



СПИРАЛЬНЫЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ ОТ ЭКВАТОРА ДО ПОЛЮСОВ

Г. В. Левина

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

levina@iki.rssi.ru

04 октября 2021

СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

1. Введение. Итоги 2020–2021 гг. :

Ранняя точная дистанционная диагностика тропического циклогенеза
на основе теории турбулентного вихревого динамо

Участие в конференциях. Международная оценка результатов.

2. Спиральный циклогенез от экватора до полюсов.

Турбулентное вихревое динамо в атмосфере Земли

- Тропические циклоны – ТЦ
- Черноморские квазитропические циклоны – КТЦ
- Полярные мезоциклоны – ПМЦ

3. Перспективы

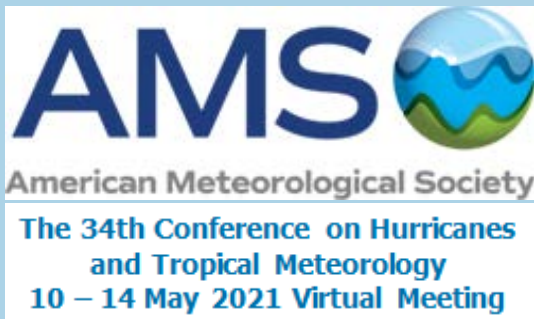
МЕЖДУНАРОДНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представлена: точная количественная дистанционная диагностика тропического циклогенеза на основе теории турбулентного вихревого динамо.

Практическое значение: позволит метеослужбам дистанционно и точно определить момент зарождения урагана значительно раньше (от нескольких до десятков часов), чем это реализуется в настоящее время.



1. Генеральная Ассамблея Европейского Геофизического Союза, 19–30 апреля 2021 г.



2. 34-я Конференция Американского метеорологического общества по ураганам и тропической метеорологии (перенесена с мая 2020 г.), 10–14 мая 2021 г.
760 участников (из многих стран), Россия – 1.



3. 4-я Международная электронная конференция MDPI по атмосферным наукам ECAS 2021, 16–31 июля 2021 г.

Автор получил приглашение опубликовать результаты в журналах AMS (Q1), MDPI Atmosphere (Q2)

Спиральный тропический циклогенез: диагностика крупномасштабной вихревой неустойчивости



Galina Levina

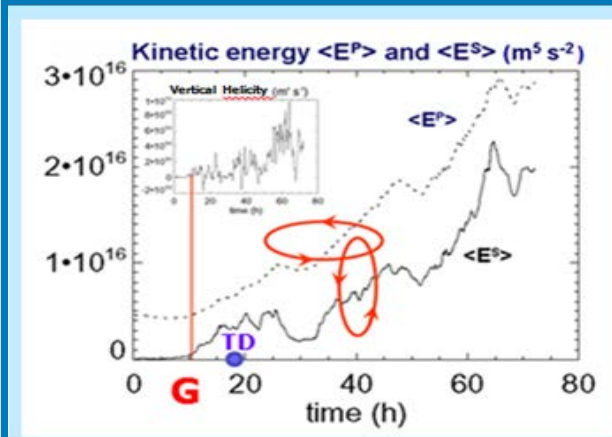
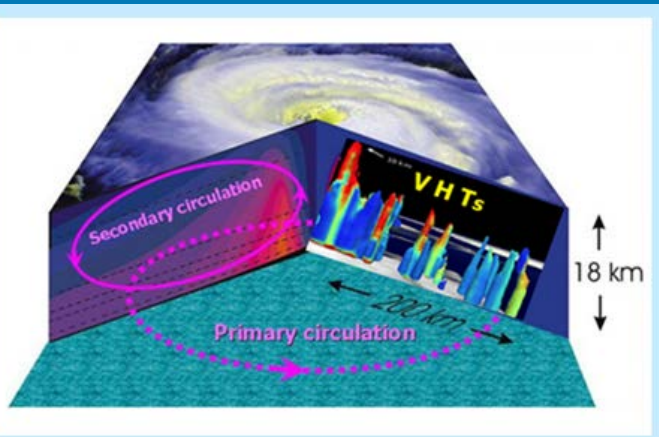
Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

The 34th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology
10 – 14 May 2021
Virtual Meeting

Диагностика циклогенеза – определение момента «G»

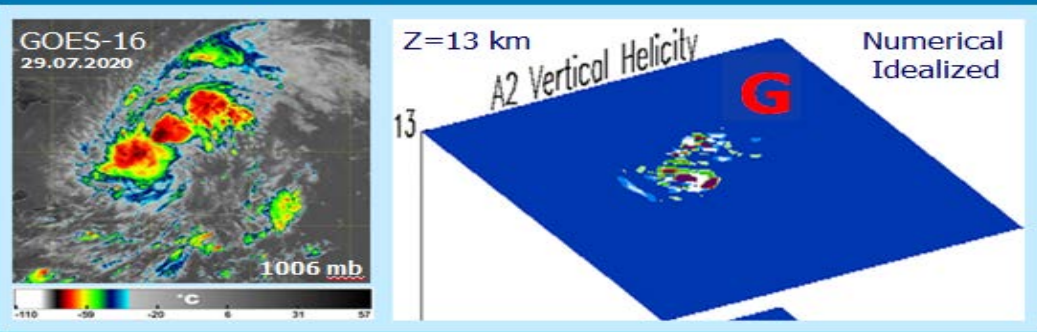
Облачно-разрешающий численный анализ эволюции кинетической энергии первичной циркуляции $EP(t)$ и вторичной циркуляции $ES(t)$ в формирующемся тропическом циклоне (ТЦ) позволяет определить момент времени **G**, когда начинается взаимное усиление циркуляций, и зарождающийся ТЦ становится энергетически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

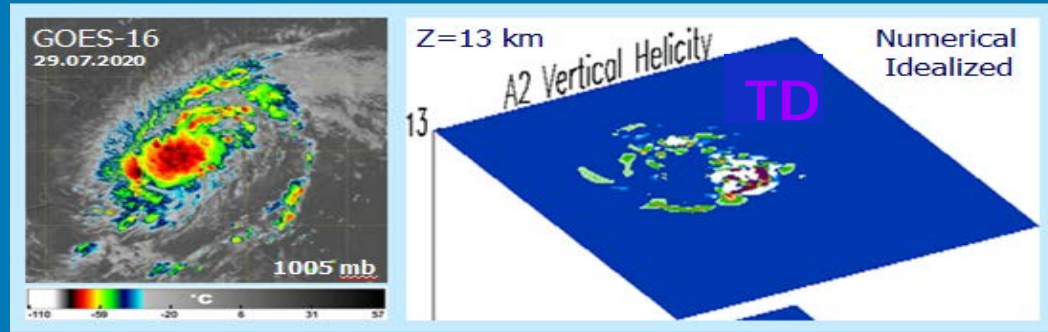


Практическая значимость: зарождение ТЦ будет определено **ТОЧНО И ЗНАЧИТЕЛЬНО РАНЬШЕ**, чем происходит в настоящее время.

Оперативная диагностика TC genesis и TD formation предлагается с помощью анализа GOES Imagery и при поддержке облачно-разрешающим численным моделированием. Подход основан на подобию 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



*Универсальная крупномасштабная вихревая неустойчивость
в спиральной атмосферной турбулентности*

ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО

СПИРАЛЬНЫЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ ОТ ЭКВАТОРА ДО ПОЛЮСОВ

ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ

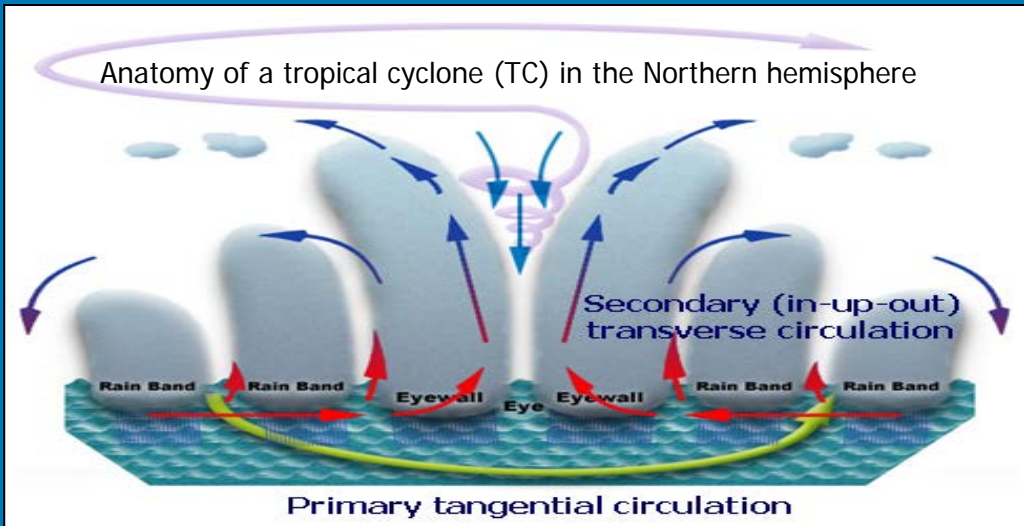
**ИНТЕНСИВНОЙ ВИХРЕВОЙ ОБЛАЧНОЙ КОНВЕКЦИЕЙ –
Vortical Hot Towers (VHTs)**

Вихревые Горячие Башни (ВГБ),

открытой американскими учеными в 2004–2006 гг.

M. T. Montgomery et al., JAS – 2004; 2005; 2006.

ТУРБУЛЕНТНОЕ ВИХРЕВОЕ ДИНАМО В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

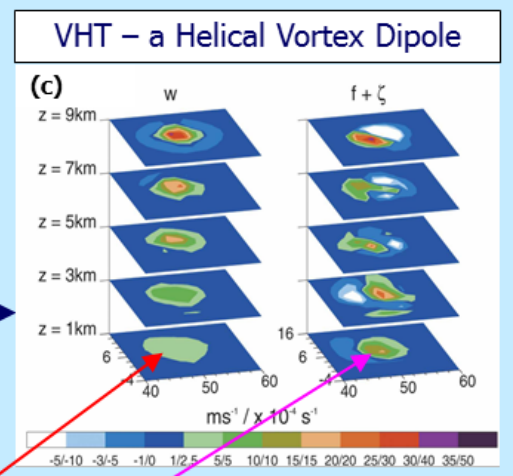
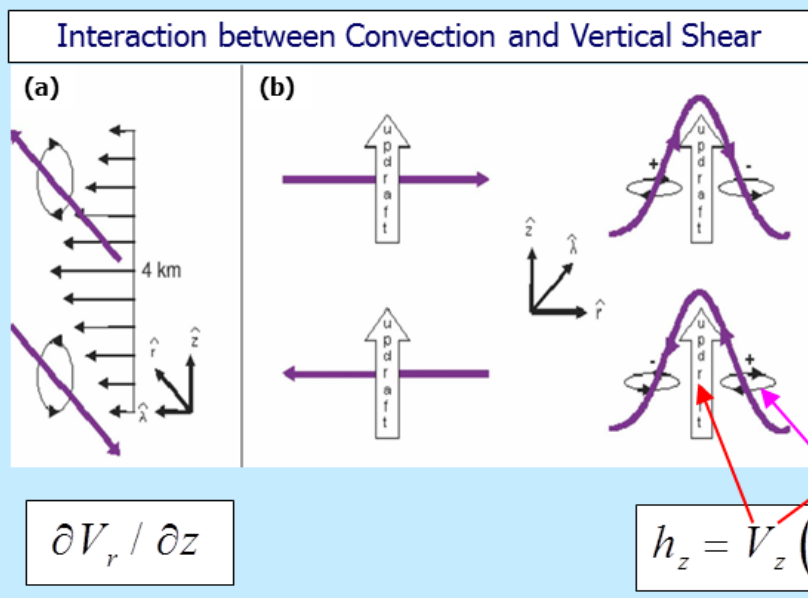
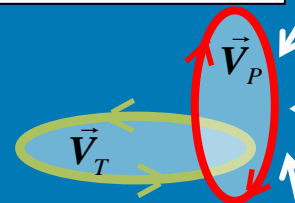


Во вращающейся неоднородной атмосфере влажно-конвективная турбулентность становится спиральной, подавляется поток энергии к масштабам диссипации → **возможность крупномасштабной (КМ) вихревой неустойчивости.**

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 ОДИМ 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

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

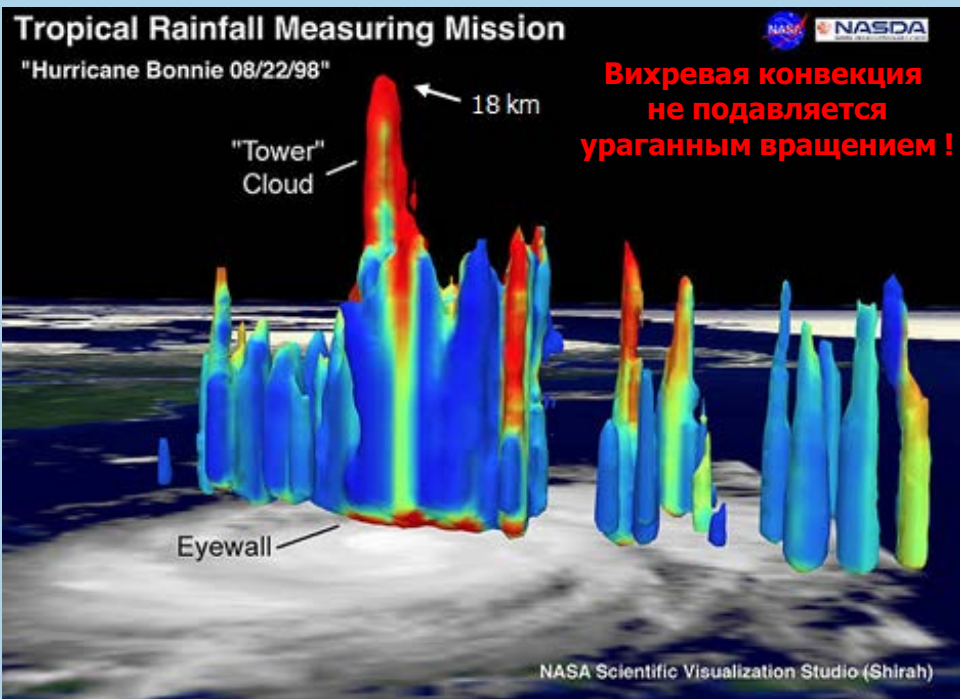
Helical

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

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

Λ – 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.



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

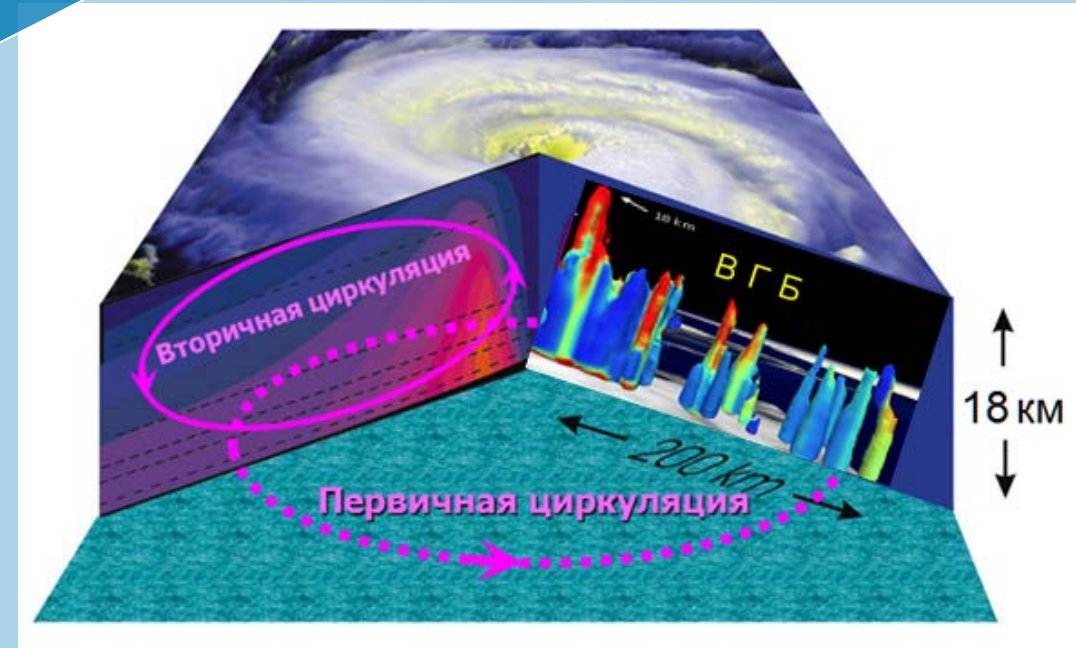
Термин «ГОРЯЧИЕ» связан не с температурой, а с **ВЫДЕЛЕНИЕМ СКРЫТОГО ТЕПЛА** за счет фазовых переходов влаги по высоте башни (водяной пар – вода – лед)

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⁻¹** до **25-30 м·с⁻¹**
относительная вертикальная завихренность до **10⁻³-10⁻² с⁻¹** (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

Тропическая атмосфера:

диагностика зарождения ТЦ, российско-американские исследования,
Г. В. Левина, М. Т. Монтгомери, 2009–2021 гг.

Черноморский регион:

обнаружена вихревая облачная конвекция (VHTs) в черноморском квази-ТЦ 2005 г,
(облачно-разрешающее численное моделирование) – Д.А. Яровая, Г.В. Левина, 2019.

Теория:

М. I. Kopp, A. V. Tur, V. V. Yanovsky, 2021.

Hydrodynamic α -effect in a rotating stratified moist atmosphere driven
by small-scale non-helical force.

Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics (GAFD), September 2021.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03091929.2021.1946802?src>



NOAA-15 RGB=CH(1,1,4) 08/28/2005 23:32 UTC

Texas

Louisiana

Miss.

Alabama

Georgia

New Orleans ●

Florida

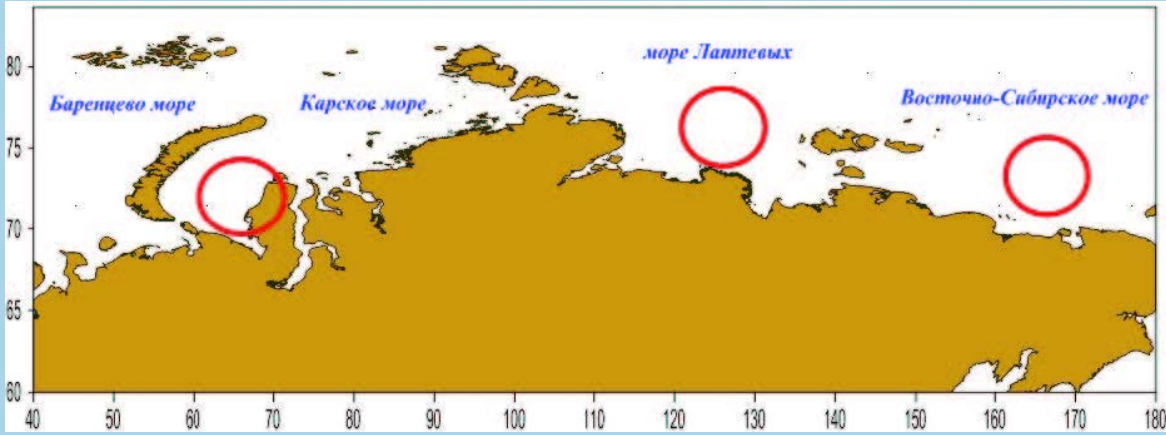
Hurricane Katrina (2005)

GULF OF MEXICO

CUBA

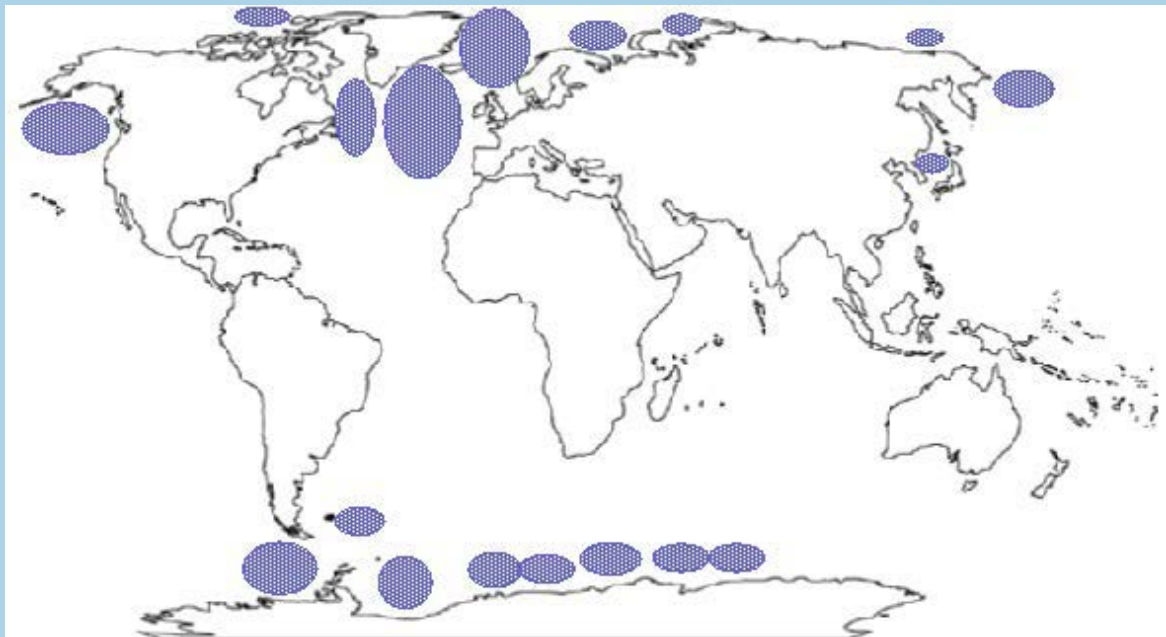


ПОЛЯРНЫЕ МЕЗОЦИКЛОНЫ – ПМЦ



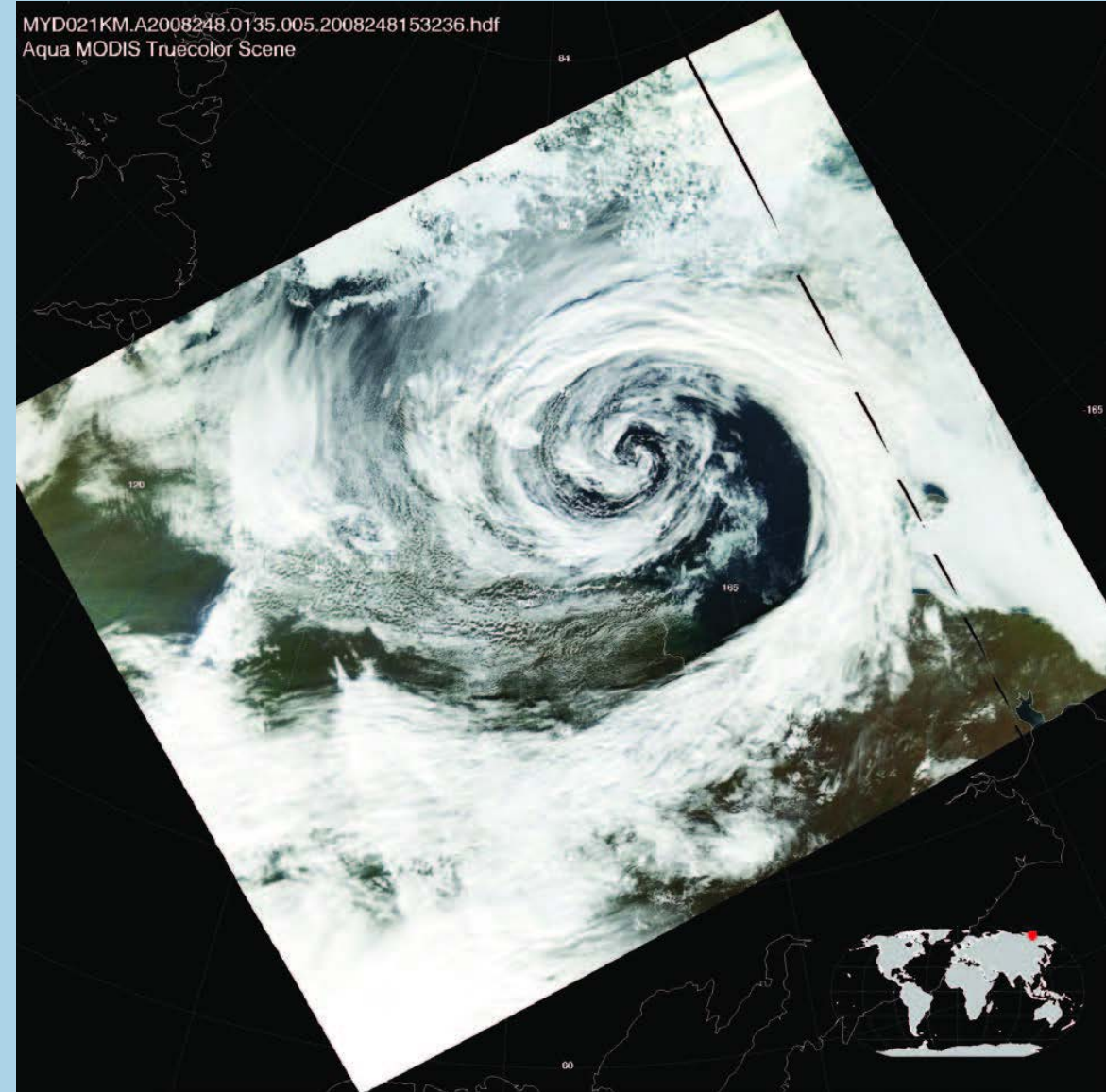
Области формирования штормовых циклонов в осенний период.

Ефимова Ю.В. и др. (2018). Ученые записки РГГМУ № 52, 9–20. Рис. 1.



Глобальное распределение очагов формирования полярных мезоциклонов.

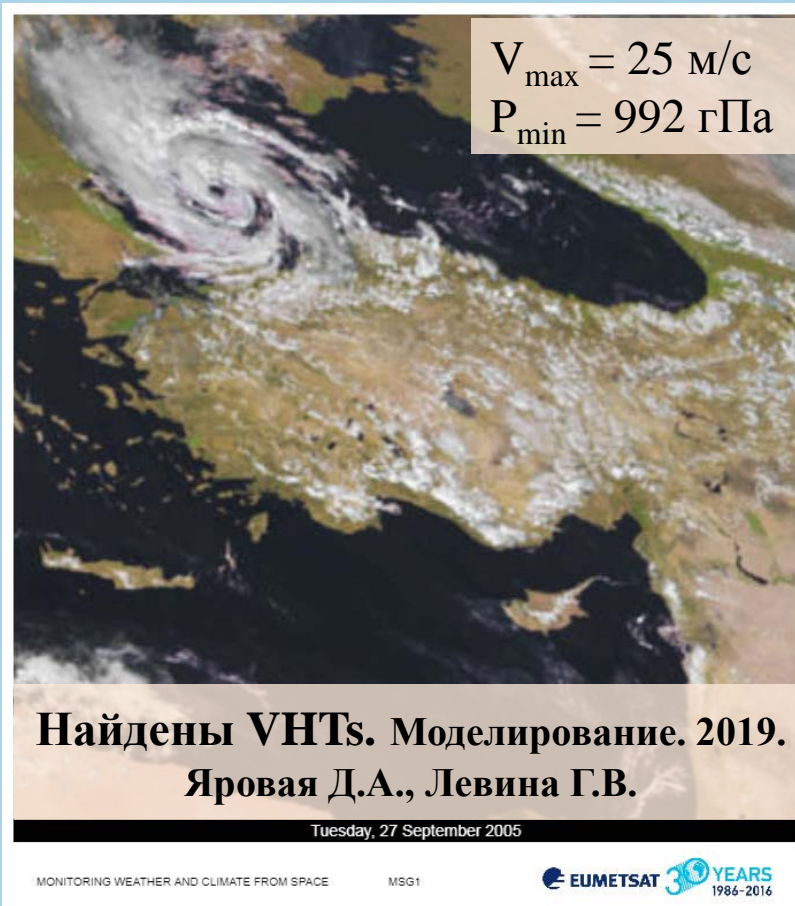
Луценко Э.И., Лагун В.Е. Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики. Справочное пособие. Санкт-Петербург. 2010. Рис. 1.1.1.



**ПМЦ у Новосибирских островов 4 сентября 2008 г., 01:35 UTC
Aqua MODIS.**

Ефимова Ю.В. и др. (2018). Ученые записки РГГМУ № 52, 9–20. Рис. 3.

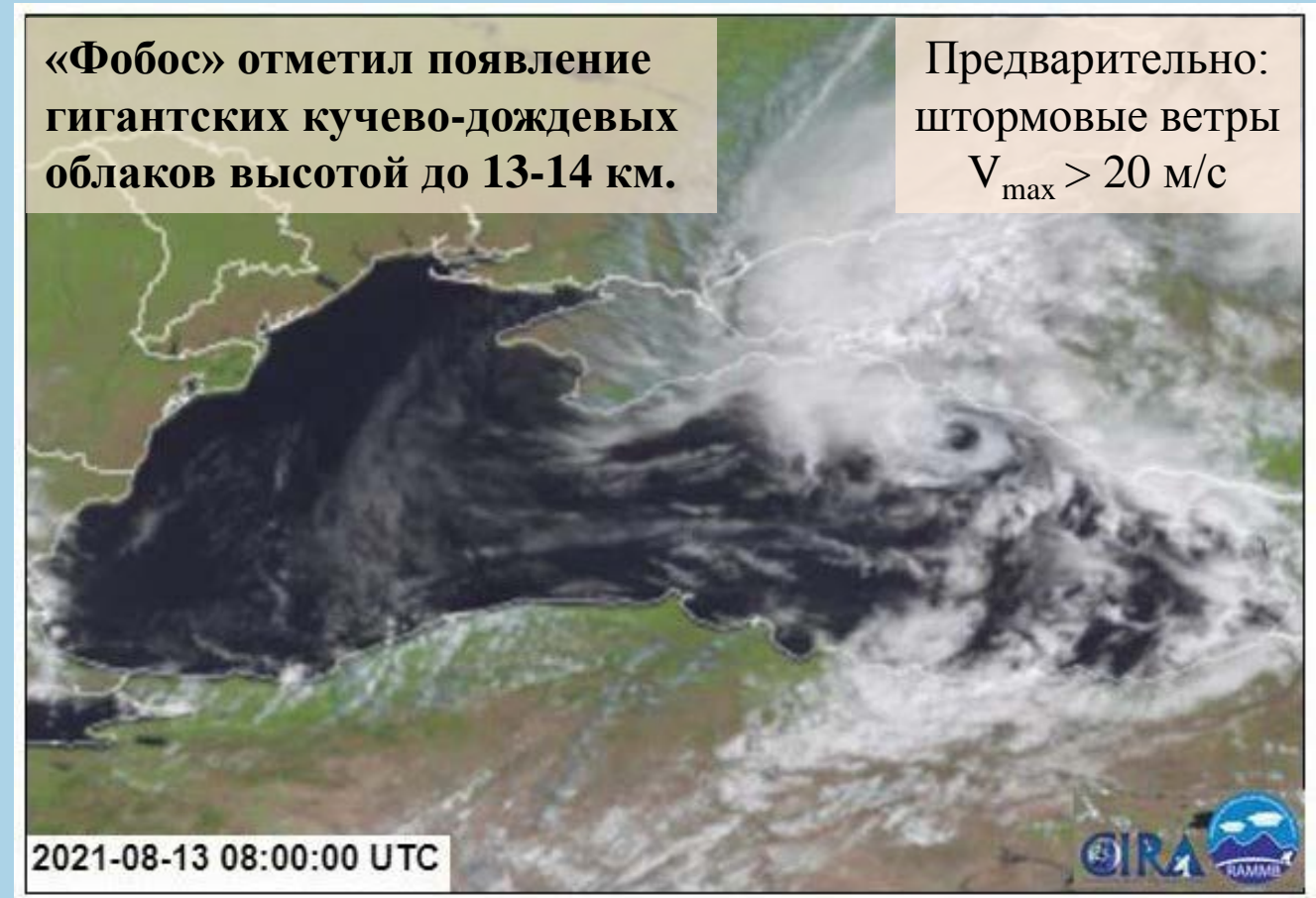
ЧЕРНОМОРСКИЕ КВАЗИТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ (КТЦ)



Черноморский квази-ТЦ, наблюдавшийся 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.



Черноморский квази-ТЦ, наблюдавшийся 11–16 августа 2021 г.

Обсуждение на профессиональном форуме 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).

ЧЕРНОМОРСКИЕ КВАЗИТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ (КТЦ)

Нефтяной разлив в районе Новороссийска



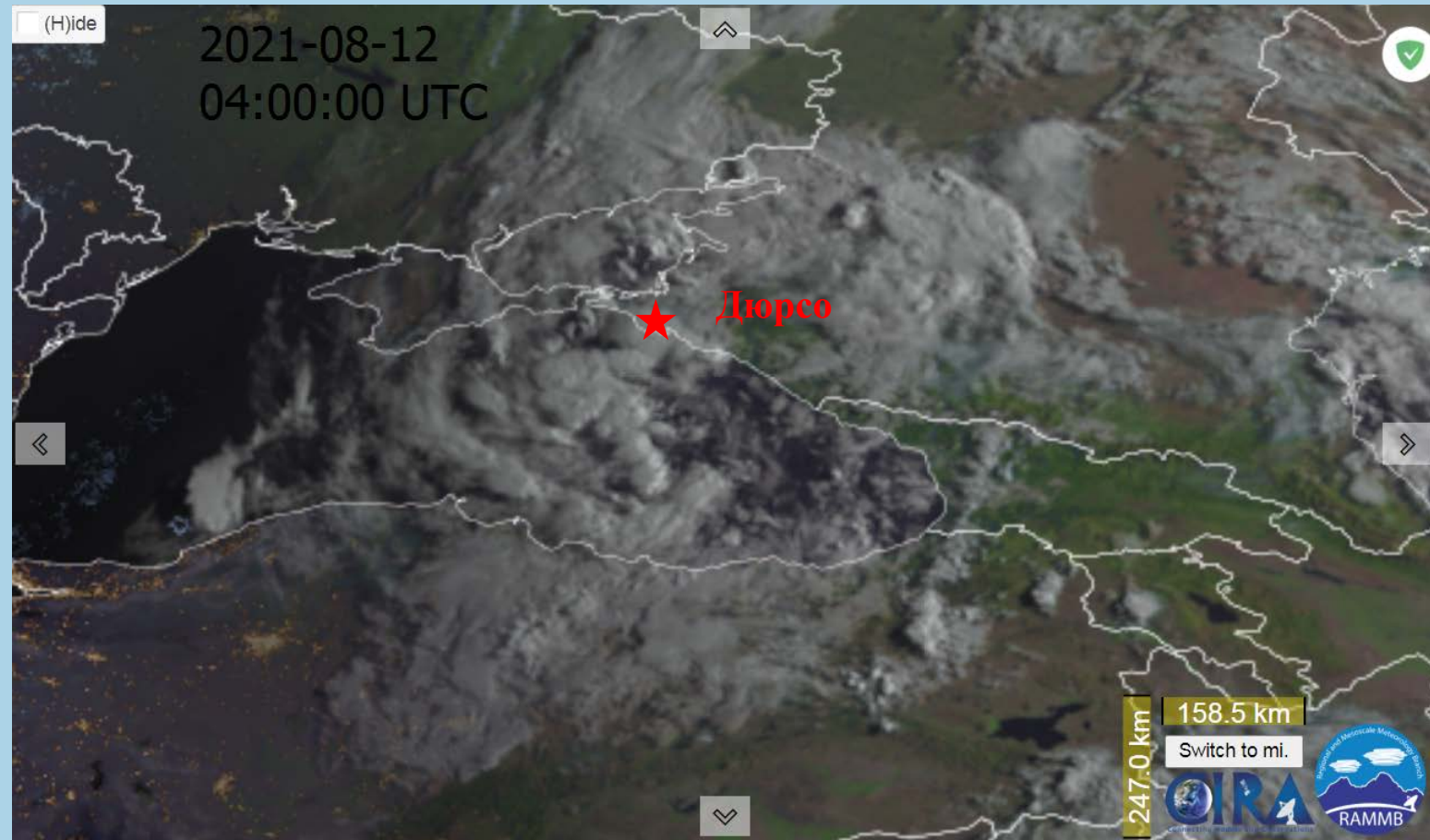
ПРЕСС-ЦЕНТР ИКИ РАН
10 АВГ 2021

**8 августа 2021 г.,
15:20 UTC,**
площадь пятна
превысила 85 кв. км.



12 августа 2021 г., 03:41 UTC

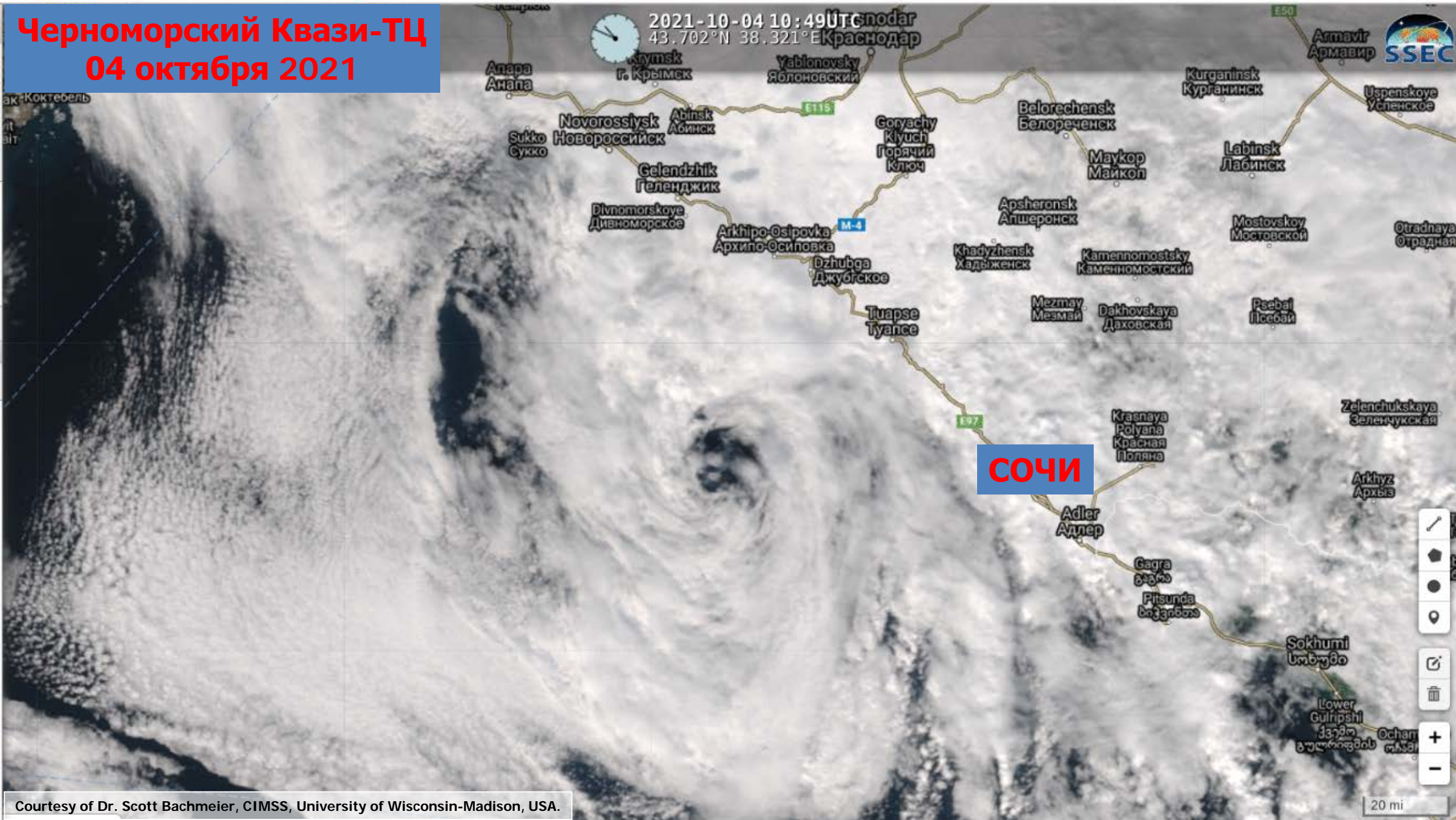
Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А. (2021).
Современные проблемы ДЗЗ из космоса, т. 18, № 4, 304–310. Рис. 4.



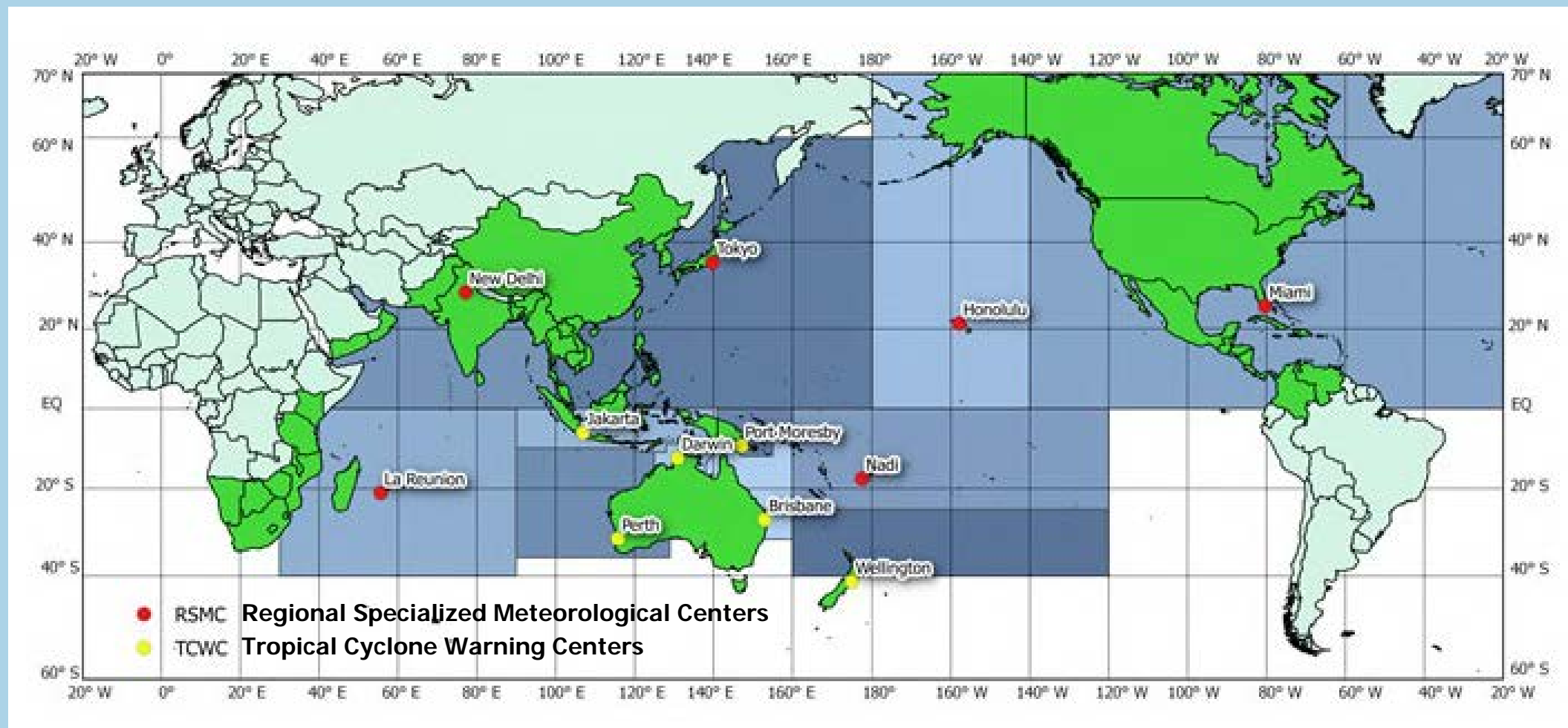
Черноморский квази-ТЦ , 12 августа 2021 г., 04:00 UTC

Черноморский Квази-ТЦ

04 октября 2021



WMO Всемирная Метеорологическая Организация



Черноморский КТЦ 03–05.10.2021 г. обсуждался на профессиональном форуме tstorms.org 04–05.10.2021 г.:
В связи с участвовавшими появлениями КТЦ в Средиземном и Черном морях прозвучало предложение от специалистов NOAA создать Regional Specialized Meteorological Center (RSMC) для этого региона.

ПОСЛЕДСТВИЯ УРАГАНА КАТРИНА (2005) В США



ИЛИ
ЧТО ОЗНАЧАЕТ КРАСИВАЯ КАРТИНКА С «ГЛАЗОМ» УРАГАНА
ДЛЯ БЛИЗЛЕЖАЩИХ НАСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ



По данным WMO (2020):
экономический ущерб
163.61 млрд. USD ;

Wikipedia (2021):
Число погибших – **1836** ;

Ураган инициировал
(Britannica, 2015): →
62 торнадо в 8 штатах ;
штормовой **подъем воды**
в Миссисипи – **8 м** .

Необходимо провести
научное исследование
черноморских квази-ТЦ в
августе и октябре 2021 г.

На этой основе
интерпретировать:
наблюдавшиеся
аномальные метеоявления
– рекордные осадки и
ветры штормовой силы.

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;
- моделирование на суперкомпьютерах.

При появлении интереса к практической реализации диагностики в России необходимы специалисты, владеющие навыками и инструментами облачно-разрешающего атмосферного численного моделирования.

Автор готов к сотрудничеству. Требования будут соответствовать лучшему мировому уровню.

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

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !