

То, что достойно существовать, -
Достойно быть знаемо

Ф.Бэкон

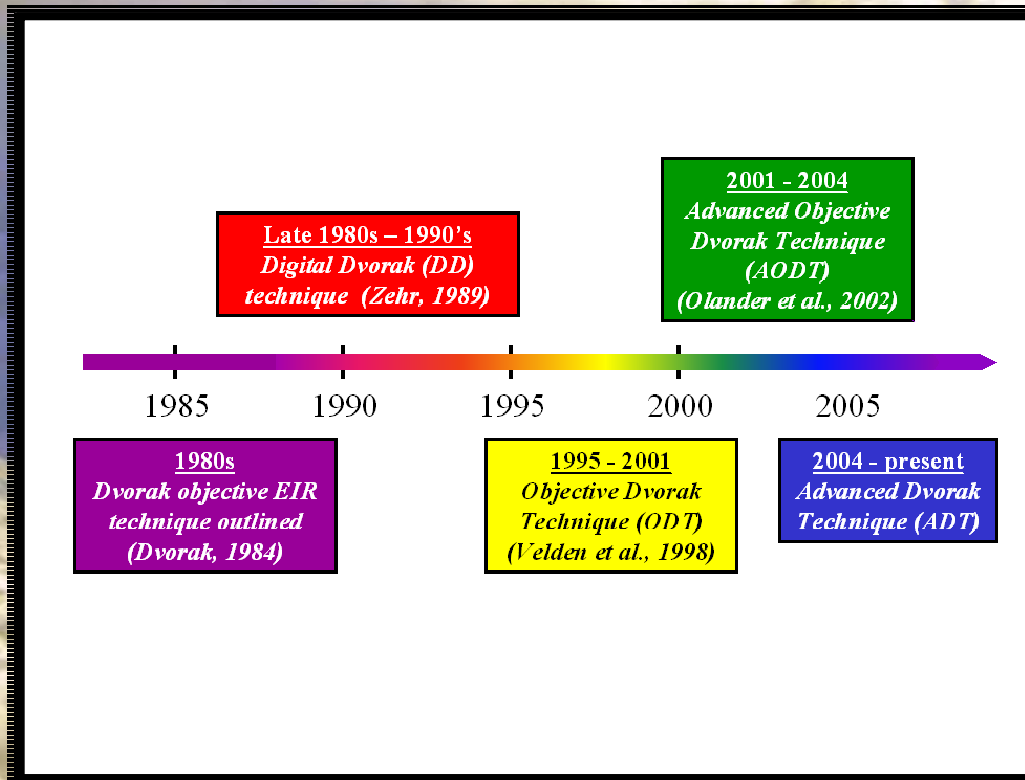
Инновационные технологии космического мониторинга интенсивности ураганов

В.А. Головки, Т.В. Кондранин

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
ШЕСТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Москва, 11 ноября 2008 г.**

История вопроса (пролог)

Технология В.Дворака оценки интенсивности тропических циклонов (ТЦ) была на протяжении более чем трех десятилетий основным методом мониторинга тропических систем.



Эта технология, основанная на результатах наблюдений с помощью космических средств (начиная с первого метеорологического спутника TIROS в 1960 г.), вероятно спасла десятки тысяч человеческих жизней в регионах, где один миллиард людей регулярно подвержен опасности ТЦ.

ТЦ – общее название одних из самых впечатляющих и особо опасных форм геофизических явлений.

ТЦ, чьи скорости ветра превышают 33 м/с, называют УРАГАНАМИ в северо-западной части Атлантического океана и северо-восточной части Тихого океана. В северо-западной акватории Тихого океана их именуют ТАЙФУНАМИ.

Оперативные средства наблюдений



GOES-W 135 ° з.д.



GOES-E 75 ° з.д.

Космические геостационарные системы:
EUMETSAT (Meteosat), США (GOES),
Япония (MTSAT), Китай (Fengyun-2),
Россия (GOMS) и Индия (KALPANA)

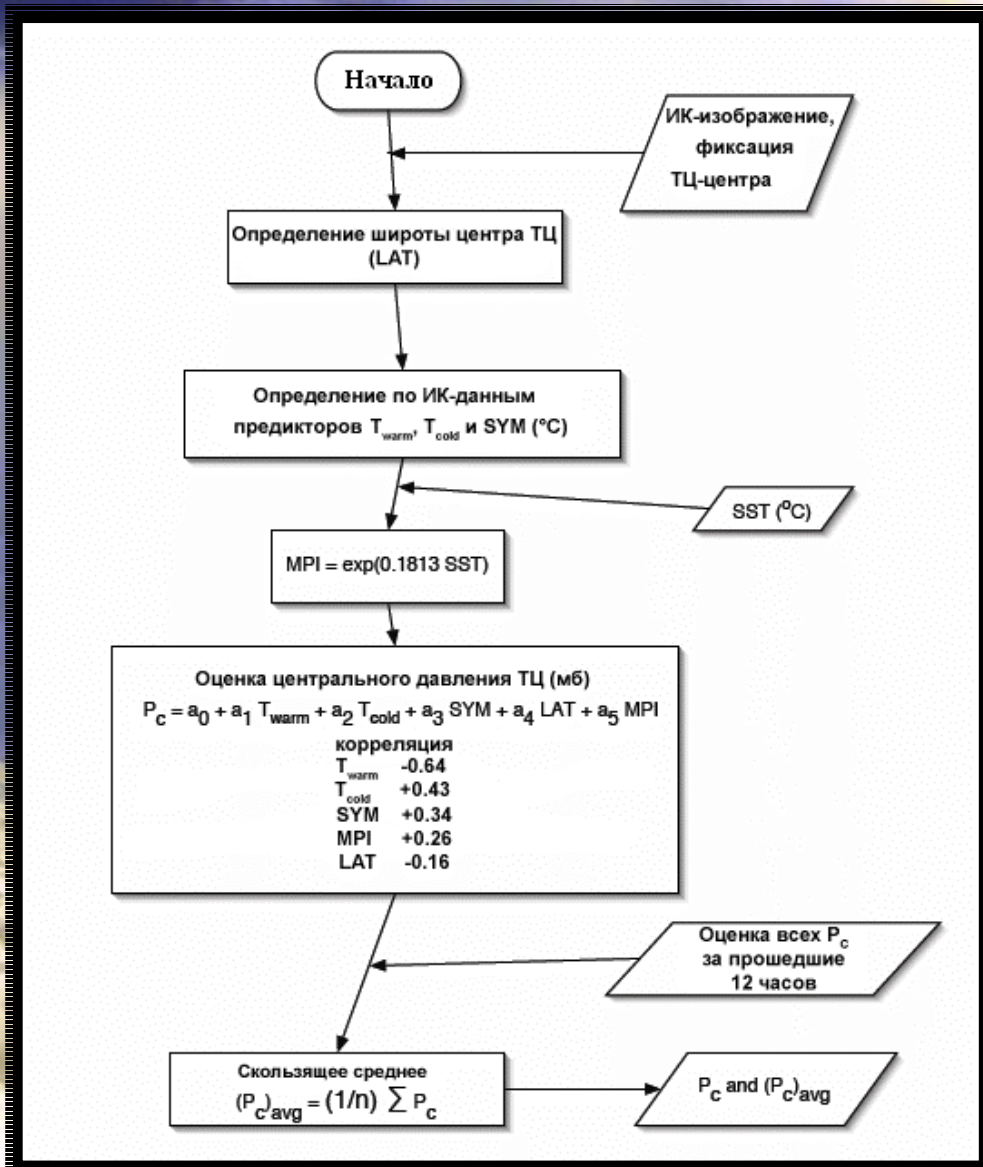


Авиационные специальные системы:
«Охотники за ураганами»
♦ 10 самолетов WC-130 ВВС США
♦ WP-3D Orion и Gulfstream IV NOAA



До сих пор существует единственный надежный способ измерения интенсивности вихря: посылать самолеты прямо к глазу урагана!
Подход этот весьма дорогостоящий — специальные самолеты, используемые для наблюдения за ураганами, стоят около \$100 млн. каждый, а один-единственный вылет обходится в \$50 000.

Оперативная оценка интенсивности ТЦ



Используемые данные:

- ♦ Самолетные измерения максимальной скорости ветра и минимального приповерхностного давления
- ♦ T_{warm} ($r < 40$ км), T_{cold} ($24 < r < 136$ км) и SYM по данным ИК-наблюдений GOES с асинхронностью менее 1 часа
- ♦ MPI на основе значений ТПО по данным НОАА

Ансамбль данных и точность оценки:

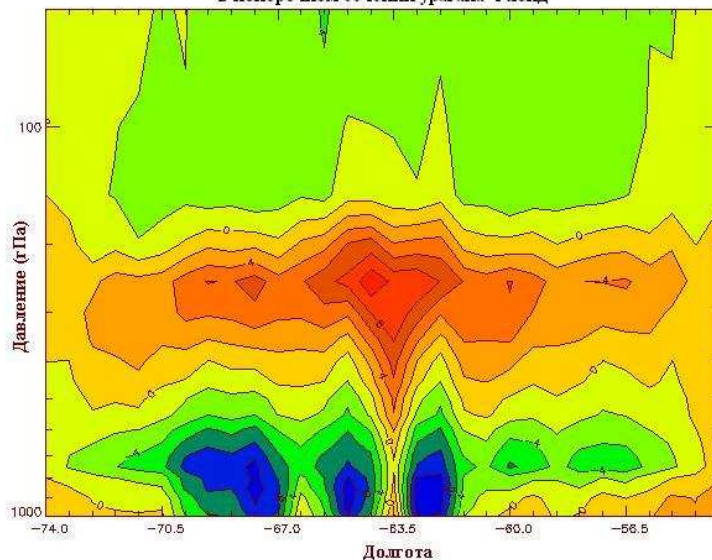
- ♦ 1688 наборов данных из 26 ТЦ в акватории Атлантики за период 1995-2002 гг.
- ♦ Погрешность – смещение 0.66 гПа, ско 11.63 гПа

Основные недостатки:

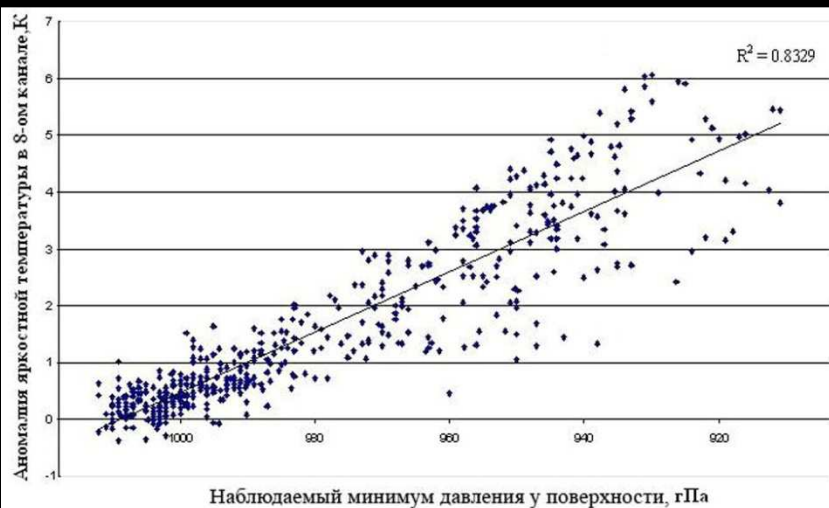
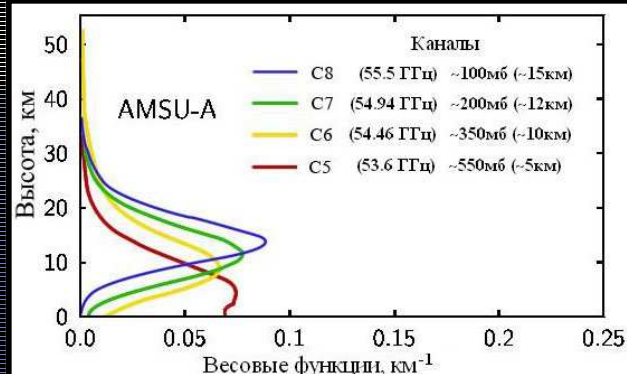
- ♦ Трудности измерений T_{warm} при минимальных размерах глаза (Опал, 1995)
- ♦ Недостаточная статистическая обеспеченность экстремальных прецедентов (Митч, 1998)

Расширение средств наблюдений

Температурные аномалии
в поперечном сечении урагана Флойд



Когда ТЦ развиваются до ураганов, для них становится характерным сопутствующее нагревание верхней тропосферы в результате адиабатического сжатия воздуха, когда он опускается



Существует сильная корреляция между аномалией яркостной температуры, измеренной прибором AMSU-A, и интенсивностью ТЦ.

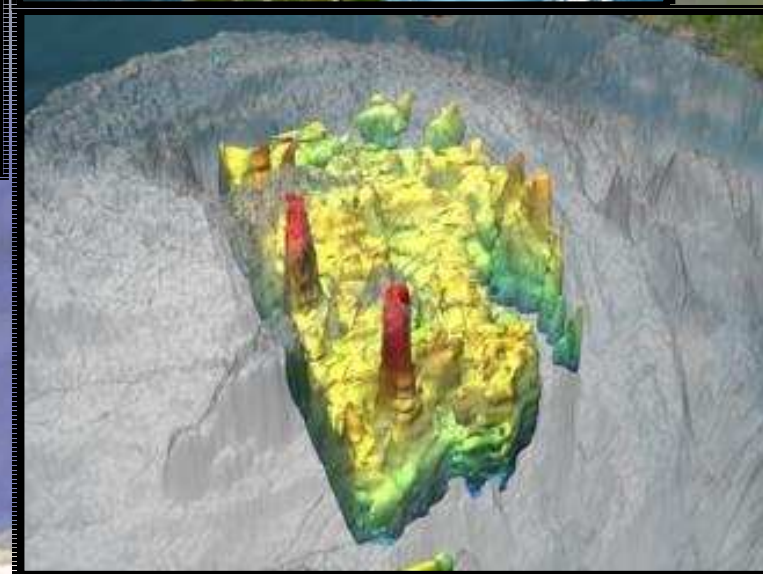
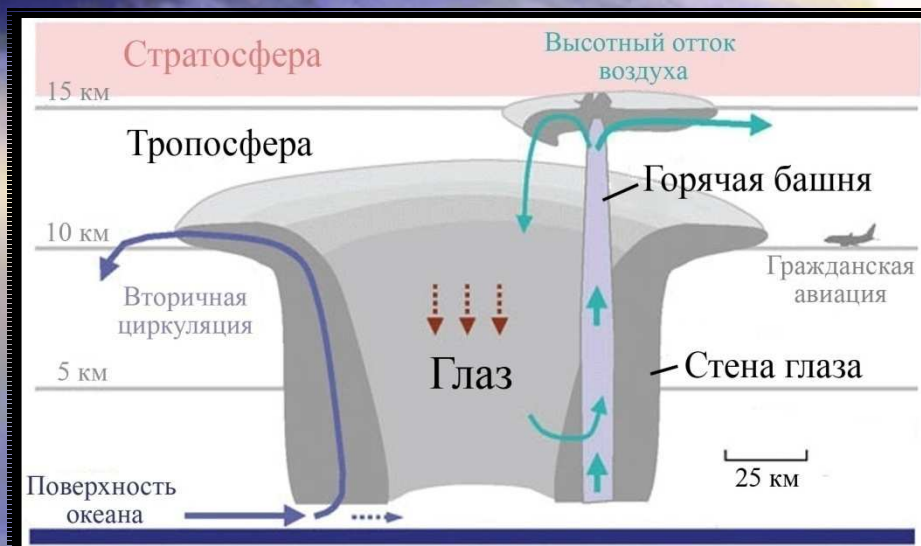
Алгоритм CIMSS AMSU использует эту взаимосвязь для оценки минимального давления тропического циклона у поверхности.

Сравнение нового (CIMSS AMSU) и традиционного (Dvorak) методов (ско):

Для Атлантики - 6.4 гПа против 9.0 гПа;

Для северо-западной акватории Тихого океана - 4.7 гПа против 11.1 гПа

Интенсификация ураганов

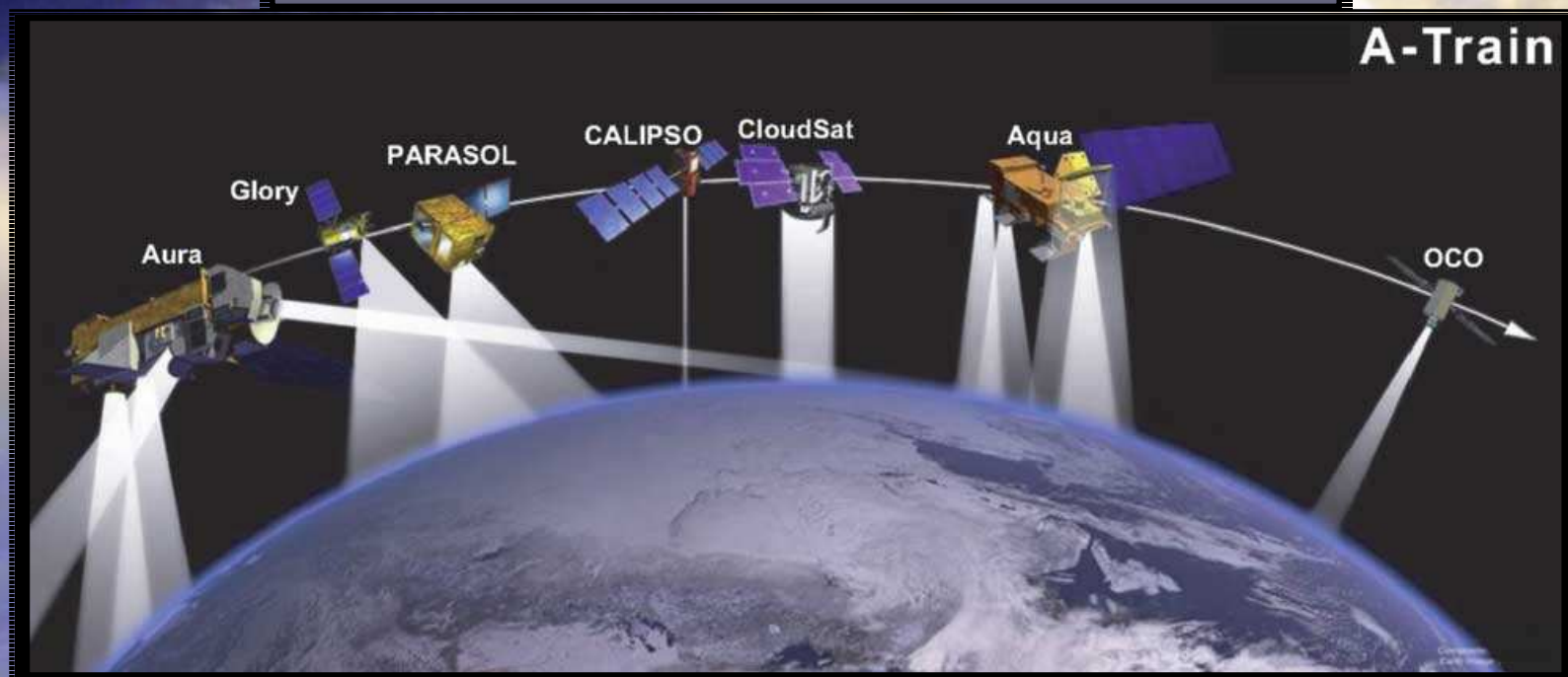


При анализе «внутренней» структуры ураганов использовались данные TRMM о 3-х мерном распределении осадков и скрытой теплоте парообразования. Основу этих данных составляют результаты измерений с помощью микроволнового радиометра TMI (TRMM Microwave Imager) и радара осадков PR (Precipitation Radar)

Радар осадков PR работает на частоте 13.8 ГГц и обеспечивает получение уникальных трехмерных данных с пространственным горизонтальным разрешением 4.3 км (в надир) и вертикальным разрешением около 250 м в полосе обзора 220 км.

Экзотермические глубоко конвективные облака (до 16 км) в стене глаза урагана Катрина 28 августа 2005 г., когда интенсивность достигла 5-ой категории

Новейшие технологии



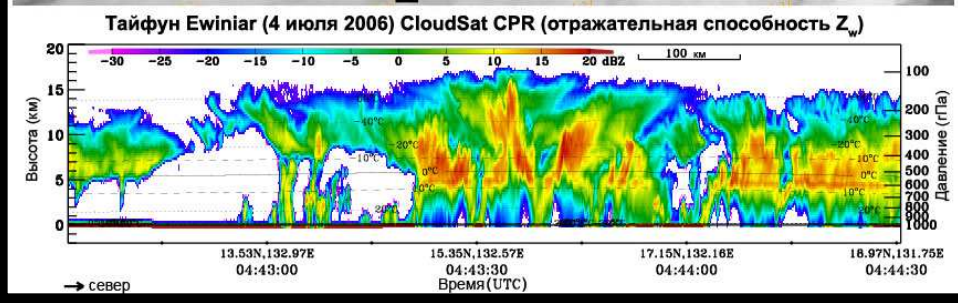
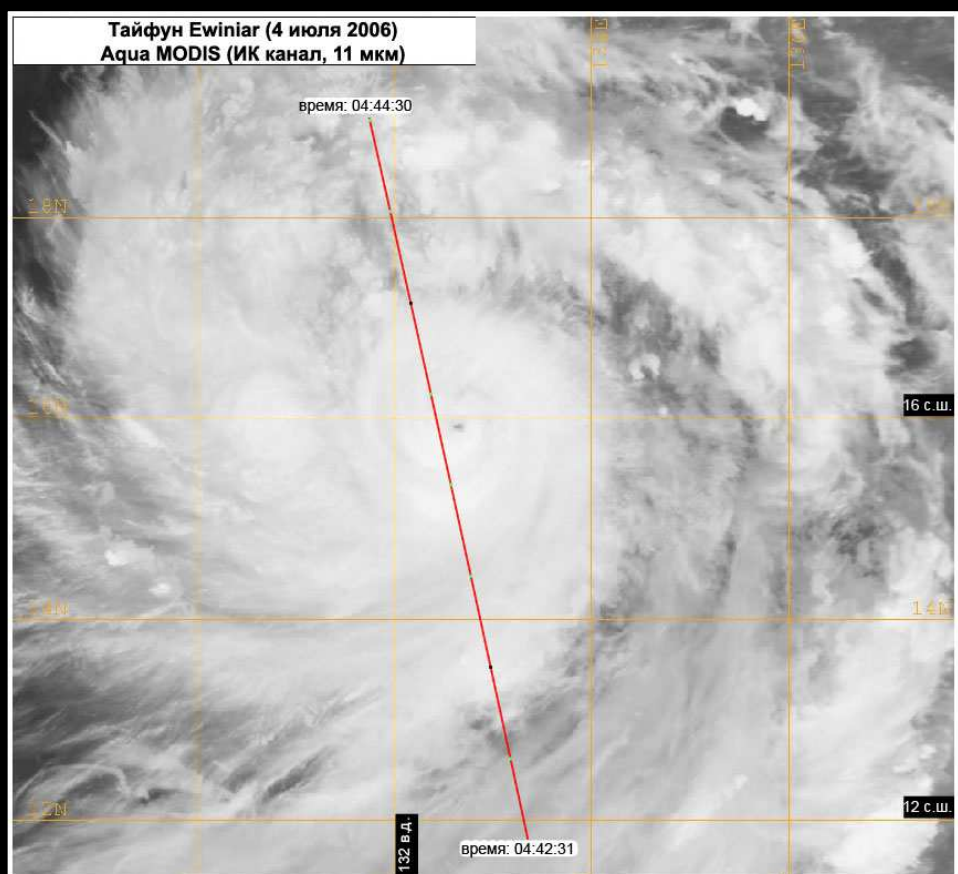
Прорыв в понимании циклогенеза и физики ураганов наступил с вводом в действие системы новейших спутников Aqua, CloudSat, CALIPSO, PARASOL и Aura - первого состава, так называемого, космического «А-поезда».

С помощью новейших приборов восстанавливаются существенные для повышения достоверности разрабатываемых моделей геофизические параметры не только собственно вихря, но и окружающей среды.

Использование данных современных альтиметров и радиометров позволяет учитывать радиальные градиенты высот верхней границы облаков и температуры от ядра урагана к его периферии, что способствуют значительному улучшению точности оценки интенсивности ураганов.

В.А. Головкин, Т.В. Кондранин " Инновационные технологии космического мониторинга интенсивности ураганов "

Новая методология оценки интенсивности

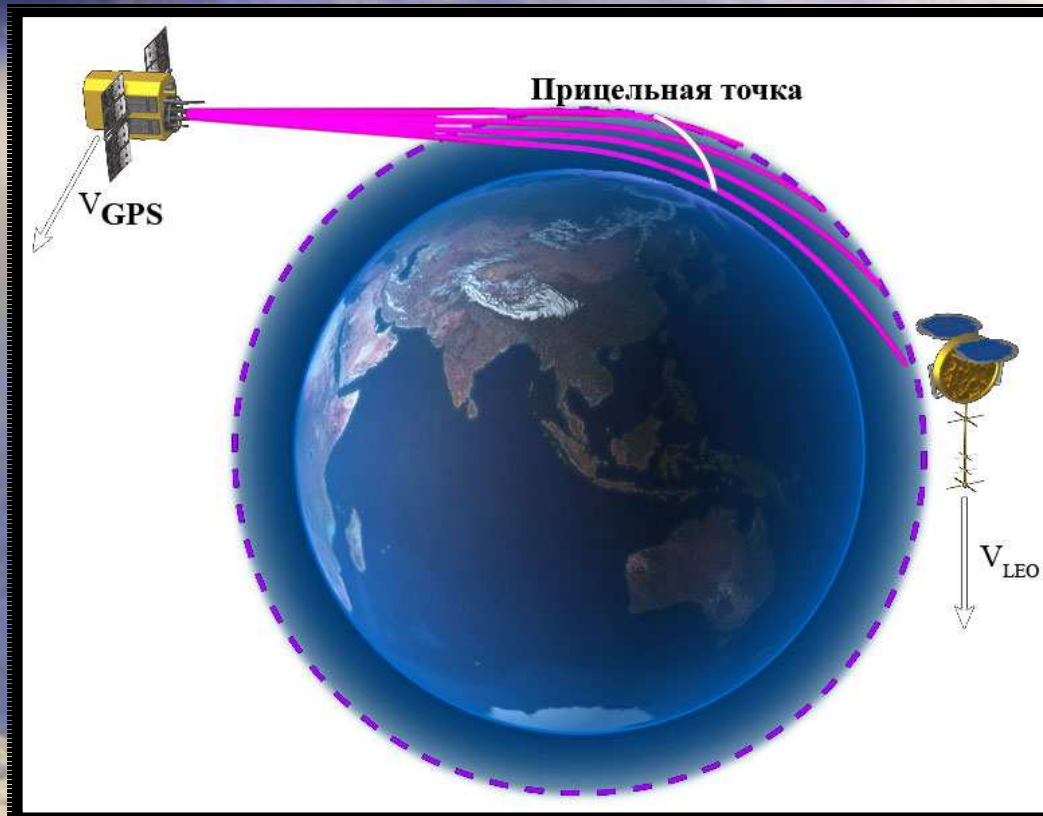


Для максимальной скорости ветра в урагане получено выражение (Wong V., Emanuel K. A., 2007):

$$V_m^2 \approx \frac{T_s - T_0}{T_0} \Delta h$$

где T_s и T_0 — соответственно температура поверхности океана и верхней границы облачности, $\Delta h = h_{ew} - h_0$ — изменение статической энергии насыщения водяным паром на верхней границе облачности: с h_{ew} на границе стены «глаза урагана» к h_0 во внешней зоне. Для оценки h используется выражение $h \sim C_p T + gz$

Метод радиопросвечивания

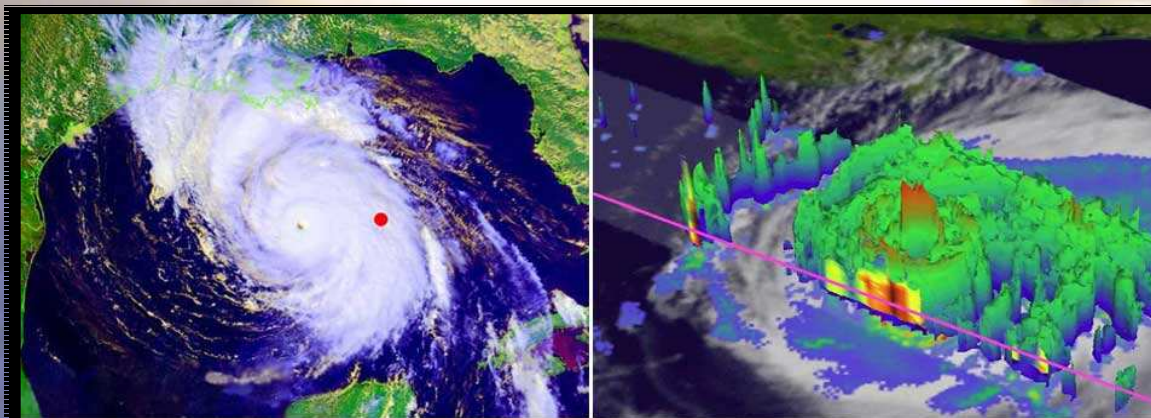


Классическая схема радиопросвечивания (затменного зондирования), показывающая смещение прицельной точки зондирования по мере ухода за горизонт низкоорбитального КА (LEO – Low-Earth Orbiter).

Методы радиопросвечивания достаточно давно применяются для дистанционного зондирования атмосфер планет земной группы. В 1980-х в связи с появлением современных технологий и оборудования, предназначенных для точного позиционирования объектов на поверхности Земли и в космосе с помощью **GNSS** – Глобальной Навигационной Спутниковой Системы (Global Navigation Satellites System), открылись принципиально новые возможности развития методов радиопросвечивания в глобальном масштабе. Первоосновой послужила **GPS** - Глобальная система позиционирования (Global Positioning System).

Оперативная система затменного зондирования COSMIC

До запуска COSMIC в апреле 2006 года было сравнительно мало данных радиозатменного зондирования GPS-RO (RO – Radio Occultation) для изучения эффективности использования их в прогнозе. Наиболее значимым источником этих данных был германский спутник CHAMP, который поставлял 150-200 профилей ежедневно.

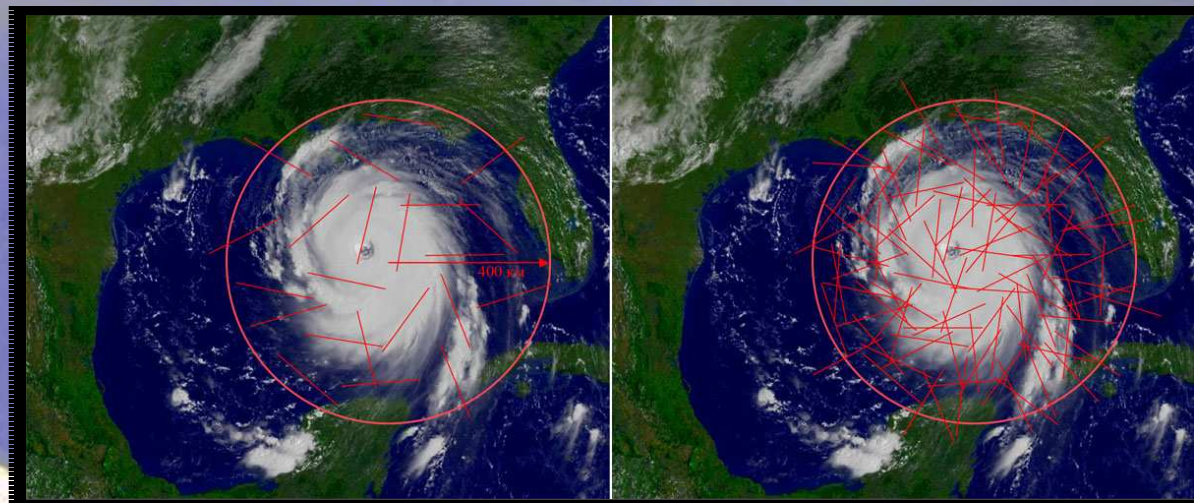


Ураган Лили, октябрь 2002 г., красным маркером отмечена точка входа зондирующего сигнала. Было решено использовать результат этого зондирования для оценки эффективности использования данных GPS-RO при прогнозе динамики урагана.

Информационная мощь данных GPS-RO заключается в комбинации экстремально высокой точности и вертикального разрешения при объективной абсолютности измерений (отсутствии каких-либо значимых систематических смещений) и полной всепогодности функционирования, поставляющих информацию даже тогда, когда другие датчики этого сделать не в состоянии. Все эти преимущества особенно ярко реализуются при зондировании ураганов, позволяя определять критически важные параметры: температуру, давление, влажность.

Новая эпоха дистанционного зондирования

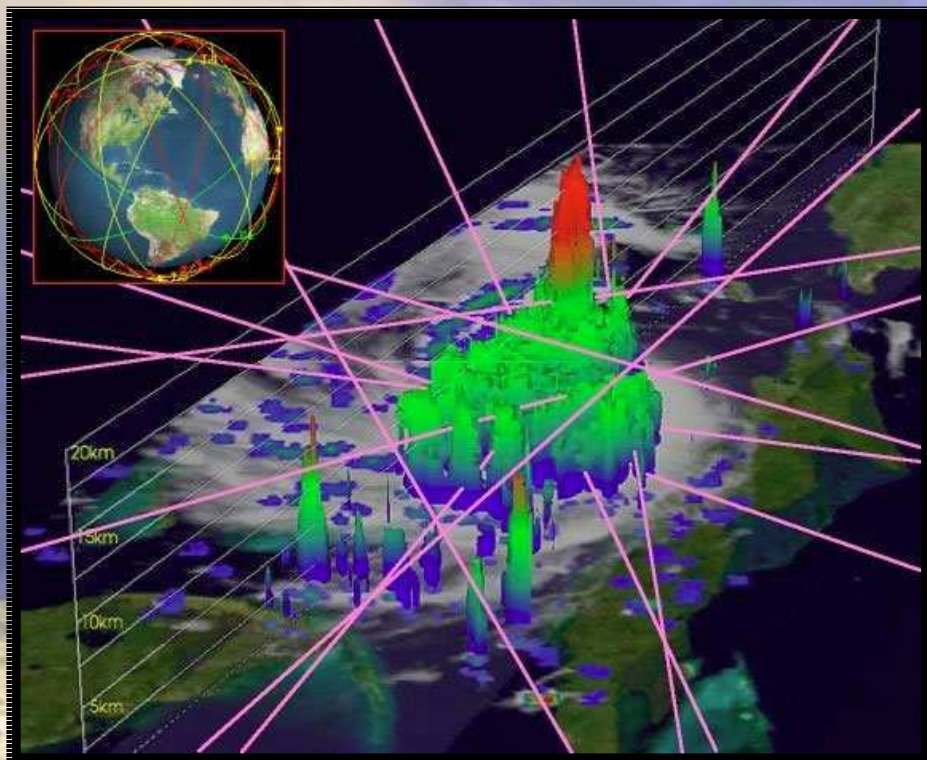
В настоящее время функционируют все шесть КА группировки COSMIC. Данные, получаемые с помощью этой системы, дают трехмерное покрытие от поверхности земли до 40 км. Они обладают большой точностью (лучше 1 К по температуре) и высоким пространственным разрешением (0,1 км у земной поверхности и около 1 км в области тропопаузы). Кроме того, это пока единственный глобальный источник информации о состоянии пограничного слоя атмосферы.



И, если COSMIC с помощью только GPS (28 КА), позволяет получить 8-10 профилей ежедневно в области урагана (на пространственных масштабах ~ 1000 км), а при дополнительном использовании системы Galileo (30 КА) - удвоенное число (16-20 в день), то COSMIC-2 будет поставлять около 100 ежедневных «разрезов» урагана.

В.А. Головки, Т.В. Кондранин " Инновационные технологии космического мониторинга интенсивности ураганов "

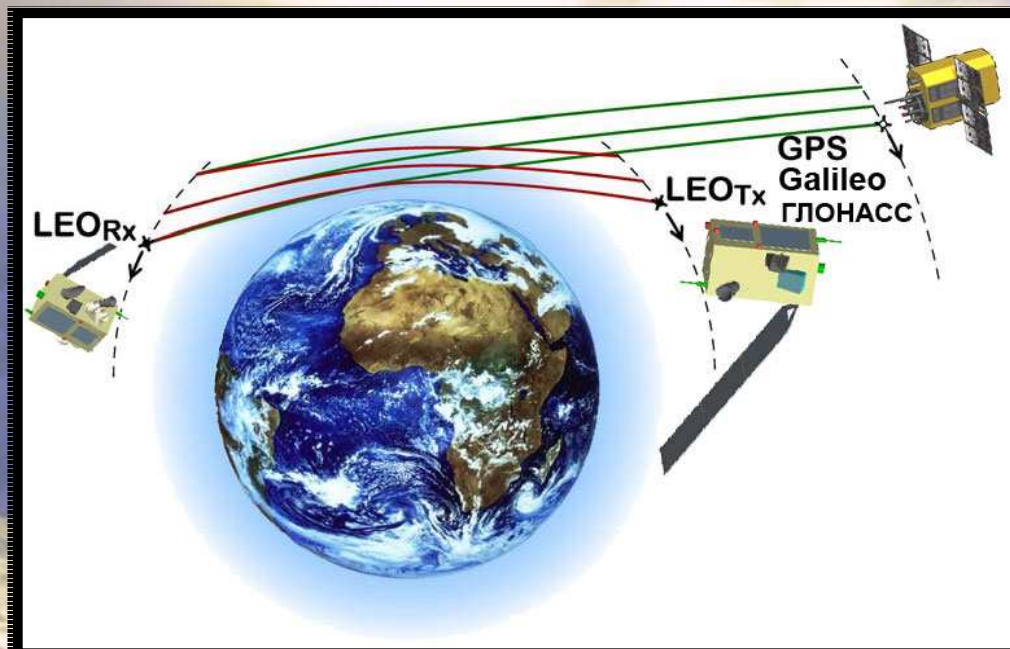
Принцип томографического зондирования



При этом плотность наблюдений может быть еще больше увеличена при дополнительном использовании системы ГЛОНАСС (24 КА). Этого количества данных уже будет достаточно для полноценной *томографической реконструкции* термической, влажностной и барической структуры урагана.

Новейшая система ACCURATE

Принципиально новой системы затменного зондирования, использующей все преимущества оптимизированной геометрии наблюдений и многоспектральности измерений (Profiling greenhouse gases, isotopes, wind and thermodynamic variables by MW radio+IR laser occultation: the ACCURATE concept).



В дополнение к уже ставшей классической схеме радиопросвечивания GNSS-LEO (рис.14), реализующей затменное зондирование на частотах 1.2 и 1.6 ГГц в L-диапазоне, данная система предусматривает два инновационных метода зондирования: LRO (LEO-LEO) – микроволновое просвечивание на частотах 17.25, 20.2, 22.6, 179.0 и 182.0 ГГц и LIO (LEO-LEO) – ИК лазерное просвечивание на 20-ти длинах волн в диапазоне 2 – 2.5 мкм.

Эта система позволит получать практически полную информацию об окружающей среде в глобальном масштабе: вертикальные профили термодинамических параметров и концентрации газовых составляющих атмосферы, исчерпывающие характеристики облаков и аэрозолей, данные о ветре и турбулентности.

В.А. Головкин, Т.В. Кондранин " Инновационные технологии космического мониторинга интенсивности ураганов "

Заключение

- ◆ **Новейшие системы дистанционного зондирования из космоса не только дадут возможность получать исчерпывающие данные для прогноза погоды, но и позволят получать уникальные данные о внутренней структуре ураганов для построения совершенных физических моделей, обеспечивающих объективную оценку интенсивности и динамики их движения.**
- ◆ **Создание и ввод в эксплуатацию этих космических систем приведет к изменению качественного уровня в понимании аномальных атмосферных явлений.**
- ◆ **Амбициозные планы научного сообщества (на 25 лет) достижения к 2030 году улучшения прогноза точки выхода на сушу ураганов до 100 км с заблаговременностью не менее 3 суток реализуются намного раньше!**

**Спасибо
за внимание!**

