

Шестая Международная конференция

"Триггерные эффекты в геосистемах"

21-24 июня 2022 / Москва

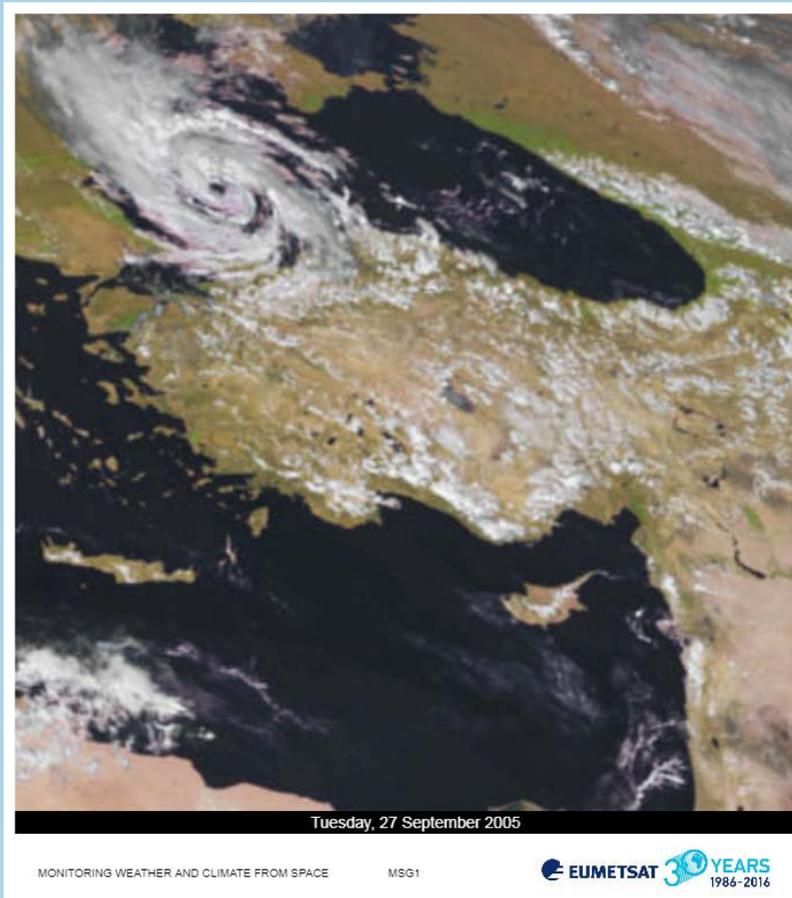
# НОВЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КВАЗИТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

**Г. В. Левина**

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

*levina@cosmos.ru*

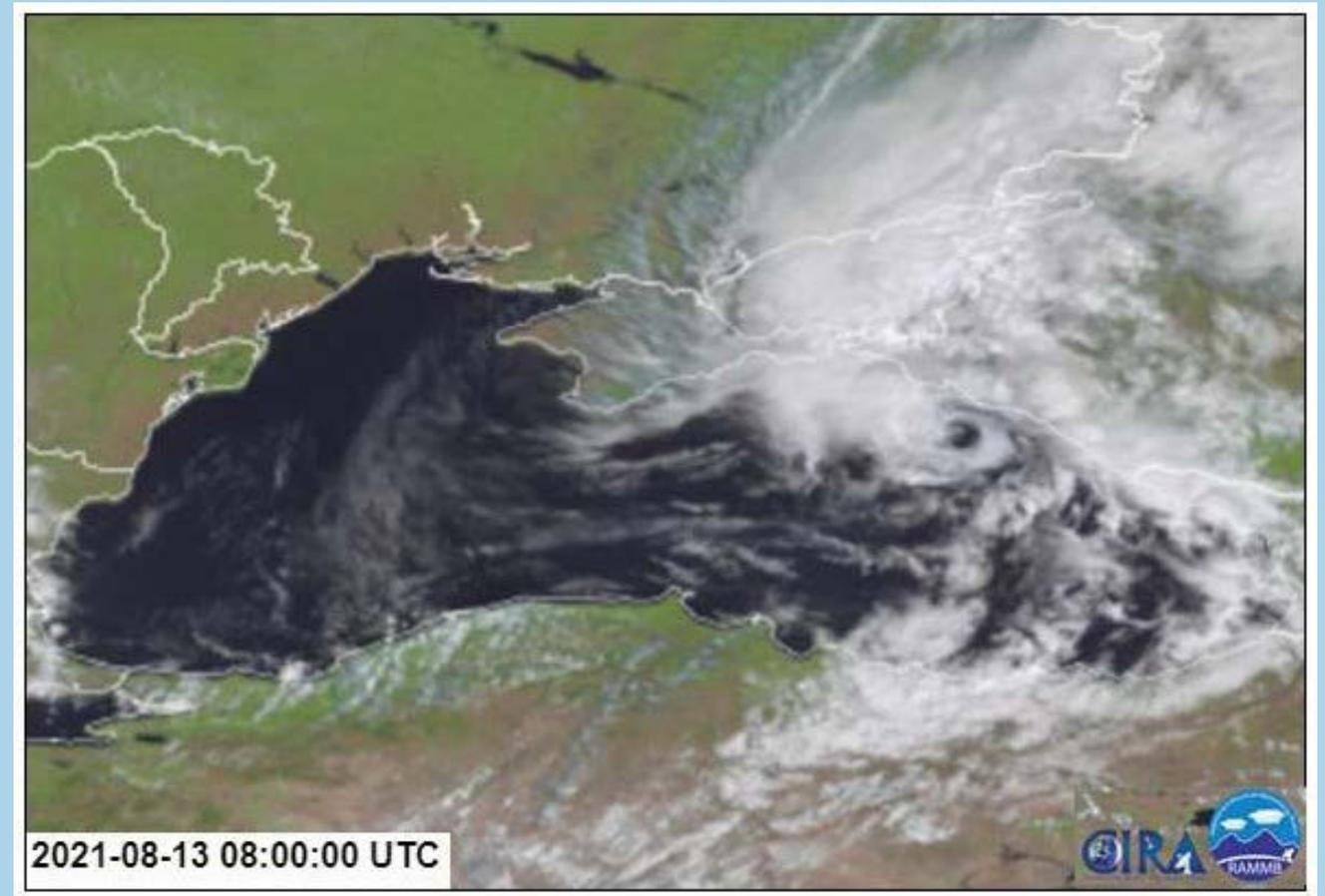
# ЧЕРНОМОРСКИЕ КВАЗИТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ (КТЦ)



**25–29 сентября 2005 г.**

## Публикации:

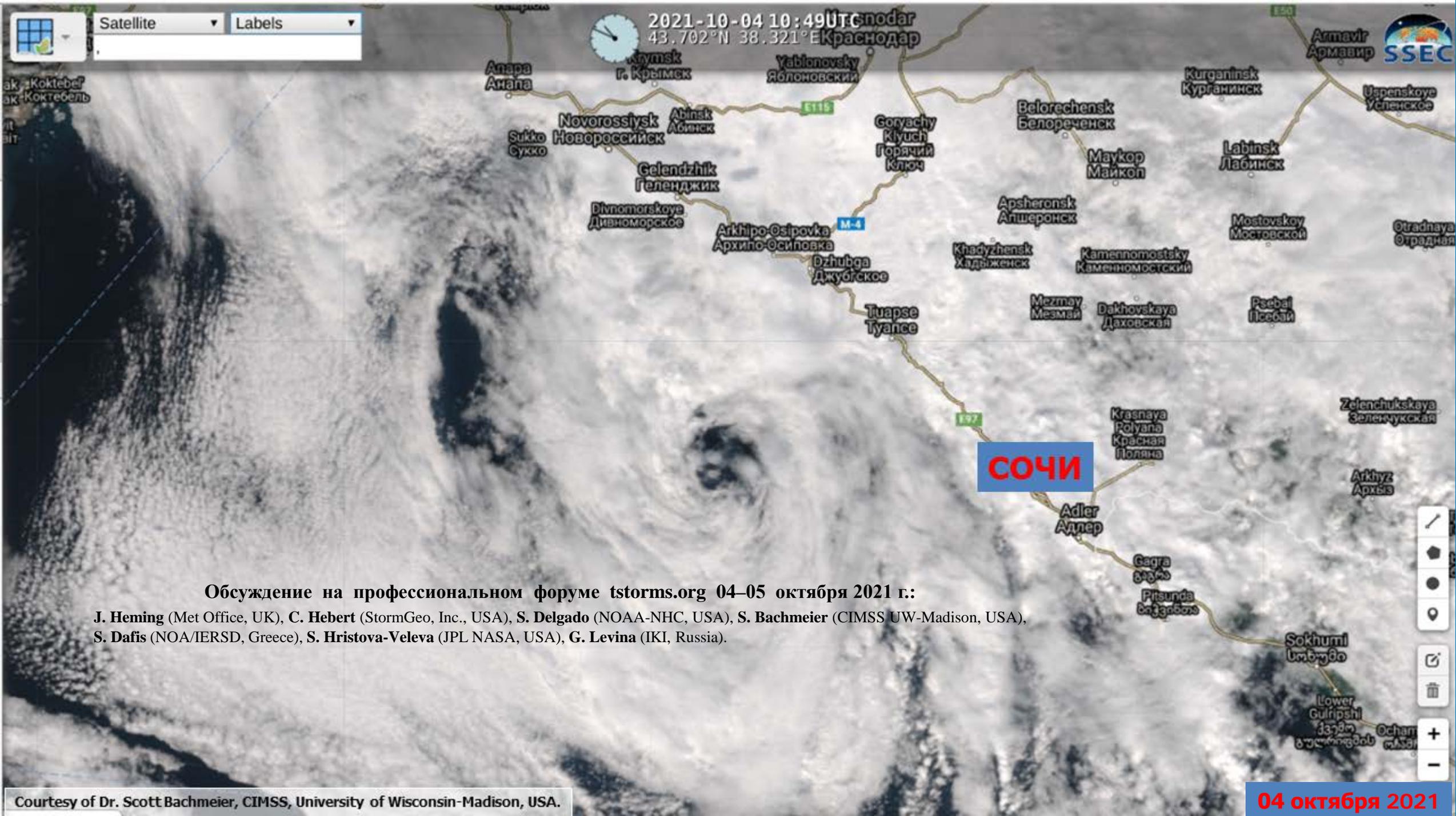
Ефимов В.В., Шокуров М.В., Яровая Д.А. 2007. Изв. АН. ФАО.  
Ефимов В.В., Станичный С.В., Шокуров М.В., Яровая Д.А. 2008. МиГ.  
Зарипов Р.Б., Павлюков Ю.Б., Крупчатников В.Н. 2021. МиГ.



**11–16 августа 2021 г.**

## Обсуждение на профессиональном форуме [tstorms.org](https://tstorms.org) 12–15 августа 2021 г.:

J. Heming (Met Office, UK), M. Lander (UOG, Guam, USA), D. Herndon (CIMSS UW-Madison, USA), S. Kusselson (CIRA/CSU, USA), K. Emanuel (MIT, USA), B. Trewin (BoM, Australia), P. Black (NOAA-AOML, USA), S. Dafis (NOA/IERSD, Greece), S. Hristova-Veleva (JPL NASA, USA), G. Levina (IKI, Russia).



Обсуждение на профессиональном форуме [tstorms.org](http://tstorms.org) 04–05 октября 2021 г.:

J. Heming (Met Office, UK), C. Hebert (StormGeo, Inc., USA), S. Delgado (NOAA-NHC, USA), S. Bachmeier (CIMSS UW-Madison, USA), S. Dafis (NOA/IERSD, Greece), S. Hristova-Velva (JPL NASA, USA), G. Levina (IKI, Russia).

# ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО

1983, Институт космических исследований (ИКИ РАН), Москва

## ТЕОРИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ВИХРЕВОГО ДИНАМО

*Крупномасштабная вихревая неустойчивость в спиральной турбулентности*

1. Моисеев С.С., Сагдеев Р.З., Тур А.В., Хоменко Г.А., Яновский В.В.

**Теория возникновения крупномасштабных структур в гидродинамической турбулентности. ЖЭТФ, 1983.**

2. Моисеев С.С., Сагдеев Р.З., Тур А.В., Хоменко Г.А., Шукуров А.М.

**Физический механизм усиления вихревых возмущений в атмосфере. Докл. АН СССР, 1983.**

*Приведены теоретические оценки для ТЦ в атмосфере Земли*

1996, Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН), Москва

## ПЕРВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ

1. Фортов В.Е., Гнедин Ю.Н., Иванов М.Ф., Ивлев А.В., Клумов Б.А.

**Столкновение кометы Шумейкер-Леви 9 с Юпитером: что мы увидели. УФН, 1996.**

2. Иванов М.Ф., Гальбурт В.А., Фортов В.Е.

**О возможном механизме образования крупномасштабных возмущений в атмосфере Юпитера, вызванных падением фрагментов кометы Шумейкер-Леви 9. ЖЭТФ, 1996.**

## РОССИЯ

*Теория вихревого динамо и численный подход для диагностики крупномасштабной неустойчивости*

1. Levina, G.V., Moiseev, S.S., Rutkevich, P.B.

**Hydrodynamic alpha-effect in a convective system.** Chapter 4, in: "*Advances in Fluid Mechanics, Nonlinear Instability, Chaos and Turbulence*". Vol. 2. P. 111–162. Eds. Debnath, L. and Riahi, D.N. WITPress: Southampton. 2000.

2. Levina, G.V. and Burylov, I.A.

**Numerical simulation of helical-vortex effects in Rayleigh-Bénard convection.** *Nonlin. Processes Geophys.* 2006, **13**, 205–222. <https://doi.org/10.5194/npg-13-205-2006>.

## США

*Пионерские работы по облачно-разрешающему численному моделированию:  
Открытие вихревой облачной конвекции*

1. Hendricks, E.A., Montgomery, M.T., Davis, C.A.

**The role of "vortical" hot towers in the formation of tropical cyclone Diana (1984).** *J. Atmos. Sci.* 2004, **61**, 1209–1232. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2004\)061<1209:TROVHT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2004)061<1209:TROVHT>2.0.CO;2).

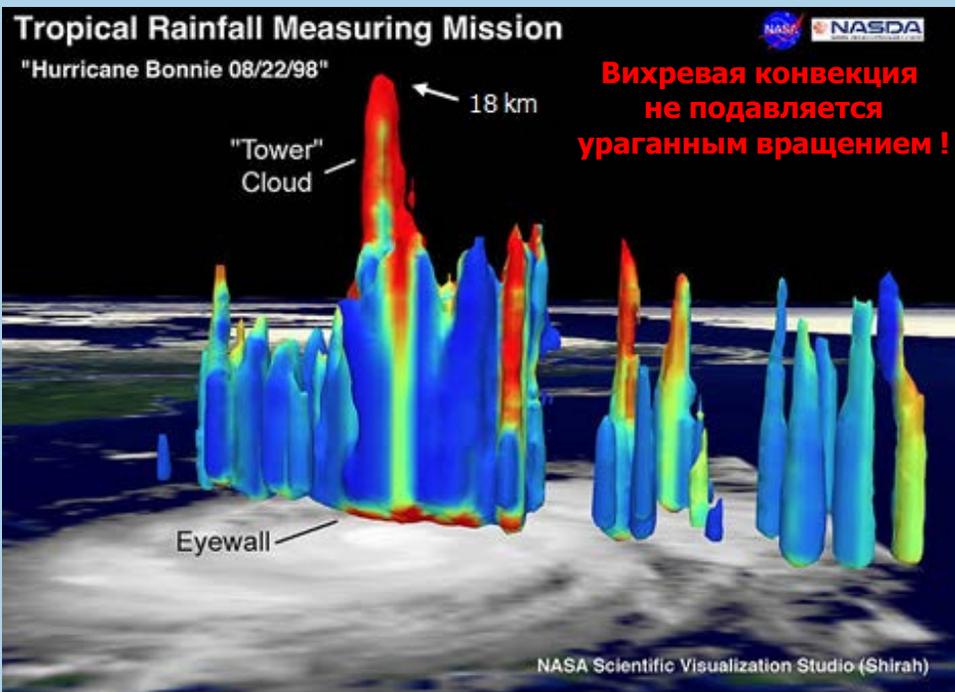
2. Montgomery, M.T., Nicholls, M.E., Cram, T.A., Saunders, A.B.

**A vortical hot tower route to tropical cyclogenesis.** *J. Atmos. Sci.* 2006, **63**, 355–386. <https://doi.org/10.1175/JAS3604.1>.

*Крупномасштабная вихревая неустойчивость  
в спиральной атмосферной турбулентности*  
**ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО**

**СПИРАЛЬНЫЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ В ТРОПИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ**

Обеспечивается интенсивной вихревой облачной конвекцией –  
Vortical Hot Towers (VHTs),  
открытой американскими учеными в 2004–2006 гг.  
M. T. Montgomery et al., JAS – 2004; 2005; 2006.



**Вихревые Горячие Башни (ВГБ)**  
Vortical Hot Towers (VHTs)  
вращающиеся кучевые облака

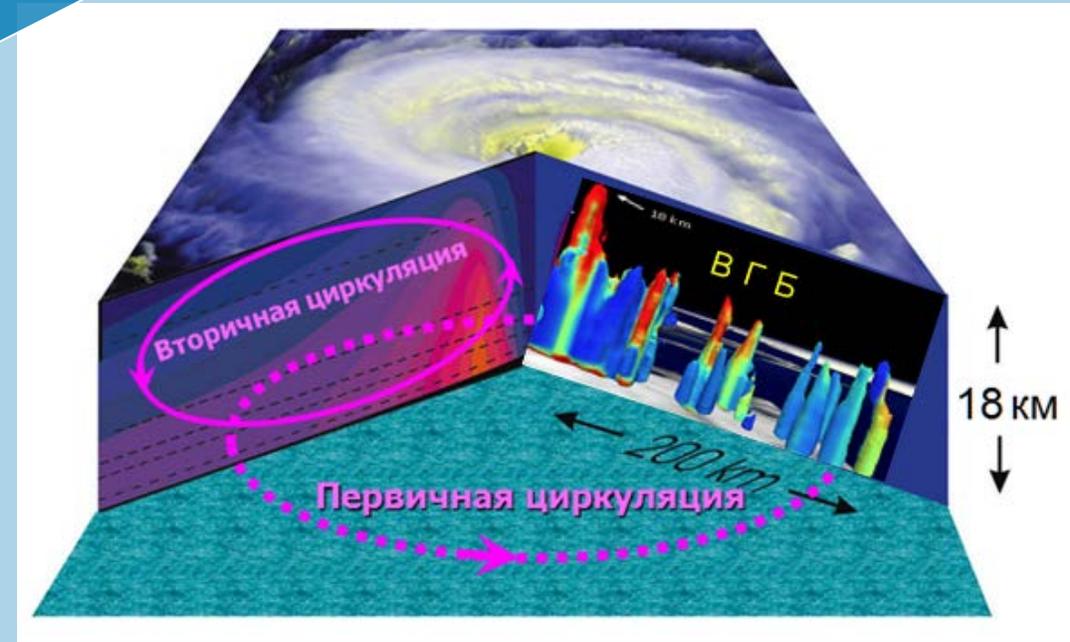
Термин «ГОРЯЧИЕ» связан не с температурой, а с **ВЫДЕЛЕНИЕМ СКРЫТОГО ТЕПЛА** за счет фазовых переходов влаги по высоте башни (водяной пар – вода – лед)

Время жизни ~ **1 час**, горизонтальный размер **10-30 км**  
самые интенсивные достигают в высоту до **14-18 км**  
вертикальная скорость от **2-4 м·с<sup>-1</sup>** до **25-30 м·с<sup>-1</sup>**  
относительная вертикальная завихренность до **10<sup>-3</sup>-10<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>** (на 1-2 порядка превосходит планетарное вращение).

**ВГБ в урагане 3-ей категории –  $V_{max} \approx 50 \text{ m/s}$**

**ВИХРЕВАЯ ОБЛАЧНАЯ КОНВЕКЦИЯ → ДИНАМО-ЭФФЕКТ**

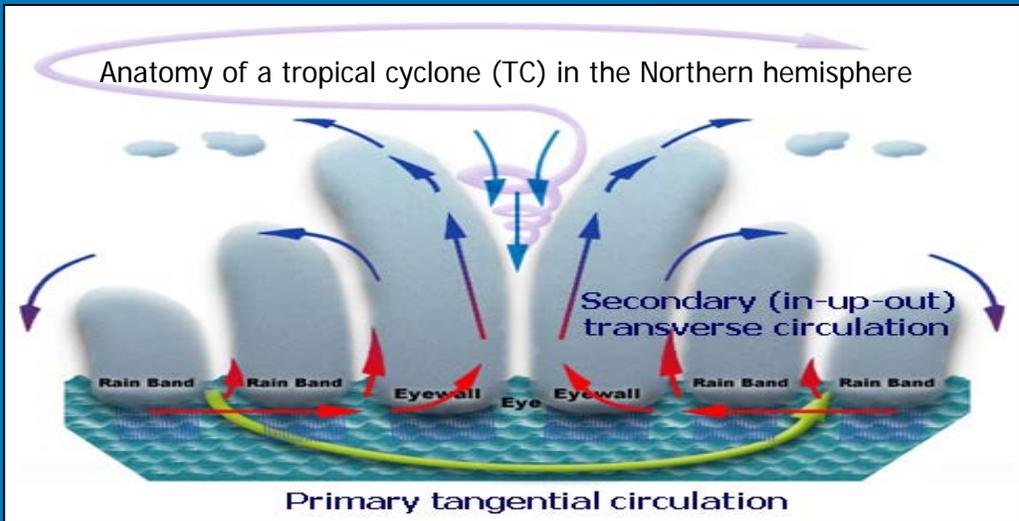
**СХЕМА ВИХРЕВОГО ДИНАМО**



**Семейство ВГБ – динамические «скрепки»:**  
зацепляют циркуляции на мезомасштабах, создавая положительную обратную связь на протяжении всего жизненного цикла ТЦ.

**ПОДДЕРЖАНИЕ И УСИЛЕНИЕ ВИХРЕВОЙ МЕЗОСИСТЕМЫ**

# ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

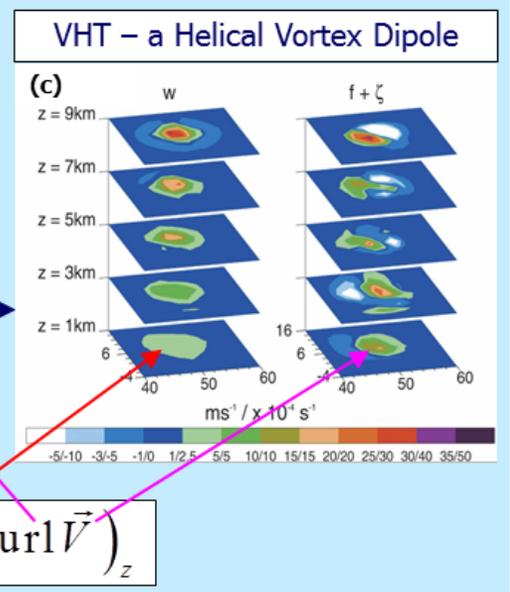
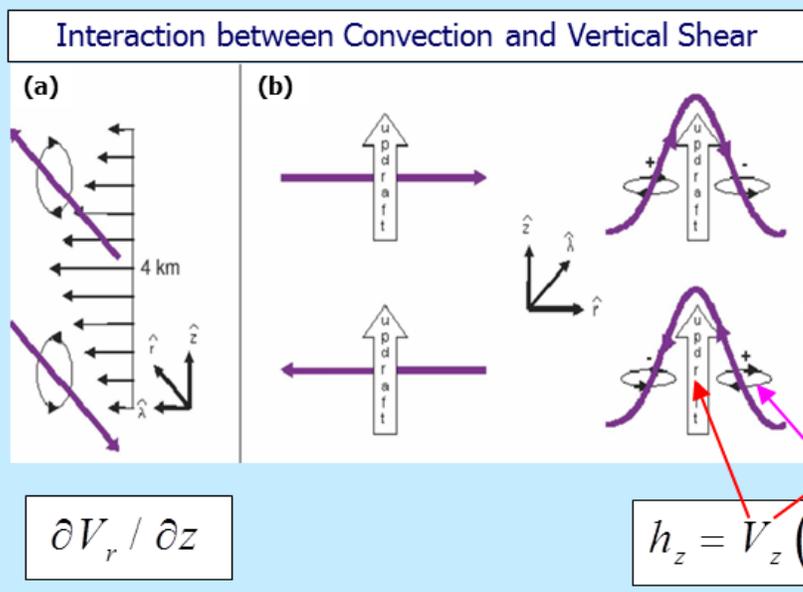
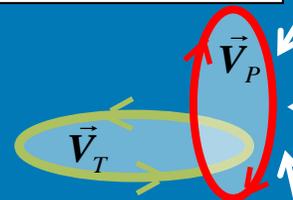


Во вращающейся неоднородной атмосфере влажно-конвективная турбулентность становится спиральной, подавляется поток энергии к масштабам диссипации → **возможность крупномасштабной (КМ) вихревой неустойчивости.**

Первый признак появления КМ 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 обратной связи (трансверсальная-тангенциальная) → за счет силы Кориолиса.  
 2-е звено (тангенциальная-трансверсальная) создают ВГБ и замыкают петлю обратной связи.  
**СПИРАЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ РЕАЛИЗУЕТСЯ ТОЛЬКО ОДНИМ ФИЗИЧЕСКИМ ПОЛЕМ СКОРОСТИ !**

$$\vec{V} = \vec{V}_T + \vec{V}_P, \quad \vec{e} = \{0, 0, 1\}$$

$$\vec{V}_T = \text{curl}(\vec{e} \psi), \quad \vec{V}_P = \text{curl} \text{curl}(\vec{e} \phi)$$



$$\left( Pr \frac{\partial}{\partial t} - \Delta \right) T = -\Delta_{\perp} \phi,$$

**Convective**

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} - \Delta \right) \Delta \phi = Ra T + C [(\vec{e} \nabla)^2 - \Delta_{\perp}] \psi - Ta^{1/2} \frac{\partial \psi}{\partial z},$$

**Helical**

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} - \Delta \right) \psi = -C (\vec{e} \nabla)^2 \phi + Ta^{1/2} \frac{\partial \phi}{\partial z},$$

$$Pr = \frac{\nu}{\chi}, \quad Ra = \frac{g \beta A h^4}{\nu \chi}, \quad C \propto \Omega \Lambda, \quad Ta = \frac{4 \Omega^2 h^4}{\nu^2}$$

$\Lambda$  – internal volumetric heat release

The VHTs convert the horizontal vorticity to vertical by tilting and amplify the latter by stretching, thereby linking and intensifying the primary and secondary circulation.  
**THE VHTs POPULATION WORKS LIKE "DYNAMICAL STAPLES", LINKING THE CIRCULATIONS DURING THE ENTIRE TC EVOLUTION.**

# Спиральный тропический циклогенез: диагностика крупномасштабной вихревой неустойчивости



**Galina Levina**

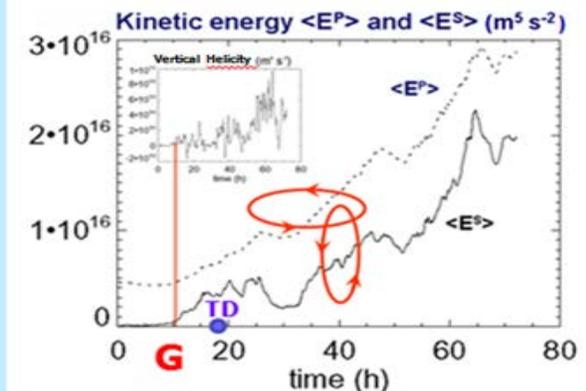
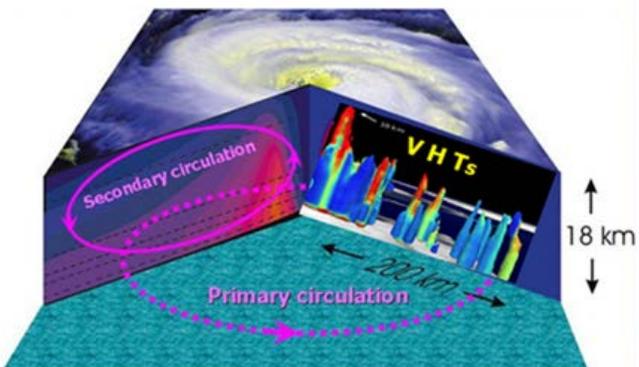
Space Research Institute RAS, Moscow, Russia



## Диагностика циклогенеза – определение момента «G»

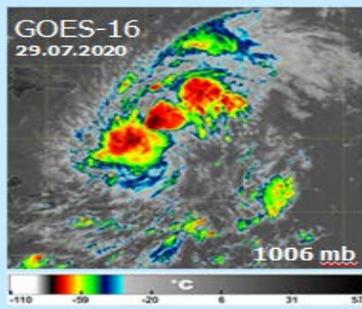
Облачно-разрешающий численный анализ эволюции кинетической энергии первичной циркуляции  $EP(t)$  и вторичной циркуляции  $ES(t)$  в формирующемся тропическом циклоне (ТЦ) позволяет определить момент времени **G**, когда начинается взаимное усиление циркуляций, и зарождающийся ТЦ становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся – **появление неустойчивости/начало зарождения ТЦ**.

**Необходимое условие для усиления вихря:** мезомасштабная вихревая система должна стать спиральной – зацепление первичной и вторичной циркуляции, реализуемое вихревыми горячими башнями – vortical hot towers (**VHTs**). Дальнейшее развитие вихря приводит к **образованию тропической депрессии (TD)** в течение нескольких часов — предлагаемая интерпретация: **завершение стадии зарождения ТЦ**.

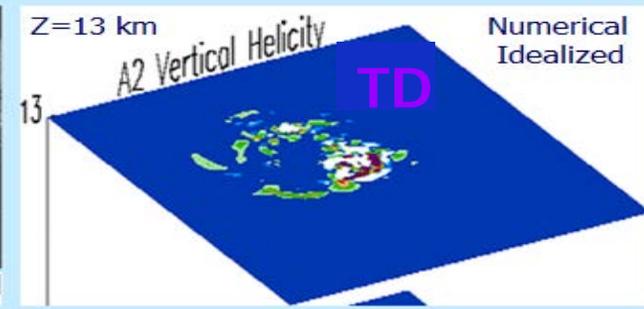
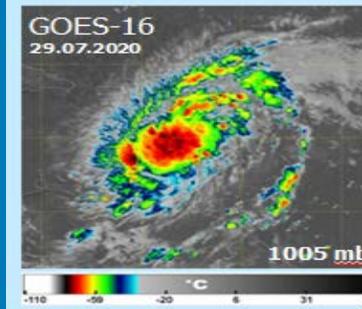


**Практическая значимость:** зарождение ТЦ будет определено **ТОЧНО И ЗНАЧИТЕЛЬНО РАНЬШЕ**, чем происходит в настоящее время.

**Оперативная диагностика TC genesis и TD formation** предлагается с помощью анализа GOES Imagery и при поддержке облачно-разрешающим численным моделированием. Подход основан на подобии конфигураций **VHTs** в поле температуры (спутниковые данные) и вертикальной спиральности (численное моделирование), типичных для начала вихревой неустойчивости (**время G**) и образования вихря депрессии (**время TD**).



**Satellite Data**  
29 July 2020  
Potential TC Nine,  
Future Atlantic  
Hurricane Isaias

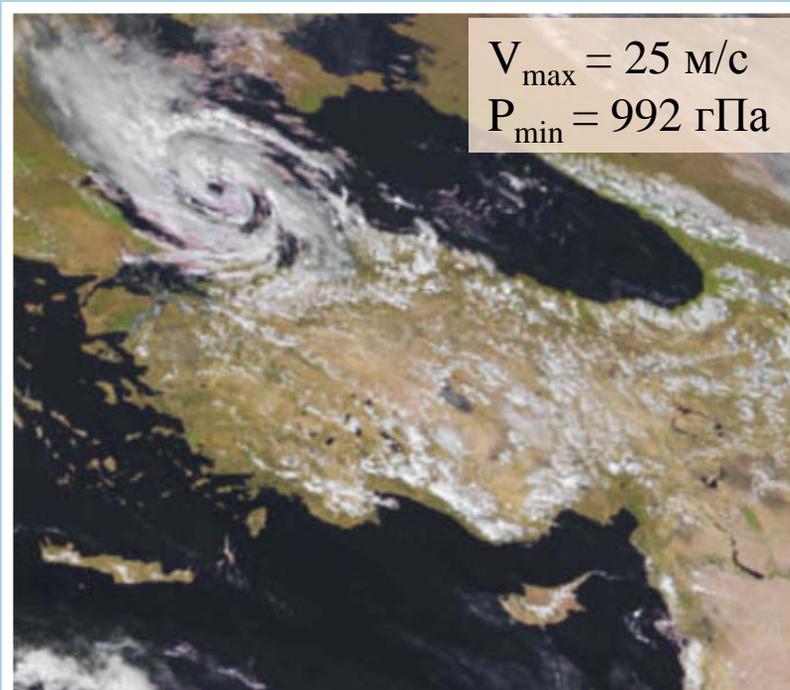


# СПИРАЛЬНЫЙ ТРОПИЧЕСКИЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ: ДИАГНОСТИКА КРУПНОМАСШТАБНОЙ ВИХРЕВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

## ПУБЛИКАЦИИ

1. Левина Г.В., Монтгомери М.Т.  
О первом исследовании спиральной природы тропического циклогенеза. *Докл. АН, Геофизика*, **2010**. 434, 401–406.  
<https://doi.org/10.1134/S1028334X1009031X>.
2. Левина Г.В., Монтгомери М.Т.  
Численная диагностика тропического циклогенеза на основе гипотезы о спиральной самоорганизации влажно-конвективной атмосферной турбулентности. *Докл. АН, Геофизика*, **2014**. 458, 214–219.  
<https://doi.org/10.1134/S1028334X14090189>
3. Levina, G.V., Montgomery, M.T.  
When will cyclogenesis commence given a favorable tropical environment? *Procedia IUTAM*, **2015**. 17, 59–68  
<https://doi.org/10.1016/j.piutam.2015.06.010>.
4. Levina, G.V.  
On the path from the turbulent vortex dynamo theory to diagnosis of tropical cyclogenesis. *Open J. Fluid Dyn.*, **2018**, 8, 86–114. <https://doi.org/10.4236/ojfd.2018.81008>. **REVIEW**
5. Levina, G.V.  
Birth of a hurricane: early detection of large-scale vortex instability. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2020**, 1640, 012023  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1640/1/012023>.
6. Levina, G.V.  
How does cyclogenesis commence given a favorable tropical environment? *Environ. Sci. Proc.* **2021**, 8, 20.  
<https://doi.org/10.3390/ecas2021-10320>.

# ЧЕРНОМОРСКИЕ КВАЗИТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ (КТЦ)



**Найдены VHTs. Моделирование. 2019.**

**Яровая Д.А., Левина Г.В.**

Tuesday, 27 September 2005

MONITORING WEATHER AND CLIMATE FROM SPACE

MSG1



**Черноморский квази-ТЦ, наблюдавшийся  
25–29 сентября 2005 г.**

В 2018–2019 гг. российскими учеными были начаты работы по облачно-разрешающему моделированию черноморского циклона, наблюдавшегося в 2005 году, с целью поиска крупномасштабной вихревой неустойчивости. Исследования выполнялись с помощью негидростатической версии модели атмосферы WRF (Weather Research and Forecasting) на СК «Ломоносов». Было выбрано горизонтальное разрешение 1 км и 2 км.

На первом этапе были выполнены расчеты интегральных характеристик. Существенно отличная от нуля интегральная спиральность развивающейся вихревой системы была обнаружена через 12–18 часов после начала моделирования и в ходе дальнейшей эволюции циклона возросла примерно в 4 раза через 60 часов. Это дало основание начать полную процедуру диагностики крупномасштабной вихревой неустойчивости и приступить к поиску и анализу вращающейся облачной конвекции. Вопреки ожиданиям многочисленных скептиков были обнаружены вихревые конвективные структуры разных размеров и интенсивности. Высота некоторых из них достигала 10 км, а относительное вращение значительно превышало планетарное.

В 2018 г. работы поддерживались РФФИ по гранту 16–05–00551 (рук. Г. Левина)

Полученные результаты были представлены на 3-х конференциях в Москве в 2018 (ИКИ РАН) и 2019 (МГУ, ИФА РАН) годах.

К сожалению, исследования продолжения не получили. Они были признаны неактуальными для России, и ввиду этого финансирование было прекращено.

# ПЕРСПЕКТИВЫ

**Разработанный подход применим для прогноза и точной дистанционной диагностики зарождения интенсивных мезомасштабных вихрей в разных широтах.**

**Необходимые требования к численной реализации:**

- **негидростатическая** версия региональной модели атмосферы;
- горизонтальное пространственное **разрешение 3 км и менее** для идентификации вихревой облачной конвекции.

При появлении интереса к практической реализации диагностики у метеорологов, владеющих навыками и инструментами облачно-разрешающего атмосферного численного моделирования, автор готов к сотрудничеству.

Работа выполнена в рамках госзадания № 01.20.0.2.00164 (тема «Мониторинг»). Диагностика тропического циклогенеза на основе данных облачно-разрешающего численного моделирования была разработана при частичной поддержке Национального научного фонда США по гранту ATM-0733380.

Публикации, презентации, данные:

[https://www.researchgate.net/profile/Galina\\_Levina](https://www.researchgate.net/profile/Galina_Levina) ; <https://iki-rssi.academia.edu/GalinaLevina>

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**