

Тропический циклогенез в Юго-Восточной Азии и его влияние на гидродинамику окраинных морей

*Власова Г.А.¹, Ле Динх Мау², Пономарев В.И.¹, Фам Су Хоан²,
Рудых Н.И.¹, Марченко С.С.¹, Лебедев С.А.³*

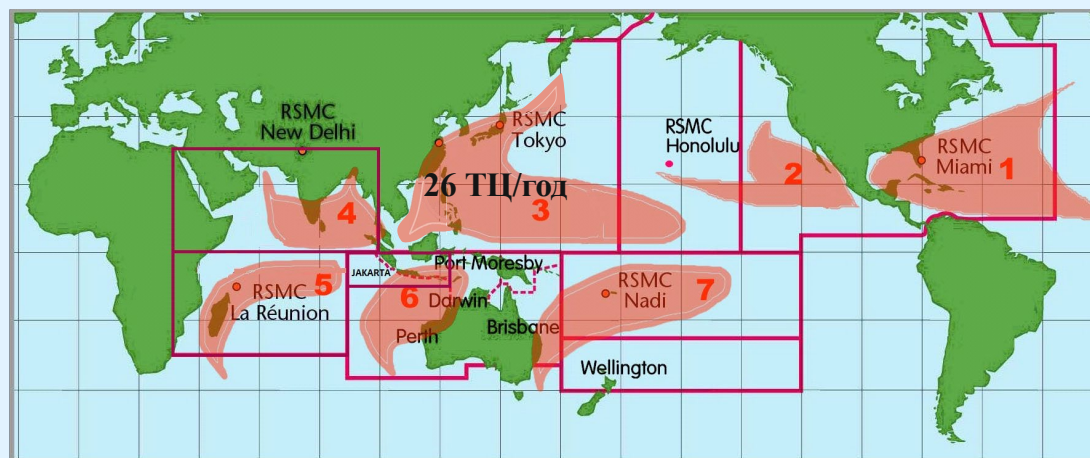
1 – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия;

2 – Институт океанографии Вьетнамской Академии наук и технологий, г. Нячанг, Вьетнам;

3 – Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия.

2 Бассейны тропического циклогенеза

Глобальная активность тропических циклонов (ТЦ) сосредоточена в 7 ключевых бассейнах. Северо-западный тихоокеанский бассейн (3) – абсолютный лидер активности: здесь рождается каждый третий тропический циклон планеты.

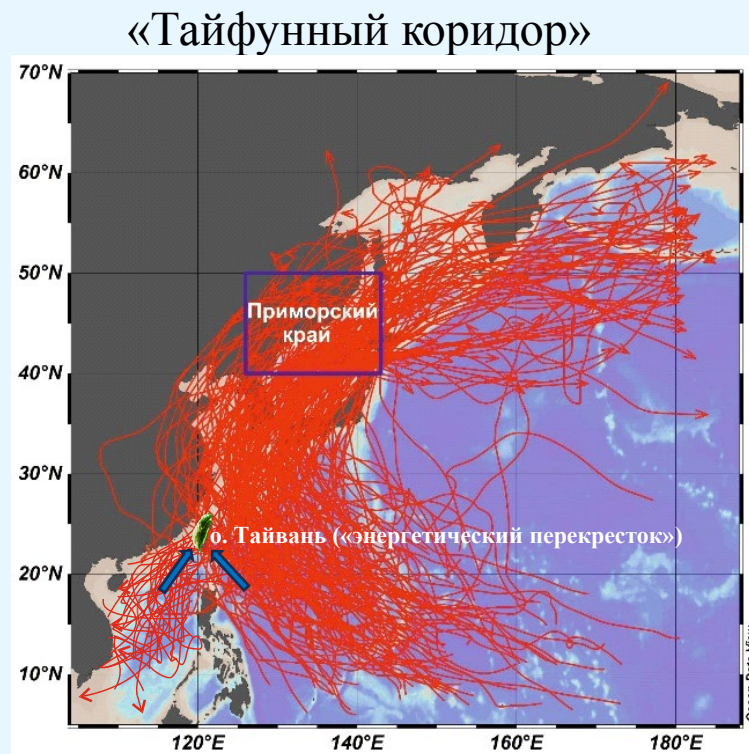
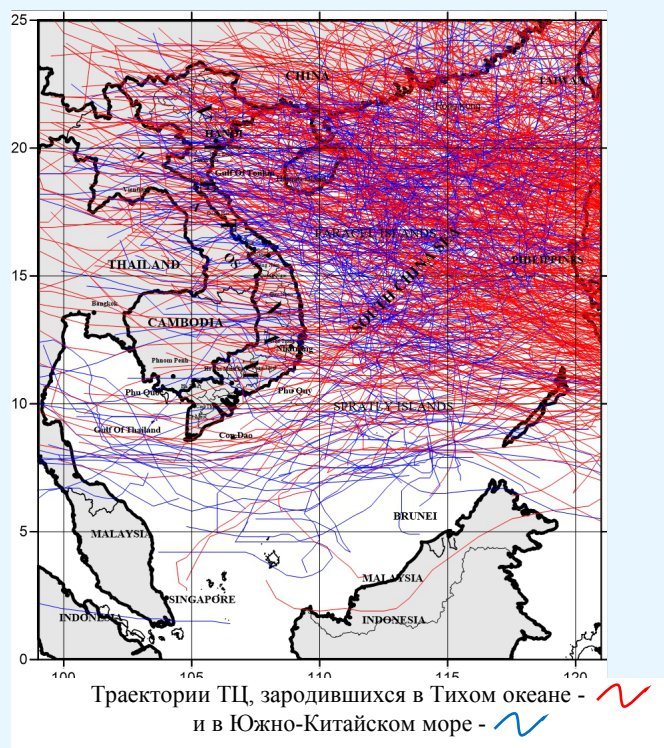


Карта зон тропических циклонов (WMO, 1985-2005)

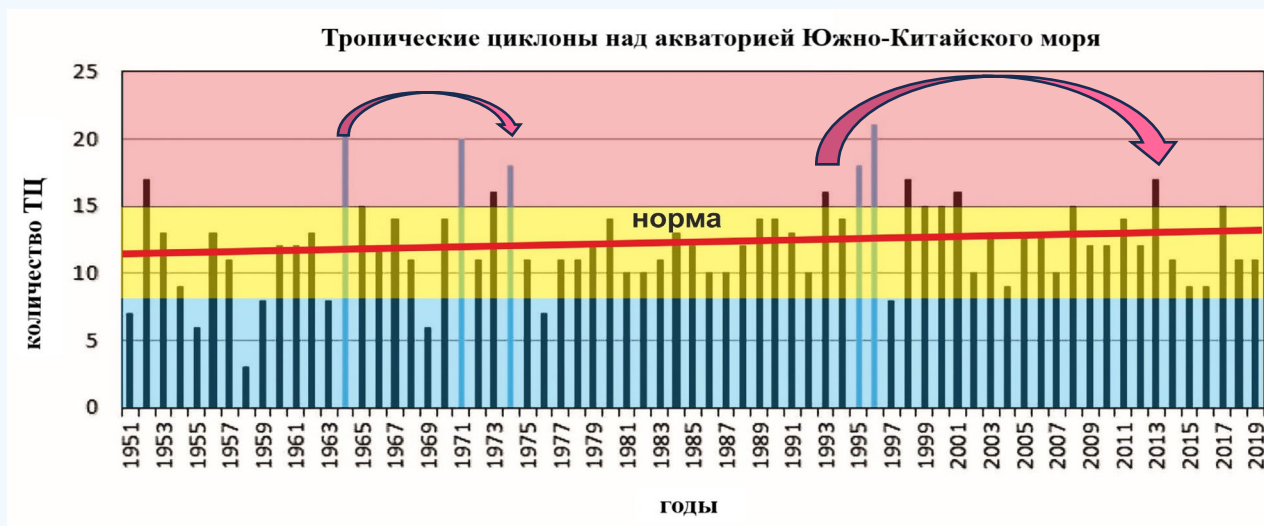
Бассейн	Ответственные организации – национальные метеослужбы
1. Северо-атлантический	Национальный ураганный центр (США, NHC)
2. Северо-восточный тихоокеанский	Национальный ураганный центр Централнотихоокеанский ураганный центр (США, NOAA)
3. Северо-западный тихоокеанский	Японское метеорологическое агентство (JMA)
4. Северо-индийскоокеанский	Индийский метеорологический департамент (IMD)
5. Юго-западный индийскоокеанский	Метео-Франс (Meteo-France)
6. Юго-восточный индийскоокеанский	Бюро метеорологии (Австралия, BoM) Индонезийское метеорологическое агентство (BMKG)
7. Юго-тихоокеанский	Метеорологическая служба Фиджи (FMS) Метеорологическая служба Новой Зеландии (MetService) Национальная погодная служба Папуа-Новой Гвинеи (NWS) Бюро метеорологии (Австралия)

3 Объект: Южно-Китайское море (ЮКМ) – моря российского Дальнего Востока

- *Единая муссонная система*: гирлянда окраинных морей - от ЮКМ до Берингова моря.
- *«Малый гигант»*: несмотря на то, что ЮКМ занимает всего 2% площади мировых океанских бассейнов, оно формирует до 20-25% всех ТЦ и критически влияет на погоду ДВ (*Вестник ОНЗ, 06.03.25*).
- *«Асимметрия удара»*: северная часть Южно-Китайского моря принимает на себя основной и наиболее интенсивный поток циклонов (*карта слева*).
- *«Климатическое эхо» тропиков*: как тайфуны Юга формируют погоду российского Дальнего Востока (*карта справа*) .

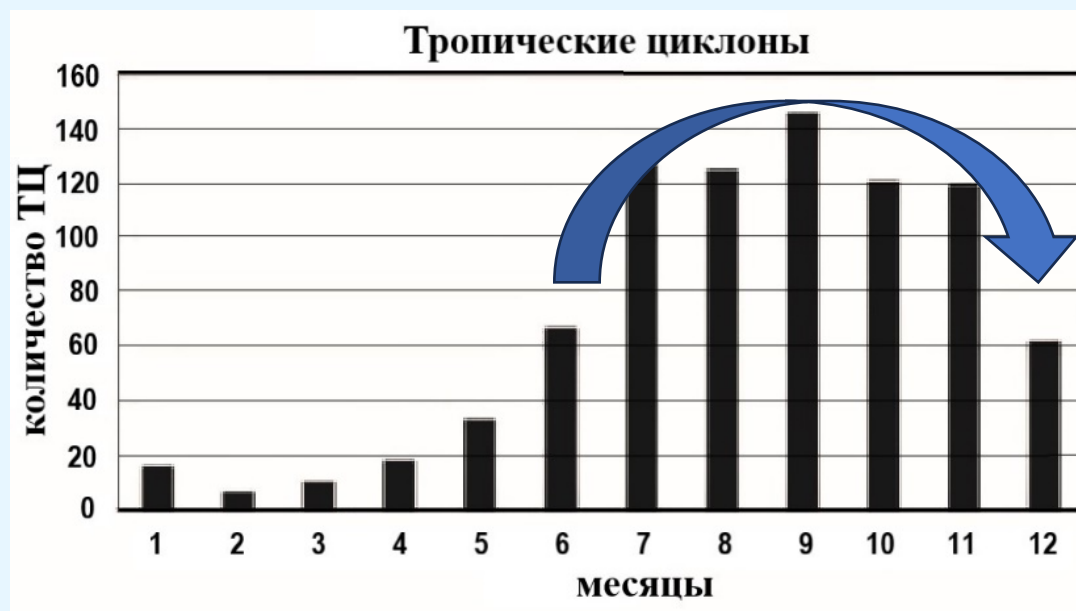


- *Массив данных:* 1951-2019 гг. (архив Best Track (JMA, NOAA), объединяющих исторические судовые и прибрежные наблюдения с данными спутникового мониторинга (70-е), вьетнамские метеостанции в г. Нячанг и на о-ве Спратли.
- *Масштаб:* зафиксирован 851 ТЦ, из них 464 тайфуна интенсивностью ≥ 33 м/с.
- *Тренд:* наблюдается устойчивый продолжительный **положительный** тренд, подтверждающий региональную экологическую неустойчивость.
- *Рекорд:* 21 ТЦ (1964 и 1996 гг.) – экстремальная активность муссонной ложбины непосредственно над ЮКМ (она работала как конвейер, выдавая один за другим вихри).
- *«Климатический перелом»:* в 1964-1973 гг. и 1993-2013 гг. (**розовые стрелки**, Yuan et al., 2012; Le et al., 2021). 1-й период в 60-е гг. – это результат частого повторения фаз Ла-Ниньо, которые «загоняли» тайфуны в наши моря. 2-й период с 1993 г. – структурный сдвиг, т.к. температура воды преодолела критический порог.



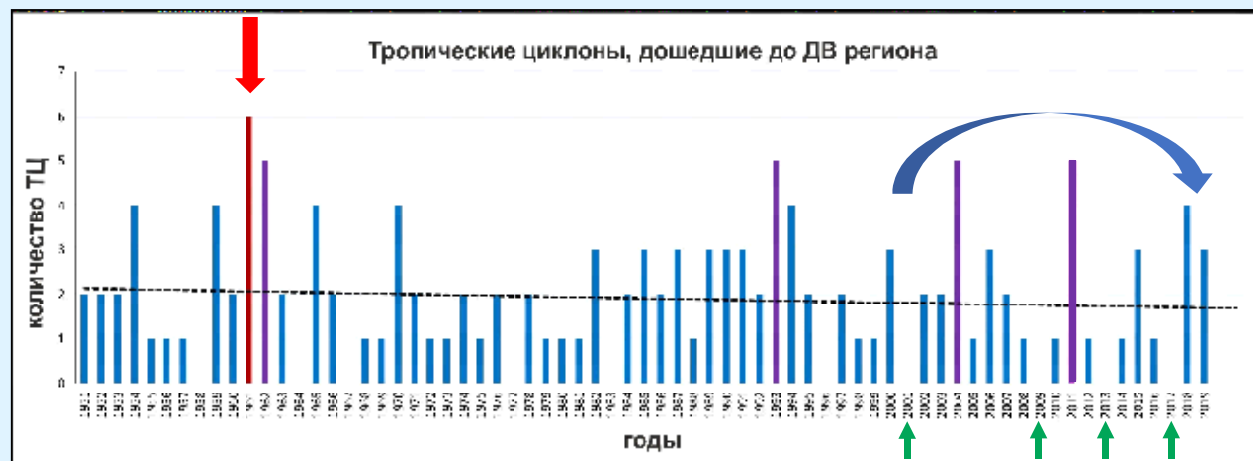
Вне рамок исследования: внутренняя структура и мезомасштабная динамика ТЦ.

- *Июнь-ноябрь*: «климатический горб» (*синяя стрелка*) – резкий взлет активности и выход на «плато» (> 120 ТЦ). Машина циклогенеза работает на полную мощность.
- *Август*: провал между июлем и сентябрем, что связано с «муссонной паузой», когда происходит перестройка барических полей перед финальным пиком.
- *Сентябрь*: абсолютный пик (146 ТЦ). Точка предельной неустойчивости, так как море превращается в «перегретый котел» за летний период (теплозапас), который неизбежно должен сбросить энергию через тайфуны.
- *Февраль*: точка покоя. Зимний Северо-Восточный муссон (СВ) работает как «климатический щит», блокируя зарождение вихрей и закрывает активный сезон тайфунов под влиянием холодного зимнего ветра.



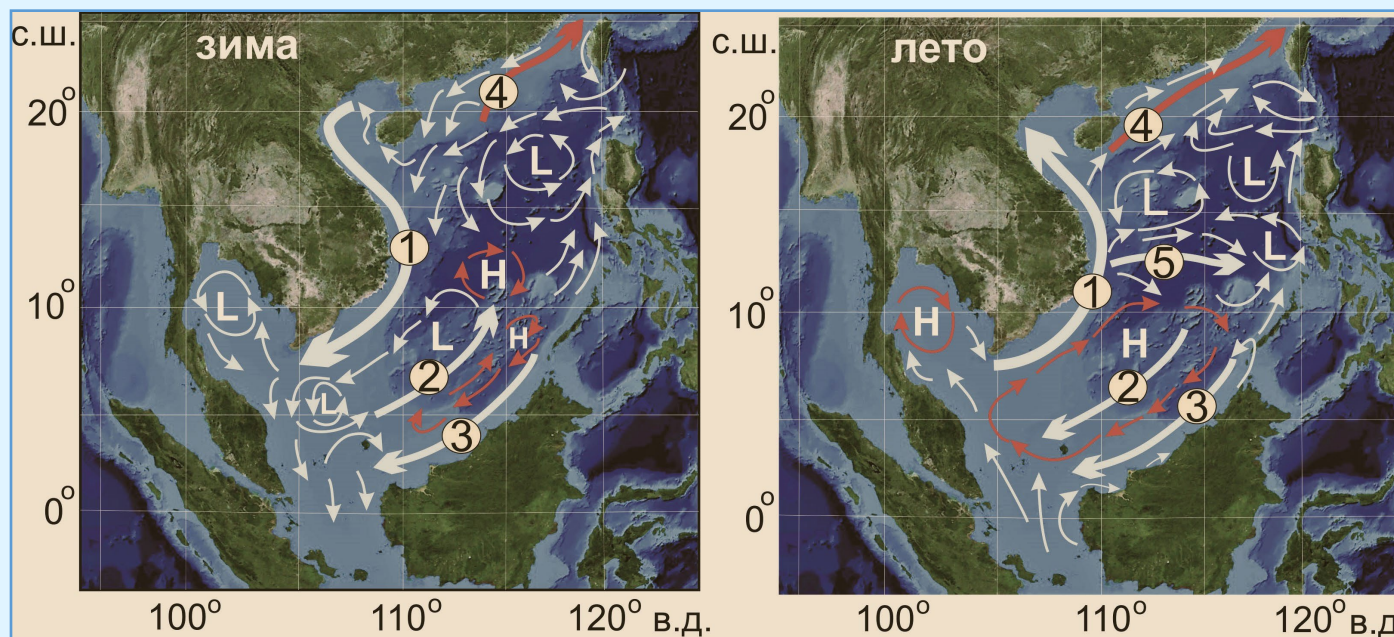
146 ТЦ – точка сентябрьского максимума

- «*Энергетическая живучесть*»: при движении на север ТЦ трансформируются в экс-тайфуны, но это лишь «смена маски», а не потеря разрушительной силы. Колоссальный потенциал сохраняется, принося паводки и разрушения.
- *Тренд*: наблюдается устойчивый продолжительный **отрицательный** тренд.
- *Парадокс тренда*: (рисунок справа): количественно выходов ТЦ становится чуть меньше, но их непредсказуемость растет.
- «*Климатические качели*»: с 2000 г. периоды полного отсутствия ТЦ (2001, 2009, 2013, 2017 гг., **зеленые стрелки**) сменяются мощными пиками (2004, 2011, 2018 гг.). Амплитуда ТЦ становится аномальной. Зона высокого риска остается.
- *Рекорд*: 6 ТЦ (1961 г.) – исторически значимый год благодаря благоприятной структуре межтропического фронта и муссонной зоне низкого давления.



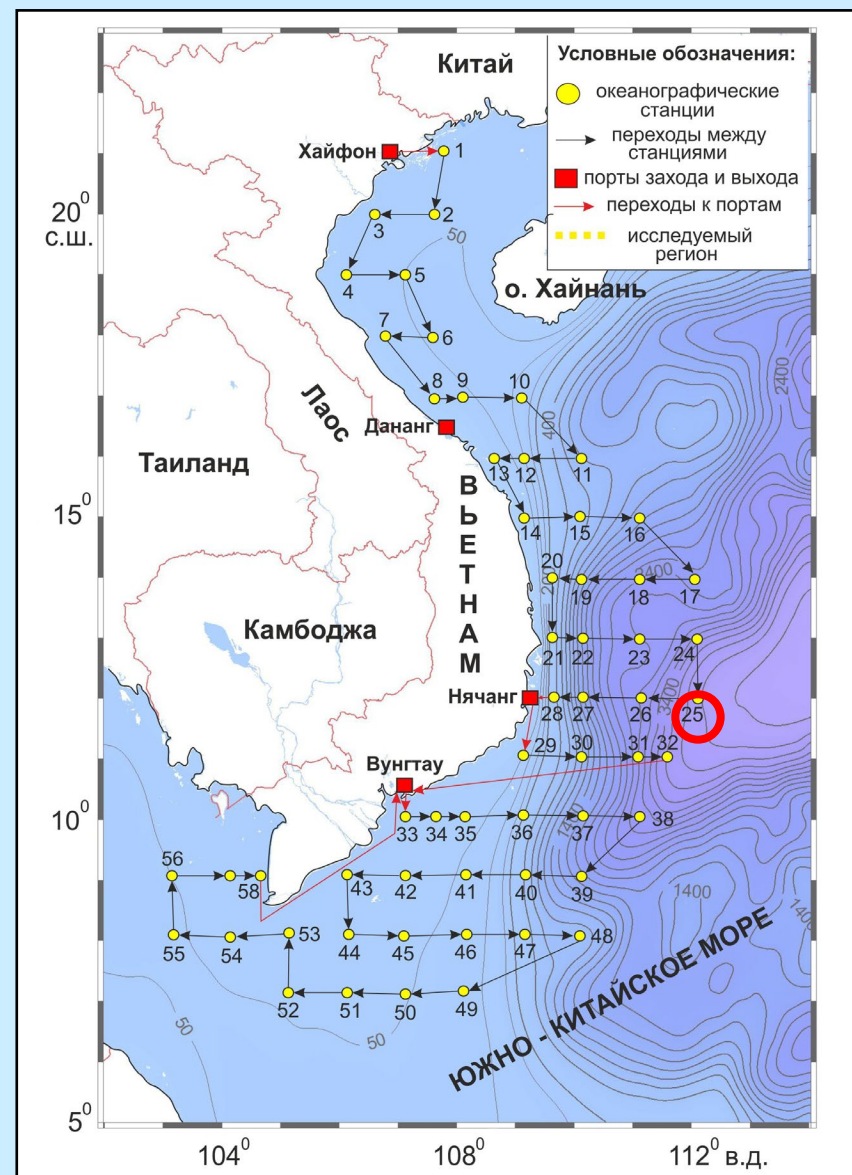
Третий этап. От глобальной статистики к хирургии: гидродинамический отклик океана

- *Циркуляционная система ЮКМ*: Вьетнамское течение (1), Няньшанское противотечение (2), Восточное противотечение (3), Южно-Китайское течение (4), Северное Няньшанское течение (5).
- «Дыхание моря»: муссонный фон (СВ–зима, ЮЗ–лето) – вздох и выдох всей системы, который нарушается сценарием резкой дестабилизации – тайфуном.
- «Гидродинамический шок»: анализ поведения системы морских течений от прохождения экстремальных пертурбаций.
- *Хирургическое вмешательство в жизнь океана*: тайфун не просто усиливает течения, а ломает муссонную циклическую картину.
- *Главный герой*: **Вьетнамское течение** обладает уникальной сезонной реверсивностью под влиянием Восточно-Азиатского муссона (зимой – на юг, летом – на север).



Фундамент нашей «хирургии» - уникальный натурный эксперимент весна 1999 г.

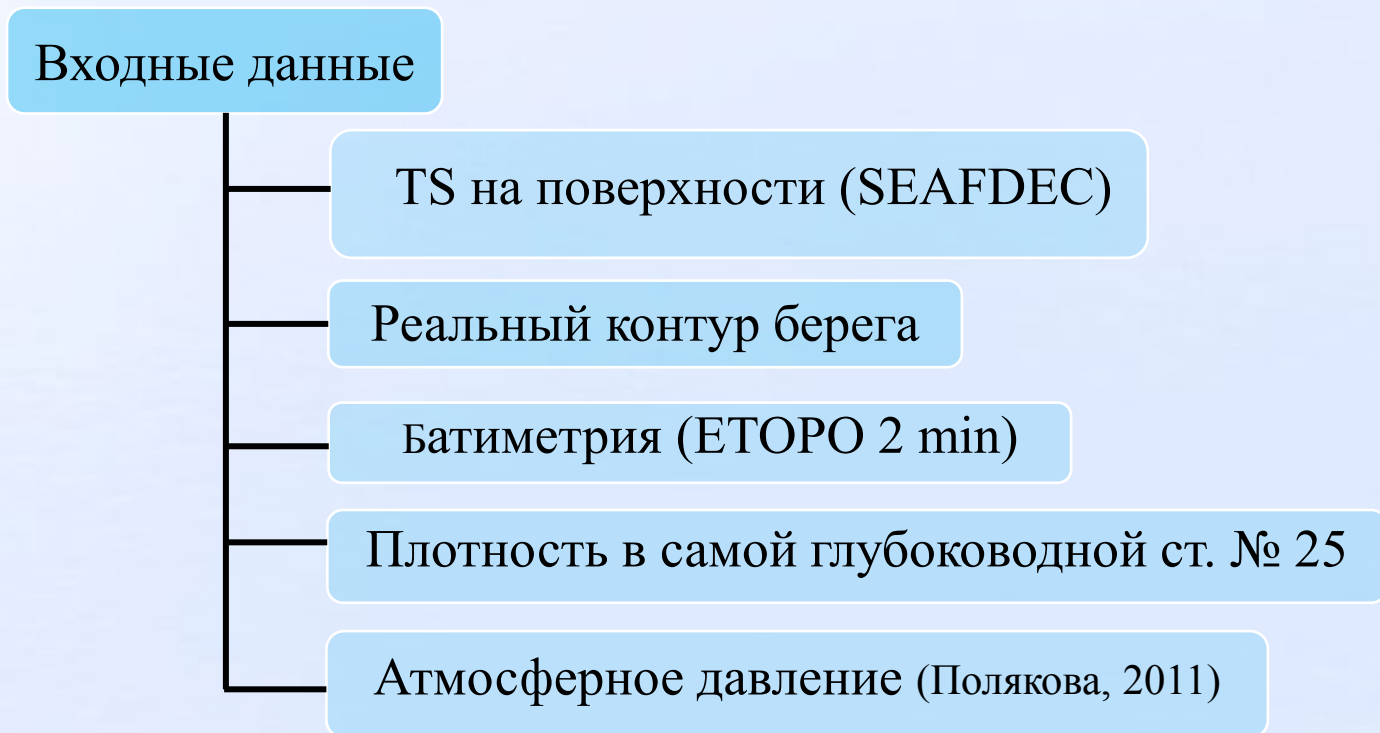
- *Объект исследования:* Вьетнамское течение.
- *Хирургический разрез:* данные экспедиции Рыболовной Ассоциации стран Юго-Восточной Азии и Японии (SEAFDEC, Cruise № 57-3/99) – рекордные за 70 лет.
- *Масштаб:* 46 дней непрерывных измерений (21.04-05.06).
- *Архитектура сетки:* 58 глубоководных станций по всему периметру Вьетнамского течения, позволяя «прощупать» течение до мельчайших деталей, включая шельф и глубоководную часть.
- *Партнерство:* прямая передача данных Вьетнамской стороной (эксклюзивный доступ).



Архитектура модели

(«хирургический скальпель»)

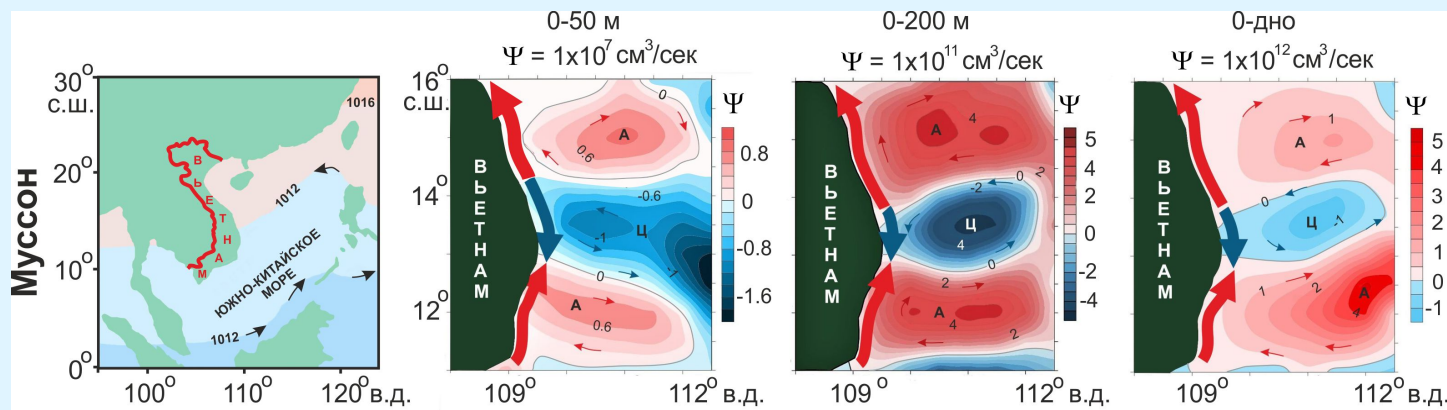
- *Математический базис:* квазигеострофическая модель интегральной циркуляции вод на базе теории Штокмана–Фельзенбаума–Саркисяна–Васильева и др.
- *Факторы:* плотность, ветер, рельеф дна, сила Кориолиса, бароклинность, СЭБИР.



- *Граничные условия:* условия прилипания на дне и полные потоки (расходы воды) на жидких границах, рассчитанные на реальных данных.

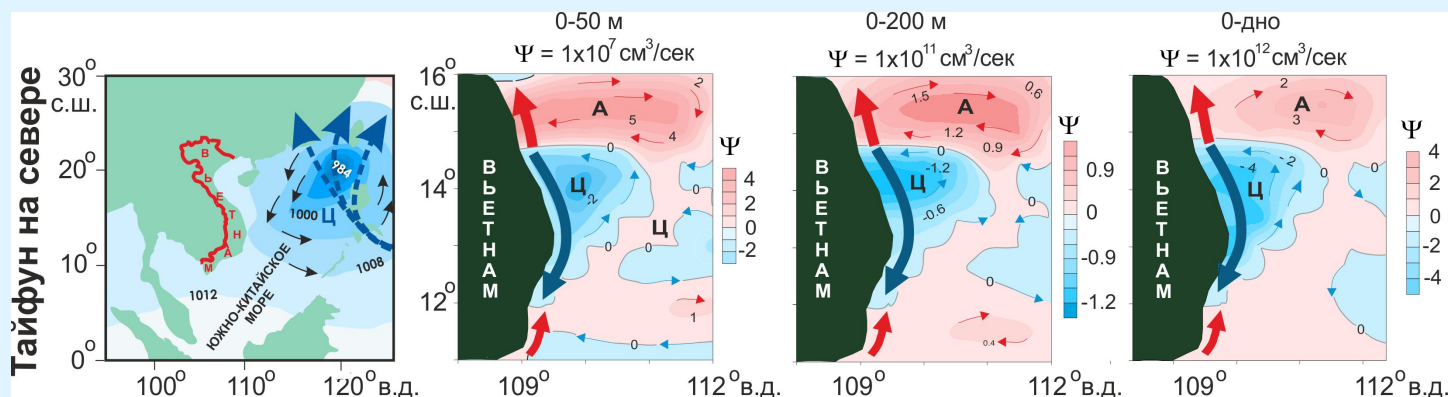
Муссонное спокойствие против возмущений

- Фоновый режим (муссон): стабильная динамика, плавный переход к лету (**красные стрелки**).



Северные траектории тайфуна: частичное разрушение муссона

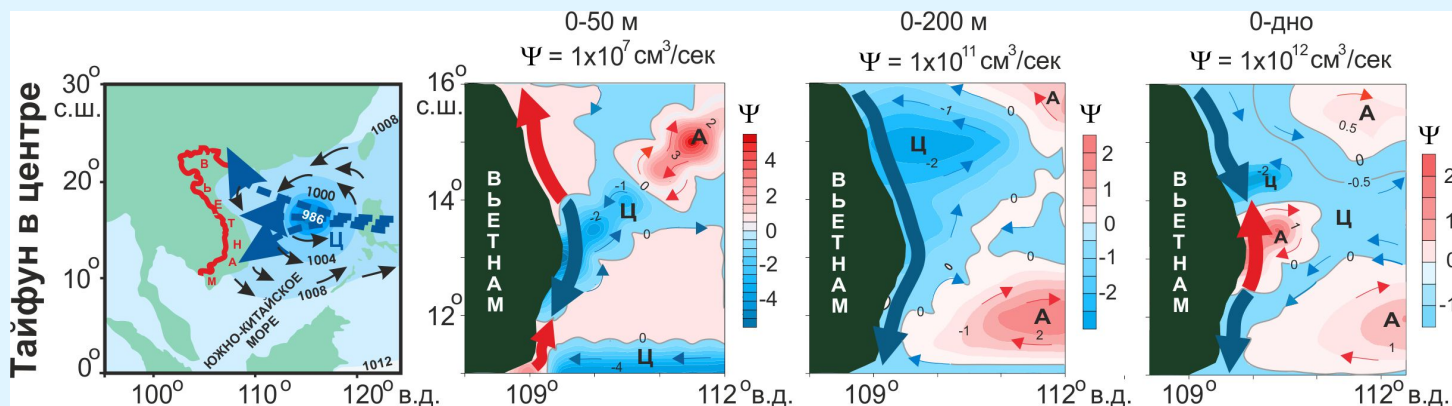
- Дестабилизация*: частичная перестройка течения.
- «Периферийный удар»: несмотря на то, что центр (глаз) тайфуна далеко на севере, его западная периферия способна изменить гидродинамику района.
- «Анатомия возмущения»: периферийное воздействие тайфуна приводит к расширению циклонической деятельности по меридиану.
- Критический сценарий*: северные траектории тайфуна – это главный климатический риск для российского Дальнего Востока.



- *Дестабилизация*: полная перестройка течения и интенсификация циклонических процессов на всей акватории.
- «*Зимний рецидив*»: при таких траекториях система «откатывается» к зимнему режиму (**синие стрелки**) и делает это агрессивно и хаотично.

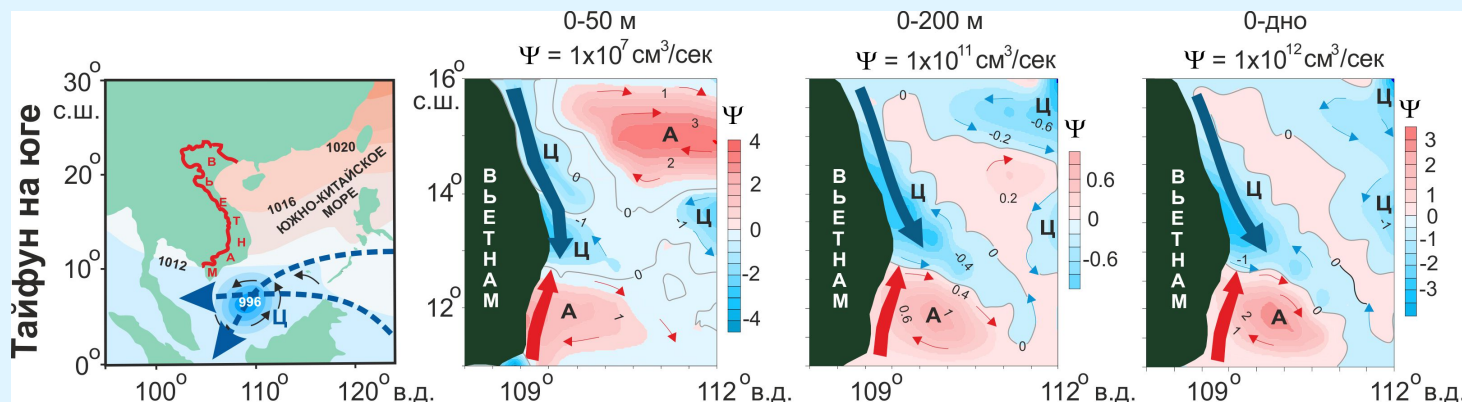
Сценарий «Центр»:

- «*Двойной капкан*»: тайфун в центре четко направлен на Вьетнамское течение, воздействуя западной и восточной перифериями, тем самым блокируя течение с двух сторон и разрывая его структуру.
- *Критический сценарий*: центральные траектории тайфуна– это главный климатический риск для побережья Вьетнама.



Сценарий «Юг»:

- *Восточная периферия (правая) – решающий фактор*: при южном смещении именно этот сектор вихря диктует морю новые правила игры, создавая полный хаос.



- ❖ **Нарушение муссонного равновесия:** многолетний мониторинг (1951-2019 гг.) зафиксировал не просто рост числа тайфунов, а выход региона на критическое «плато» неустойчивости с 1990-х гг. Эта статистическая аномалия потребовала перехода от количественного описания к качественному анализу механизмов переноса энергии;
- ❖ **Энергетический транзит:** Южно-Китайское море обосновано как «штормовой коридор» в направлении российского Дальнего Востока, что делает локальные процессы в море важными для регионального прогноза погоды ДВ региона;
- ❖ **Модельная верификация:** с помощью уникальных натурных данных и численных экспериментов доказан механизм трансформации региональной гидродинамики. Показано, что тайфун – это не просто шторм, а некий «гидродинамический шок», который полностью ломает муссонную систему течений, меняя структуру течений моря до самого дна;
- ❖ **Типология гидродинамического отклика:** выявлена критическая зависимость отклика системы от локализации траекторий тайфунов. Северные траектории инициируют крупномасштабные возмущения, транслируемые в Японское море и далее, в то время как центральные и южные траектории вызывают радикальную перестройку за счет асимметрии ветрового воздействия.
- ❖ **Прогностическая ценность:** все сказанное выше позволяет определить уязвимость прибрежных систем в условиях меняющегося климата, что является необходимым базисом для оценки будущих климатических рисков.

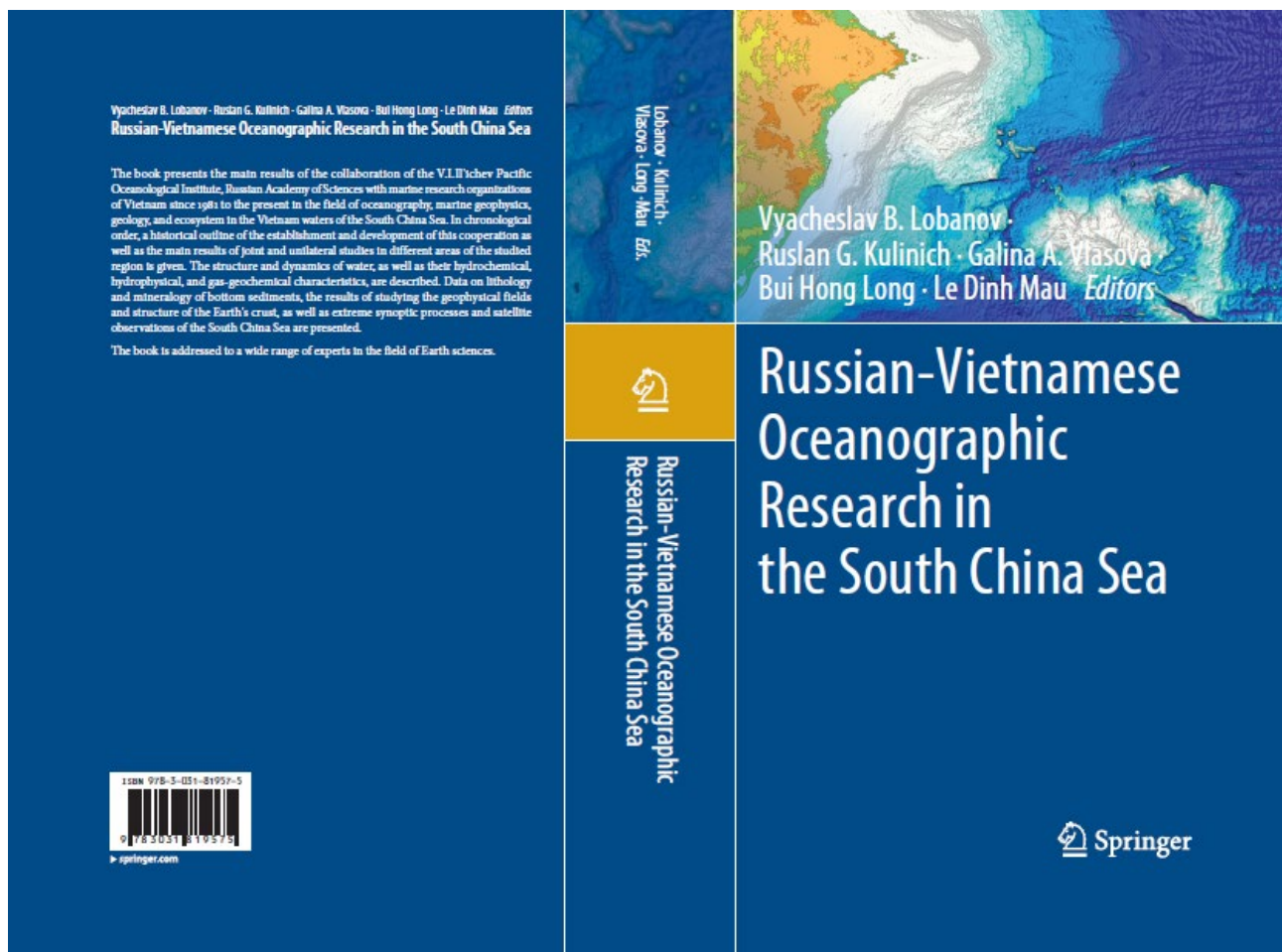
Р.С. Тайфуны 2025 г. как маркеры критических гидродинамических изменений в регионе:

- *Октябрь: Тайфун «Фэншэнь» (Fengshen) принес наводнения во Вьетнам, вызвав эвакуацию тысяч людей.*
- *Ноябрь: Тайфун «Калмаэги» вошел в Южно-Китайское море, парализовав инфраструктуру прибрежных районов Вьетнама.*

Результаты исследования легли в основу международной монографии (Springer, 2025)

«Russian-Vietnamese Oceanographic Research in the South China Sea». Editors: Vyacheslav B. Lobanov, Ruslan G. Kulinich, Galina A. Vlasova, Bui Hong Long, Le Dinh Mau. Springer Nature Switzerland AG 2025, 335p. ISBN 978-3-031-81957-5, ISBN 978-3-031-81958-2 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-031-81958-2>

13





Спасибо за внимание!