



**XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ДЗЗ-2020»**

Москва, 16-20 ноября 2020

**ДИСТАНЦИОННАЯ ТОЧНАЯ ДИАГНОСТИКА ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА  
НА ОСНОВЕ GOES IMAGERY  
И ОБЛАЧНО-РАЗРЕШАЮЩЕГО ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Г. В. Левина**

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

*levina@iki.rssi.ru*



# ***ТРОПИЧЕСКИЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ***

**К настоящему времени отсутствуют общепринятые:**

- **определение тропического циклогенеза;**
- **количественные критерии, позволяющие точно диагностировать время возникновения крупномасштабной вихревой неустойчивости.**

**От решения этих проблем принципиально зависит прогноз развивающегося вихря и вся система оповещения населения о возможной чрезвычайной ситуации.**

**ПРЕДЛОЖЕНА**

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЦИКЛОГЕНЕЗА**

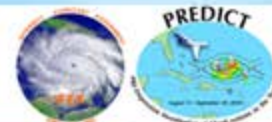


- **Ежедневно с января 2012 г. :**  
Всемирный профессиональный форум <http://tstorms.org/>
- **Доклад по результатам 2019 г. включен в Программу 34-й конференции Американского метеорологического общества по ураганам и тропической метеорологии, Новый Орлеан, США, май 2020/21:**  
**Helical tropical cyclogenesis: detection of pre-depression large-scale vortex instability**  
<https://ams.confex.com/ams/34HURR/meetingapp.cgi/Paper/371535>
- **Единственный представитель России среди 400-500 участников аналогичных конференций – AMS Conferences on Hurricanes and Tropical Meteorology:**  
**29th Conference, Tucson, Arizona, USA, 2010.**  
[https://ams.confex.com/ams/29Hurricanes/techprogram/paper\\_167780.htm](https://ams.confex.com/ams/29Hurricanes/techprogram/paper_167780.htm)  
**31st Conference, San Diego, California, USA, 2014. Доклад в день открытия, прайм-тайм:**  
<https://ams.confex.com/ams/31Hurr/webprogram/Paper243281.html>
- **Приглашенный доклад (live – прямая трансляция на научные центры мира) в Национальном центре атмосферных исследований США – NCAR, Boulder, Colorado, USA, 20 October 2016:**  
**Helical tropical cyclogenesis: a modern look based on cloud-resolving numerical analysis of self-organization of moist convective atmospheric turbulence.**  
<https://www.mmm.ucar.edu/seminar/2016-10-20-213000-helical-tropical-cyclogenesis-modern-look-based-cloud-resolving-numerical>

# УЧАСТИЕ АВТОРА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЦ

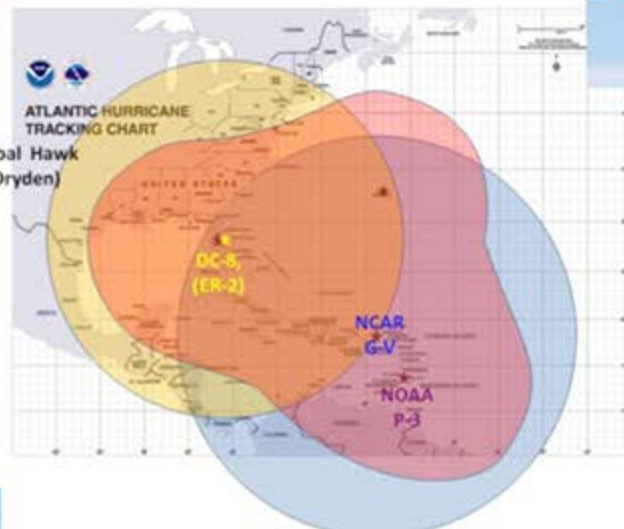


**EXPERIMENTS – PREDICT, GRIP, IFEX**  
August 15 – September 30, 2010



## 7 Aircraft-participants

PREDICT/GRIP/IFEX Domains



**Gulfstream-V (h $\approx$ 15.5 km)**



**Gulfstream-IV (h $\approx$ 12.5 km)**

**NOAA's "Hurricane Hunter" Aircraft**  
**Lockheed WP-3D Orion (h $\approx$ 8.3 km)**



**Карибское лето 2010: NASA-NOAA-NSF/NCAR совместные натурные эксперименты GRIP-IFEX-PREDICT.**  
Автор участвовал в эксперименте PREDICT и полете в ураган Карл 14 сентября 2010 г.



# СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

**По материалам публикации** ( doi:10.1088/1742-6596/1640/1/012023 ) :

Levina G.V. Birth of a hurricane: early detection of large-scale vortex instability 2020 *J. Phys.: Conf. Ser.*

## ***Введение. Тропические циклоны (ТЦ)***

### **1. Диагностика тропического циклогенеза**

#### **1.1. Возникновение крупномасштабной вихревой неустойчивости**

#### **1.2. Облачно-разрешающий численный анализ:**

- **поле вертикальной спиральности: локализация вихревой конвекции,**
- **вихревые горячие башни (ВГБ - VHTs) и формирование вторичной циркуляции (ВЦ),**
- **диагностика неустойчивости по полю спиральности: типичные конфигурации ВГБ - VHTs**

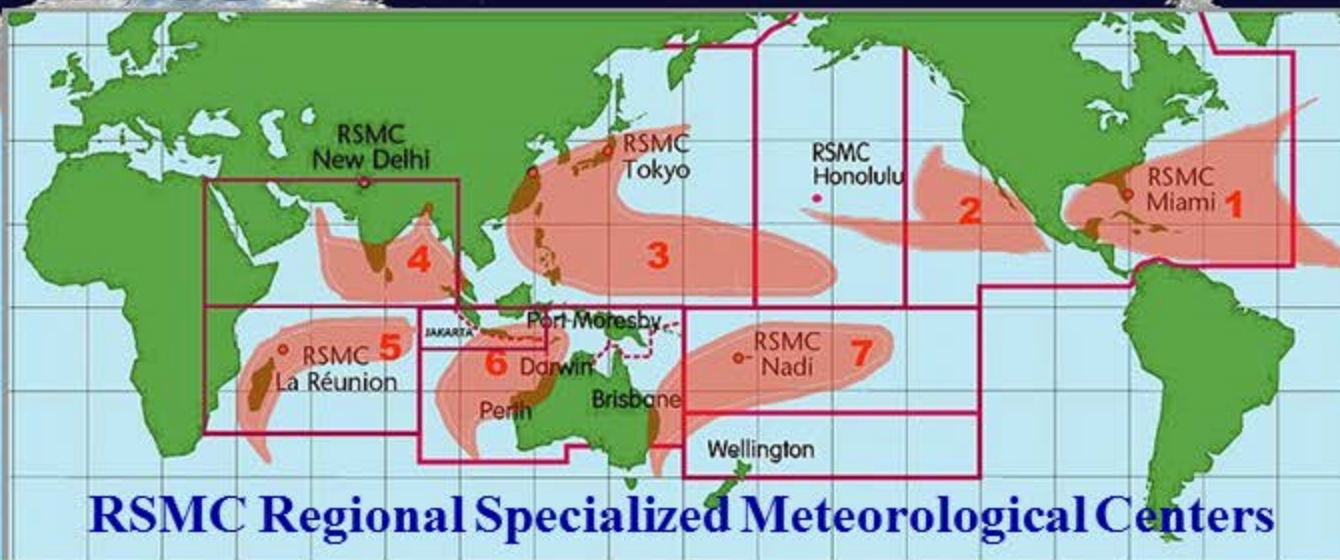
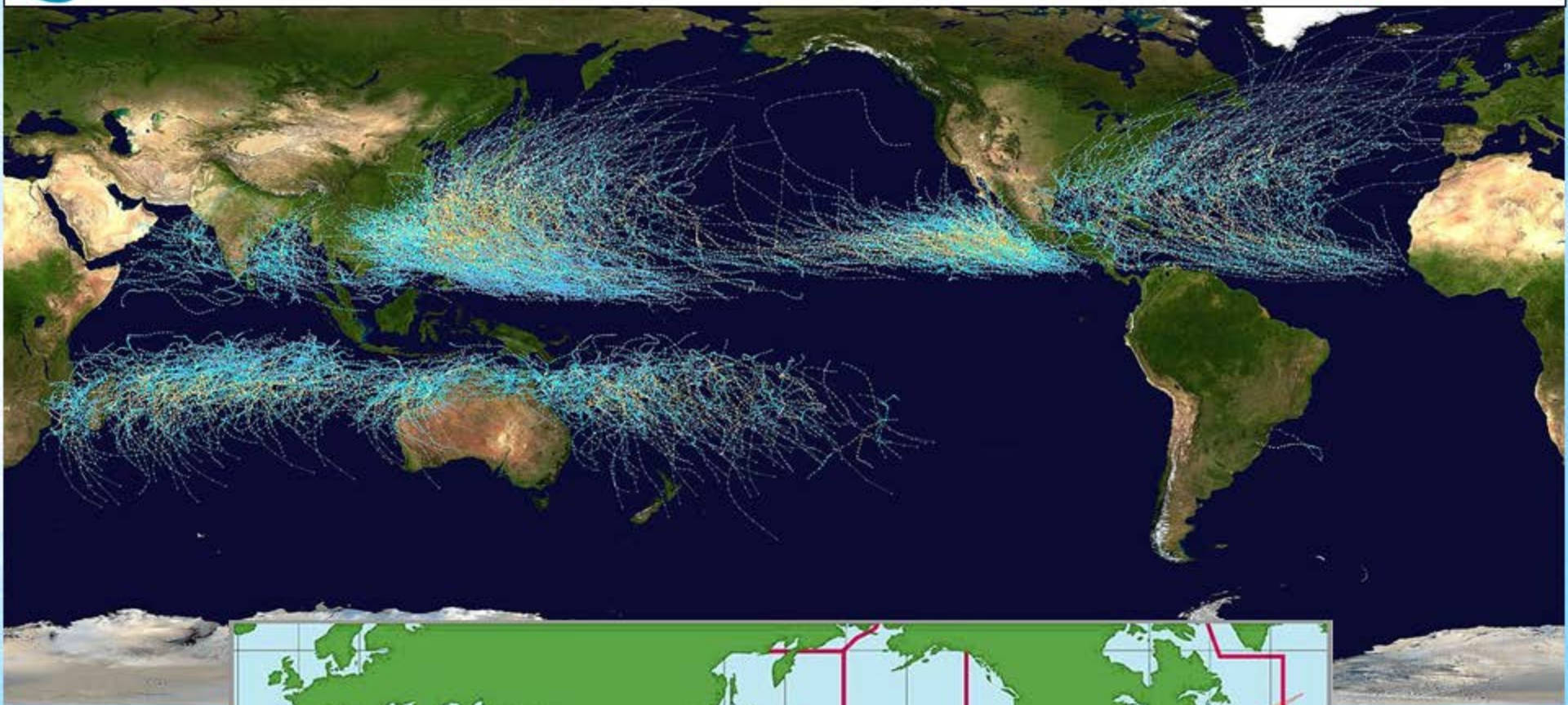
#### **1.3. GOES Imagery:**

- **диагностика по полю температуры: Overshootings Cloud Tops**

### **2. Зарождение урагана Isaias (2020)**

### **3. Перспективы**

# ТЦ: Регионы Образования и Центры Наблюдений

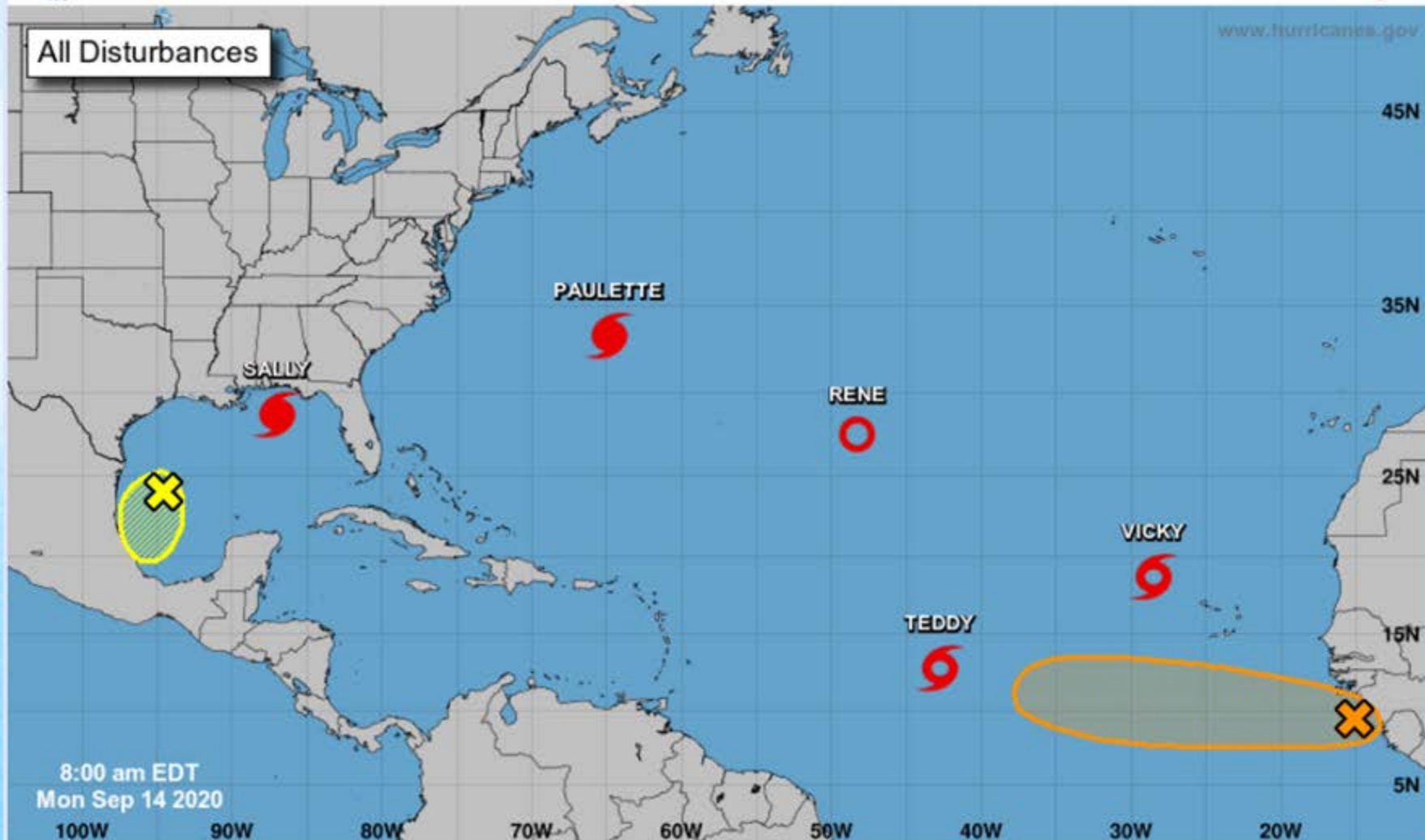




# ТЦ: МОНИТОРИНГ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ



## Five-Day Graphical Tropical Weather Outlook National Hurricane Center Miami, Florida



All Disturbances

www.hurricanes.gov

8:00 am EDT  
Mon Sep 14 2020

100W 90W 80W 70W 60W 50W 40W 30W 20W

Current Disturbances and Five-Day Cyclone Formation Chance: < 40% 40-60% > 60%

Tropical or Sub-Tropical Cyclone: Depression Storm Hurricane

Post-Tropical Cyclone or Remnants





# ТЦ: МОНИТОРИНГ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ



**N H C** <https://www.nhc.noaa.gov/>  
National Hurricane Center Miami, Florida



-  **TD** – тропическая депрессия,  $V \leq 17$  м/с
-  **TS** – тропический шторм,  $V = 18-32$  м/с ; **получает имя**
-  **H** – ураган,  $V \geq 33$  м/с ; категории 1-5 ( $\geq 70$  м/с)

**ALARM – ТЦ!** при подтверждении формирования **TD**.

Однако известно достаточно много случаев, когда несмотря на все усилия не удается идентифицировать стадию TD и вихрь диагностируется уже на стадии TS. Часто в опасной близости к густонаселенным территориям, как например, это произошло с будущим ураганом Isaias (2020), идентифицированным как TS вблизи Пуэрто Рико.

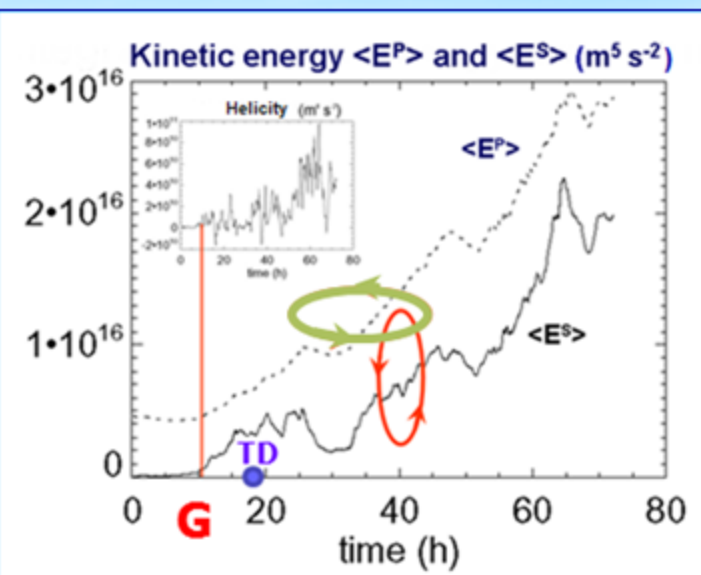
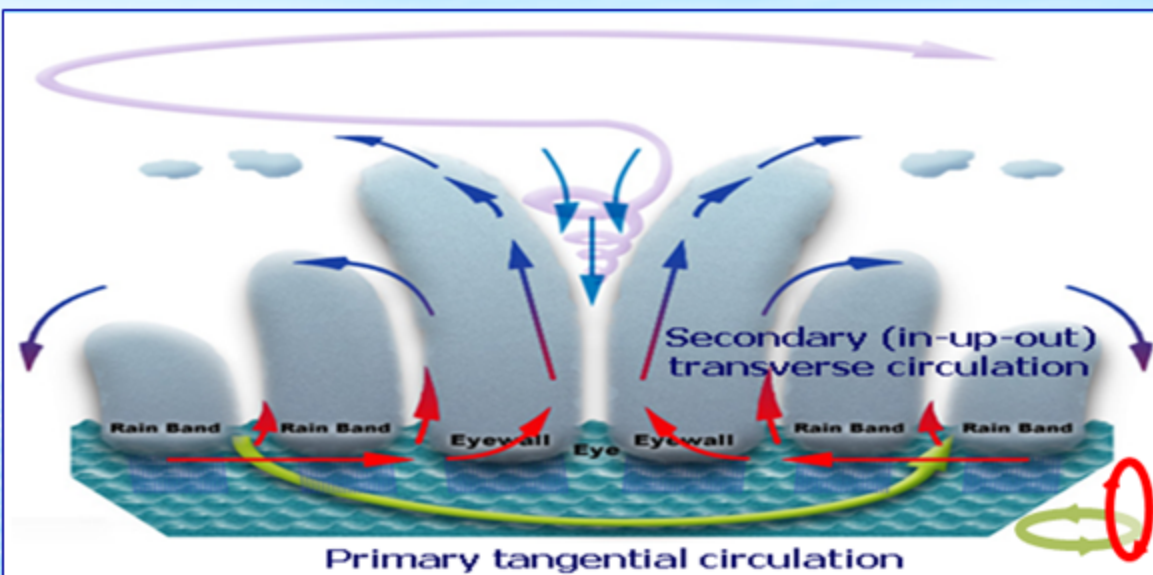




# ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

Это ответ на вопрос о моменте появления крупномасштабной вихревой неустойчивости:

**Когда формирующийся ураганный вихрь становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?**



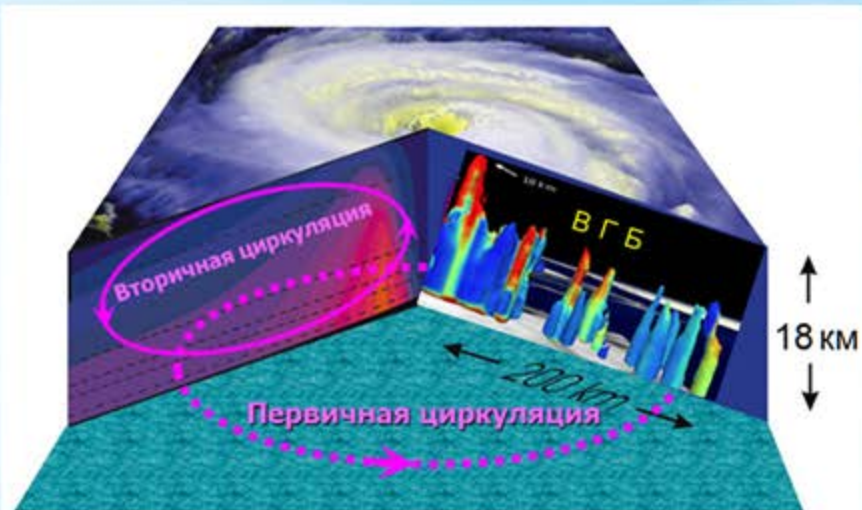
- Анализ эволюции кинетической энергии первичной циркуляции  $E^P$  и вторичной циркуляции  $E^S$  позволяет определить момент времени **G**, когда начинается их взаимное усиление и формирующийся вихрь становится энергетически самоподдерживающимся.
- Дальнейшее развитие неустойчивости приводит к образованию тропической депрессии (TD).

**Обоснование: турбулентное вихревое динамо + ключевая роль ВГБ в его создании**



# **ВИХРЕВЫЕ ГОРЯЧИЕ БАШНИ – ВГБ**

**ВГБ – интенсивная глубокая вихревая влажная конвекция**



**Семейство ВГБ разных масштабов и интенсивности создает обратную связь между первичной и вторичной циркуляцией на мезомасштабах всей системы: вихрь становится энергетически самоподдерживающимся.**

**ВГБ обеспечивают необходимые эффекты для создания турбулентного вихревого динамо:**

- **объемное выделение скрытого тепла при конденсации,**
- **вращение на масштабах облачной конвекции,**
- **взаимодействие сдвигового течения и вихревой конвекции,**
- **генерацию ненулевой спиральности на облачных масштабах.**

# ***2020: К ДИАГНОСТИКЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ТЦ***

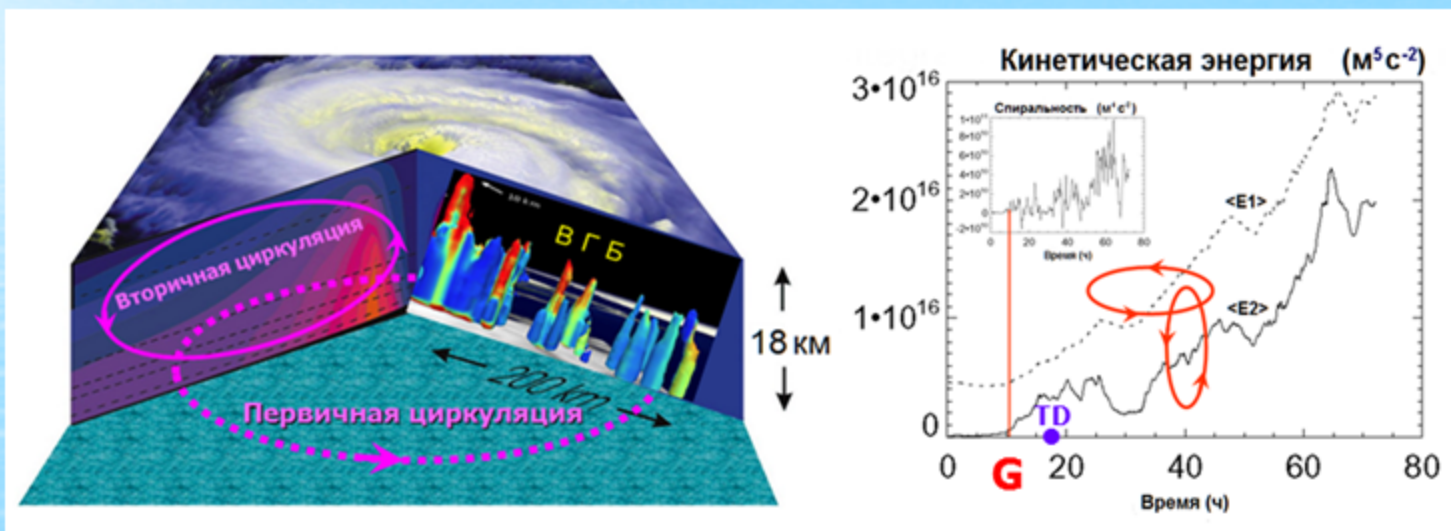




# ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

## Анализ полей вертикальной спиральности и температуры

В момент **G** происходят принципиально важные изменения в структуре развивающейся вихревой системы. Крупномасштабная вихревая неустойчивость возникает почти одновременно с формированием вторичной циркуляции (ВЦ). Таким образом, появление неустойчивости может быть прослежено с помощью картин соответствующих физических полей.



Численная диагностика зарождения ТЦ: «Genesis – G». Эксперимент A2 [M06]

ВГБ играют главную роль в формировании и поддержании вторичной циркуляции. Наглядно визуализировать ВГБ позволяют поля вертикальной спиральности и температуры.



# ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

## Что происходит на масштабах облачности и мезомасштабах всей системы?

Разработан и применен новый метод, позволяющий локализовать вихревую конвекцию. С этой целью применена **плотность спиральности** (не интеграл!), т.е. поле спиральности –  $h$ , определенное в каждой точке конечно-разностной сетки, а именно, **вертикальный вклад этой величины –  $h_z$** ,

$$h = \mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\omega} = u \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) + w \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right).$$

**Поле вертикальной спиральности служит «фильтром», выделяющим вихревую конвекцию.**

Выполнен анализ процессов на масштабах облачности (вертикальная спиральность) и мезомасштабах системы (интегральная кинетическая энергия и спиральность) для 4 экспериментов из [M06] :

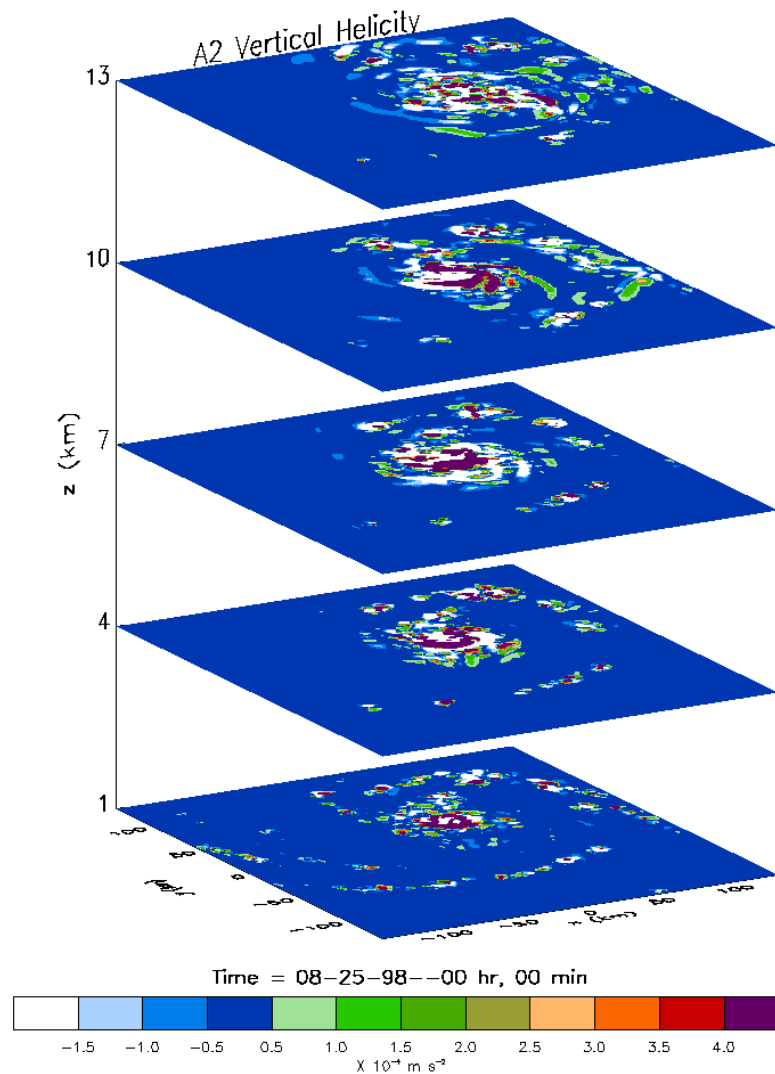
№	Название эксперимента	Max $v$ (м/с) при $z = 4$ км	Описание эксперимента ( $\Delta x = \Delta y = 3$ км, SST = 29°C)
A2	3 км	6.6	Успешная трансформация в поверхностный вихрь. Средний приповерхностный тангенциальный ветер ~13 м/с через 24 ч и 46 м/с через 72 ч
B3	Пониженная ДКПЭ (3 км)	6.6	Влажность на нижнем уровне понижена на 2 г/кг. Успешная, но более медленная трансформация в поверхностный вихрь. Средний приповерхностный тангенциальный ветер ~9 м/с через 48 ч.
C3	Слабый вихрь	5.0	Успешная, но более медленная трансформация в поверхностный вихрь. Средний приповерхностный тангенциальный ветер ~9 м/с через 72 ч. Очень асимметричная циркуляция даже через 72 ч.
E1	Отсутствие силы Кориолиса	6.6	Параметр Кориолиса $f = 0$ . Успешная трансформация в поверхностный вихрь как в A1, но не происходит дальнейшего усиления в течение 72 ч.

Примечание. SST (Sea Surface Temperature) – температура поверхности моря; ДКПЭ – доступная конвективная потенциальная энергия.



# ВИХРЕВАЯ ОБЛАЧНАЯ КОНВЕКЦИЯ

**POSITIVE HELICITY:**  
cyclonic updrafts &  
anticyclonic downdrafts,  
**NEGATIVE HELICITY:**  
cyclonic downdrafts &  
anticyclonic updrafts



08-23-98 00 hr	G
08-23-98 06 hr	TD
08-24-98 09 hr	TS
08-24-98 20 hr	H
08-25-98 03 hr	Max Wind 43 m/s

The first updraft is generated  
by the initial 300 s local heating  
at low levels

**ВИХРЕВАЯ КОНВЕКЦИЯ:  
локализация в поле вертикальной спиральности**

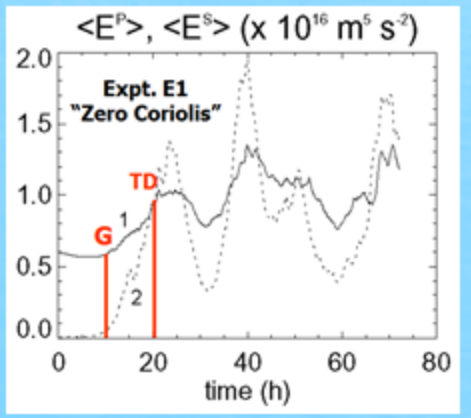
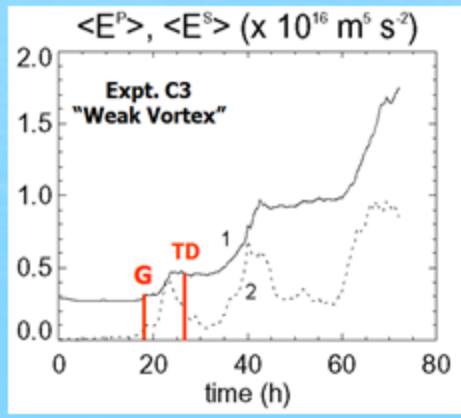
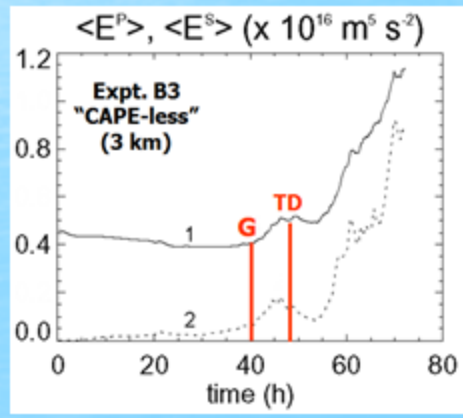
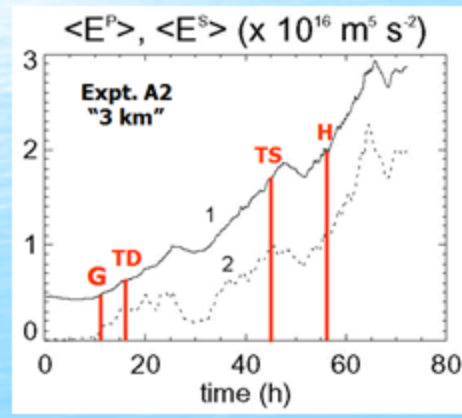


# ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

## Что происходит на масштабах облачности и мезомасштабах всей системы?

Table 1. Pre-depression large-scale vortex instability.

Experiment	The first VHT $\geq 13$ km in height		Genesis Instability	Tropical Depression	
	Time (h)	Max Vertical Helicity ( $\text{ms}^{-2}$ )	Start Time (h)	Time (h)	$V$ ( $\text{ms}^{-1}$ )
A2	8	$1.3 \times 10^{-3}$	12	16	9.4
B3	38	$6.1 \times 10^{-4}$	40	48	8.8
C3	18	$1.4 \times 10^{-3}$	18	26	7.5
E1	8	$5.2 \times 10^{-4}$	10	20	8.2

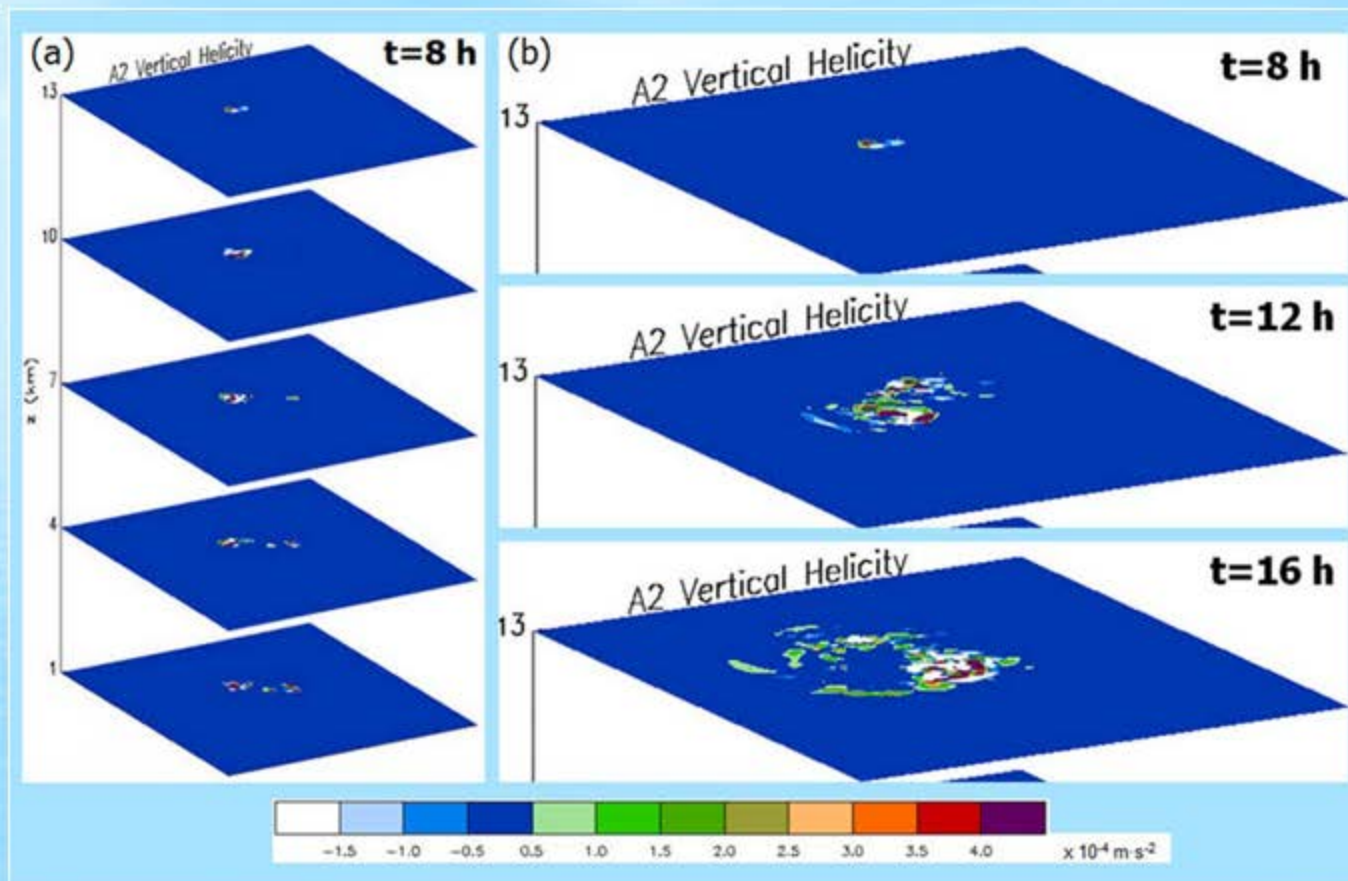


Эволюция кинетической энергии первичной (1) и вторичной (2) циркуляции, показанная соответственно сплошными и пунктирными линиями. Красные линии показывают величину энергии в моменты, когда: **G** – начинается взаимное усиление обеих циркуляций, вихрь становится энергетически самоподдерживающимся; **TD** – образуется тропическая депрессия; **TS** – вихрь достигает интенсивности тропического шторма; **H** – вихрь усиливается до ураганной интенсивности.



# ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

Что наблюдается в поле вертикальной спиральности ?



Эпр. A2: **(a)** Первая интенсивная ВГБ  $\geq 13$  км в высоту при  $t = 8$  h,  $z = 1, 4, 7, 10, 13$  km;

**(b)** Картины в верхнем сечении расчетной области  $276 \text{ км} \times 276 \text{ км}$  при  $z = 13$  km  
 $t = 8$ : появилась интенсивная ВГБ;  $t = 12$ : сформировалась ВЦ;  $t = 16$  h: образовалась ТД.





## **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ:**

- Выявлена ключевая роль ВГБ в явлении тропического циклогенеза;
- Интерпретация тропического циклогенеза как крупномасштабной спирально-вихревой неустойчивости, приводящей к образованию тропической депрессии, позволила:
  - определить точное время, когда начинается циклогенез;
  - ввести количественные критерии, характеризующие хаотическое влияние влажной конвекции.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ:**

- Спиральность и ее пространственные вклады были введены в атмосферный облачно-разрешающий численный анализ с целью количественного исследования эффектов новой неустойчивости;
- Поле вертикальной спиральности было впервые предложено и применено в качестве фильтра для локализации атмосферной вихревой конвекции.

# ***2020: ЗАРОЖДЕНИЕ УРАГАНА ISAIAS***



# WORLDVIEW



2020-07-29



# PRE-ISAIAS 23-29 July 2020

Hurricane Isaias originated from an easterly wave off the coast of Africa that represented an area of disturbed weather over the open ocean. The wave was first identified by NHC on July 23.

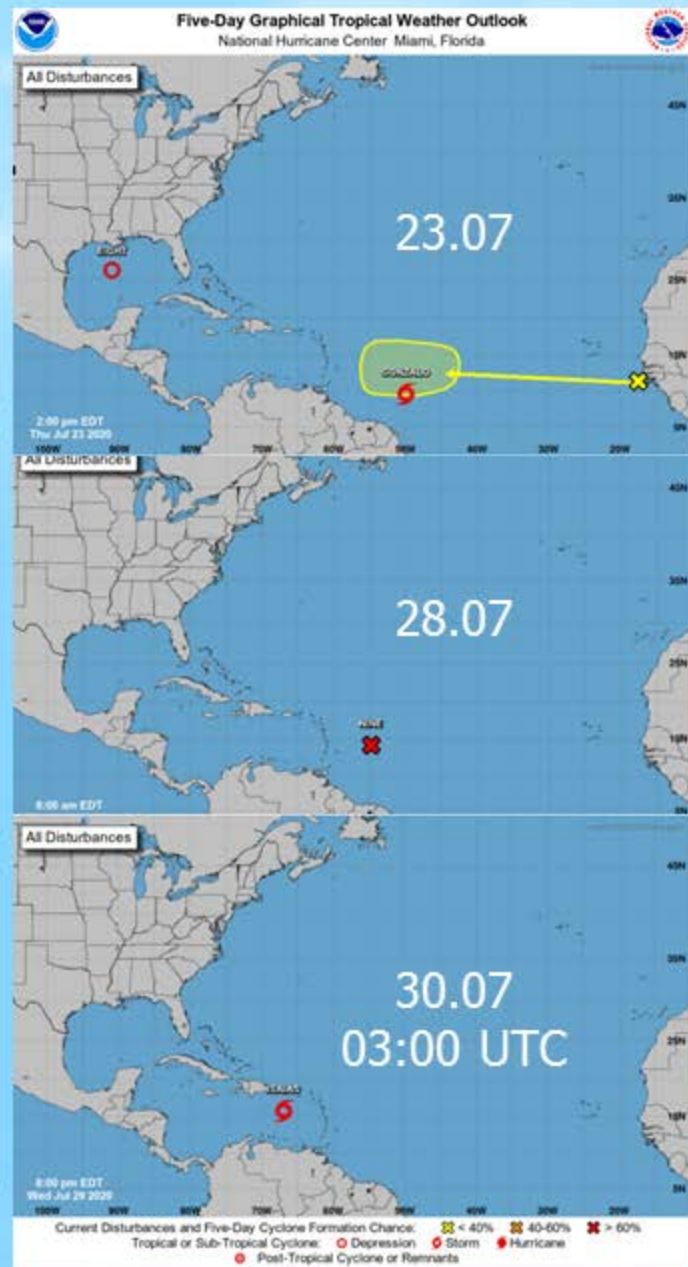
When traveling over warm tropical waters, the wave developed a broad area of low pressure and intensifying convection, and became more organized.

On July 28, satellite data showed that the system, approaching the Leeward Islands, did not have a well-defined center. Surface observations showed gale-force winds about 15-18 m/s. **Therefore, a threat of TC genesis prompted to designate Potential Tropical Cyclone Nine – TPC 9 – on July 28.**

However, the situation continued to remain very uncertain, since the Air Force Reserve reconnaissance aircraft, several hours later, also failed to detect a well-defined center of circulation.

**As a formed tropical cyclone it was identified only 36 hours later, and at the stage of tropical storm with winds approximately 23 m/s.**

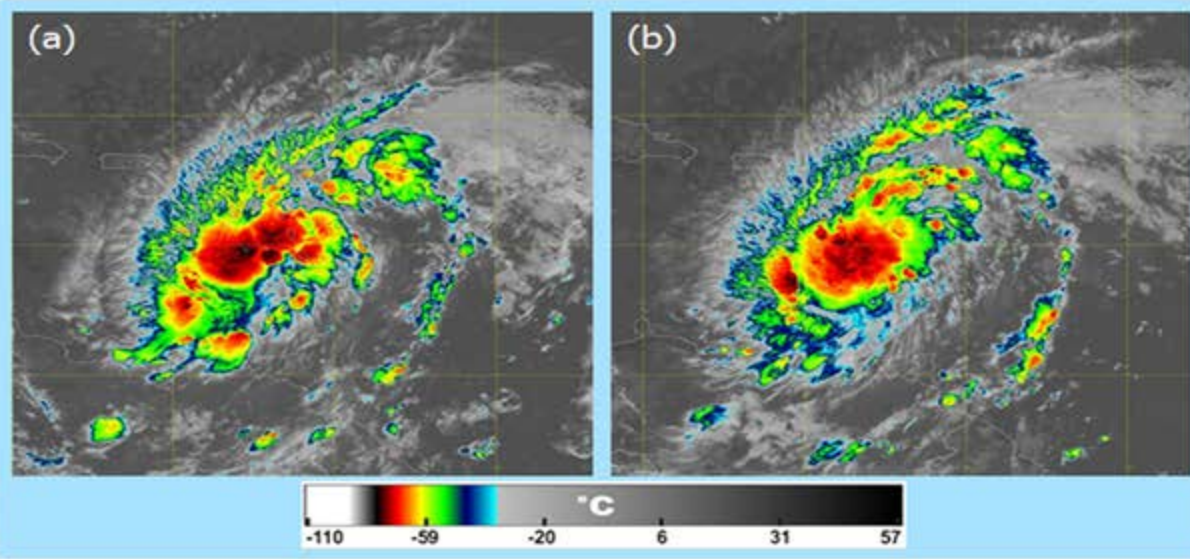
The vortex named TS Isaias was located to the South of Puerto Rico – 250 km, and Dominicana – 430 km.



# Exact Time of ISAIAS' Genesis – ?

VHTs patterns, which are typical for the onset of large-scale vortex instability in the vertical helicity field, can be compared with VHTs patterns in the temperature field from the GOES Imagery. The satellite data is a useful tool in retrievals of cloud top height. It allows estimating cloud height based on the temperature of its top.

Bearing this in mind when tracking a tropical disturbance, one can analyze satellite data with a special focus on cloud tops about 13 km and higher – the so called “overshooting cloud tops.”



**Infrared satellite images on 29 July 2020: (a) 0900 UTC; (b) 1200 UTC.**

The color bar represents brightness temperature (°C). Dark red and black color is a manifestation of very strong updrafts, which reach the tropopause and can penetrate into the lower stratosphere.

Based on the author's observations, the first overshooting cloud tops appeared (correspondingly, with both possible, formation of the secondary circulation and following large-scale vortex instability), when the disturbance was approaching the Leeward Islands on July 28. Highly likely, that the pre-depression instability was under way in the forming vortex passing near Puerto Rico – in the figure.

**If so, TS Isaias could have been designated 15-18 hours earlier.**



# **ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В настоящей работе предложен подход для обнаружения новой крупномасштабной вихревой неустойчивости в тропической атмосфере и точной диагностики циклогенеза на основе соединения облачно-разрешающего численного моделирования и GOES Imagery.

По мнению автора, после тщательного изучения, сбора статистики по большому числу исследованных ТЦ и анализа всех полученных результатов появится возможность точной диагностики зарождения ТЦ на основе только спутниковых данных.

**Работа выполнена в рамках госзадания № 01.20.0.2.00164 (тема «Мониторинг»)**

**Publications, presentations, data:**

[https://www.researchgate.net/profile/Galina\\_Levina](https://www.researchgate.net/profile/Galina_Levina)

<https://iki-rssi.academia.edu/GalinaLevina>

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**