



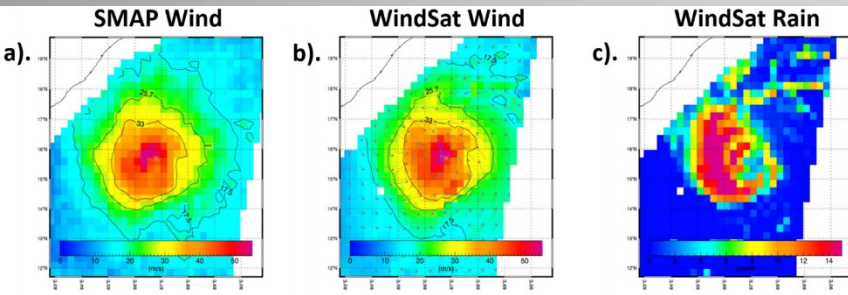
*Диагностика эволюции  
интенсивных внетропических  
циклонов с экстремальным  
ветром над северной частью  
Тихого океана*

**М.К. Пичугин, И.А. Гурвич, А.В. Баранюк**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
Владивосток, Россия*

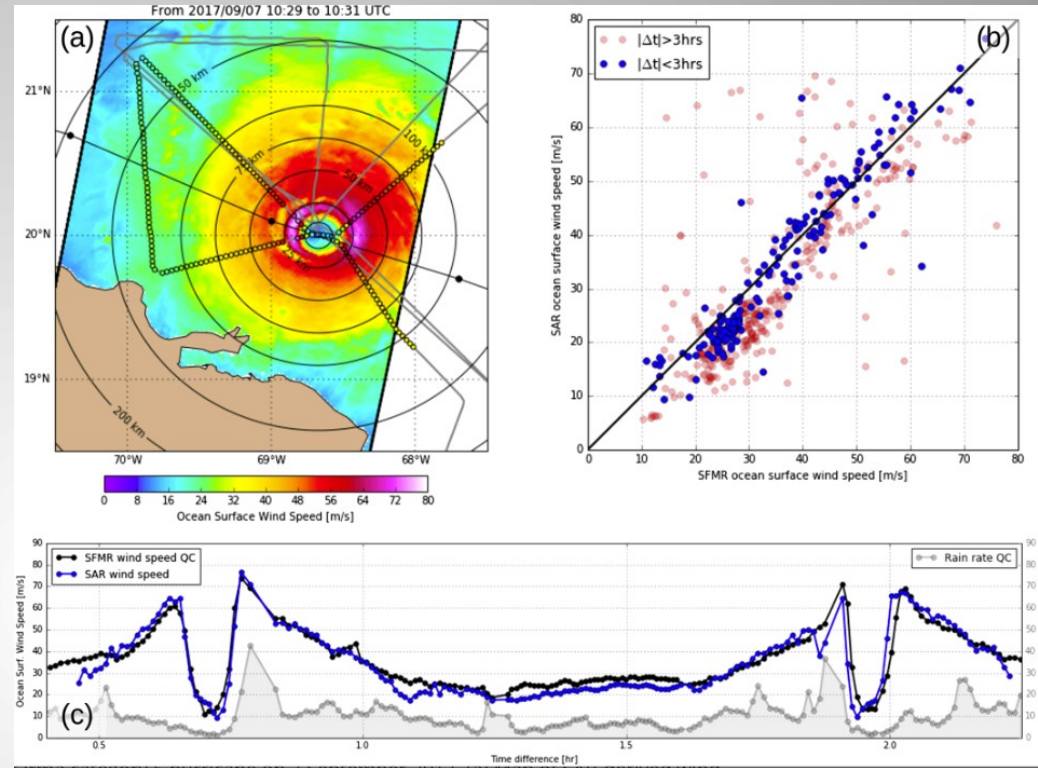
*[pichugin.mk@gmail.ru](mailto:pichugin.mk@gmail.ru), [gurvich@poi.dvo.ru](mailto:gurvich@poi.dvo.ru), [vykochko@poi.dvo.ru](mailto:vykochko@poi.dvo.ru)*

# Мотивация



Тропический циклон "Амфан" у восточного побережья Индии 19 мая 2020 г.

*Manaster, A.; Ricciardulli, L.; Meissner, T. Tropical Cyclone Winds from WindSat, AMSR2, and SMAP: Comparison with the HWRP Model. Remote Sens. 2021, 13, 2347. <https://doi.org/10.3390/rs13122347>*



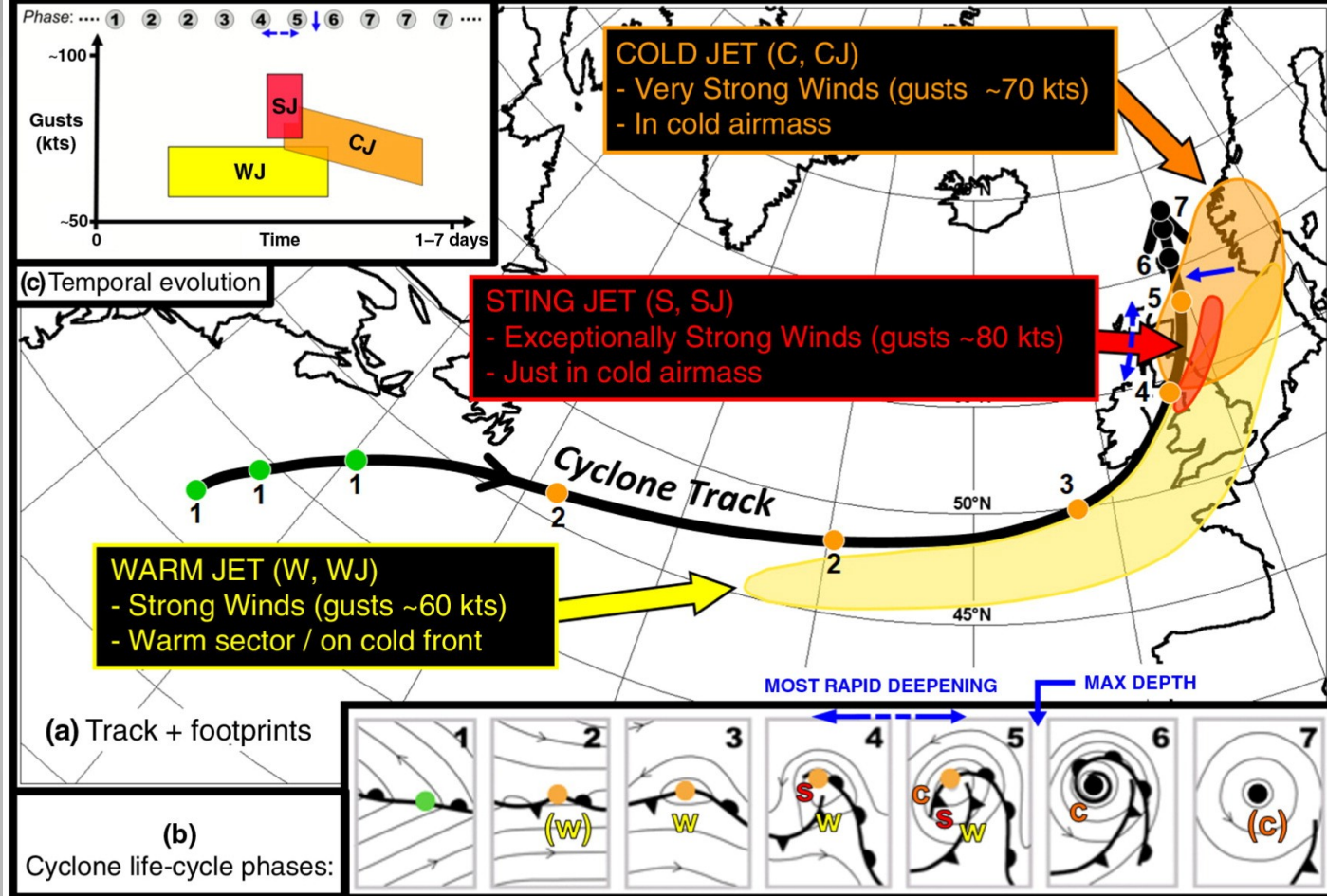
Скорость ветра у поверхности океана для урагана Ирма (5-я категория) 7 сентября 2017 года. Скорости ветра получены по данным PCA Sentinel-1 и радиометра со ступенчатым изменением частоты SFMR. Цветные кружки вдоль этой дорожки обозначают измерения SFMR

*Mouche, A., Chapron, B., Knaff, J., Zhao, Y., Zhang, B., & Combot, C. (2019). Copolarized and cross-polarized SAR measurements for high-resolution description of major hurricane wind structures: Application to Irma category 5 hurricane. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124, 3905–3922. <https://doi.org/10.1029/2019JC015056>*

## Мотивация

- **Внетропические циклоны (ВТЦ)** играют решающую роль в формировании погодных условий в средних и высоких широтах и приводят к существенным социально-экономическим последствиям, влияя на судоходство, морскую инфраструктуру и прибрежные регионы.
- За последние 15-20 лет возрос интерес к процессам, вызывающим экстремальный ветер в интенсивных ВТЦ (Mass and Dotson, 2010), которые развиваются по **концептуальной модели эволюции Шапиро-Кейзера** (Shapiro, Keyser, 1990). Эти циклоны, особенно «взрывные» (углубление более 1 бержера –  $\geq 24$  гПа / 24 ч на широте  $60^\circ$ ), составляют значительную часть наиболее разрушительных случаев зимнего циклогенеза в Северной Атлантике (Hart et al., 2017) и северной части Тихого океана (Zhang et al., 2017).

# Windstorm Conceptual Model



**Концептуальная модель ветра для ВТЦ Северной Атлантики (Newson, Neu, 2015) определяет три отличительные области в нижних слоях тропосферы:**

- **теплая (WJ) и холодная (CJ) конвейерные струи** в теплом и холодном секторах циклонов соответственно могут вызывать весьма разрушительные порывы приводного ветра;
- **наиболее опасная и разрушительная особенность взрывного циклогенеза – возникновение мезомасштабной (менее 100 км) области чрезвычайно сильных приводных ветров и их порывов, которую называют «жалящая струя» – Sting Jet (SJ).**

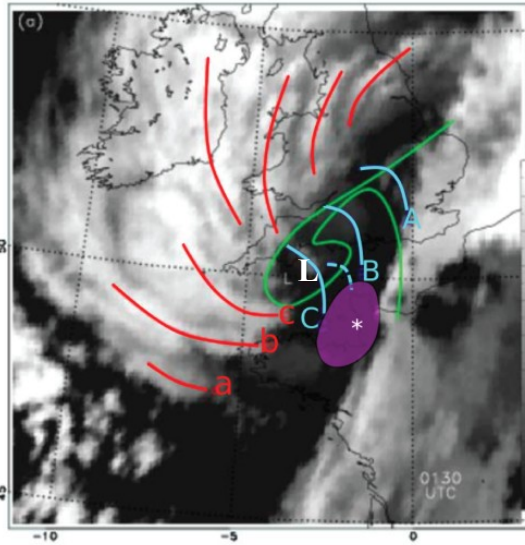
**SJ** возникают под сухой интрузией из “облачной головы” в область разрыва фронта вблизи центра быстро углубляющегося циклона, который развивается по модели Шапиро-Кейзера. Сухие интрузии опускаются из верхней тропосферы (иногда из нижней стратосферы), приводя к дестабилизации нижних слоев и усилению порывов приводного ветра (*Browning, 1997; Raveh-Rubin, 2017*).

Максимальное усиление ветра происходит в области, где нисходящий воздух выходит из “облачной головы” на ее кончике и попадает в “сухую щель – **dry slot (DS)**”. Этот максимум ветра в **DS**, по аналогии со скорпионом, называли «жалом на конце хвоста» из-за характерного «крючка» облачной головы – отогнутой передней части огибающего центр циклона фронта окклюзии, т.н. «**bent-back front**» (*Browning, 2004; Clark et al., 2005*) (см. следующий слайд).

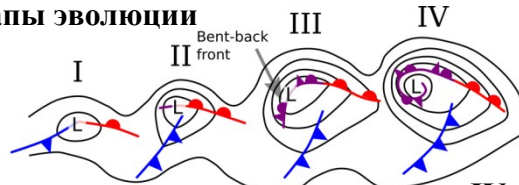
Таким образом, **SJ** является очень маленьким, недолговечным и крайне разрушительным явлением, сопровождающимся исключительно сильными порывами приводного ветра и возникающим на конце «отогнутой» окклюзии, когда воздух быстро опускается из “облачной головы” в область разрыва фронта.

*Множество публикаций посвящено исследованиям SJ в Северной Атлантике. Для Тихого океана такие исследования не проводились. В настоящей работе мы продолжаем изучение SJ в северной части Тихого океана (Пичугин и др., 2022; Pichugin et al., 2023) с акцентом на использование измерений со спутника SMAP и реанализов для диагностики их эволюции.*

# Концептуальная модель ветра в ВТЦ Северной Атлантики



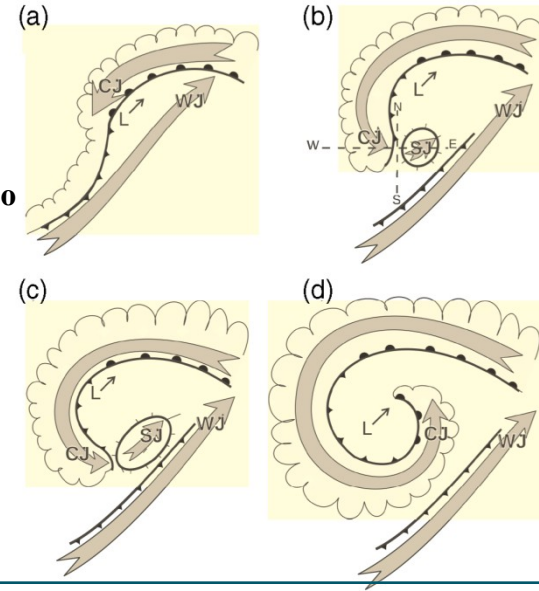
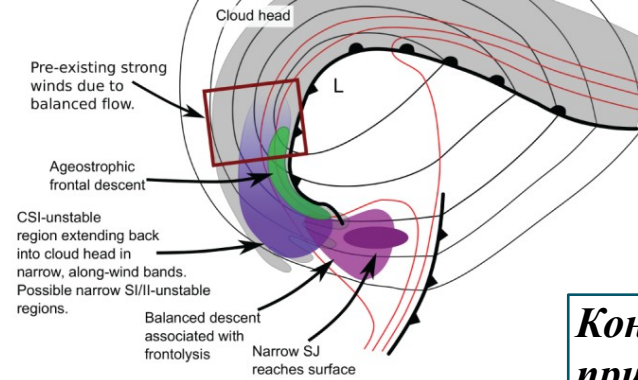
Этапы эволюции



II – разрыв фронта

III – отогнутый фронт

IV – теплое ядро (секклюзия)



**ИК-изображения со спутника METEOSAT (Browning and Field, 2004 in Clark, et al., 2005; Clark, Gray, 2018; ): красные линии - оси полос облачной головы; синие A, B и C – оси линий конвергенции пограничного слоя; зеленые – приземный фронтальный анализ (секклюзия). L – центр циклона, белая звездочка – центр области  $W_{max}$ ; фиолетовый овал – область сильных порывов ветра.**

**Концептуальная модель строения циклона III-IV на II-III стадиях развития. Черные контуры – среднее давление на уровне моря, красные – потенциальную температуру смоченного термометра ( $\theta_w$ ) в нижнем слое тропосферы, например, на уровне 850 гПа. Фиолетовый овал – приземная область SJ.**

**Концептуальная модель приповерхностных потоков в ВТЦ (L – центр циклона):**  
 а) стадия волны;  
 Струи нижнего уровня:  
 WJ – теплая конвейерная струя,  
 CJ – холодная конвейерная струя;  
 (b) фаза разрыва фронта, SJ впервые появляется у поверхности;  
 (c) закручивание облачной головы и расширение области SJ;  
 (d) SJ исчезает, доминирующий приводный ветер обусловлен CJ.

## **Цель исследования:**

- 1) Исследовать экстремальные ветровые условия в интенсивных ВТЦ над северной частью Тихого океана (СТО) на основе измерений радиометра L-диапазона спутника SMAP;
- 2) проанализировать возможности атмосферного реанализа пятого поколения (ERA5) и оперативного анализа версии 2 (CFSv2) для объективного воспроизведения распределения высоких скоростей ветра в наиболее обеспеченных спутниковыми наблюдениями ураганных ВТЦ с акцентом на «взрывной» циклогенез.

## **Задачи**

- ✓ идентификация ВТЦ с ураганным ветром в СТО за 8 холодных сезонов – (ноябрь-март) 2015-2023 гг.
- ✓ анализ эволюции ВТЦ, в том числе «взрывных», с акцентом на наиболее опасную и разрушительную их особенность – мезомасштабный ветровой процесс SJ.
- ✓ сравнительный анализ распределения максимальной скорости ветра в ураганных циклонах по данным SMAP, ERA5 и CFSv2.

## Методы и данные

### *Спутниковые измерения:*

- Анализ распределения скорости ветра в ВТЦ – микроволновый радиометр L-диапазона на частоте  $\nu = 1,41$  ГГц на борту спутника **The Soil Moisture Active Passive (SMAP)**. Запущен в январе 2015 года на солнечно-синхронную орбиту. Пространственное разрешение радиометра около **40 км**, ширина обзора **1000 км**.
- Ежедневные глобальные поля скорости приводного ветра на сетке  **$0,25^\circ \times 0,25^\circ$** , полученные из яркостных температур ( **$T_b$** ) (Meissner, 2017), взяты из архива **Remote Sensing System**. За счет крайне слабого рассеяния и ослабления электромагнитных волн отдельными гидрометеорами, радиометр регистрирует скорость ветра у поверхности моря до **70 м/с**, в том числе в зонах обильных осадков (Meissner, 2021).
- Использовалась версия **SMAP Winds V1.0**, учитывающая слабую зависимость  **$T_b$**  от **ТПО**, которая становится заметной в средних широтах при ее значительных колебаниях .
- Структура облачности взрывных циклонов идентифицировалась по изображениям в видимом или ИК (**10-12 мкм**) диапазонах длин волн, полученных многоканальным радиометром **АИ (Advanced Himawari Imager)** с пространственным разрешением 2 км со спутника **Himawari -8**.
- Для анализа сухой интрузии в центральную часть циклона использовался ИК-канал радиометра **АИ на частоте 6,9 мкм**, чувствительный к водяному пару.



# Методы и данные

## Реанализы

Почасовые поля зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления на уровне моря (SLP) взяты из реанализа **ERA5** Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) и из оперативного анализа **CFSv2** Национального центра прогнозирования состояния окружающей среды США (NCEP).

Пространственное разрешение обоих наборов данных сопоставимо, но поля давления, полученные из **CFSv2**, имеют более грубую сетку **0,5°×0,5°**. Кроме того, данные **ERA5** разрешают нижнюю часть тропосферы на **13 изобарических уровнях от поверхности моря до 500 гПа**, обеспечивая более высокое вертикальное разрешение (**200–350 м**) и более детальное представление о мезомасштабной изменчивости скорости ветра по сравнению с **CFSv2**.

## Основные характеристики наборов данных реанализов

Characteristics	ERA-5 (ECMWF)	CFSv2 (NCEP)
Period	From 1979 to present time	From 2011 to present time
Temporary resolution	Hourly	Hourly
Model resolution	T639, 31 km	27 km
Horizontal resolution	0.25°×0.25°	0.2°×0.2°, 0.5×0.5°
Vertical resolution	137 levels (0.01 hPa)	37 levels (1 hPa)
Data assimilation	4D-Var	3D-Var

## Методы и данные

### *Идентификация ВТЦ с ураганным ветром и показатели их интенсивности*

ВТЦ идентифицировались как шторм с ураганным ветром (**HF**) при следующих условиях:

- максимальная скорость ветра по данным SMAP  $W_{\max} \geq 33$  м/с (по шкале Бофорта) в радиусе 800 км от центра ВТЦ, что значительно превышает радиусы ветра ураганной силы, определенные для Северной Атлантики (Bell,2004);
- центры ВТЦ регистрировались над СТО ( район 30-65°N, 130°E – 120°W) по ежечасным полям SLP из ERA5;
- выбранная зона **HF** находилась в пределах полосы обзора **SMAP** и содержала не менее четырех точек сетки размером 0,25°×0,25°, что позволяло однозначно определять  $W_{\max}$  в пределах погодной системы;
- распределение высоких скоростей ветра анализировалось только для штормов, в которых область **HF** полностью покрывалась измерениями SMAP.

*Ураганные ветры были связаны только с ВТЦ. Исключением стал район у юго-восточного побережья Камчатки в марте 2017 года, где SMAP ошибочно детектировал экстремальный ветер вблизи дрейфующих льдов из-за их неправильного маскирования.*

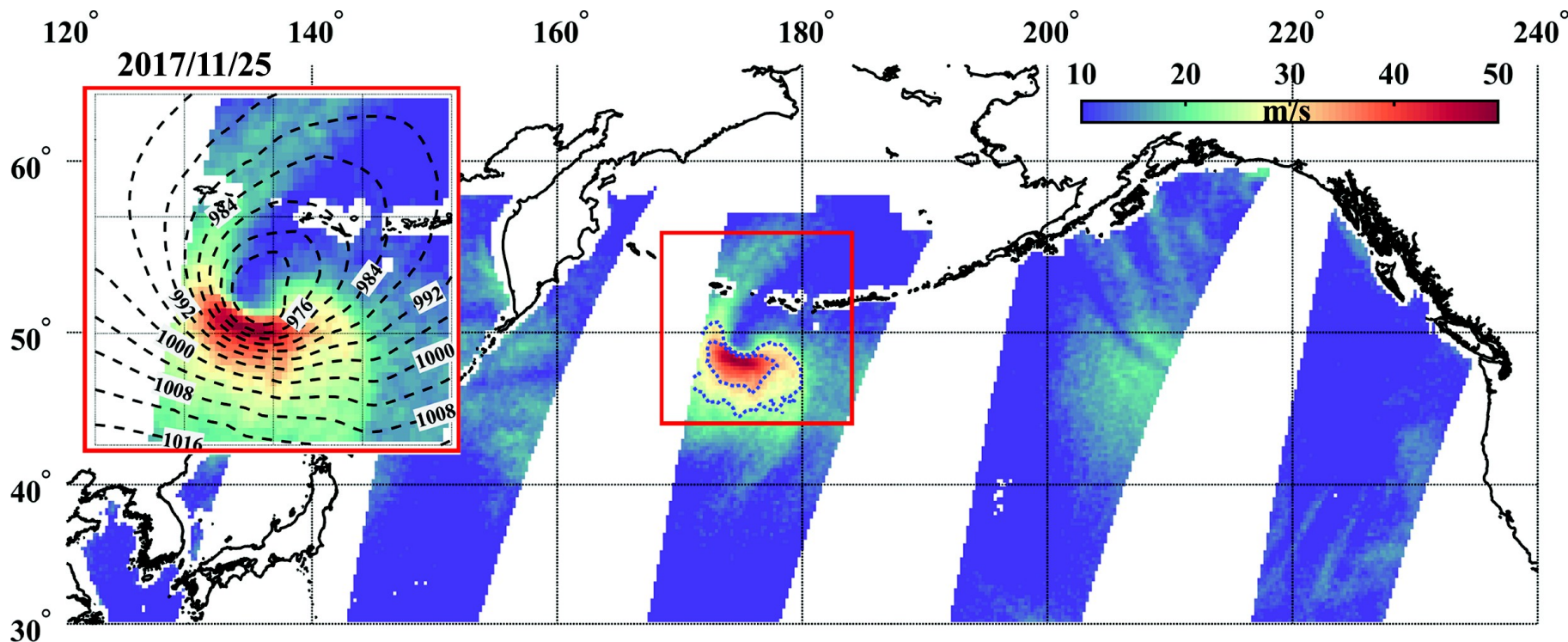
**Набор данных идентифицированных штормов был дополнен значениями SLP в их центрах и географическими координатами их положения из ERA5 за период  $\pm 24$  часа относительно времени измерений SMAP. Это позволило рассмотреть эволюцию ВТЦ и выявить события взрывного циклогенеза, при которых, согласно модифицированному критерию (Zhang, 2017), выполняется следующее условие:**

$$\left( \frac{P_c(t_i - 6) - P_c(t_i + 6)}{12} \right) \times \left( \frac{\sin 45^\circ}{\sin \left( \frac{\varphi_c(t_i - 6) + \varphi_c(t_i + 6)}{2} \right)} \right) \geq 1,$$

**где  $t_i$  – время в часах;  $P_c$  и  $\varphi_c$  – SLP в центре бури и широта ее положения в моменты времени  $t_i - 6$  и  $t_i + 6$  соответственно.**

**Фактически формула оценивает скорость углубления циклона (гПа/ч) за 12 часов с учетом среднего положения центра относительно  $45^\circ$ с.ш.**

## Пример идентификации события с ураганным ветром над СЗТО 25 ноября 2017 г. в поле скорости приводного ветра по данным SMAP.



Синяя прерывистая линия очерчивает изотахи 25 м/с и 33 м/с.

На вставке близкое по времени к измерениям SMAP поле атмосферного давления на уровне моря (SLP) из набора данных ERA5 показывает, что область экстремального ветра расположена в юго-западном секторе циклона.

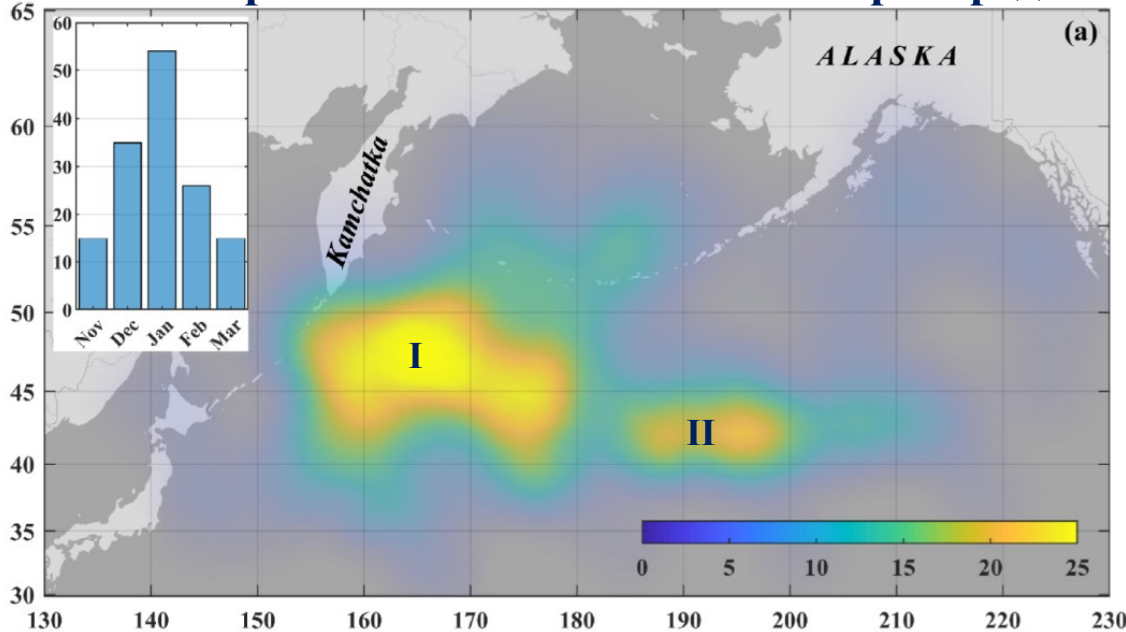
$W_{\max} = 50$  м/с по измерениям SMAP.

## Методы и данные

### Дополнительные материалы

- Для сравнительного анализа выявленной ураганной активности использовались данные о климатологии ВТЦ с ураганными ветрами Центра прогнозирования океана NOAA (ОРС) ([https://ocean.weather.gov/climo/storm\\_track.php](https://ocean.weather.gov/climo/storm_track.php)).
- Набор данных ОРС содержит ВТЦ с ураганными ветрами в Северной Атлантике и Тихом океане с 2005 года.
- Как набор данных ОРС, так и идентифицированные в работе ураганы, не включают трансформированные тропические циклоны.
- Для анализа синоптических ситуаций и отслеживания ВТЦ использовались карты приземного анализа и барической топографии Японского метеорологического агентства (ЈМА).
- **Период исследования ограничен временем запуска спутника и состоит из восьми холодных сезонов (ноябрь-март) 2015 – 2023 гг.**

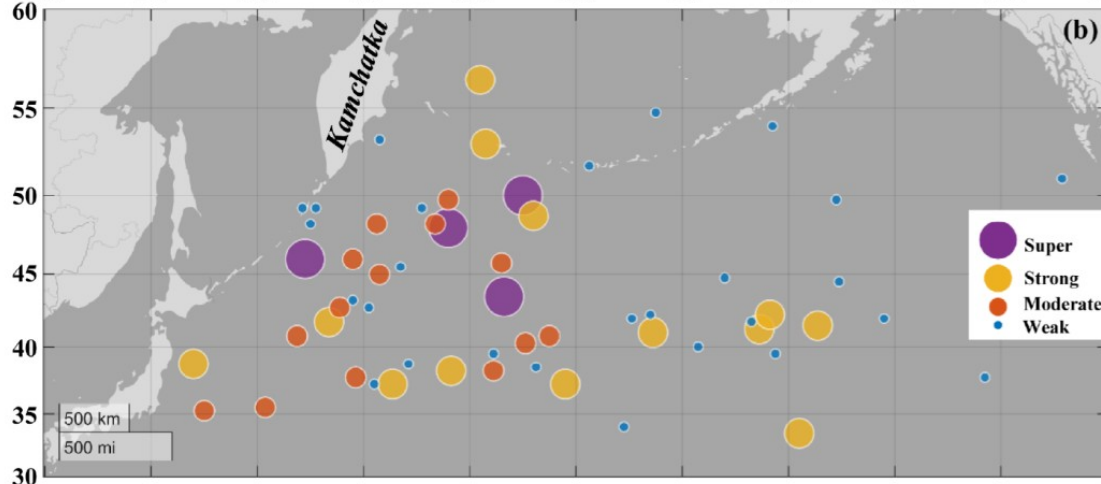
**I** очаг циклогенеза (~ 45% ураганных событий) – к ЮВ от Камчатки, в основном районе циклонической активности в СЗТО. **II** очаг (20% событий) имеет сезонный сдвиг на восток, предположительно, в связи с усилением циклонической потенциальной завихренности в нижней тропосфере в осенне-зимний период под влиянием региональных особенностей распределения ТПО (*Pickart et al., 2009*).



**Карта повторяемости ВТЦ с ураганным ветром ( $\geq 33$  м/с).**

**I и II – очаги циклогенеза.**

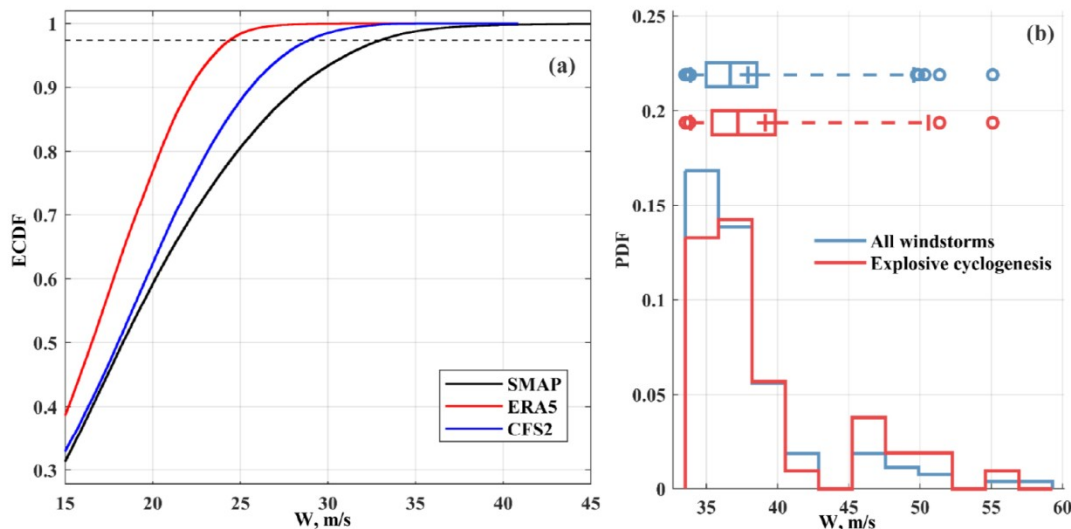
**Цветовая шкала – в событиях на единицу площади  $10^6$  км<sup>2</sup> (соответствует сферическому сегменту  $5^\circ$ ). На вставке показано сезонное распределение ураганов.**



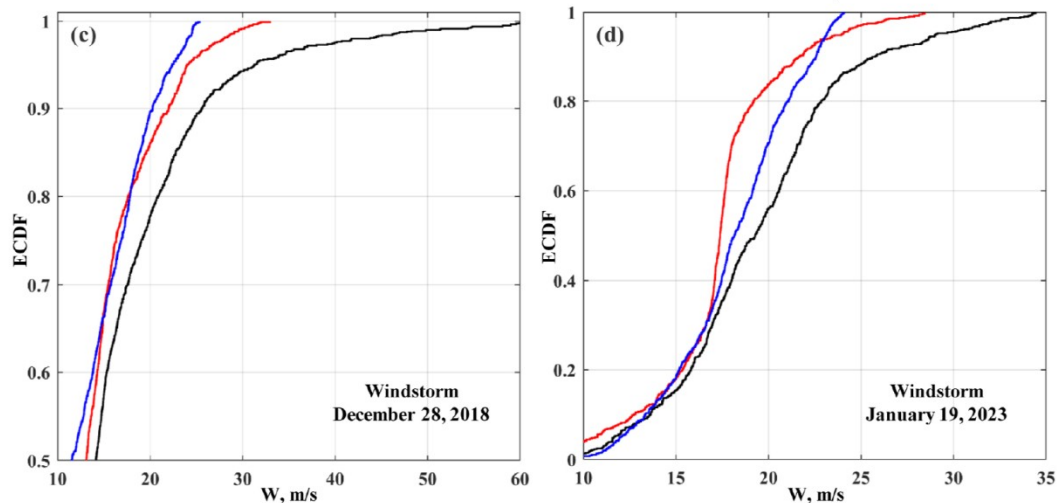
**Карта активности взрывного циклогенеза с различной интенсивностью по классификации (*Zhang et al., 2017*).**

- Слабая** (синий)
- умеренная** (красный)
- сильная** (оранжевый)
- супер-сильная** (пурпурный)

# Распределение высоких скоростей приводного ветра в ВТЦ



Функция плотности вероятности  $W_{\max}$  и прямоугольные диаграммы (круги обозначают события с более 95-го / менее 5-го перцентиля  $W_{\max}$ ) для невзрывного (синяя линия) и взрывного (красная линия) циклогенеза (b).



Сравнение кумулятивных функций (CDF): распределения  $W$  между наборами данных обо всех идентифицированных ураганных событиях (a), 28 декабря, 2018 г. (c) и 19 января 2023 г. (d).

SMAP (черные линии)  
ERA5 (красные линии)  
CFSv2 (синие линии)

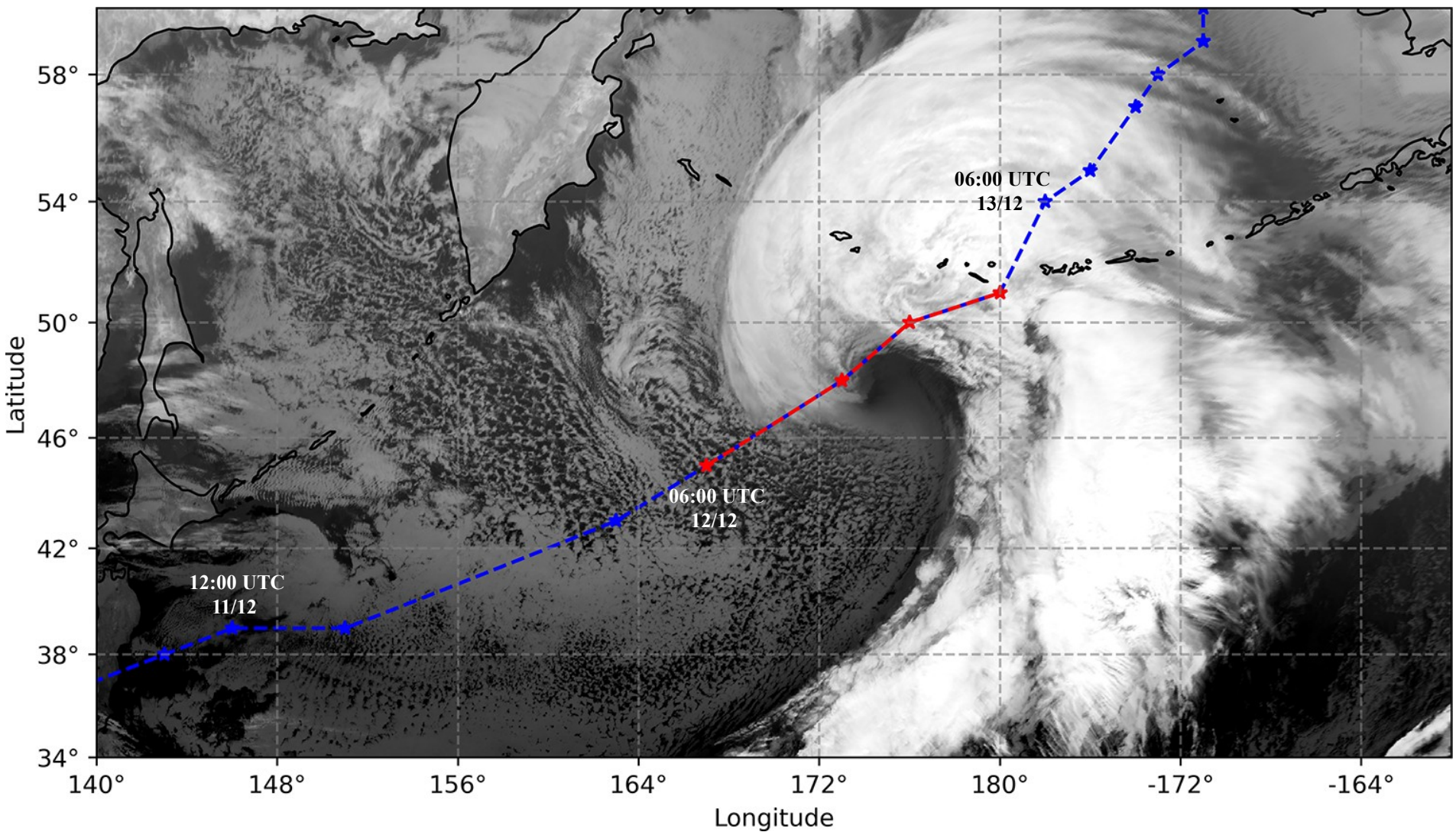
Черная пунктирная линия на (a) относится к CDF, где  $W = 33$  м/с по измерениям SMAP.

**Характеристики наиболее интенсивных ураганов с экстремальными ветрами по SMAP ( $\geq 43$  м/с). Минимальное SLP в центре урагана получено из набора данных ERA5. Символ \* обозначает невзрывные циклоны.**

Date	Time (UTC)	Pc (hPa)	Lon	Lat	Wmax (m/s)	Intensity (hPa/h)
2015/12/12	19:10	936	176.0	48.8	46	2.14
2016/01/14	04:36	949	191.8	40.0	50	1.22
2017/01/09	20:27	962	153.0	38.5	49	0.76*
2017/11/25	18:45	970	175.0	50.0	50	2.32
2018/01/06	20:01	968	162.8	37.3	45	2.07
2018/12/28	19:11	957	173.3	43.5	60	2.34
2019/03/11	07:51	962	144.0	38.8	50	2.24
2019/12/27	20:01	957	159.3	37.8	47	1.33
2020/12/29	18:21	971	179.0	37.3	55	2.01
2020/12/31	06:03	928	168.0	48.0	47	2.61
2021/01/08	04:23	965	197.3	41.3	51	2.04
2021/01/20	06:50	974	164.3	43.3	47	0.70*
2022/03/12	05:10	967	187.2	41.0	46	1.86
2022/11/29	05:23	966	176.2	38.5	43	1.02

**Взрывной циклогенез (кроме двух случаев в январе 2017 и 2021 гг.)**

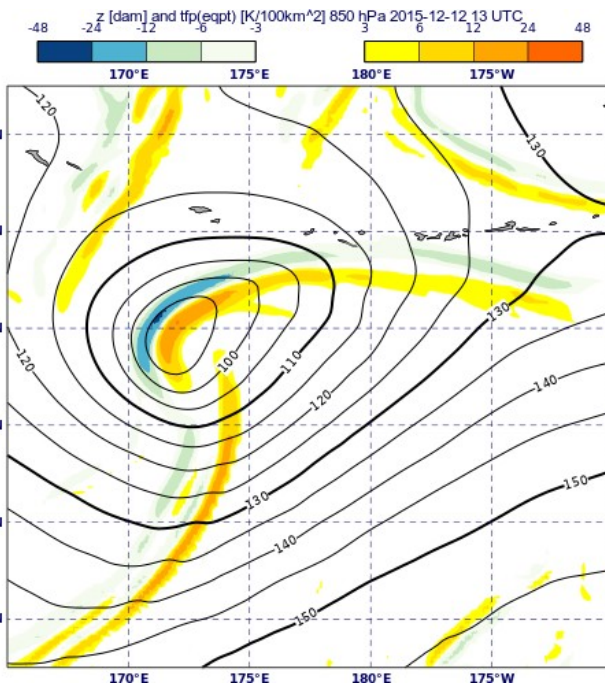




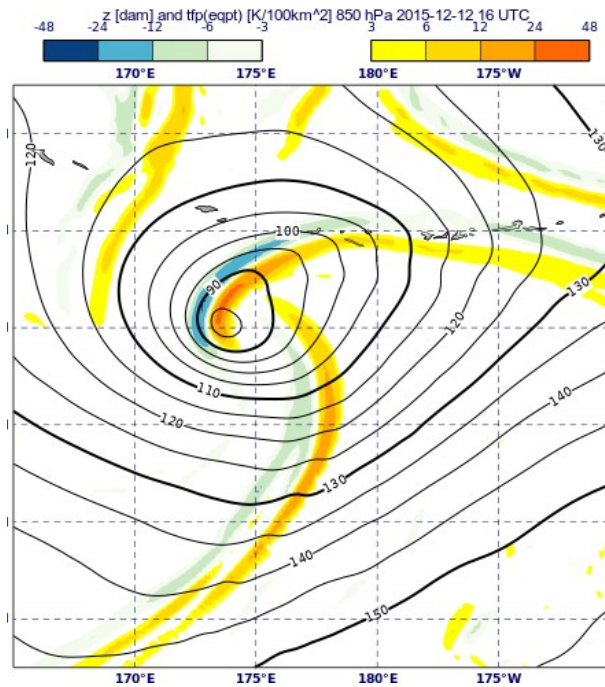
**Красная линия** на траектории показывает период взрывного развития.

**ИК-изображение, полученное радиометром АНІ (спутник Himawari-8) в 16:10 UTC 12 декабря и траектория циклона от 12:00 UTC 9 декабря 2015 г. по 06:00 UTC 17 декабря 2015 г. по данным карт приземного анализа JMA.**

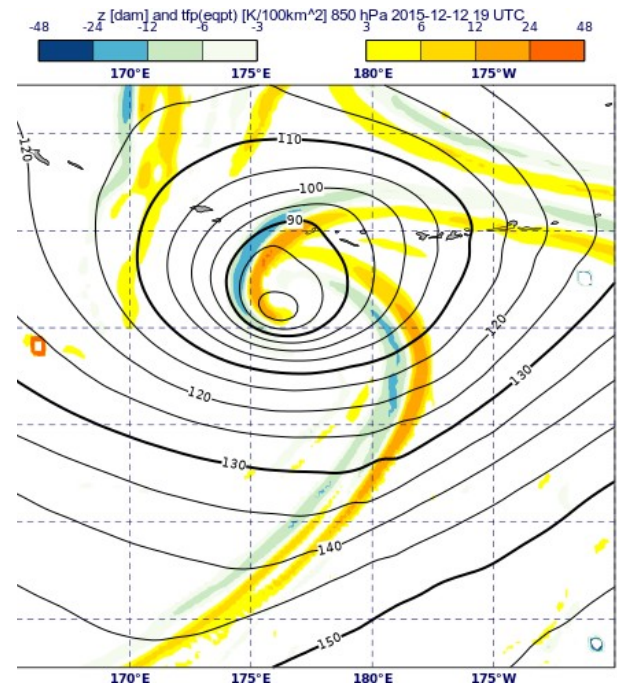
# Фронтальный анализ



13:00 UTC, 12 Dec 2015



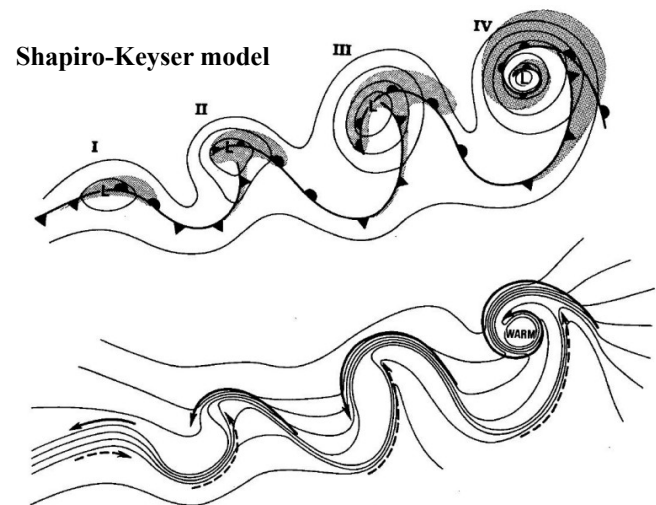
16:00 UTC, 12 Dec 2015



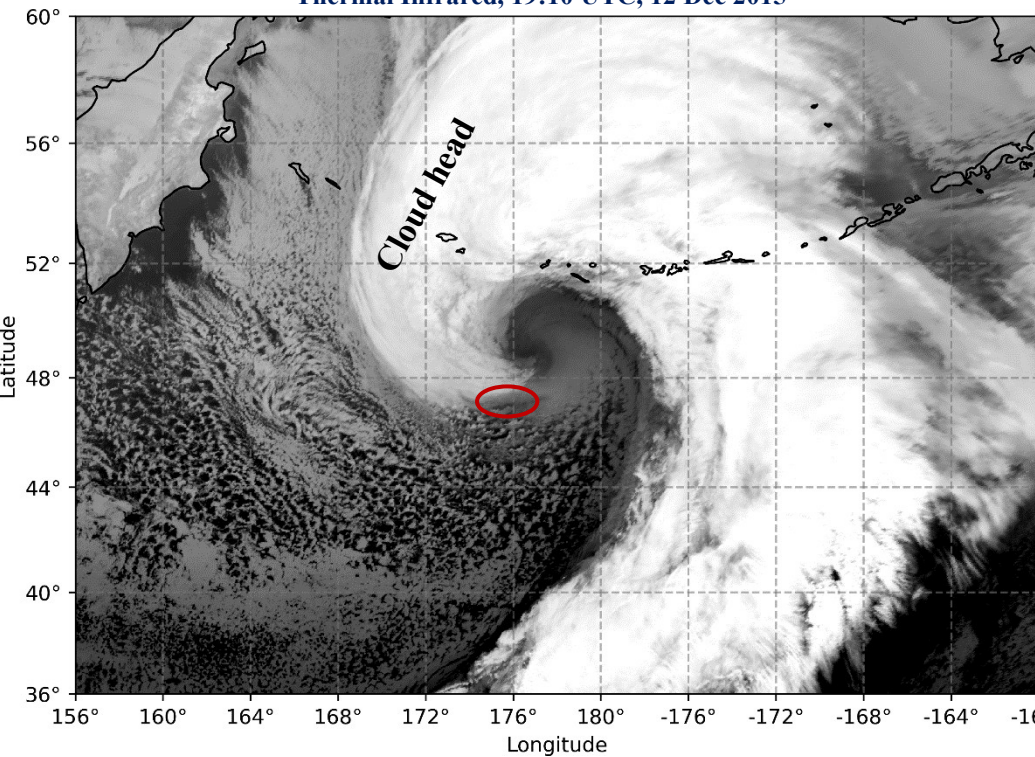
19:00 UTC, 12 Dec 2015

$$TFP = \nabla_p |\nabla_p \theta| \cdot \vec{n}, \quad \vec{n} = \nabla_p \theta / |\nabla_p \theta|$$

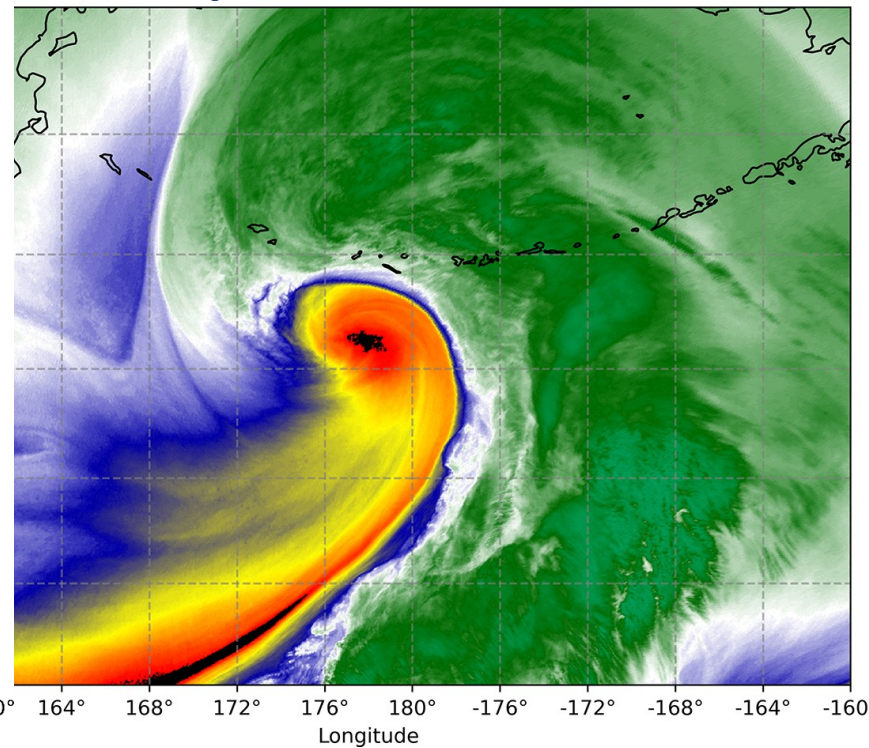
- **TFP** – thermal front parameter
- $\theta$  – потенциальная температура по смоченному термометру на 850 гПа
- Черные линии – изогипсы



Thermal Infrared, 19:10 UTC, 12 Dec 2015

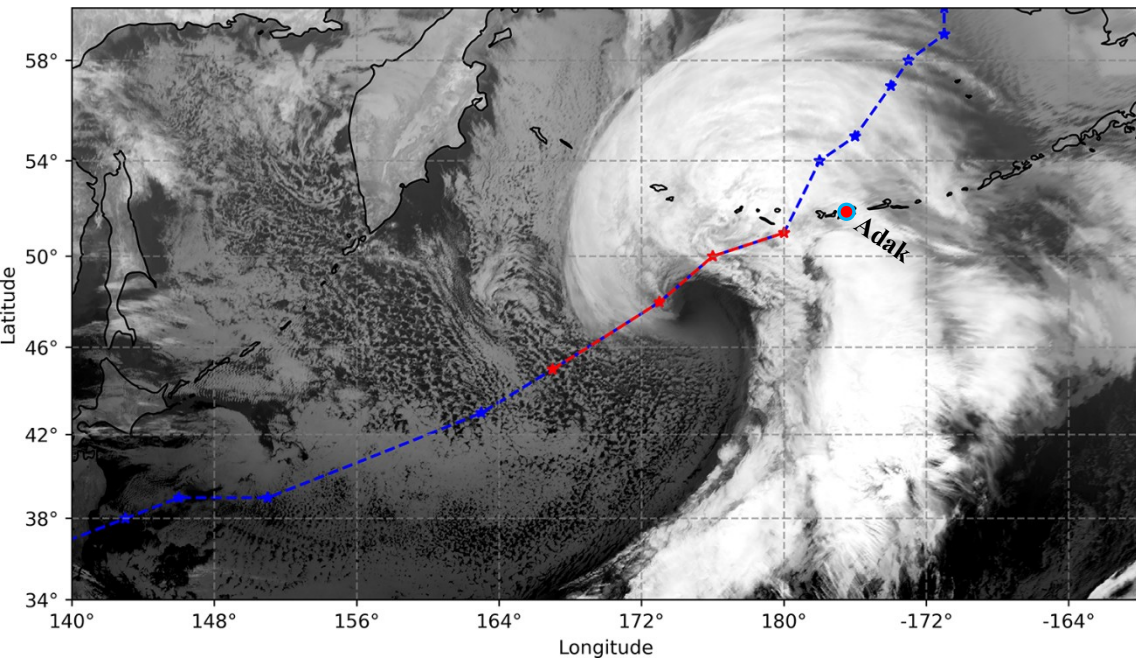


Vapour Infrared, 19:10 UTC, 12 Dec 2015

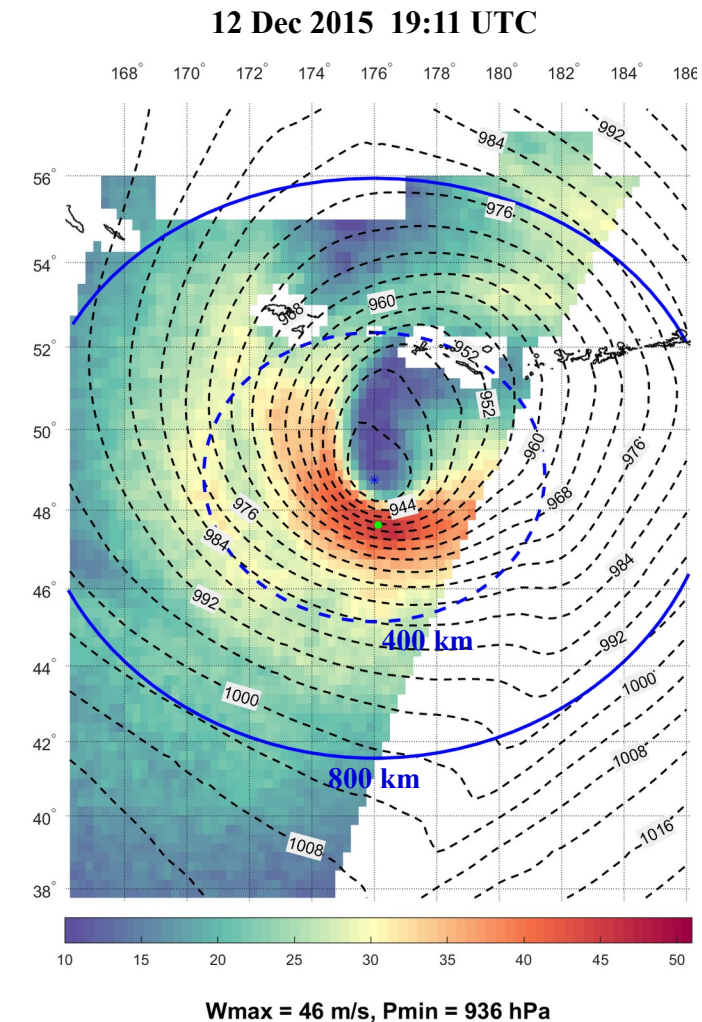


**ИК-изображения в тепловом спектре и линии поглощения водяным паром, полученные радиометром АНІ (спутник Himawari-8) в 19:10 UTC 12 декабря 2015 г.**

**Красный эллипс – область экстремального ветра (> 43 м/с)**

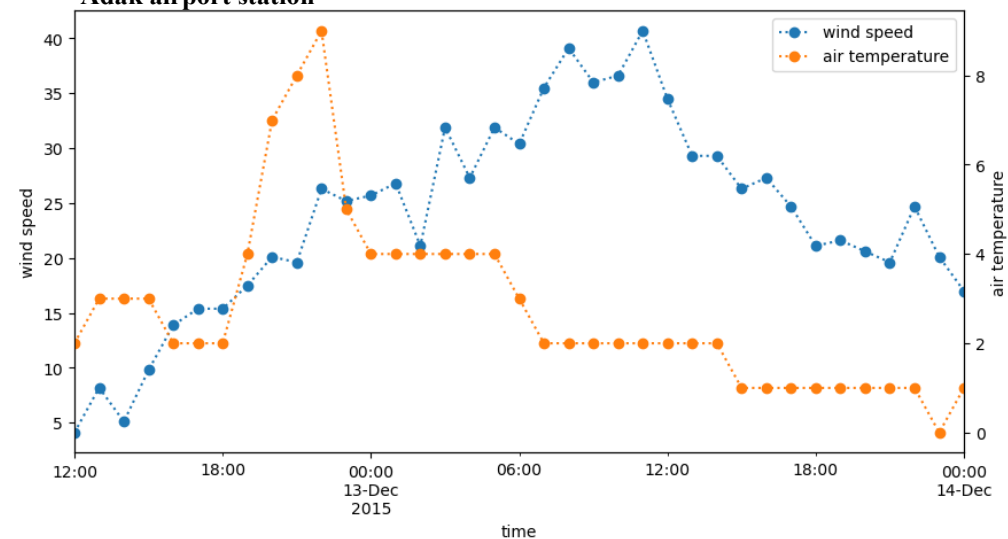


**ИК-изображение, 16:10 UTC, 12 декабря**

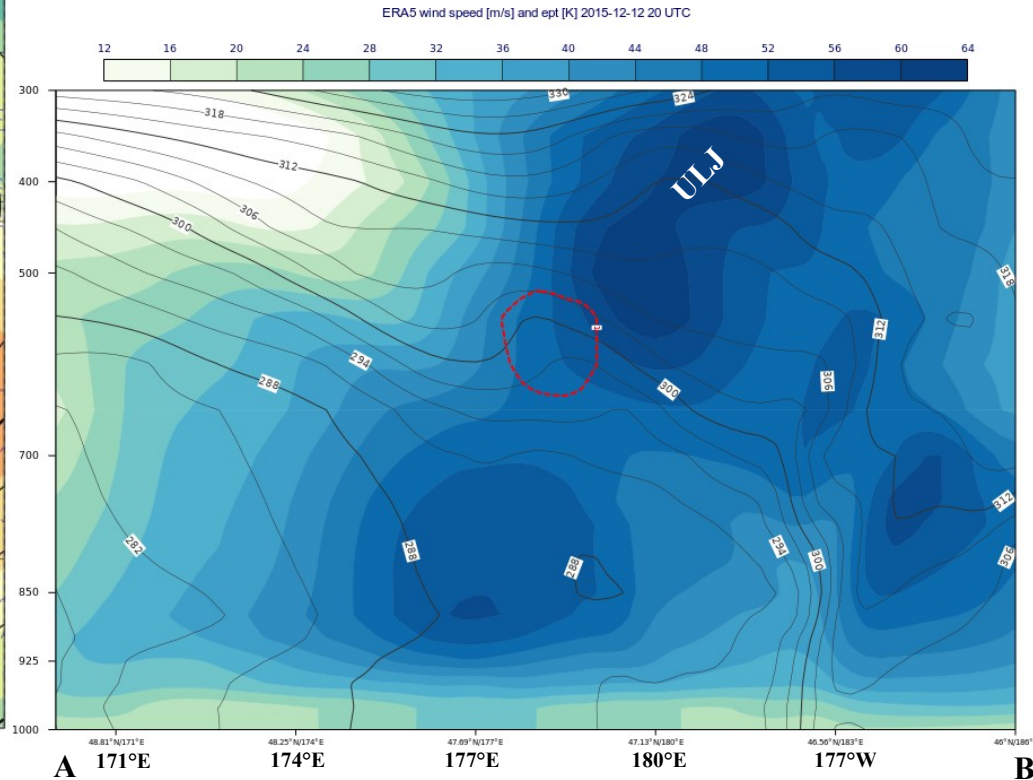
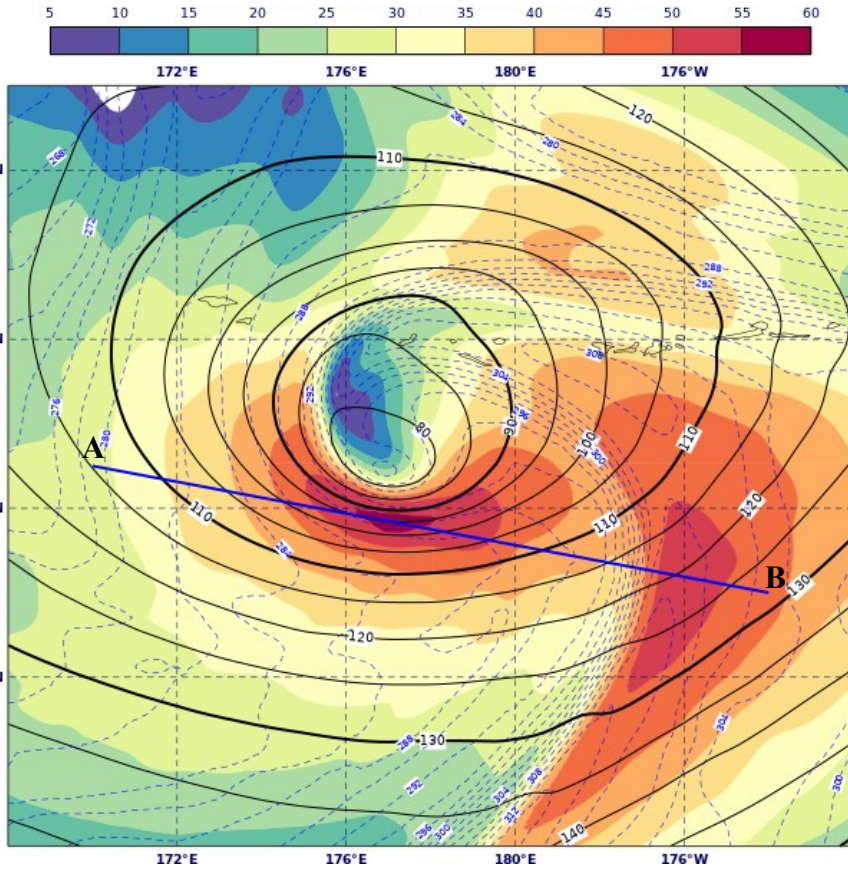


**Скорость ветра у морской поверхности по данным SMAP в 19:11 UTC, 12 Dec 2015**

**Adak airport station**



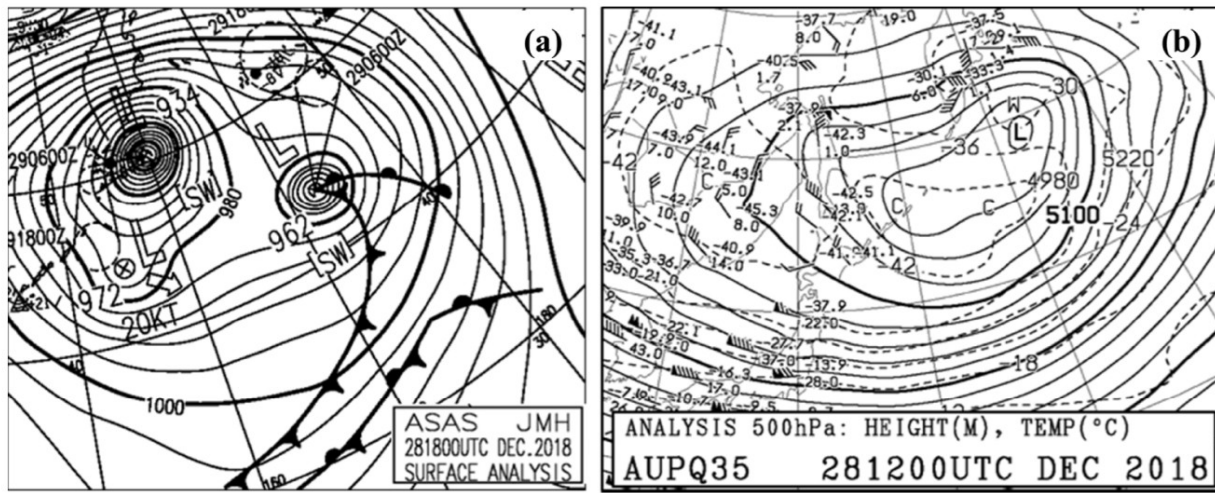
## Диагностика «Sting Jet»



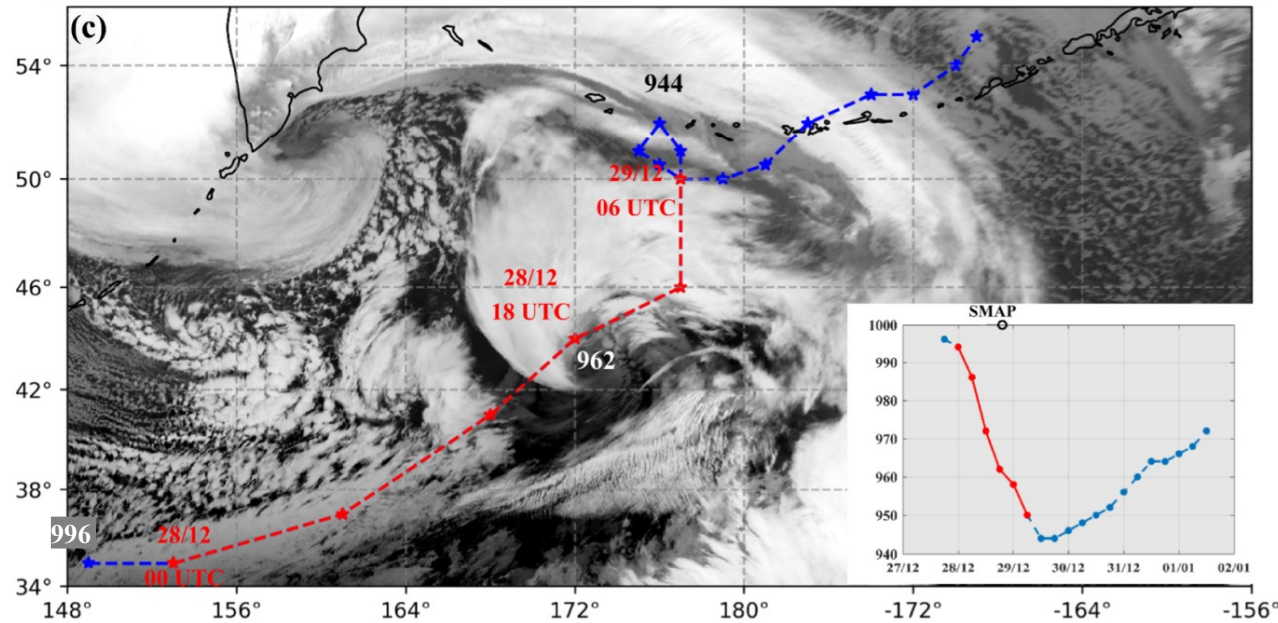
Поля **горизонтальной скорости** ветра на 850 гПа (цветная шкала в м/с) и выбранные контуры **геопотенциальной высоты** (черные сплошные линии) и **эквивалентной потенциальной температуры** (синие пунктирные линии), взятые из реанализа ERA5

Вертикальный разрез **горизонтальной** (цветовая шкала в м/с) и **вертикальной** (пунктирная линия – 1 Па/с) скорости ветра и **эквивалентной потенциальной температуры** (черные линии) вдоль линии **AB**

**ULJ** - Upper-level jet (струйное течение)



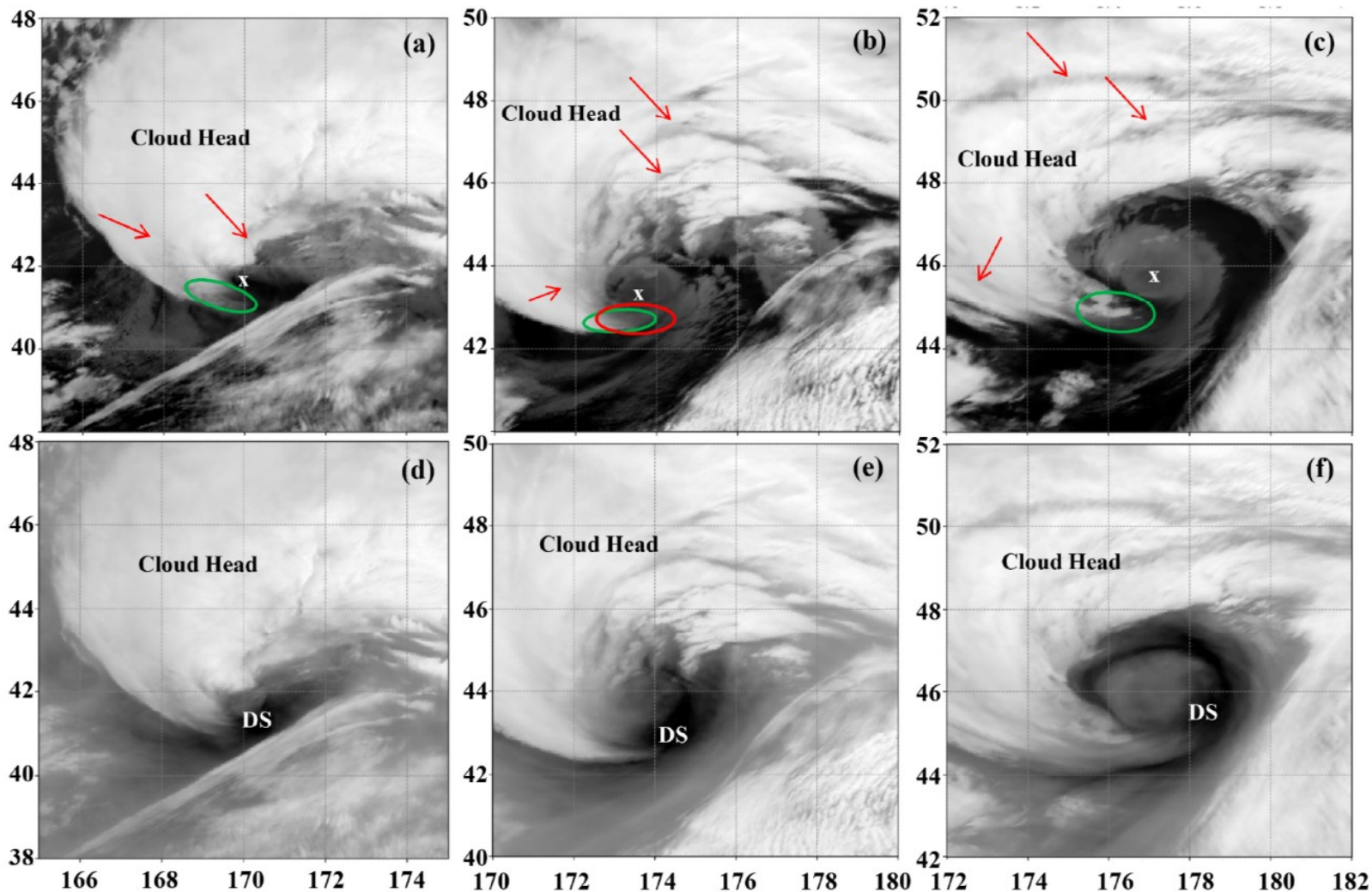
**Карты ЖМА: приземного анализа в 18 UTC (a) и АТ500 в 12 UTC (b) 28 декабря 2018 г.**



**ИК-изображение, полученное радиометром АНІ (спутник Himawari-8) в 19:00 UTC 28 декабря и траектория циклона от 18:00 UTC 27 декабря 2018 г. по 12:00 UTC 1 января 2019 г. по данным карт приземного анализа ЖМА (c).**

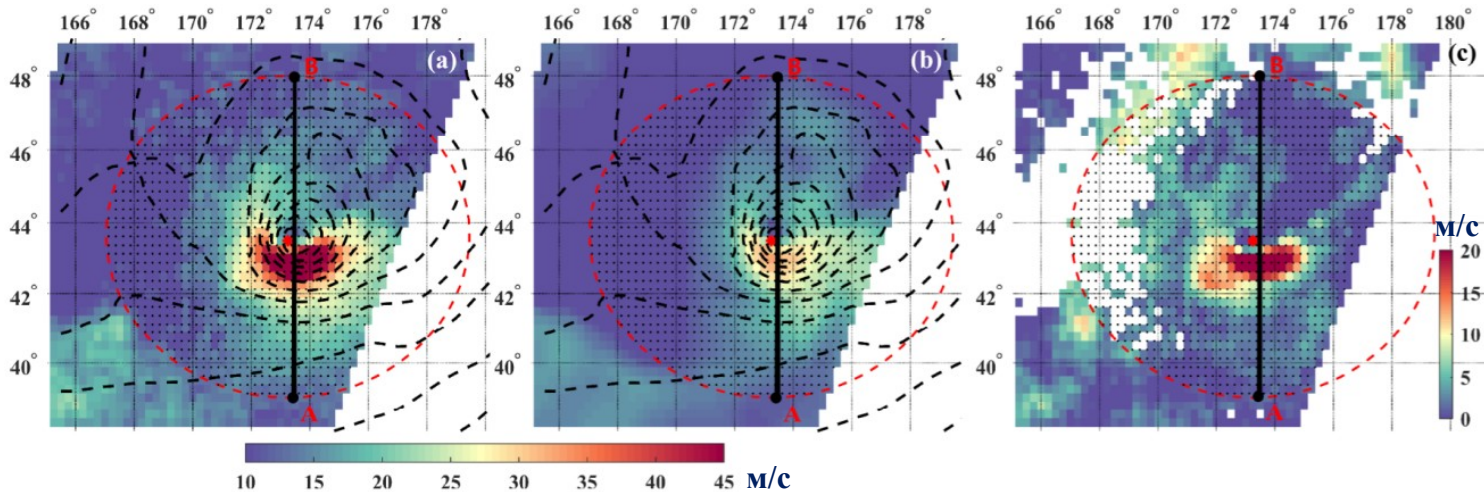
**На врезке – график изменения давления в центре циклона.**

**Красные линии на траектории и графике показывают период взрывного развития.**



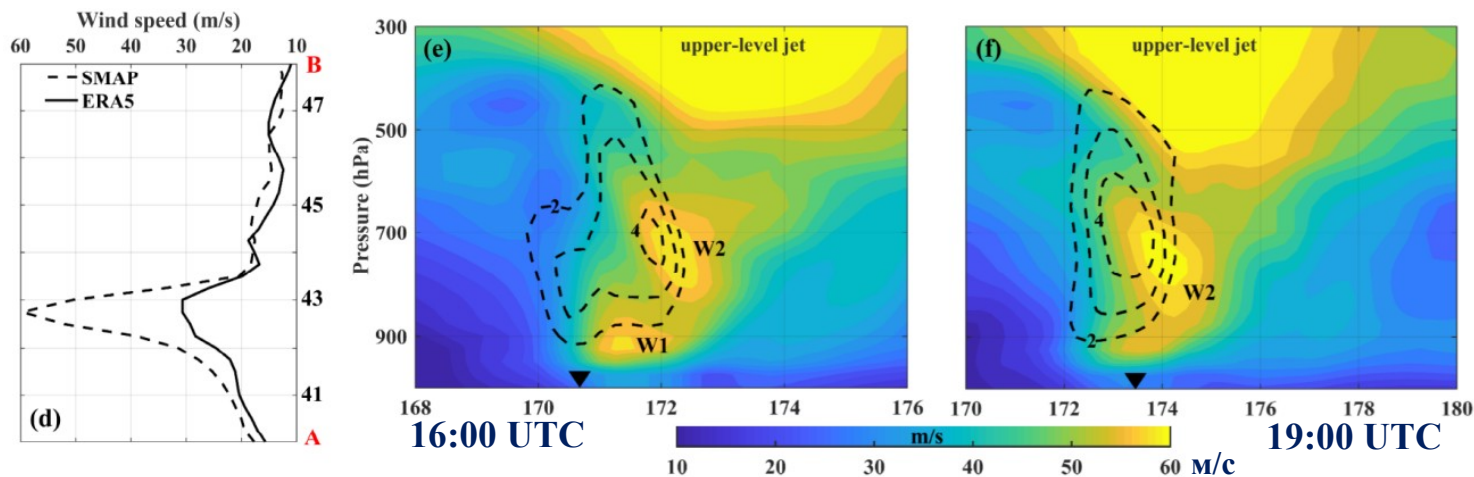
**ИК - изображения на длинах волн 10,8 мкм (а-с) и 6,9 мкм (d-f), полученные радиометром АНІ со спутника Himawari-8 в 15:10 (а, d), 19:10 (b, e) и 23: 10 (с, f) UTC 28 декабря 2018 г. Знак «x» обозначает центр циклона. Красные стрелки указывают на темные промежутки между полосами облаков. Красный эллипс на (b) очерчивает зону экстремальных ветров. Зеленые эллипсы на (а-с) обозначают области рассеяния на окончании «облачной головы» плотных облаков («облачные нити»). «DS» на (d-f) показывает положение «сухой щели».**

- Комбинированные поля  $W$  по данным SMAP в 19:10 UTC и SLP из ERA5 в 19:00 UTC 28 декабря 2018 г. (a);
- поля скорости ветра из данных ERA5 (b) и разности скоростей ветра между данными SMAP и ERA5 (c) в пределах области с радиусом 500 км (выделена красным пунктиром);



Линия АВ  
проходит по  
меридиану  
73.75°В.д.

W1 и W2 на (e, f)  
– локальные  
районы  
экстремального  
ветра.



Треугольник на  
(e, f) указывает  
долготу  
положения  
центра циклона.

- график изменчивости скорости ветра вдоль линии АВ по данным ERA5 (сплошная линия) и SMAP (пунктирная линия) (d);
- зональные сечения горизонтальной (в м/с) и вертикальной (в Па/с) составляющих скорости ветра из ERA5, построенные по локальным максимумам скорости ветра на высоте 850 гПа (e-f).



## Выводы

- ✓ В работе представлен комплексный анализ событий экстремального ветра над СТО за 8 холодных сезонов (ноябрь-март 2015 - 2023 гг.), основанный на измерениях радиометра L-диапазона (спутник SMAP). Особое внимание уделено «взрывному» циклогенезу, а также наиболее опасной и разрушительной его особенности – мезомасштабному ветровому процессу “SJ”.
- ✓ Из 145 событий с ураганным ветром, попавших в полосу обзора SMAP, около 45% наблюдалось к юго-востоку от Камчатки, в типичном районе зимнего взрывного циклогенеза, обусловленного усилением бароклинности в результате холодных вторжений из Восточной Сибири. Вторая область циклогенеза ( $\approx 20\%$  событий) расположена южнее Аляски и вытянута зонально вдоль субполярного океанического фронта между  $40^\circ$  и  $47^\circ$ с.ш. Сезонный сдвиг на восток, вероятно, связан с усилением потенциальной циклонической завихренности в нижней тропосфере в осенне-зимний период под влиянием региональных особенностей распределения ТПО (*Pickart et al., 2009*).
- ✓ В распределении  $W_{\max}$  в ураганных (в том числе взрывных) ВТЦ по данным SMAP выявлены две группы. В первую входит большинство случаев с  $W_{\max} \sim 35\text{-}37$  м/с. Во вторую – лишь 14 случаев наиболее интенсивных циклонов с  $W_{\max} \geq 43$  м/с. Таким образом, обнаружен отдельный класс ВТЦ с особым механизмом формирования экстремальных ветров. Предположительно, эти циклоны развиваются по модели Шапиро-Кейзера с образованием SJ.

## Выводы

- ✓ Сравнение распределения максимальной скорости ветра, полученной из наборов данных ERA5 и CFSv2 и из измерений SMAP, показало значительную недооценку высоких скоростей обоими реанализами. Оперативный анализ CFSv2 идентифицировал ураганные ветры в 40% случаев. Реанализ ERA5 обнаружил только три циклона с  $W_{\max} < 38$  м/с, но воспроизвел нисходящий поток воздуха из «облачной головы», предположительно, связанный с процессом SJ.
- ✓ Из всех рассмотренных случаев максимальная зарегистрированная скорость ветра в циклоне по измерениям SMAP составила ~ 60 м/с. Детальный анализ его эволюции продемонстрировал ключевые особенности, характерные для модели Шапиро-Кейзера: взрывное развитие, начало окклюдирования со смыканием холодного и теплого фронтов на периферии, а не в центре циклона, с формированием теплого ядра в нижней тропосфере (секклюзия), появление мезомасштабной области  $W_{\max}$  к югу от центра, ориентированной вдоль траектории циклона и сдвинутой в сторону области дивергенции изобар к востоку от зоны больших барических градиентов, что характерно для SJ.

**Исследование демонстрирует потенциал измерений SMAP при изучении зимних экстремальных ветров над СТО. Результаты подчеркивают недооценку высоких скоростей ветра реанализами ERA5 и CFSv2 по сравнению со SMAP и существование исключительно интенсивных ВТЦ, в которых сверхвысокие скорости ветра, по всей вероятности, связаны с формированием SJ. Представленные в работе аргументы подтверждают этот важный вывод, однако не являются исчерпывающими и требуют более детальных исследований. Более реалистичное воспроизведение SJ нуждается в усовершенствовании оперативных прогностических моделей, что также подчеркивает значимость настоящей работы.**

*Работа выполнена в рамках госбюджетных тем НИР:*

*«Технологии дистанционного зондирования Земли и наземных измерительных систем в комплексных исследованиях динамических явлений в океане и атмосфере» (регистрационный номер 121021500054-3);*

*FWMM-2023-0003 «Разработка системы климатического мониторинга дальневосточных морей России и северо-западной части Тихого океана на основе мультиплатформенных наблюдений и оперативного гидродинамического моделирования» (регистрационный номер 123072000039-5).*

## **Литература**

1. *Bell K., Ray P.S. North Atlantic hurricanes 1977–99: surface hurricane-force wind radii. Monthly Weather Review. 132, 1167–1189. 2004.*
2. *Browning, K.A. The sting at the end of the tail: Damaging winds associated with extratropical cyclones. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2004, 130, 375–399.*
3. *Browning K. The dry intrusion perspective of extra-tropical cyclone development. Meteorological Applications, 1997, 4, 317–324.*
4. *Clark P., Browning K., Wang C. The sting at the end of the tail: Model diagnostics of fine-scale three-dimensional structure of the cloud head. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography, 2005, 131, 2263–2292.*
5. *Clark P.A., Gray S.L. Sting jets in extratropical cyclones: a review. Q. J. R. Meteorol Soc. 2018, 144, 943–969.*
6. *Hart N.C., Gray S.L., Clark P.A. Sting-Jet Windstorms over the North Atlantic: Climatology and Contribution to Extreme Wind Risk. Journal of Climate, 2017, 30, 5455–5471.*
7. *Hewson T.D., Neu U. Cyclones, windstorms and the IMILAST project. New pub: Stockholm uni Press, 2015, 6. 81.*
8. *Mass, C.; Dotson, B. Major Extratropical Cyclones of the Northwest United States: Historical Review, Climatology, and Synoptic Environment. Monthly Weather Review 2010, 138, 2499 – 2527.*
9. *Meissner T., Ricciardulli L., Wentz F.J. Capability of the SMAP Mission to Measure Ocean Surface Winds in Storms. Bulletin of the American Meteorological Society 2017, 98, 1660 – 1677.*
10. *Meissner T., Ricciardulli L., Manaster A. Tropical cyclone wind speeds from WindSat, AMSR and SMAP: Algorithm development and testing. Remote Sensing 2021, 13, 1641*

11. *Pickart R.S., Macdonald A.M., Moore G.W.K., Renfrew I.A., Walsh J.E., Kessler W.S. Seasonal Evolution of Aleutian Low Pressure Systems: Implications for the North Pacific Subpolar Circulation. Journal of Physical Oceanography 2009, 39, 1317 – 1339*
12. *Meissner T., Ricciardulli L., Wentz F.J. Capability of the SMAP Mission to Measure Ocean Surface Winds in Storms. Bulletin of the American Meteorological Society 2017, 98, 1660 – 1677.*
13. *Meissner T., Ricciardulli L., Manaster A. Tropical cyclone wind speeds from WindSat, AMSR and SMAP: Algorithm development and testing. Remote Sensing 2021, 13, 1641.*
14. *Pickart R.S., Macdonald A.M., Moore G.W.K., Renfrew I.A., Walsh J.E., Kessler W.S. Seasonal Evolution of Aleutian Low Pressure Systems: Implications for the North Pacific Subpolar Circulation. Journal of Physical Oceanography 2009, 39, 1317 – 1339*
15. *Raveh-Rubin S. Dry Intrusions: Lagrangian Climatology and Dynamical Impact on the Planetary Boundary Layer. Journal of Climate. 2017. Vol. 30. P. 6661-6682.*
16. *Shapiro M.A., Keyser D. Fronts, Jet Streams and the Tropopause. In Extratropical Cyclones: The Erik Palmén Memorial Volume; Newton, C.W.; Holopainen, E.O., Eds.; Amer. Met. Society: Boston, MA, 1990; pp. 167–191.*
17. *Zhang S., Fu G., Lu C., Liu J. Characteristics of Explosive Cyclones over the Northern Pacific. Journal of Applied Meteorology and Climatology 2017, 56, 3187 – 3210.*
18. *Пичугин М.К., Гурвич И.А., Баранюк А.В. Анализ экстремального ветра в интенсивных внетропических циклонах над северной частью Тихого океана на основе измерений со спутника SMAP // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 5. С. 287-299.*
19. *Pichugin M., Gurvich I., Baranyuk A. Assessment of Extreme Ocean Winds within Intense Wintertime Windstorms over the North Pacific Using SMAP L-Band Radiometer Observations. Remote Sens., 2023, Volume 15, Issue 21, 5181. <https://doi.org/10.3390/rs15215181>.*



**СПАСИБО**

**ЗА**

**ВНИМАНИЕ!**