Шарков

Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
email: alexey.kuzmin@asp.iki.rssi.ru, тел.: (495) 333 4302

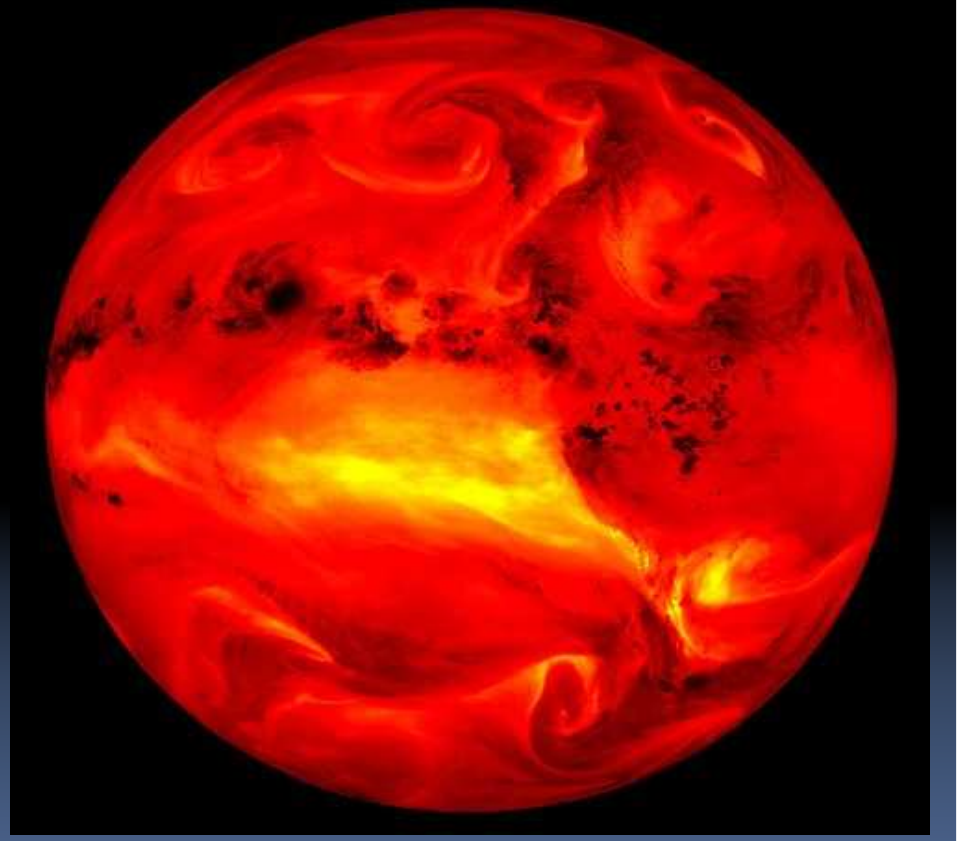
План сообщения

- Водяной пар в жизни Земли
- Тропические циклоны и роль водяного пара
- Циклоны средних широт и арктические циклоны
- Зарубежные миссии
- Представляемый проект
- Аппаратура и космические аппараты
- КЭ «Конвергенция» на станции МИР

Водяной пар

- За год выпадет 577000 куб.км воды. На испарение такого количества воды затрачивается 25% всей солнечной энергии - 10^{24}Дж/год
- При конденсации водяного пара это тепло возвращается в атмосферу в виде скрытого тепла конденсации

- Водяной пар самый динамичный газ атмосферы – обновляется каждые 8 – 10 суток
- Переносится на огромные расстояния
- Водяной пар не видим человеческим глазом
- Солнце испаряет за 1 мин. ≈ 1млрд.т. Воды
- Водяной пар отдает в атмосферу каждую мин. ≈ 2,2 •10^{18}Дж



Водяной пар, GOES Project, NASA/GSFC, ИК-диапазон 6.7 микрон

Тропические циклоны

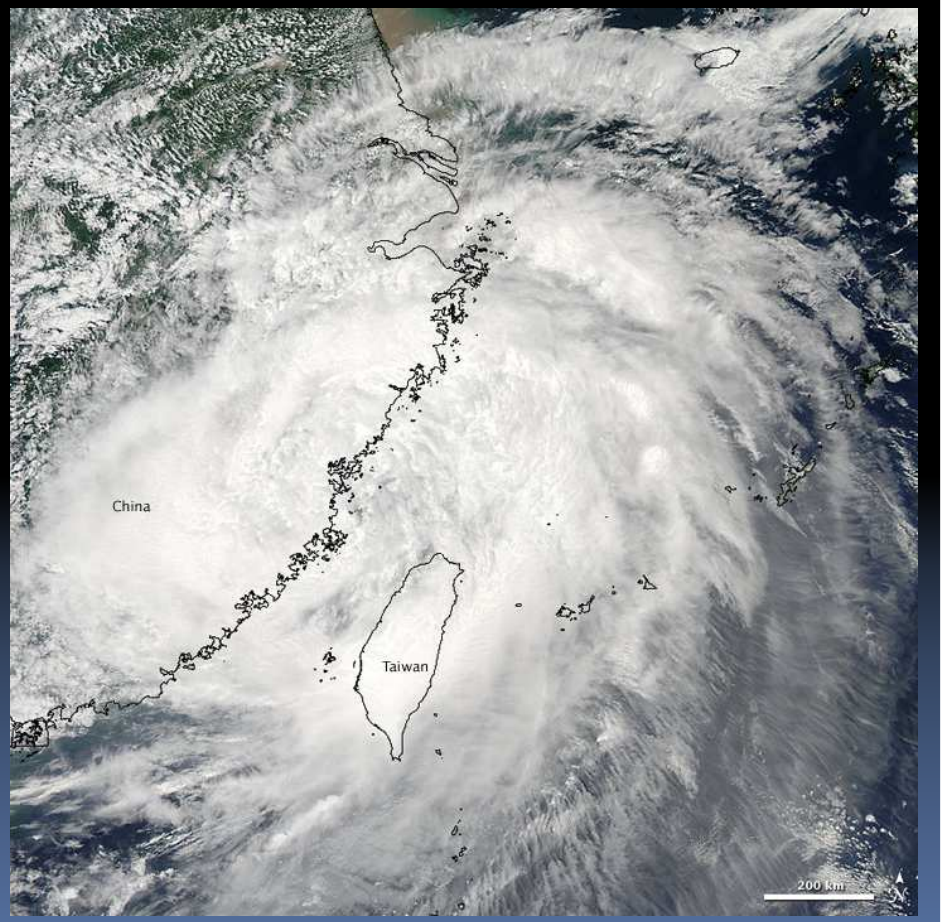
- Последствия атаки геофизической стихии (август – сентябрь 2004 г.)
- Ущерб (США) превысил 10 млрд дол. США

Тропический циклон Moracot (9 августа 2009г.) Данные спектрорадиометра MODIS ИСЗ Aqua (NASA)

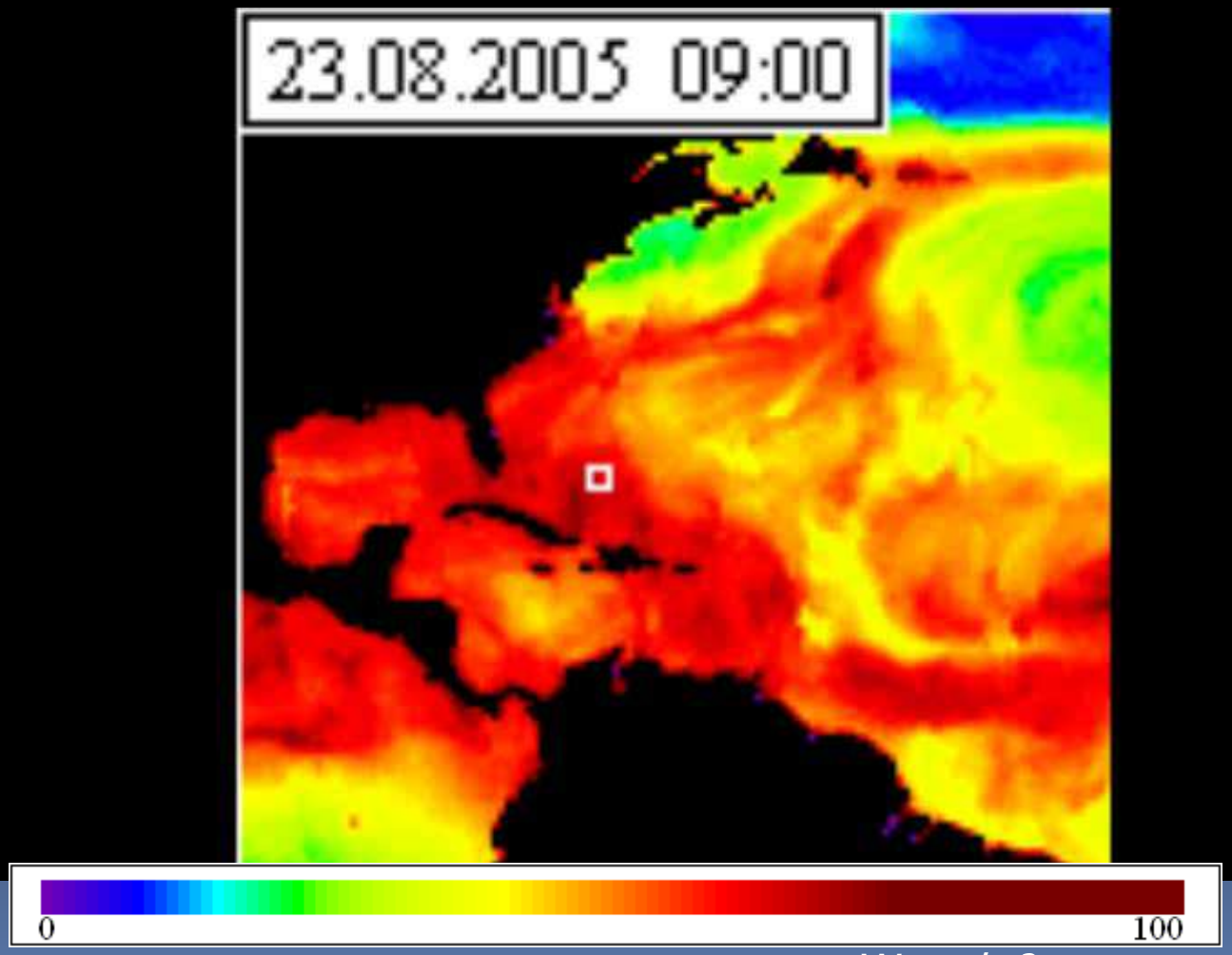
Жертвами наводнений 8-9 августа 2009 г. на о. Тайвань стали 678 человек

Смена премьер-министра и политического режима.

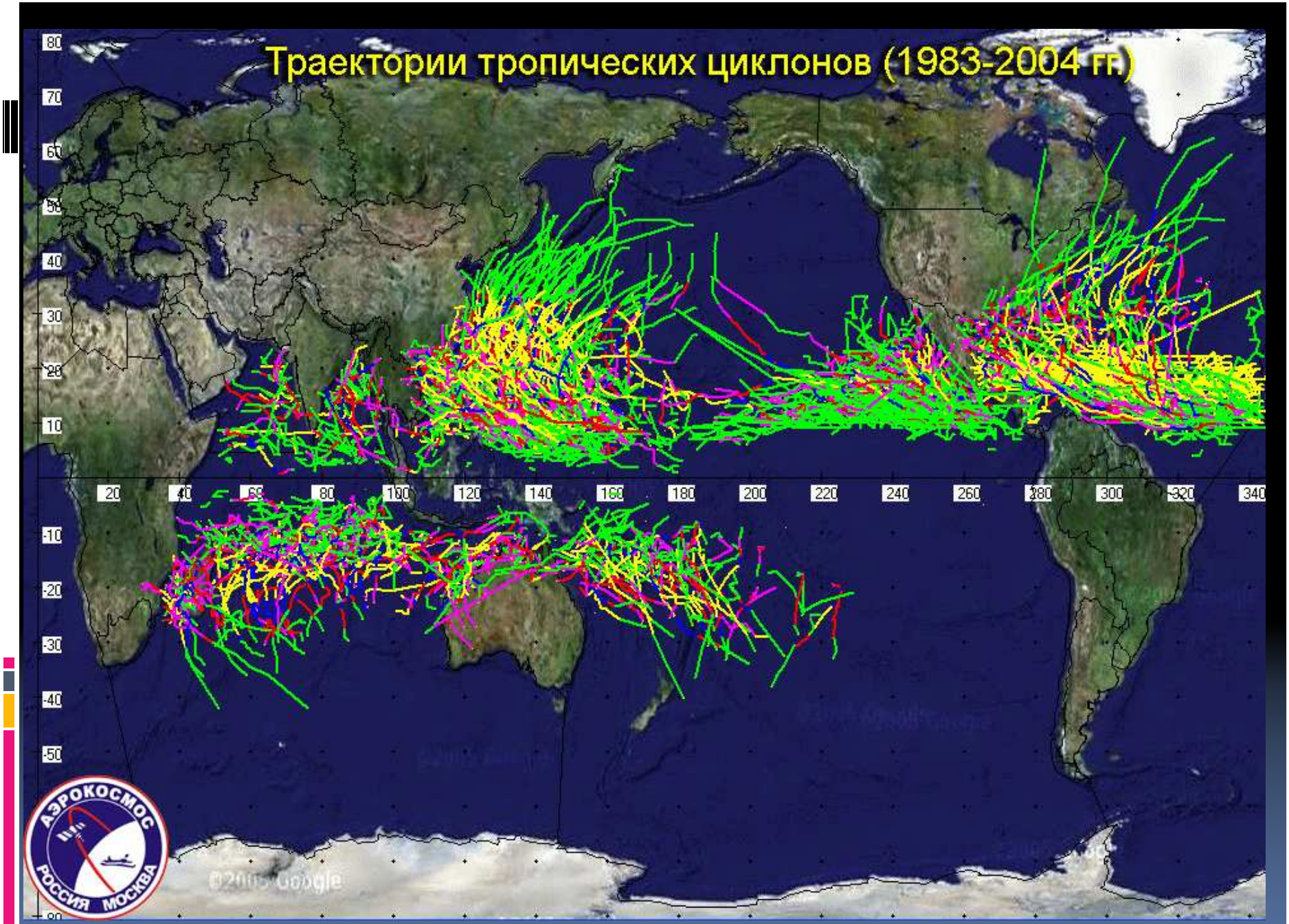
Новый премьер-министр – генеральный секретарь партии Гомиьдан.



Тропический Циклон Katrina
23.08.2005 - 1.09.2005



концентрации водяного пара W, кг/м²


Траектории тропических циклонов (1983-2004 гг.)
АЭРОКОСМОС
РОССИЯ МОСКВА

Экспериментально показано:

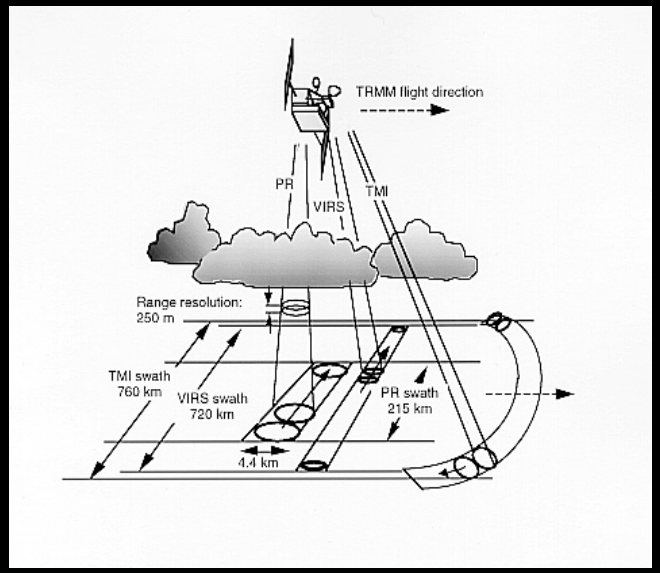
- Необходимое условие генезиса ТЦ – наличие поля интегрального водяного пара выше 60 кг/ кв. м.;
- Необходимое условие существования и интенсификации ТЦ - наличие джетового моста с экваториальным материнским полем интегрального водяного пара;
- Разрыв джетового моста приводит немедленной диссипации ТЦ;
- Учет двухкомпонентной структуры ТЦ: облачные массы и поле водяного пара;
- Обнаружение эффекта выброса поля водяного пара, приуроченных к облачному телу каждого из циклонов, в средние широты как механизма выноса скрытой энергии из экваториального материнского поля водяного пара;
- Восстановление поля интегрального водяного пара происходит механизмами широтного переноса за срок порядка суток;
- Оценка энергосодержания скрытой теплоты материнской экваториальной зоны ВЗК составляет около 100 млн. ПДж с вариациями около 1 процента.

The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

- Первый запуск в ноябре 1997 г.
- Наклонение орбиты 35° ,

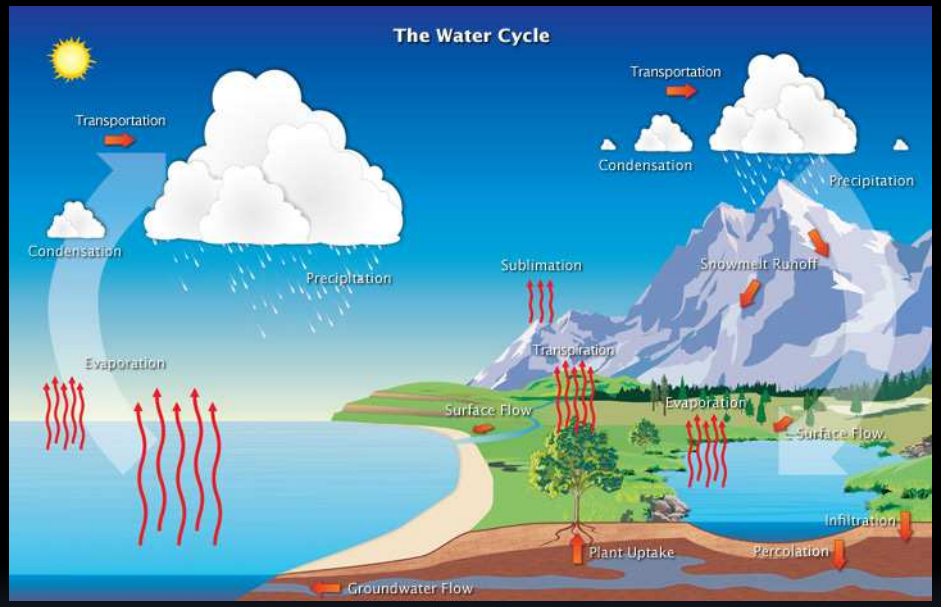
  высота - 350 км (в августе 2001

  была поднята до 402.5 км),

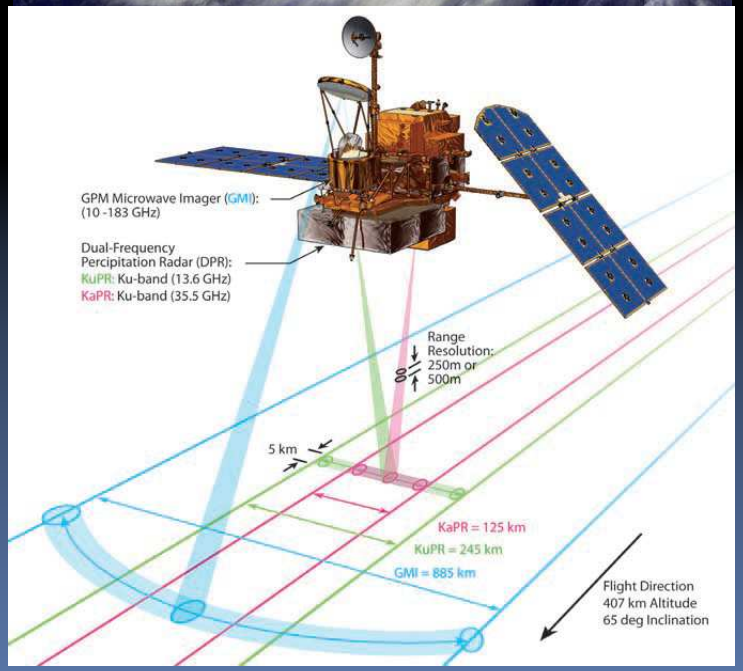


Microwave radiometer (TMI)	Radar (PR)	Visible and infrared Radiometer (VIRS)
10.7, 19.3, 21.3, 37.0, and 85.5 GHz (dual-polarized except for 21.3: vertical only)	13.8 GHz	0.63, 1.61, 3.75, 10.8, and12 μm
11 km X 8 km field of view at 37 GHz	5-km footprint and 250-m vertical resol.	2.5-km resolution
Conically scanning (53° inc.) 880-km swath	Cross-track scanning 250-km swath	Cross-track scanning 830-km swath

Программа PGM – Global Preciptation Measurement



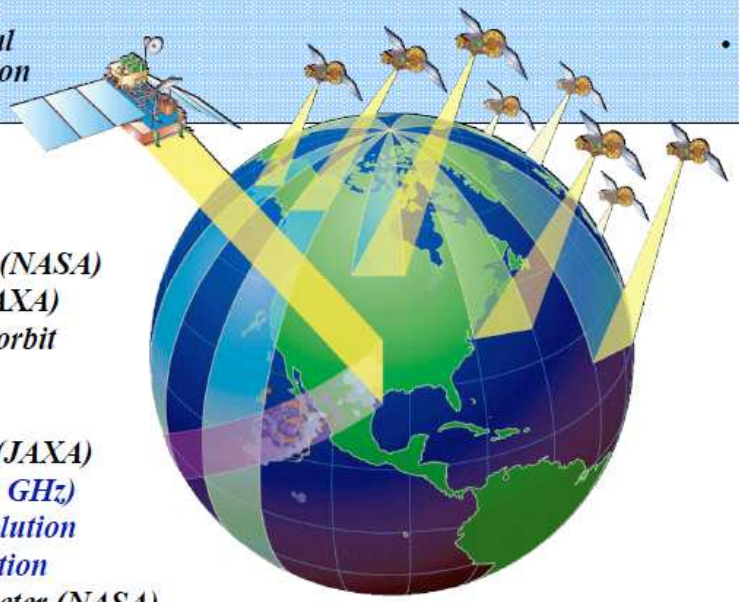
- Запуск намечен на июль 2013 г.
- Орбита с наклонением 65° и высотой 407 км.



GPM Reference Concept

GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT

- *Understand horizontal & vertical structure of rainfall, its macro- & micro-physical nature, & its associated latent heating*
- *Train & calibrate retrieval algorithms for constellation radiometers*
- *Provide sufficient global sampling to significantly reduce uncertainties in short-term rainfall accumulations*
- *Extend scientific and societal applications*



Core Spacecraft

- *TRMM-like spacecraft (NASA)*
- *H-IIA launch (TBC, JAXA)*
- *Non-sun-synchronous orbit*
  - *~ 65° inclination*
  - *~407 km altitude*
- *Dual frequency radar (JAXA)*
  - *Ku-Ka Bands (13.6-35 GHz)*
  - *~ 4 km horizontal resolution*
  - *~250 m vertical resolution*
- *Multifrequency radiometer (NASA)*
  - *10.65, 18.7, 23.8, 36.5, 89.0, 166, 183.3 GHz*

Constellation Satellites

- *Pre-existing operational-experimental & dedicated satellites with PMW radiometers*
- *Revisit time*
  - *3-hour goal ~90% of time*
- *Sun-synch & non-sun- synch orbits*
  - *600-900 km altitudes*

Ground Validation Sites

- *Ground measurement & calibration*
- *Cooperative international partners*

Precipitation Processing System

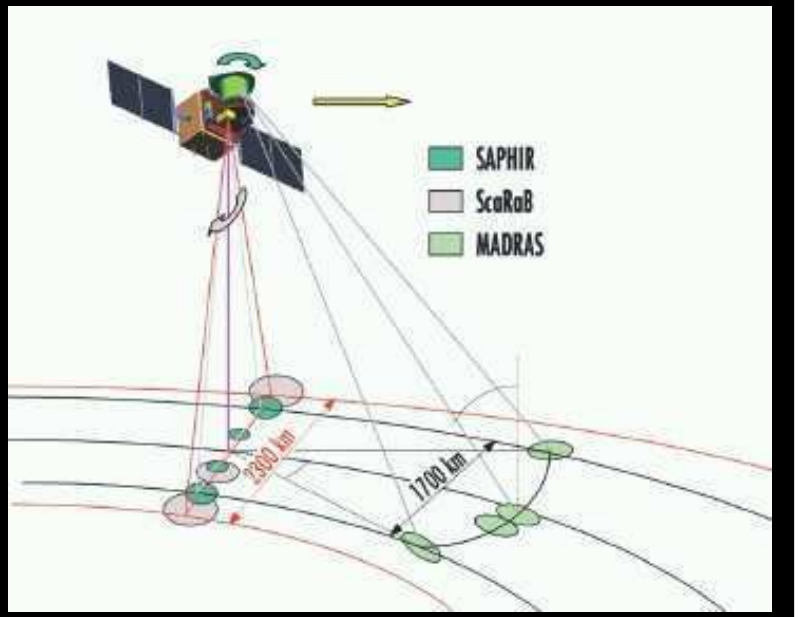
- *Global precipitation products from input data provided by a consortium of cooperative international partners*

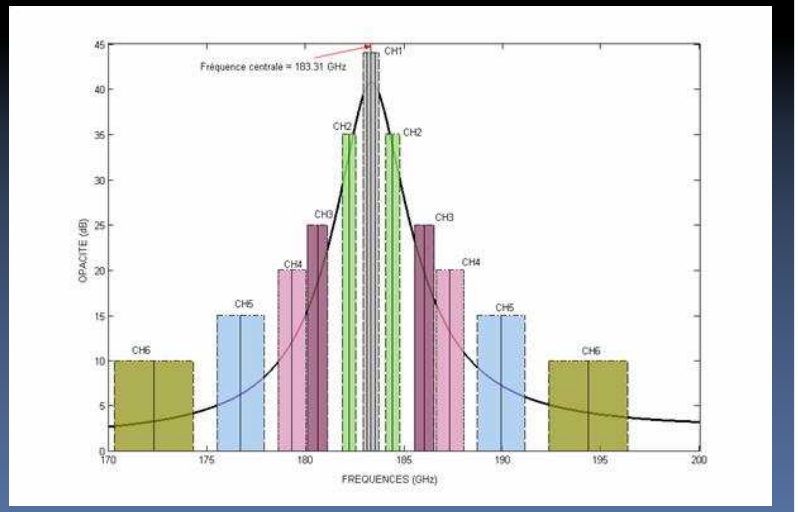
Проект Megha-Tropiques

- Запущен в октябре 2011 г.
- Орбита квази-круговая с наклонением 20°, высота 866 км.
- ИК-радиометр ((0.5-0.7 µm, 0.2-4.0µm, 0.2-200µm and 10.5-12.5µm)
- МВ радиометр MADRAS (18.7, 23.8, 36.5, 89 and 157 GHz)

Frequencies, GHz	Polarization	Pixel size
18.7 ± 0.1	H+V	40 km
23.8 ± 0.2	V	40 km
36.5 ± 0.5	H+V	40 km
89 ± 1.35	H+V	10 km
157 ± 1.35	H+V	6 km

- МВ радиометр SAPHIR (6 каналов вблизи 183.31 GHz), разрешение 10 км в надир





Цель космического проекта

- Исследование основ циклогенеза и эволюции крупномасштабных кризисных атмосферных процессов типа тропических циклонов, как одних их основных элементов в формировании глобального массо и влагаобмена в системе океан-атмосфера;
- Определение детальных профилей температуры и влажности атмосферы;
- Измерение абсолютных радиояркостных температур системы атмосфера–океан тропиков в диапазоне 6 – 220ГГц.

Основные требования для исследования атмосферных катастроф

- Глобальное дистанционное наблюдение из космоса;
- Восстановление профиля водяного пара по 8–10 градациям на высотах от 0 до 10 км;
- Разрешение на поверхности Земли (пиксел) должно составлять 10 км;
- Периодичность наблюдений каждого участка поверхности океана в тропической зоне – 3 часа.

Требования для исследования глобального энергетического состояния атмосферы всей Земли

- Глобальное дистанционное наблюдение из космоса;
- Разрешение на поверхности Земли (пиксел) – 10 км;
- Включения в анализ атмосферы над континентами;
- Периодичность полного глобального покрытия – 1/2 суток;
- При чрезвычайных событиях в атмосфере следует иметь возможность наблюдения данного района с периодичностью до 3 часов.

Две части спутниковой миссии

- Первая часть – это исследования приэкваториальной зоны (до 30°-35° по широте) для детального анализа структуры атмосферы тропической зоны в предкритическом состоянии;
- Вторая часть - исследования глобального энергетического состояния атмосферы всей Земли, что требует включения в анализ атмосферы над континентами;
- Предполагаемая аппаратура: микроволновый радиометрический сканер, совмещенный с системами оптического и ИК-наблюдения.

Исследования приэкваториальной области

- Наклонение солнечно-синхронной орбиты 30°-35°;
- При высоте орбиты 1000 км, периоде обращения 96 мин и полосе обзора ~2000 км использование двух спутников позволяет обеспечить наблюдение каждого участка с периодичностью не более 4 часов;
- Использование 3 спутников позволяет обеспечить наблюдение каждого участка с периодичностью не более 3 часов.

Исследования глобального энергетического состояния атмосферы всей Земли

- Полярная орбита с наклонением ~ 98 градусов;
- При высоте орбиты 1000 км, периоде обращения 96 мин и полосе обзора ~2000 км использование двух спутников позволяет обеспечить наблюдение каждого участка с периодичностью не более 8 часов.

Частотный диапазон для восстановления профилей температуры и влажности

- Для восстановления детальных высотных профилей водяного пара по 8–10 уровням до высот 10–12 км по радиометрическим измерениям со спутника целесообразно проводить измерения в линии резонанса водяного пара 183 ГГц;
- Однако, количество измерительных каналов в окрестности линии водяного пара должно быть не мене 7 в диапазоне частот от 168 до 220 ГГц;
- Максимумы весовых функций восходящего радиотеплового излучения атмосферы в линии 183 ГГц должны быть разнесены по частоте не менее 700 МГц;
- Ширина спектральных полос приема должна быть порядка 500–1000 МГц, что при современных радиометрических приемниках может обеспечить высокую чувствительность в спектральных каналах не более 0,5 К.

Микроволновый спектрометр МРС

- Микроволновый сканирующий32-канальный радиометр-спектрометр МРС предназначен для измерения с высокой точностью абсолютных радиояркостных температур с борта космического аппарата в широком спектре частот 6–220 ГГц;
- МРС предназначен для детальных дистанционных исследований параметров системы атмосфера–океан внутритропической зоны конвергенции, включающей районы катастрофических тропических циклонов с борта искусственного спутника Земли;
- МРС представляет собой многоканальный радиометр панорамного типа обзора со сканированием пространства лучами, вращающимися вокруг направления в надир под постоянным углом 45±0,1 градуса (коническое сканирование) с периодом 1,2 с;
- Основное внимание уделено высоким измерительным свойствам системы, что включает в себя стабильность приёмников – усиления и шумов; стабильность периода сканирования и углового позиционирования; высокой потоковой эффективности, малого уровня бокового излучения; низкой кроссполяризации, “переливания” и абсолютной калибровки.

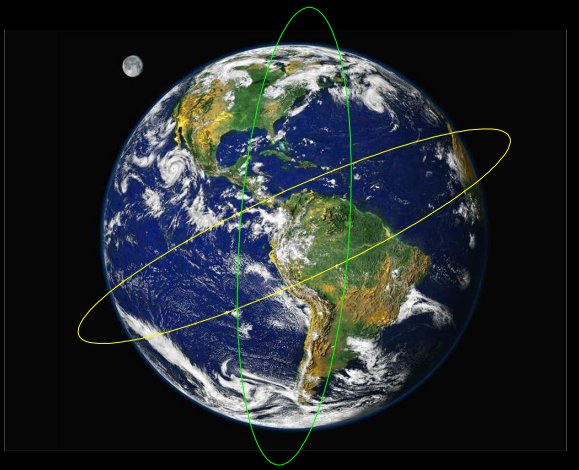
Технические характеристики МРС

Параметры	МРС								
Частота, ГГц	6,8	10,6	18,7	22,0	36,0	85,0	118,75	150,0	183,3
Количество каналов	2	4	4	1	4	2	6*	2	7**
Поляризация	Г, В	Г,В,±45°	Г,В,±45°	Г	Г,В,±45°	Г, В	Г	Г, В	Г
Динамический диапазон, К	3 – 330								
Потоковая эффективность	0,955	0,957	0,962	0,965	0,969	0,974	0,977	0,979	0,983
Чувствительность, К	0,3	0,39	0,43	0,21	0,41	0,35	0,43	0,41	0,44
Точность измерения $T_я$, К	не более 1								
Элемент разрешения, км	75x115	48x74	27x42	23x35	14x22	6x9	6x9	6x9	6x9
Угол падения, град.	55,16								
Угол визирования, град.	45±0,1								
Полоса обзора, км	1957								
Период сканирования, с	1.66								
Информационный поток, кб/с	320								
Масса, кг	70								
Потребляемая мощность, Вт	120								

* На частоте 118,75 ГГц супергетеродинный двухполосный приемник с пятью спектральными каналами, ширина полос УПЧ 150 МГц.

** На частоте 183,3 ГГц супергетеродинный двухполосный приемник с семью спектральными каналами, ширина полос УПЧ 500 МГц.

Некоторые моменты мисси



- Периодичность наблюдений требует создания семейства легких или средних КА с дешевой и менее энергозатратной аппаратурой ДЗЗ;
- Предполагаемый срок жизни спутников не менее 5 лет;
- Периодичность запусков 1 раз в 2 года;
- Общее число одновременно летающих спутников не менее 3.

Космический эксперимент «Конвергенция» на российском сегменте МКС

- высокоточных измерения абсолютных радиояркостных температур в диапазоне 6 – 220ГГц;
- измерение интегрального содержания атмосферного водяного пара от 10 до 80 кг/м^2;
- восстановлении профилей влажности и температуры тропосферы на 8 – 10 уровнях;
- измерение интегрального содержания капельной влаги атмосферы от 0 – 2 кг/м^2;
- измерение интенсивности осадков в пределах 0 – 20 мм/час;
- измерение ТПО с погрешностью не более 1К и относительной погрешностью не более 0,1К;
- измерение скорости ветра над морской поверхностью с точностью 1-2 м/с по величине 10–20° по направлению.

Спасибо за внимание!