

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, 14-15 декабря 2020

**ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО В ТРОПИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ:
ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ УРАГАНА ISAIAS (2020)**



Г. В. Левина

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

levina@iki.rssi.ru





ТРОПИЧЕСКИЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ

К настоящему времени отсутствуют:

- общепринятое определение тропического циклогенеза, т.е. что считать зарождением тропического циклона (ТЦ);
- количественные критерии, позволяющие точно диагностировать время возникновения крупномасштабной вихревой неустойчивости в атмосфере.

Пример: формирующийся ураган Isaias (2020) с ветрами штормовой силы в течение 36 часов перемещался от Наветренных островов до Пуэрто Рико и Доминиканы прежде, чем был диагностирован как ТЦ.

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

ПРЕДЛОЖЕНА

РЕАЛИЗАЦИЯ ТОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЦИКЛОГЕНЕЗА



УЧАСТИЕ АВТОРА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЦ

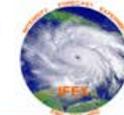
- **Ежедневно с января 2012 г. :**
Всемирный профессиональный форум <http://tstorms.org/>
- **Доклад по результатам 2018-19 гг. включен в Программу 34-й конференции Американского метеорологического общества по ураганам и тропической метеорологии, Новый Орлеан, США, май 2020/2021:**
Helical tropical cyclogenesis: 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
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

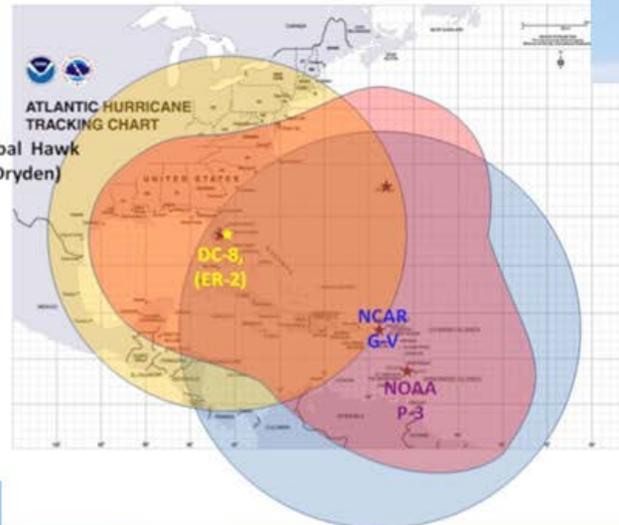


EXPERIMENTS – PREDICT, GRIP, IFEX
August 15 – September 30, 2010



7 Aircraft-participants

PREDICT/GRIP/IFEX Domains



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 NSF/NCAR 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. Мониторинг формирования тропических циклонов (ТЦ)

1. Диагностика тропического циклогенеза

1.1. Возникновение крупномасштабной неустойчивости – вихревое динамо

1.2. Облачно-разрешающий численный анализ & GOES Imagery:

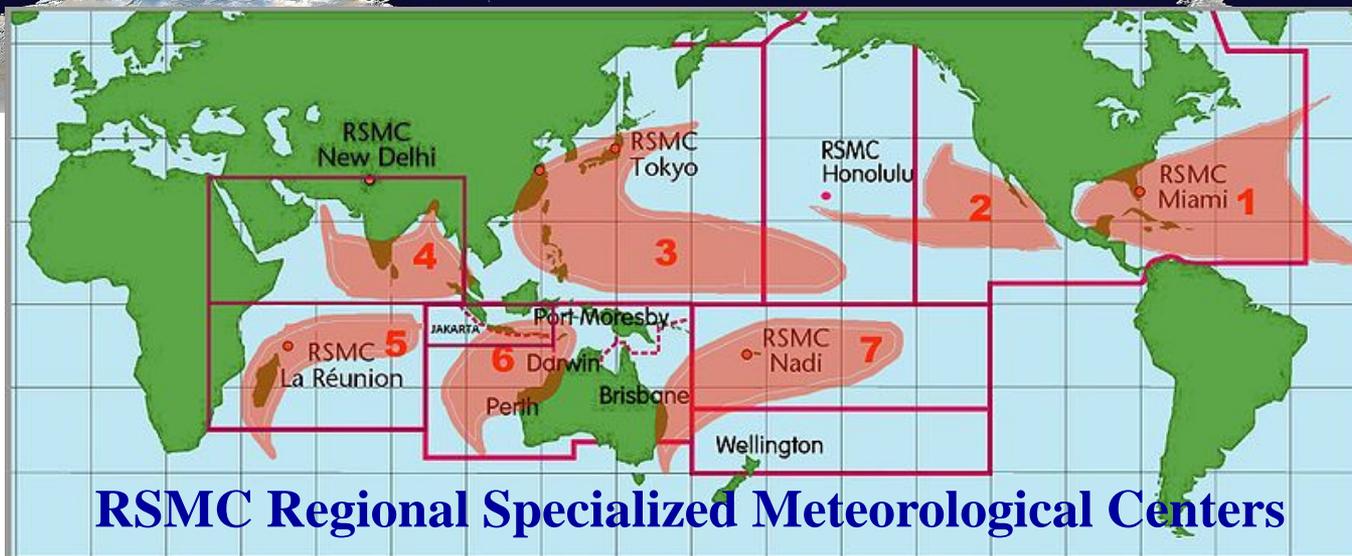
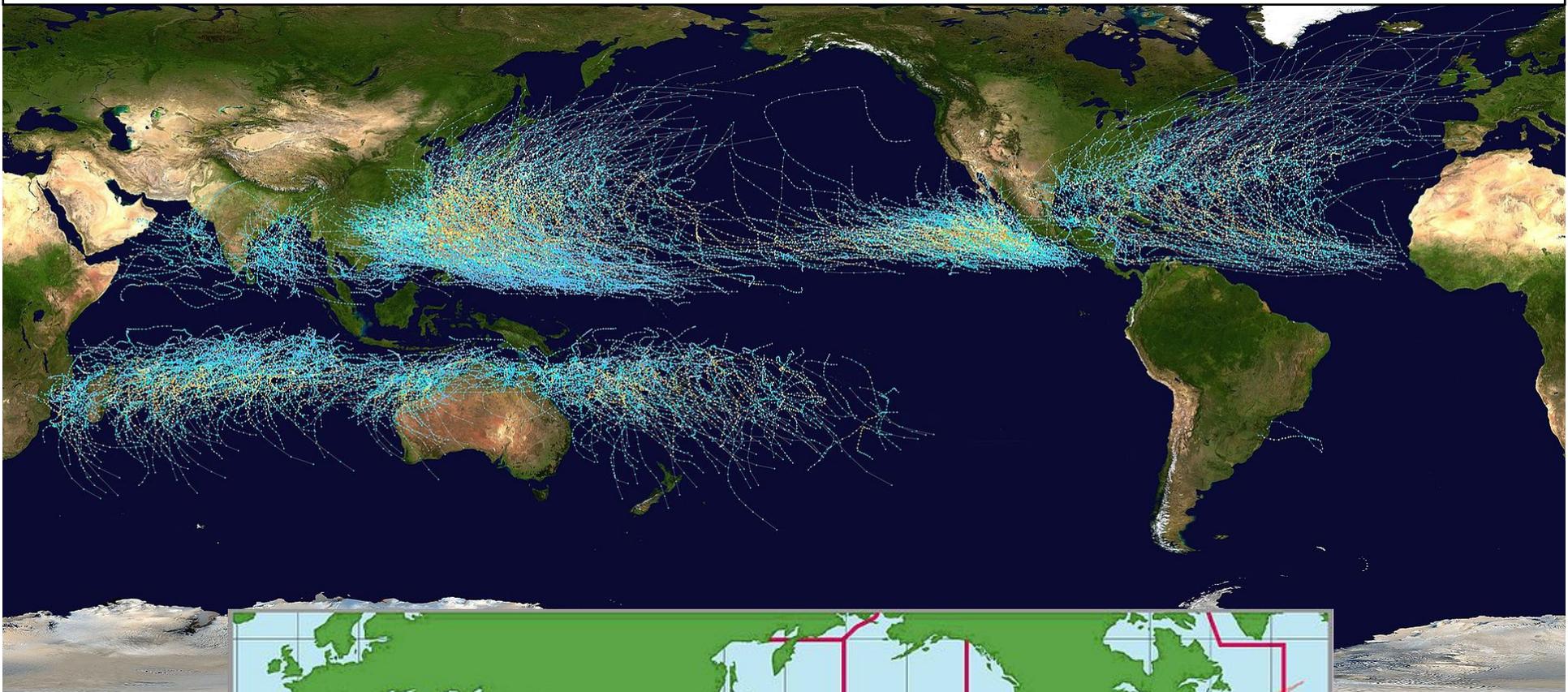
- **поле вертикальной спиральности: локализация вихревой конвекции,**
- **диагностика неустойчивости по полю спиральности: типичные конфигурации вихревых горячих башен (ВГБ – VHTs),**
- **диагностика по полю температуры: Overshootings Cloud Tops**

2. Зарождение урагана Isaias (2020)

3. Перспективы



ТЦ: регионы образования и центры наблюдений





ТЦ: МОНИТОРИНГ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ



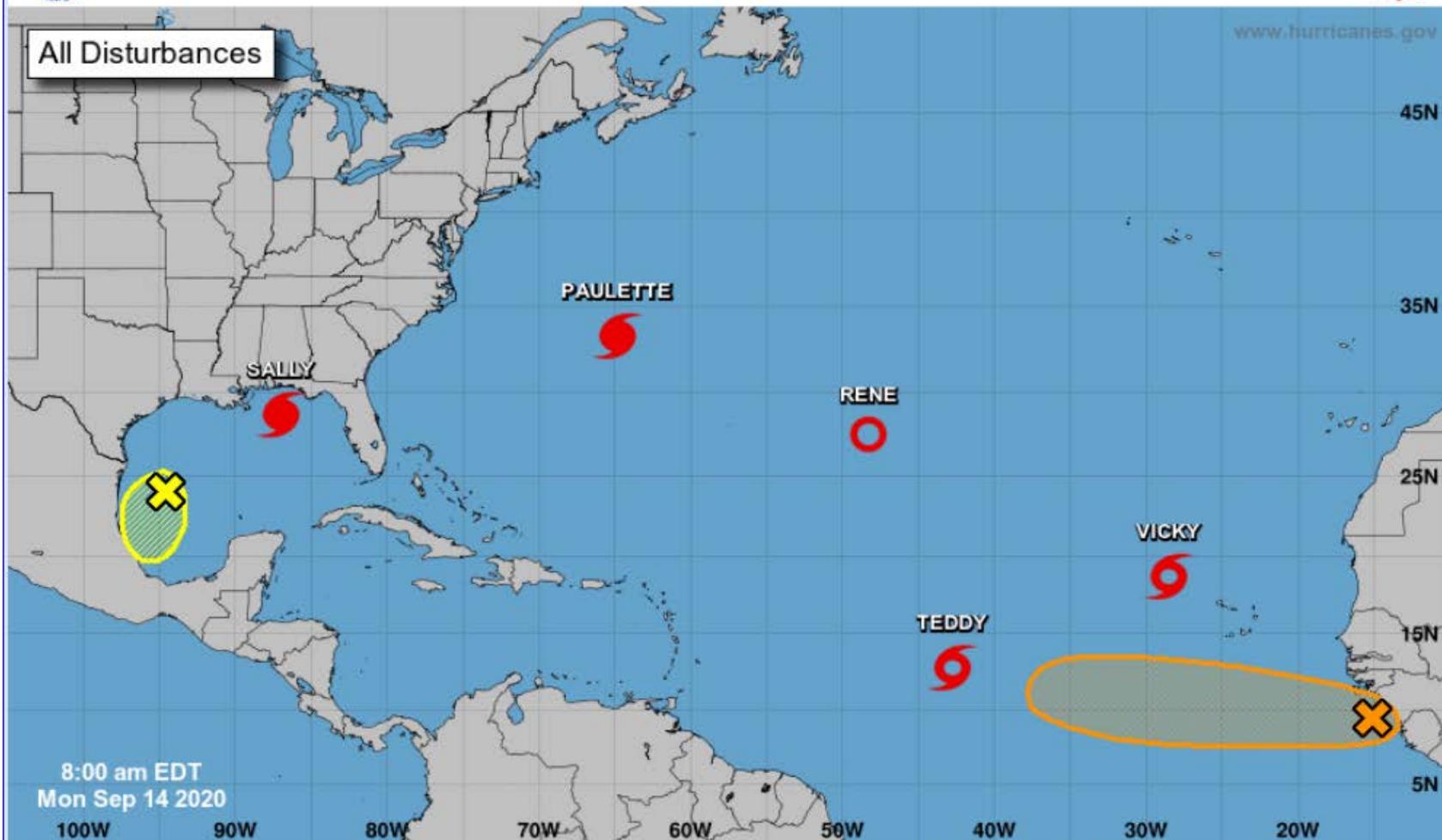
Five-Day Graphical Tropical Weather Outlook

National Hurricane Center Miami, Florida



www.hurricanes.gov

All Disturbances



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 (≥ 70 м/с)

В метеорологической практике фактом формирования ТЦ считается образование вихря с теплым ядром, в котором наивысшие скорости тангенциального ветра достигаются на нижних уровнях.
Диагностика: ЗАМКНУТАЯ поверхностная ветровая циркуляция, понижение давления.

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.



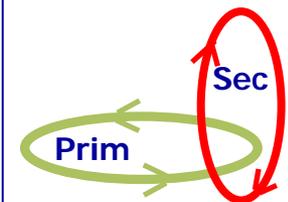
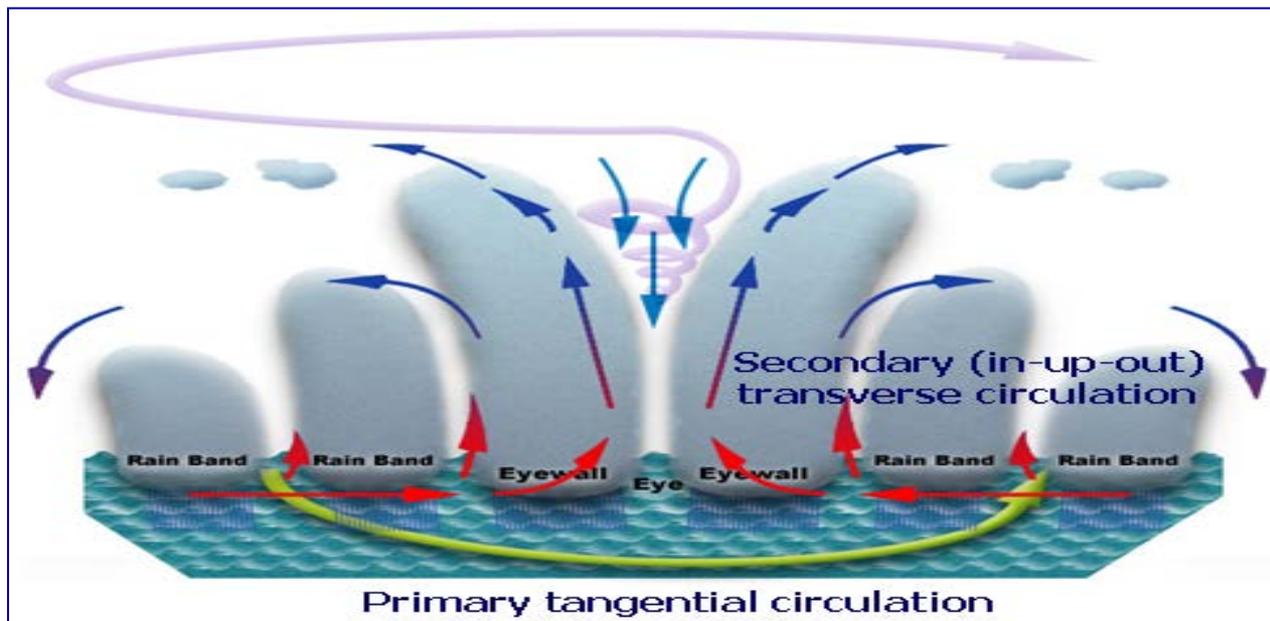
ВИХРЕВОЕ ДИНАМО В ТРОПИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ

Механизм усиления крупномасштабных (КМ) вихревых возмущений в атмосфере –
Моисеев, Сагдеев, Тур, Хоменко, Шукуров (ИКИ АН СССР, 1983)

Во вращающейся неоднородной атмосфере влажно-конвективная турбулентность становится спиральной, подавляется поток энергии к масштабам диссипации → возможность КМ вихревой неустойчивости

Первый признак появления КМ вихревой неустойчивости – начало взаимного усиления первичной (Primary) и вторичной (Secondary) циркуляции на мезомасштабах вихревой системы, вызванного действием спиральной обратной связи → в этот момент формирующийся вихрь становится энергетически самоподдерживающимся.

1-е звено связи (трансверсальная-тангенциальная) формируется под действием силы Кориолиса. Как реализуется 2-е звено (тангенциальная-трансверсальная), чтобы замкнуть петлю обратной связи?
– **Ответ был получен в наших работах (2014-2018) о роли вихревой влажной конвекции!**





ДОКЛАД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2018-2019гг. ВКЛЮЧЕН В ПРОГРАММУ

The 34th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology,
New Orleans, LA, USA, May 2020/2021

Galina Levina

Helical tropical cyclogenesis: detection of pre-depression large-scale vortex instability

<https://ams.confex.com/ams/34HURR/meetingapp.cgi/Paper/371535>

Диагностика зарождения тропических циклонов, разработанная на основе идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования, **рекомендована метеорологам для тестирования применительно к случаям формирования наблюдаемых атмосферных вихрей.**

ИТОГИ представлены на следующих 3-х слайдах

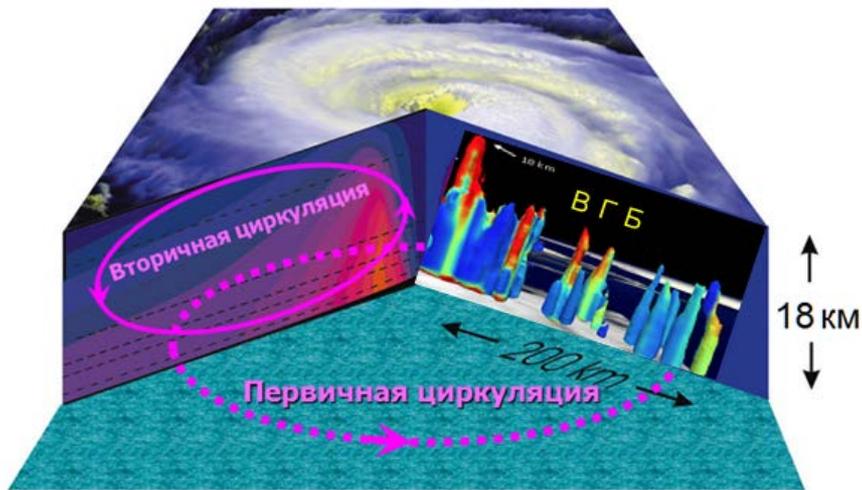
1. **Levina G. V.** A realization of the turbulent vortex dynamo in the atmosphere: based on the 21st century knowledge. *Journal of Physics: Conf. Series*, **2019**. V. 1336, 012007.
2. **Левина Г.В.** Гипотетическая вихредвижущая сила или о реализации турбулентного вихревого динамо в тропической атмосфере. *Океанологические исследования*, **2019**. Т. 47, №.1. С.80–82.
3. **Levina, G.** On the Path from the Turbulent Vortex Dynamo Theory to Diagnosis of Tropical Cyclogenesis. *Open Journal of Fluid Dynamics*, **2018**. V. 8. P. 86–114. **REVIEW**

В 2018 г. исследования были поддержаны РФФИ, Проект № 16-05-00551-а



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:

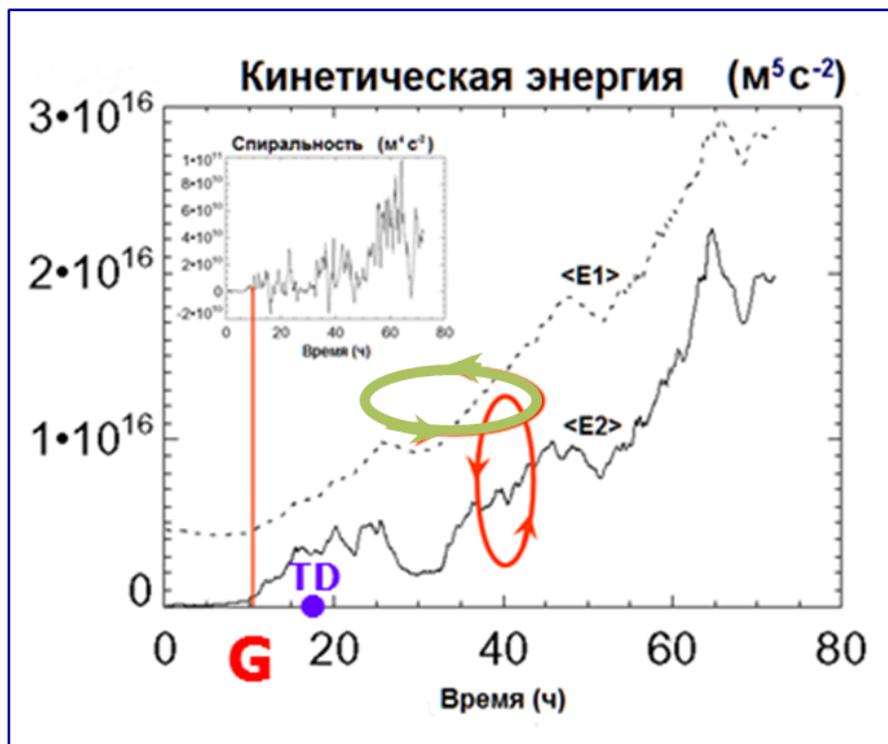
- **объемное выделение скрытого тепла при конденсации,**
- **вращение на масштабах облачной конвекции,**
- **взаимодействие сдвигового течения и вихревой конвекции,**
- **генерацию ненулевой спиральности на облачных масштабах.**



ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

Это ответ на вопрос о моменте появления крупномасштабной вихревой неустойчивости:

Когда формирующийся вихрь становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?



- Анализ эволюции кинетической энергии первичной циркуляции E1 и вторичной циркуляции E2 позволяет определить **момент времени G (Genesis)**, в который начинается их взаимное усиление и формирующийся **вихрь становится энергетически самоподдерживающимся**.
- Дальнейшее развитие неустойчивости приводит к образованию тропической депрессии (TD).

Обоснование: вихревое динамо + ключевая роль ВГБ в его создании

Реализация: облачно-разрешающее численное моделирование 1–3 км и менее



ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

Это ответ на вопрос о моменте появления крупномасштабной вихревой неустойчивости:

Когда формирующийся вихрь становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?

- Неустойчивость появляется на фоне **НЕОРГАНИЗОВАННОЙ КОНВЕКЦИИ;**
- Выраженное падение давления и формирование центра поверхностной циркуляции происходит **ПОЗЖЕ!**

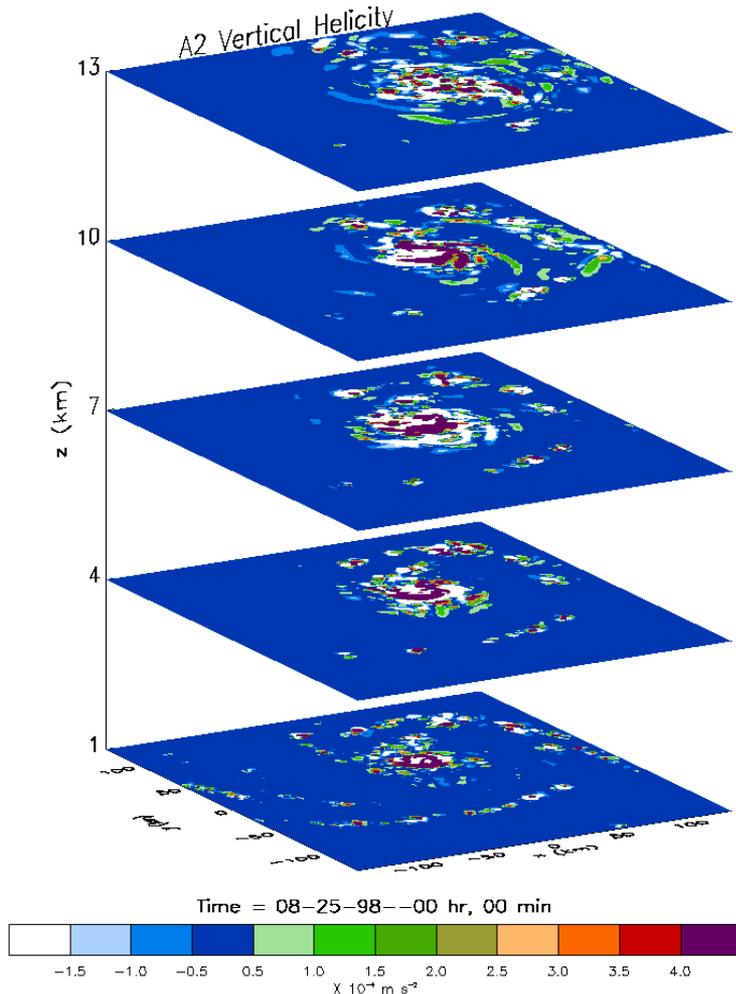
2020: К ДИАГНОСТИКЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ТЦ





ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

ВГБ играют ключевую роль в обеспечении и поддержании крупномасштабной вихревой неустойчивости.



ВИХРЕВАЯ КОНВЕКЦИЯ: локализация в поле вертикальной спиральности

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** ,

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

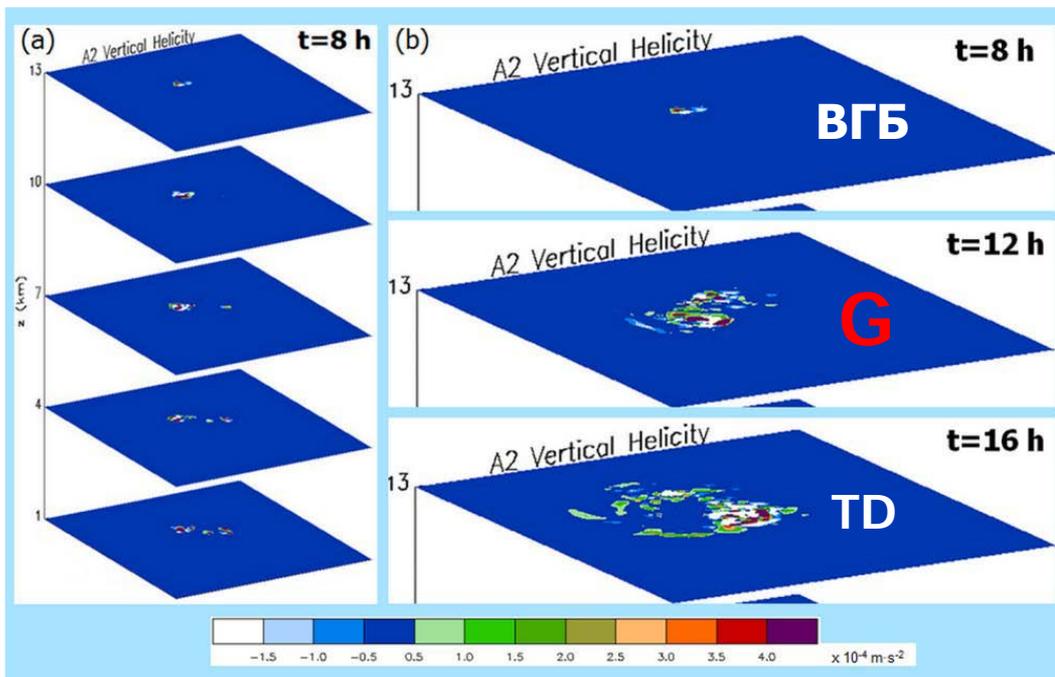
Поле вертикальной спиральности служит «фильтром», выделяющим вихревую конвекцию.



ДИАГНОСТИКА ЗАРОЖДЕНИЯ ТЦ

ВГБ играют ключевую роль в обеспечении и поддержании крупномасштабной вихревой неустойчивости. **Наглядно визуализировать ВГБ позволяют поля вертикальной спиральности и температуры.**

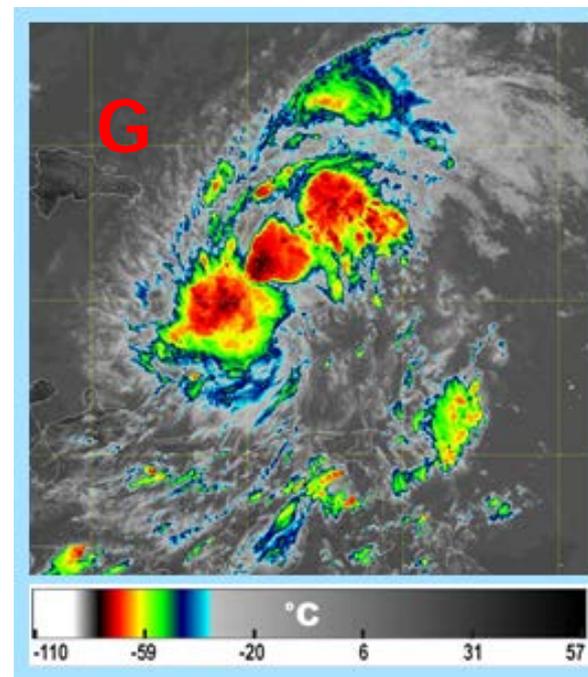
ВГБ в поле вертикальной спиральности (численное моделирование)



$t = 8 \text{ h}$: первая ВГБ $\geq 13 \text{ км}$ (a, b);
 $t = 12 \text{ h}$: **G** – неустойчивость! (b);
 $t = 16 \text{ h}$: образовалась **TD** (b).

(b) Верхнее сечение
276 км × 276 км,
 $z = 13 \text{ км}$

ВГБ в поле температуры (спутниковые данные)



ВГБ в поле температуры GOES Imagery.
Темно-красный и черный цвет –
облачные башни высотой 13 км и более
– “Overshooting Cloud Tops.”

2020: ЗАРОЖДЕНИЕ УРАГАНА ISAIAS



WORLDVIEW



ATI DOM REP

ANTIL

DINCA

SL

ST.V.G.

BARB.

GREN.

TR.T.

2020-07-29



PRE-ISAIAS 23-29 июля 2020

23 июля NHC обнаружил восточную волну вблизи побережья Африки. При перемещении волны на запад над теплой поверхностью океана в ней сформировалась обширная область пониженного давления с интенсивной конвекцией.

28 июля система приближалась к Наветренным островам.

Метеоданные у поверхности уже показывали скорость ветра 15-18 м/с, т.е. почти штормовую – TS. Однако по спутниковым данным **не удавалось обнаружить центр циркуляции**, чтобы подтвердить образование TD.

Более того, **центр циркуляции не удалось обнаружить** и с помощью измерений с исследовательского самолета.

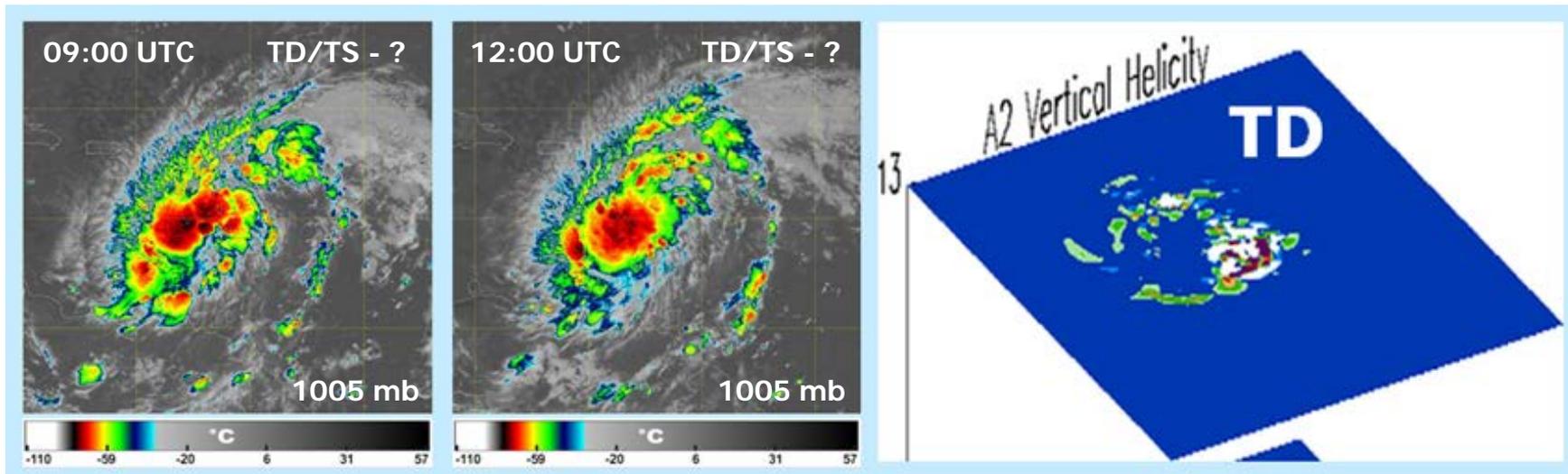


28-29 июля ситуация оставалась чрезвычайно неопределенной

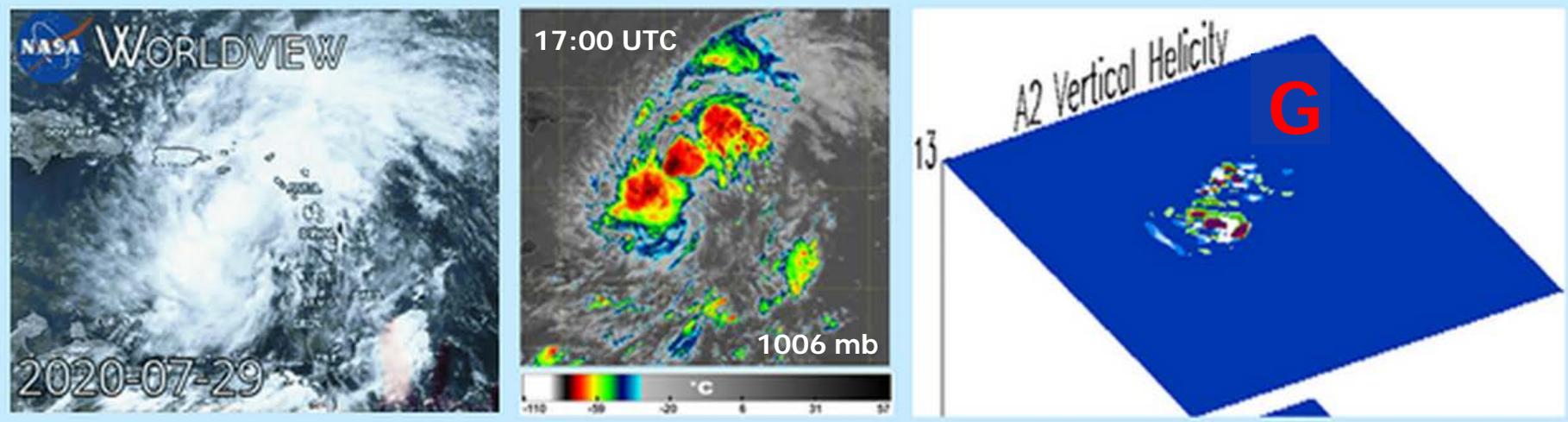
30 июля. Наконец, подтверждено формирование ТЦ. Скорость ветра ≈ 23 м/с., что соответствовало стадии тропического шторма. Вихрь, находившийся около Пуэрто Рико и Доминиканы, был назван TS Isaias.



Isaias' Genesis – в какой момент времени?



29.07: с 06:00 – 1005 mb, winds \approx 20 m/s



TS Isaias мог быть уверенно диагностирован на 15-18 часов раньше.



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

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !