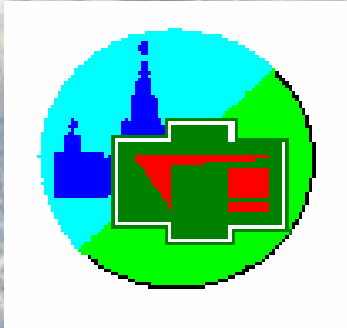


XX конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 14-18.11.2022



ИГДА



Тропический циклон как источник возмущений ионосферы в широком высотном интервале

Захаров В.И., Шалимов С.Л., Сигачев П.К.
zvi_555@list.ru

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия,
Институт Физики Атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва, Россия
Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

- Одной из важнейших задач современной геофизики является изучение механизмов взаимовлияния внешних земных оболочек и идентификация конкретных проявлений таких взаимосвязей.
- По различным оценкам, возмущение электронной концентрации N_e в максимуме ионосферного слоя F2, вызванное влиянием атмосферных (метеорологических) факторов, в спокойных геомагнитных условиях может достигать до 35% от фонового уровня.
- **В настоящей работе рассмотрены возмущения в ионосфере, обусловленные таким интенсивным атмосферным процессом, как тропический тайфун (циклон).**

Отклик среды на крупные атмосферные события

Возможные механизмы передачи возмущений

- 1) **Генерация внутренних гравитационных и акустических волн в нижней атмосфере**, которые могут доходить до ионосферы;
- 2) турбулентные движения нейтральной компоненты в нижней ионосфере и увлечение заряженных частиц движениями нейтралов, **генерация электрических токов и возмущений плотности плазмы.**

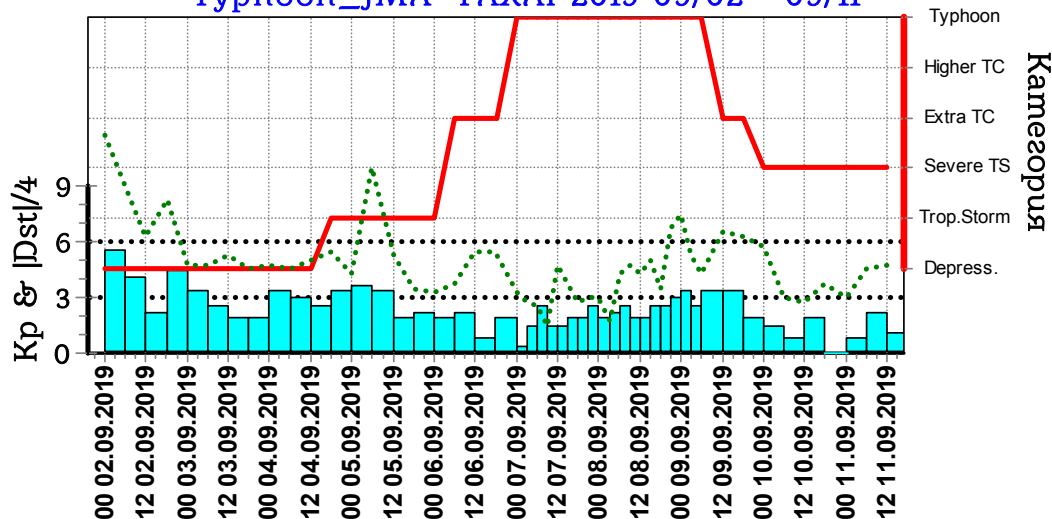
В настоящее время нет единой теории того, КАК возмущения от атмосферных и литосферных процессов передаются на высоты верхней атмосферы.

РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОЯВЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ основаны на разнородных наблюдениях

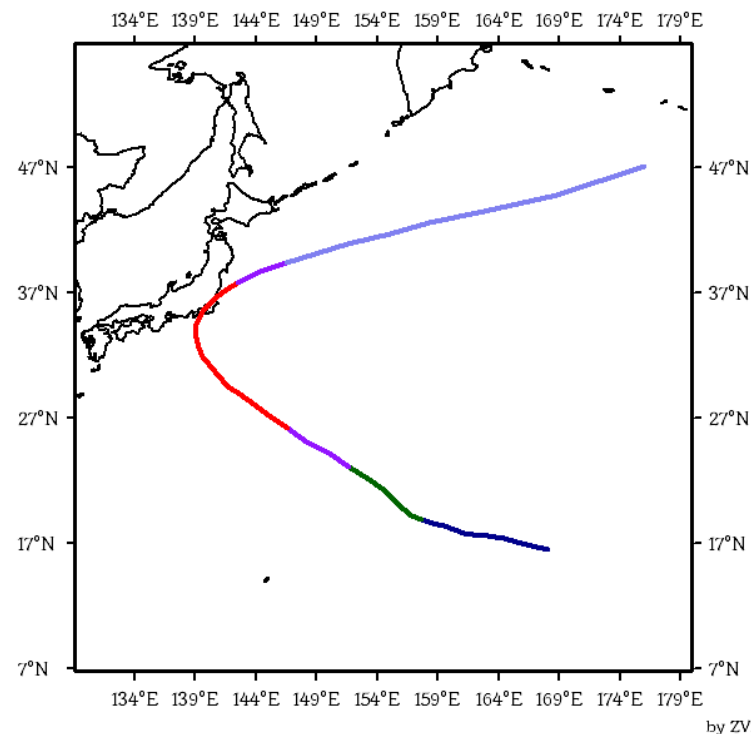
- В настоящей работе **впервые для исследования ионосферного отклика на прохождение тайфунов используется с одной стороны региональная сеть станций СДВ радиопросвечивания (позволяющая регистрировать возмущения нижней ионосферы), а с другой – измерения посредством спутниковой миссии SWARM (регистрация возмущений в верхней ионосфере).**
- Зарегистрированы и проявления ТЦ в озоновом слое, причем их характеристики соответствуют ВГВ – но это предмет особого обсуждения.
- Изложенный подход позволяет использовать уникальные возможности различных методов наблюдения и **проследить за развитием атмосферного возмущения на разных ионосферных высотах при его распространении из приземного слоя.**
- Полученные результаты также позволяют конкретизировать механизмы воздействия тайфуна на ионосферу.

ТЦ FAXAI 02-11 сентября 2019

Typhoon_JMA FAXAI 2019 09/02 - 09/11



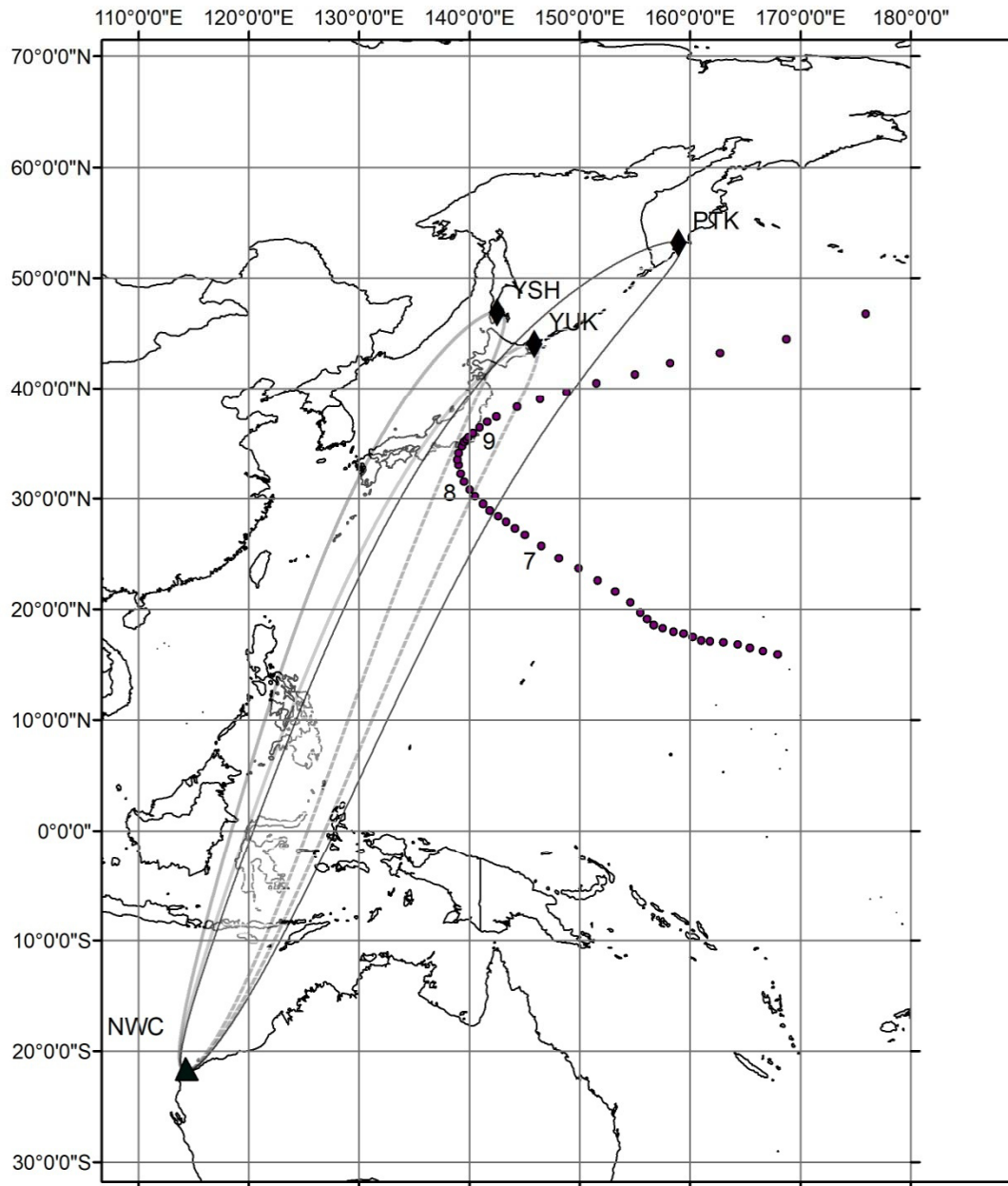
Typhoon -JMA FAXAI 2019 09/02 - 09/11



- **Максимальная зарегистрированная скорость ветра** составила 43 м/сек, радиус ядра оценивается до 150-200 км, а внешний радиус проявлений ТЦ достигает 500 км. Высота действия тайфуна составляет 14 км, т.е. тайфун возмущает атмосферу практически до высоты тропопаузы.
- **Диапазон собственных частот** тайфуна составляет от 0.8 до 30 МГц, что определяет возможность генерации АГВ волн с периодами 1-40 мин.

СДВ радиопросвечивание

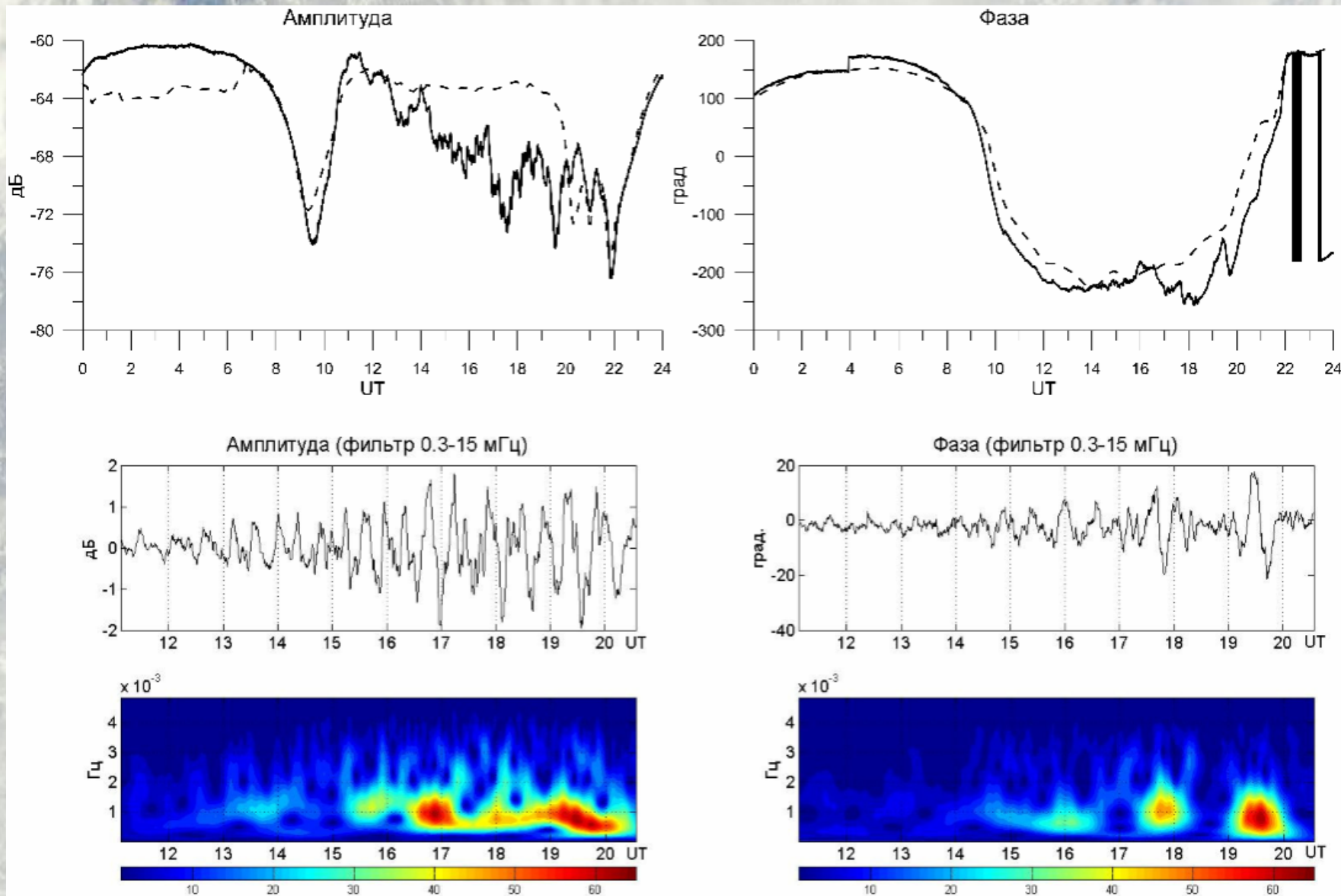
- Проводится регистрация амплитудно-фазовых характеристик СДВ (VLF) сигналов с частотами от неск. кГц до неск. десятков кГц. **Амплитуда и фаза сигналов является чувствительным индикатором состояния ионосферы.**
- Приемные станции СДВ радиопросвечивания **региональной сети Дальневосточного региона России** находятся в Петропавловске-Камчатском, Южно-Сахалинске и Южно-Курильске. Станции оборудованы UltraMSK приемниками (<http://ultramsk.com>), которые **измеряют одновременно амплитуду и фазу MSK (MinimumShiftKeying)** модулированных сигналов в частотном диапазоне 10-50 кГц от нескольких передатчиков. Приемник может регистрировать сигналы с шагом дискретизации от 50 мс до 60 с. Для анализа использовались данные с временным интервалом 20 с.
- Данные в Петропавловске-Камчатском получены Камчатским филиалом ФИЦ **"Единая геофизическая служба РАН"** при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № 075-00576-21 <http://www.gsras.ru/new/infres/>.



СДВ эксперимент

- Были приняты СДВ сигналы для тайфуна Фахаі, который пересекал зоны чувствительности трасс в отсутствии магнитной и сейсмической активности (которые могут привести к возмущениям сигнала).
- Анализ проводился для амплитуды и фазы сигнала от передатчика NWC (19,8 кГц), расположенного на западном побережье Австралии. Использовались данные, полученные на принимающих станциях в Петропавловске-Камчатском (РТК), Южно-Сахалинске (YSH) и Южно-Курильске (YUK).

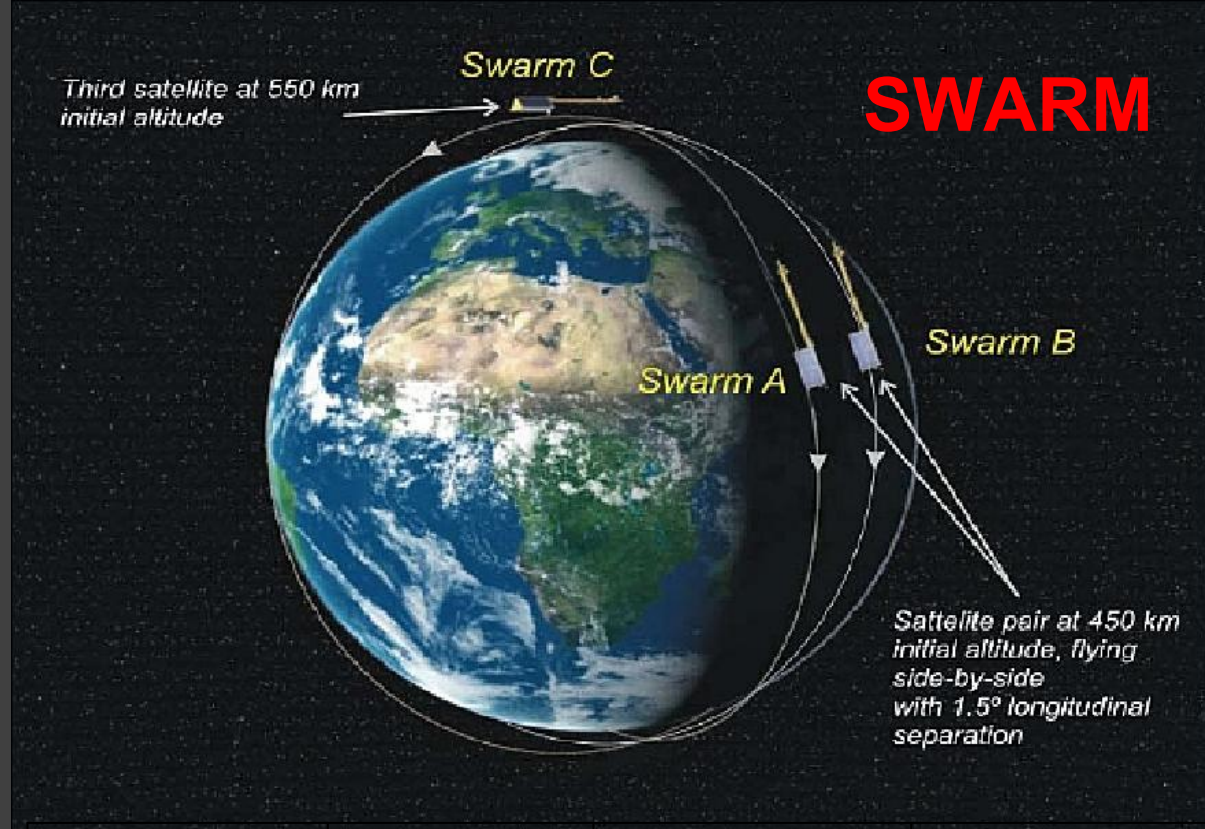
08.09.2019



Средние графики показывают ночной фильтрованный сигнал и нижние – вейвлет-спектры фильтрованного сигнала. **Выделенные периоды 8 – 55 мин**

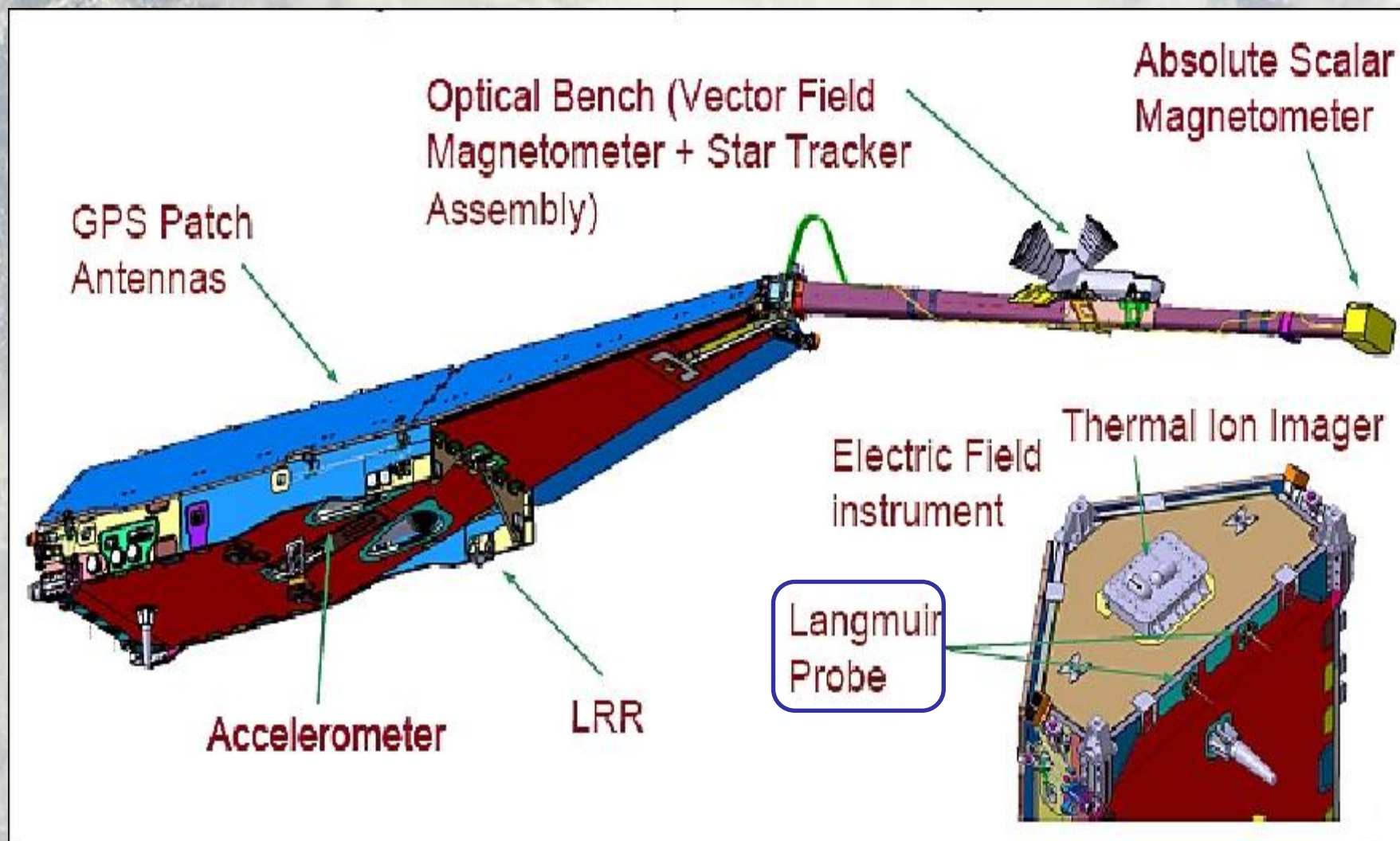
Организация и характеристики спутниковой системы.

- Swarm — спутниковая миссия Европейского Космического Агентства (ESA), предназначенная для изучения магнитного поля Земли.
- Миссия состоит из трёх спутников на различных полярных орбитах высотой от 460 до 530 км. **Масса каждого спутника — 472 килограмма.** Первоначально два спутника выведены на орбиту высотой 460 километров, затем они будут постепенно снижаться до 300 километров. Третий спутник выведен на более высокую орбиту высотой 530 километров.
- Запуск был осуществлён 22 ноября 2013 г. при помощи ракеты-носителя «Рокот».



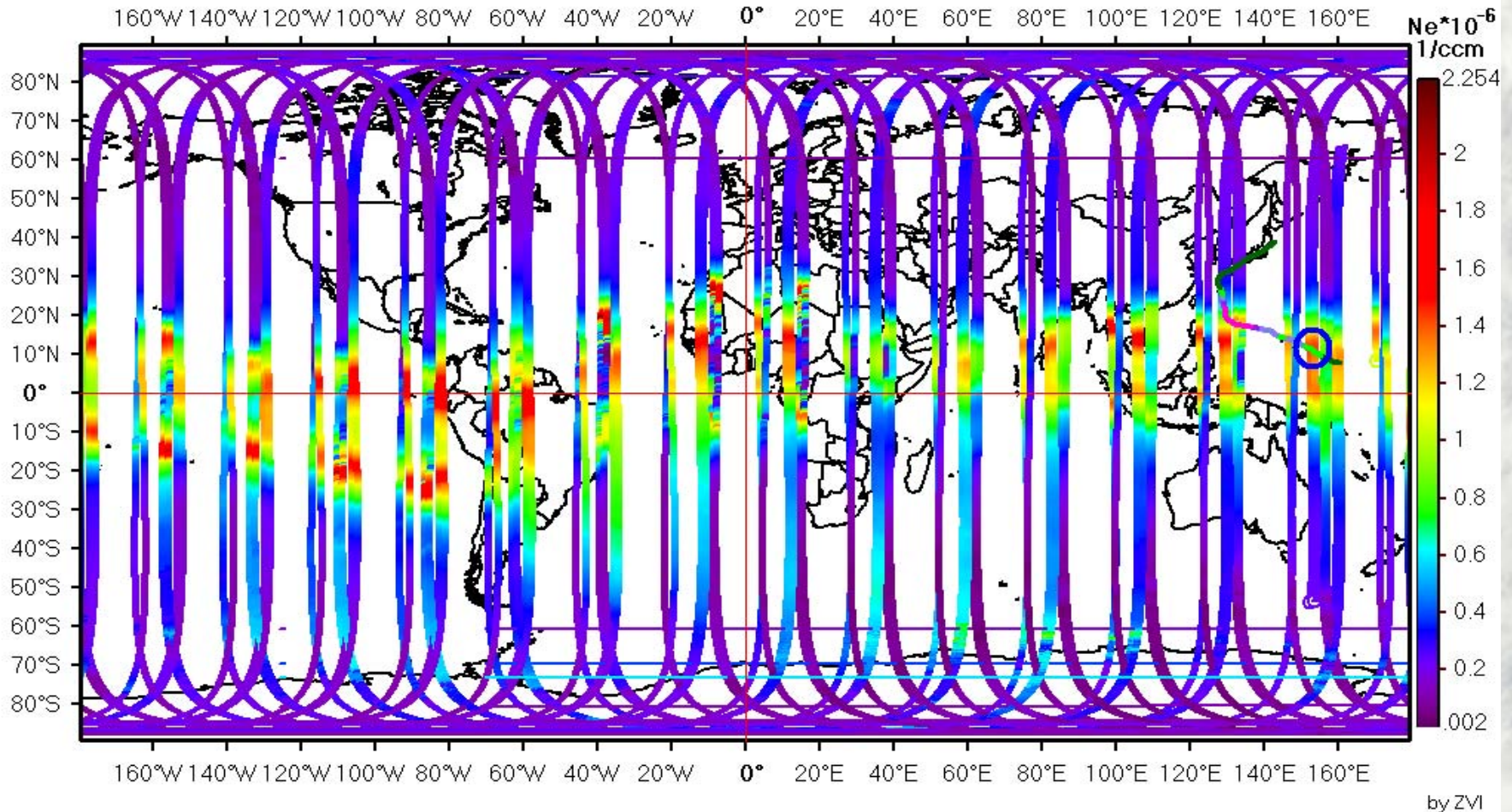
Parameter	Swarm-A	Swarm-C	Swarm-B
Orb. Altitud	≤ 460 km (initial altitude of satellite pair)		≤ 530 km
Orb.inclinat	87.4°		88°
ΔRAAN	1.4° difference between A and B		~0-135°
Mean anomaly at epoch	Δt = 2-10 s difference between A and B		-

Оборудование.



Пример ежедневных данных

Super Typhoon-5 VONGFONG vs SWARM Ne current 1min 04-10-2014 00-00 - 23-59



На приэкваториальных широтах - экваториальная аномалия и плазменные пузыри (F-рассеяние); На средних широтах интенсивность тайфуна значительно убывает. Для больших широт значительно влияние полярного овала и высокоширотной ионосферы. Влияние гео- гелиомагнитной обстановки.

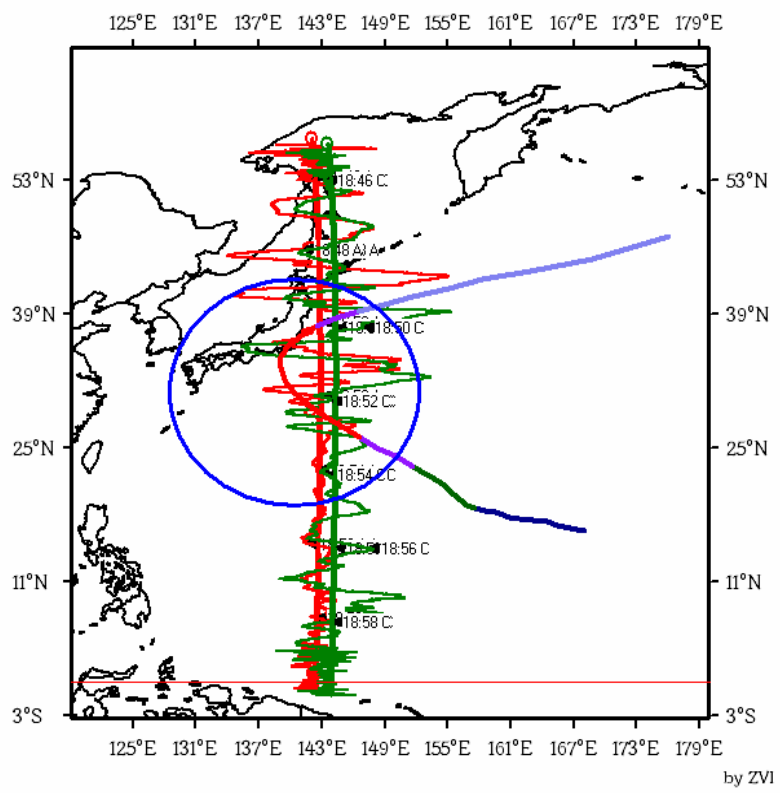
Анализ данных SWARM для FAXAI

07/09.2019 было 8 удачных пролетов спутников.

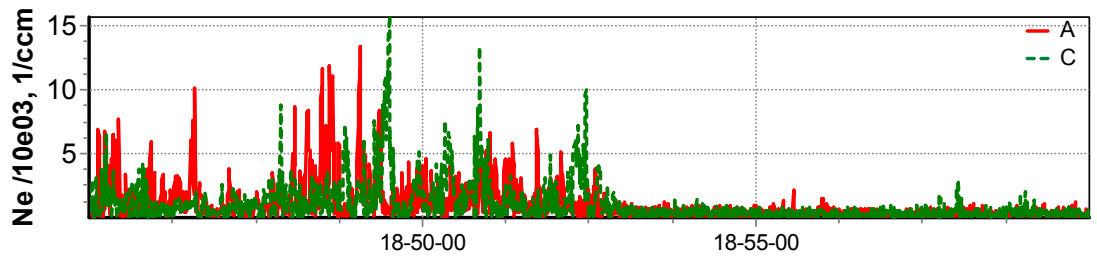
В 5 случаях возможно выделить возмущения отн. амплитуды 5...20%.

В 2 случаях нет уверенной регистрации волноподобных структур, в 1 случае зарегистрирован **аномально мощный отклик**, неизвестной причины.

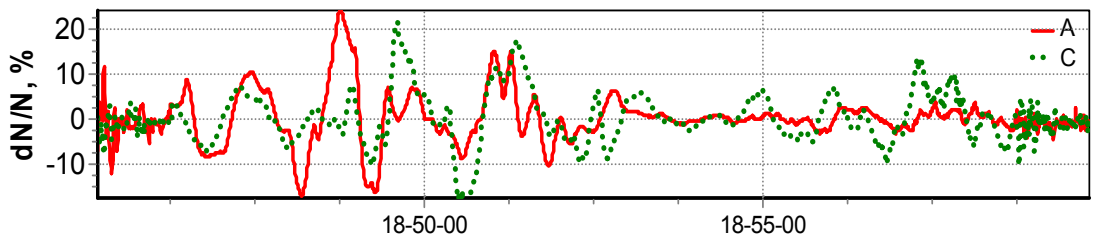
Параметры откликов в целом соответствуют теоретическим оценкам области с учетом дисперсионных соотношений ВГВ.



SWARM A-C 2019-09-07



2019-09-07 Signal [15...150]sec



Амплитуда регистрируемых возмущений **в ночной период** несколько меньше дневной. Вблизи от суши структура зарегистрированных откликов напоминает **интерференционную картину волн** от нескольких источников. Вероятно, это связано с тем, что тайфун Faxai 2019 в максимуме своей активности встретил Японские острова, что могло вызвать дополнительную турбулизацию нижней атмосферы и генерацию волновых структур

Краткие итоги

- Полученные экспериментальные результаты показывают **волновые возмущения амплитуды и фазы СДВ сигнала** во время активной стадии тайфуна.
- Вейвлет анализ показывает наличие **волн в диапазоне периодов 8 – 55 мин.** Этот диапазон соответствует атмосферным внутренним гравитационным волнам (ВГВ).
- Впервые выполнен комплексный совместный анализ появления СДВ-возмущений с **результатами измерений электронной концентрации на спутнике SWARM** в то же время суток, что и для вариаций СДВ сигнала. Отмечены вариации плотности ионосферной плазмы верхней ионосферы с масштабом в несколько сотен км, что типично для ПИВ. Таким образом, и в нижней, и в верхней ионосфере **во время активной фазы тайфуна имеют место вариации ионосферной плазмы относительной амплитуды 5..20%**, характерные для распространяющихся ВГВ.
- **Итак, впервые волнообразные возмущения, которые можно связать с тайфуном в максимуме своего развития, были обнаружены различными методами на разных высотах – от нижней атмосферы до ионосферы (слои D и F2).**

Благодарности

- Исследование частично выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-27-00182).
- Использованное в работе ПО по анализу данных SWARM создано в рамках ГосЗадания МГУ им. М.В.Ломоносова по теме 01200408544.
- Используемые данные по СДВ радиопросвечиванию получены на УНУ (Уникальная научная установка “Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира” [<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, [http:// www.gsras.ru/unu/](http://www.gsras.ru/unu/)]).