

Сопоставление среднemasштабных вариаций электронной концентрации по данным спутников SWARM с данными КВ радара ЕКВ



А.В. Ойнац, И.К. Едемский
Институт солнечно–земной физики СО РАН
E-mail: oinats@iszf.irk.ru

Мотивация

Публикации, касающиеся MSTIDs, по данным SWARM:

Kil, H., & Paxton, L. J. (2017). Global distribution of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances seen by swarm satellites. *Geophysical Research Letters*, 44. <https://doi.org/10.1002/2017GL074750>

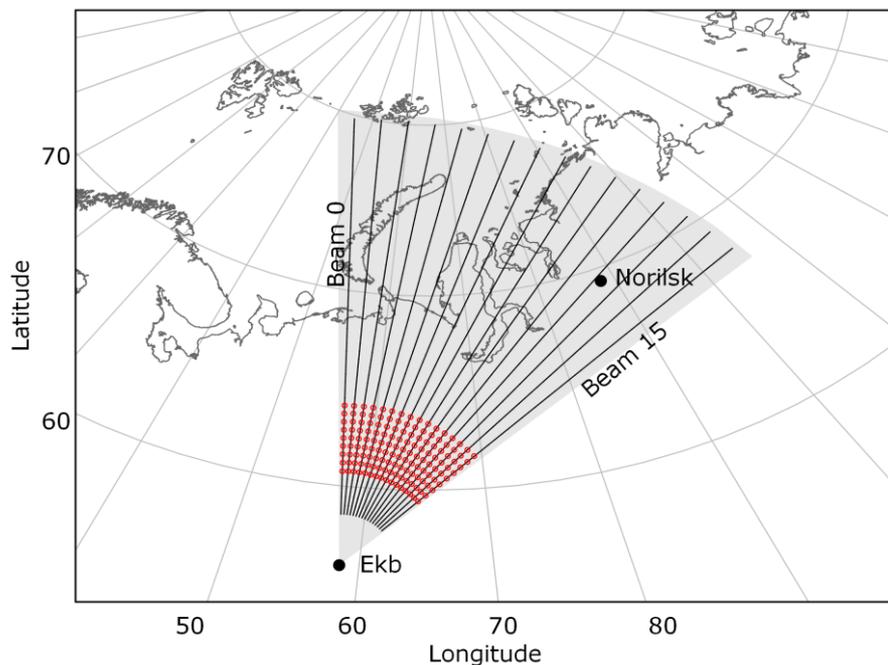
Park, J., H. Lühr, G. Kervalishvili, J. Rauberg, I. Michaelis, C. Stolle, and Y.-S. Kwak (2015), Nighttime magnetic field fluctuations in the topside ionosphere at midlatitudes and their relation to medium-scale traveling ionospheric disturbances: The spatial structure and scale sizes, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 6818–6830, doi:10.1002/2015JA021315.

Основные цели работы:

1. Сравнение с данными других инструментов и валидация используемых методов диагностики.
2. Поиск возможностей совместного анализа данных КВ радаров и других инструментов с целью диагностики ПИВ.



Введение



КВ радар Екатеринбург

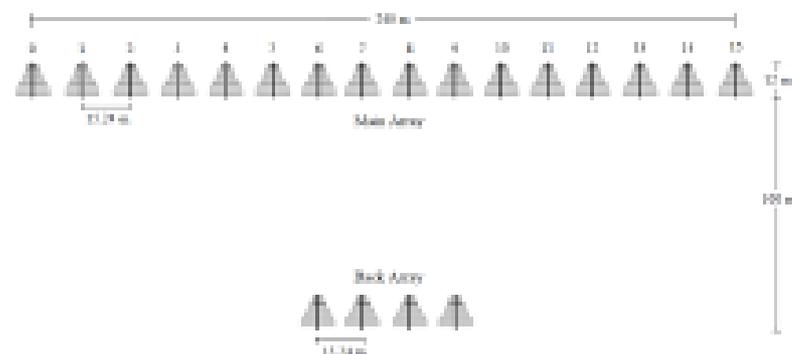
Расположение: 56.42N, 58.53E

Частоты: 8-20 МГц

Основной азимут: 20°

Дальность до ~3500 км

Количество лучей: 16



Ширина луча (гор.): ~3.5°

Угол между лучами: 3.24°

Сектор обзора: ~50°

Запущен в конце 2012

Сtereo режим – 2 канала

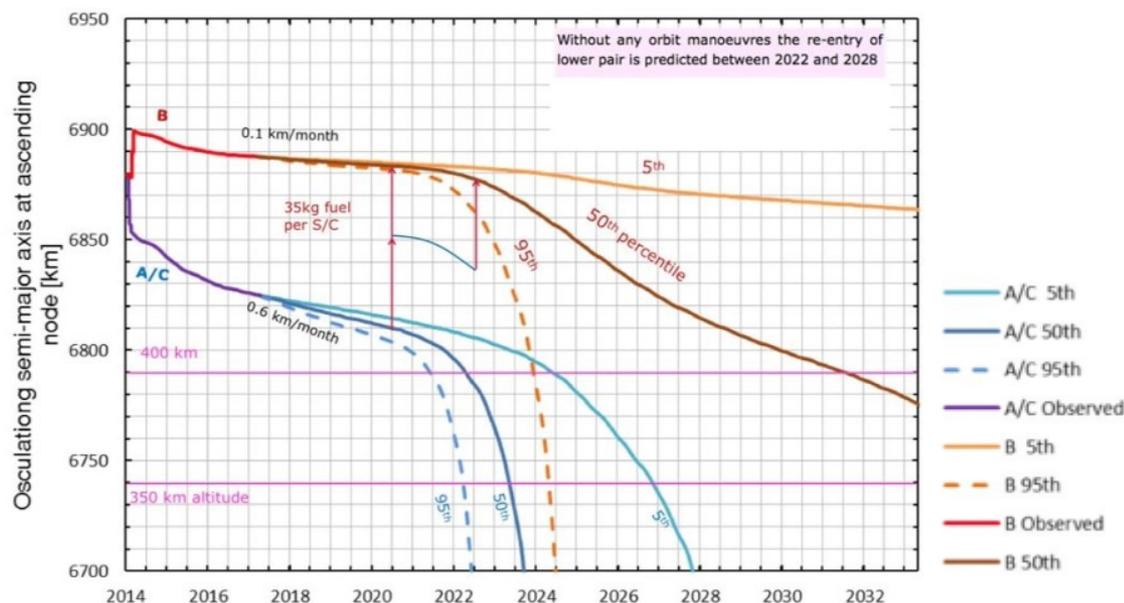


Введение

Одна из основных задач миссии – исследование ФАС.

Миссия состоит из 3-х спутников:

- SWARM-Alpha и SWARM-Charlie находятся на квази-круговой орбите, высота 460 км, наклонение 87.35° , летят друг за другом (с временной разницей ~ 10 сек или $\sim 10 \text{ сек} * 7.5 \text{ км/сек} = 75 \text{ км}$, разница долгот 1.5° или $\sim 150 \text{ км}$)
- SWARM-Bravo высота 530 км, наклонение 87.95°



Способ анализа

Этапы анализа:

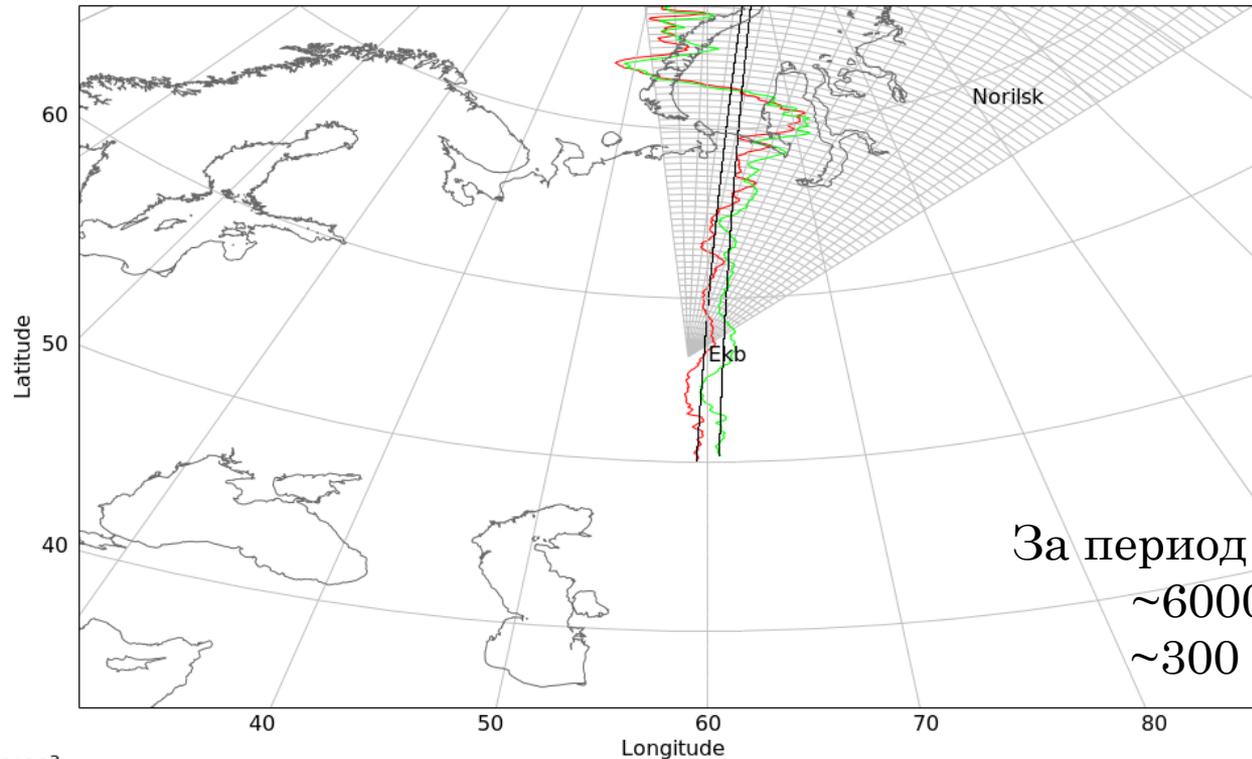
1. Выделение пролетов, попадающих в сектор обзора КВ радаров
2. Выделение среднемасштабных вариаций электронной концентрации (фильтрация)
3. Оценка степени схожести вариаций на SWARM-A и SWARM-C (корреляционный анализ)
4. Оценка направления волнового фронта и длины волны и ее пробация
5. Сопоставление с параметрами ПИВ, определенными из данных КВ радара



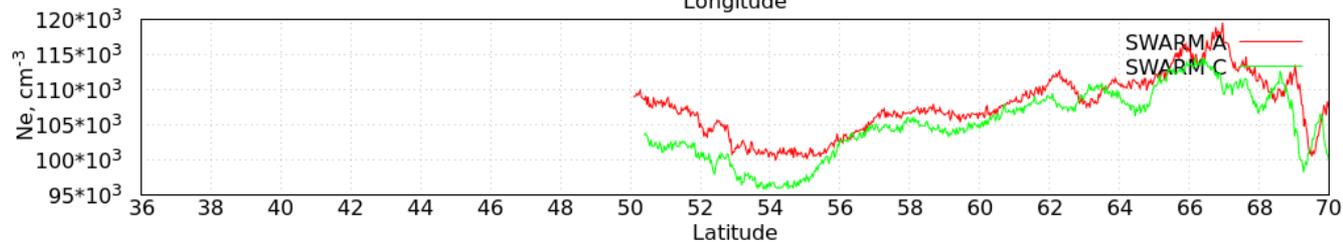
Способ анализа

Пример выборки пролета и фильтрации рядов электронной концентрации

SWARM/EKB radar conjunction on 05.02.16[10:41]



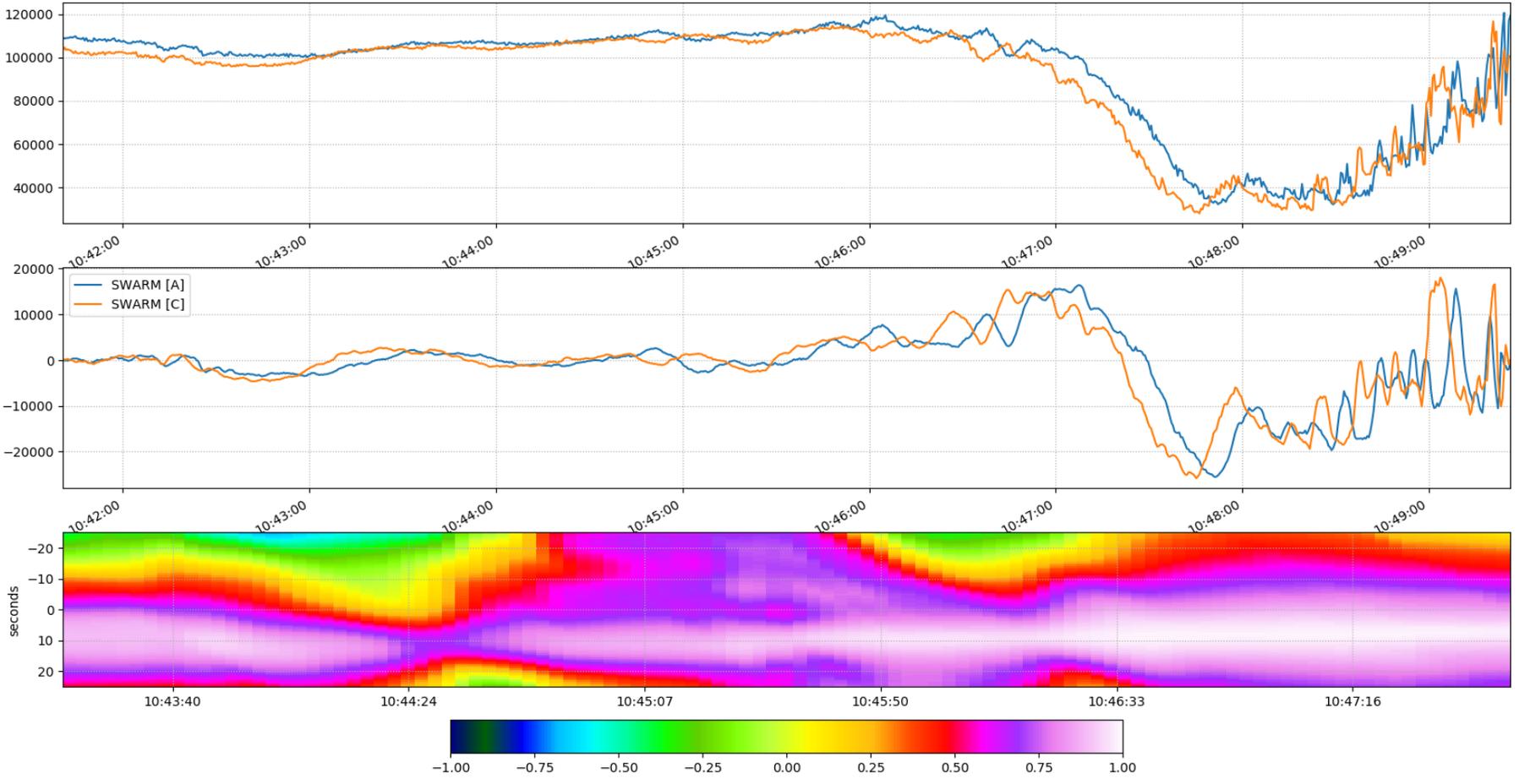
За период 2015-2018
~6000 пролетов
~300 “хороших”



Способ анализа

Пример корреляционного анализа

Electron concentration Ne (in-situ) / Cross-correlation window: 300 points 16_02_05



Способ анализа

Оценка направления волнового фронта

Модель ПИВ

$$N(\varphi, \theta) = N_0(\varphi, \theta)(1 + \delta \cos(k_\theta r_0 \Delta\theta + k_\varphi r_0 \sin \theta \Delta\varphi + \Phi_0))$$

При $\Psi = 0$, т.е. $\vec{k} = \{k_r, k_\theta, k_\varphi\} = \{0, k \cos \Phi, k \sin \Phi\}$

$$k = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\nu}{\lambda}$$

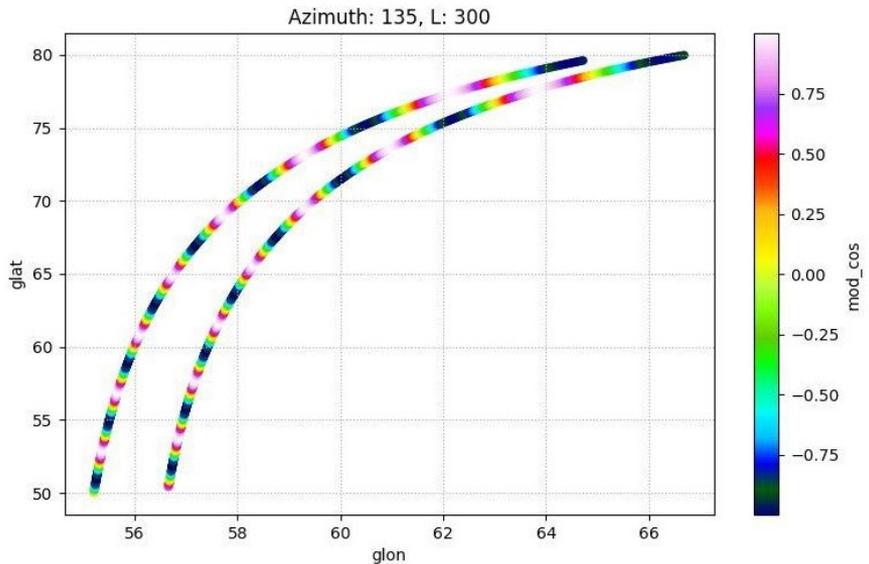
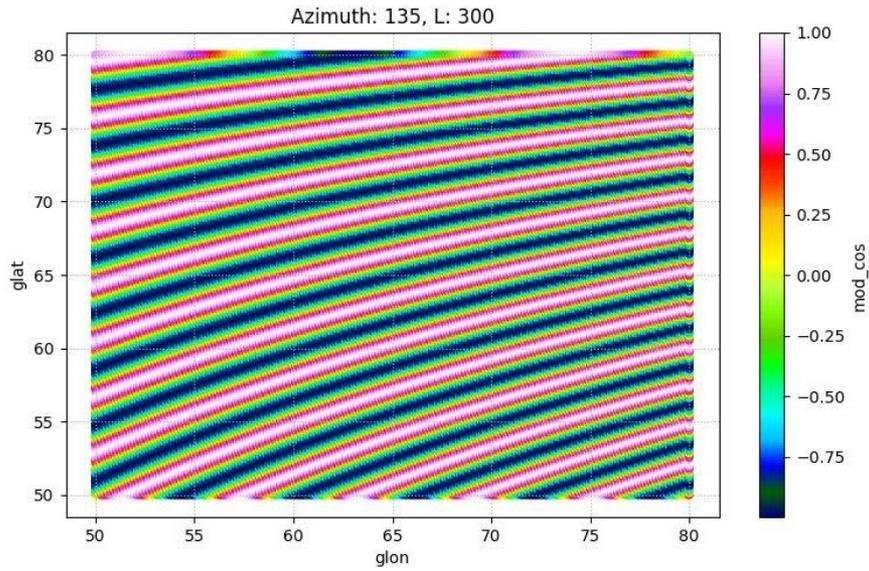
Фитирование фильтрованных вариаций к модели ПИВ

$$\delta(\Phi, \lambda) = \sum_{i=0}^{n_{samples}} (\Delta N e_i - \delta N(\theta_i, \varphi_i, \Phi, \lambda))^2$$

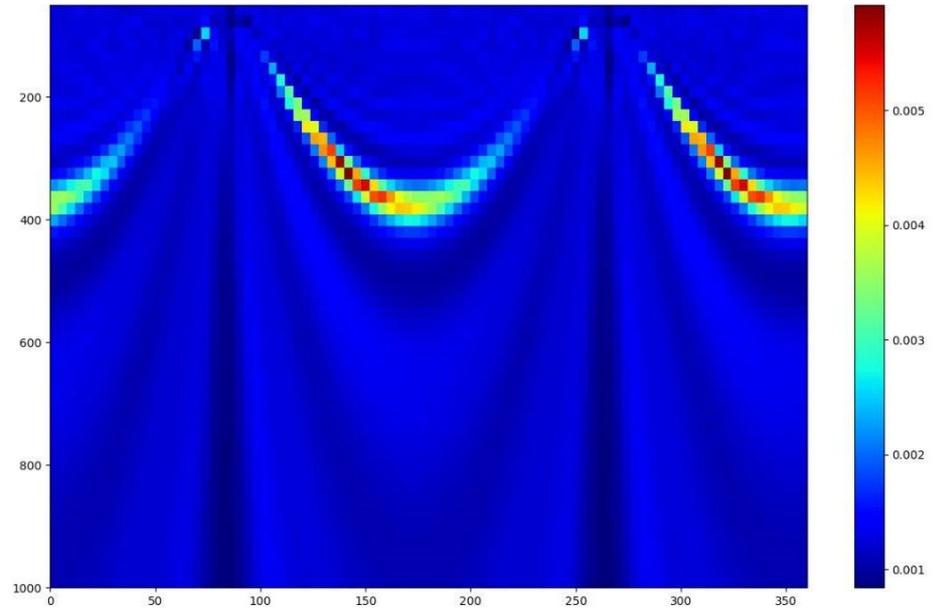


Способ анализа

Проверка адекватности модели



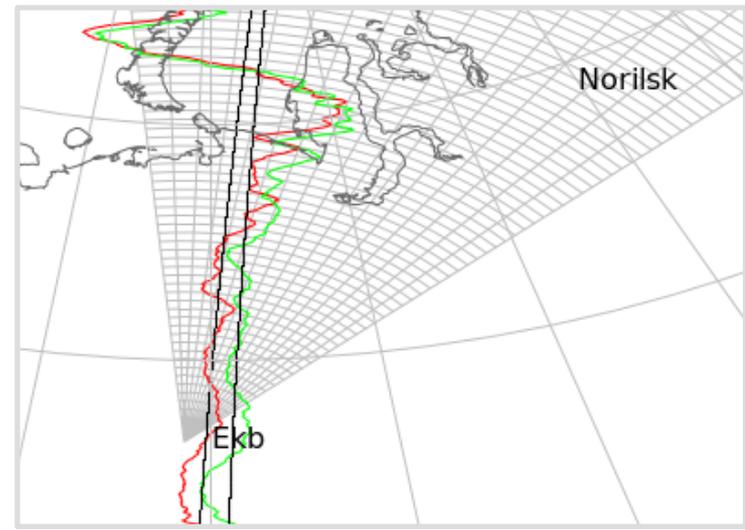
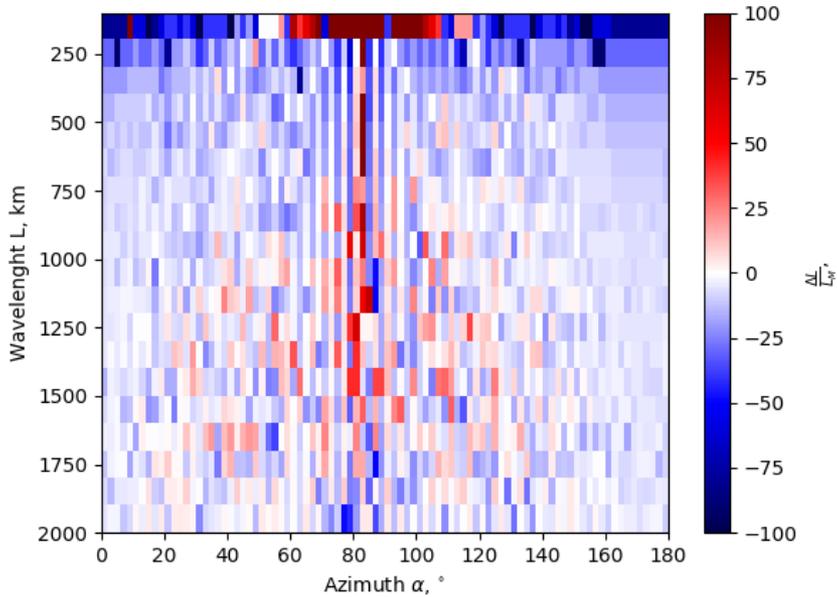
Зависимости невязки азимута ПИВ и длины волны



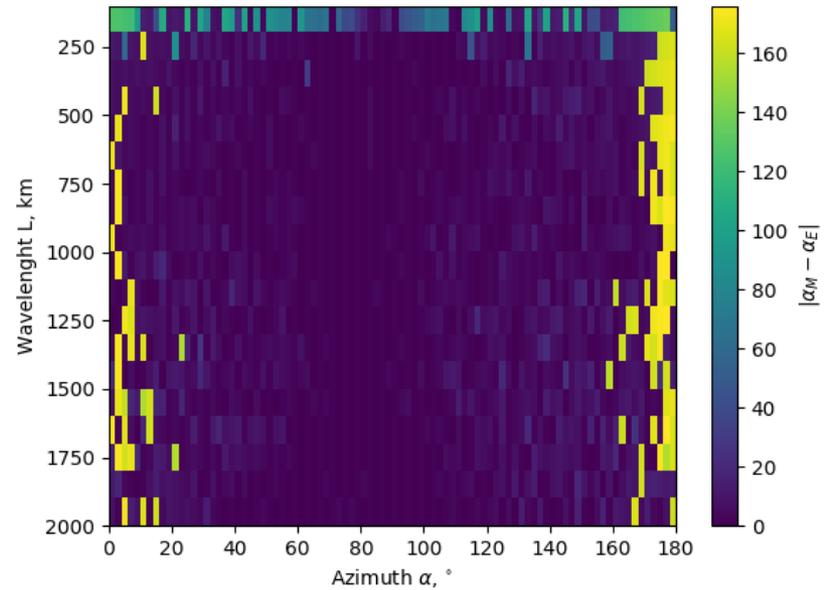
Способ анализа

Проверка адекватности модели при добавлении шума

Ошибки определения:
длины волны



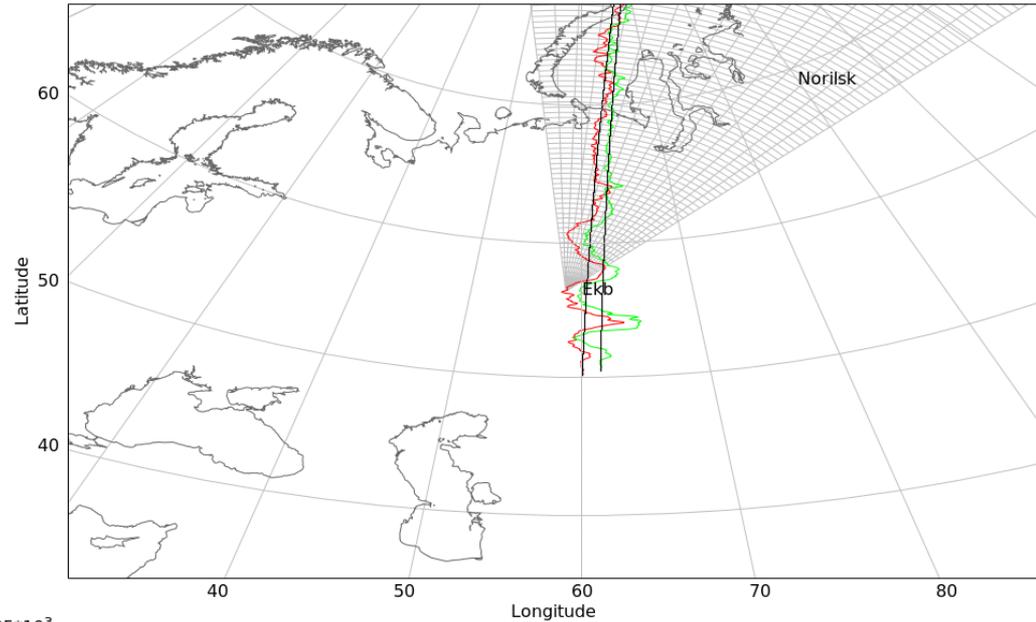
азимута



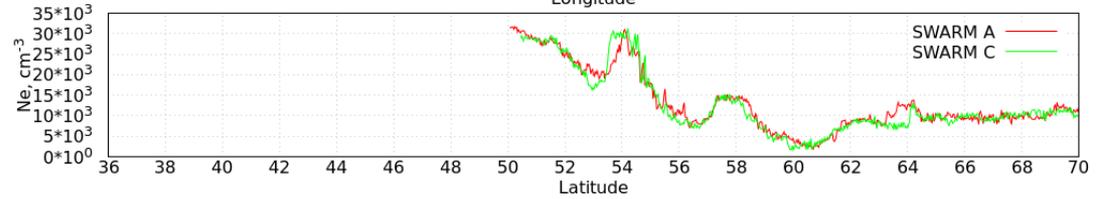
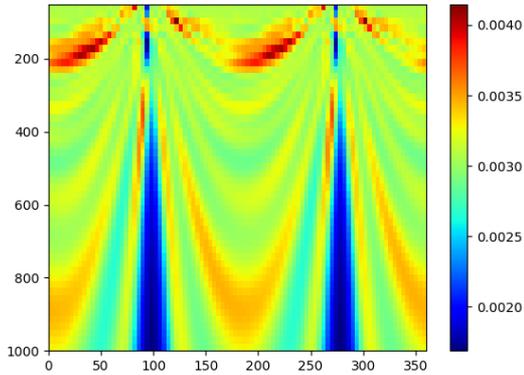
Апробация

10.11.2017 00:44

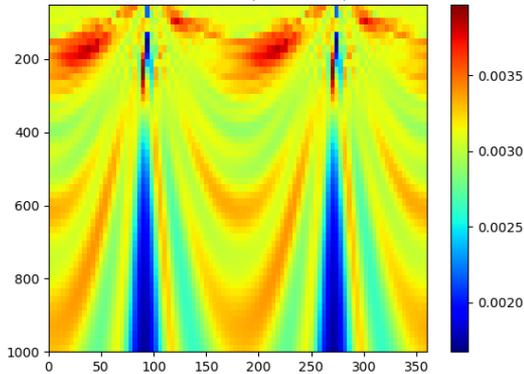
SWARM/EKB radar conjunction on 10.11.17[00:44]



59°N: 40° (220°), ~180 км



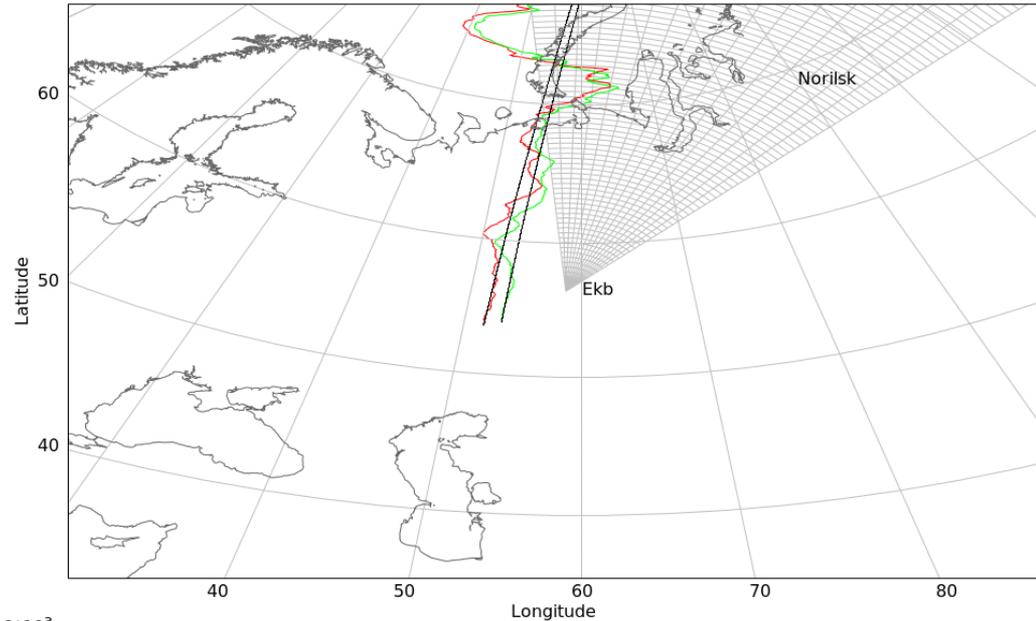
55°N: 36° (216°), ~180 км



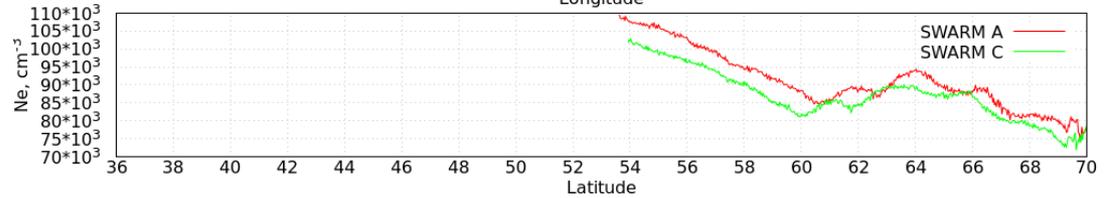
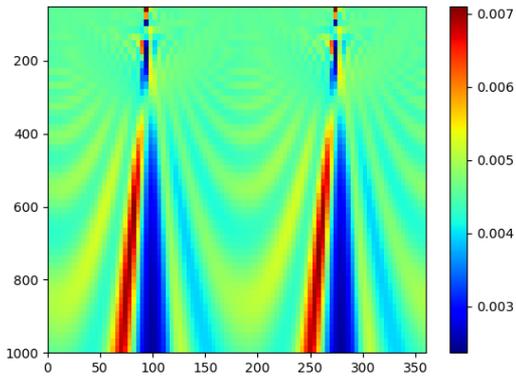
Апробация

04.02.2016 11:19

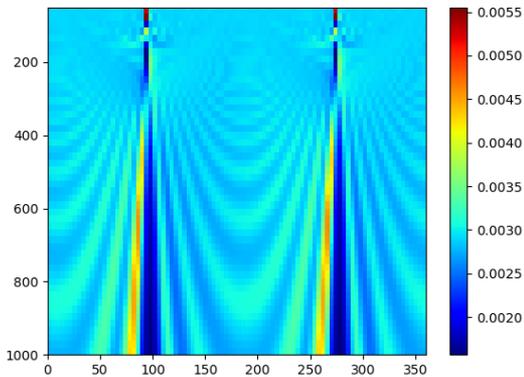
SWARM/EKB radar conjunction on 04.02.16[11:19]



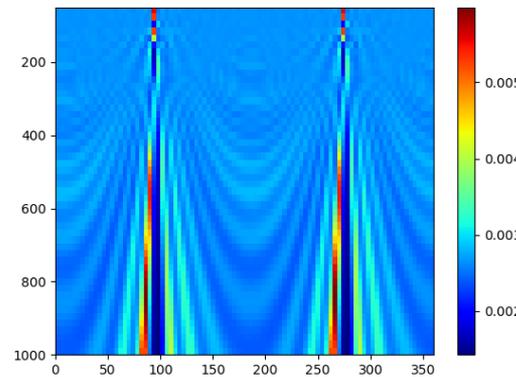
50°N: 84° (264°), ~600 км



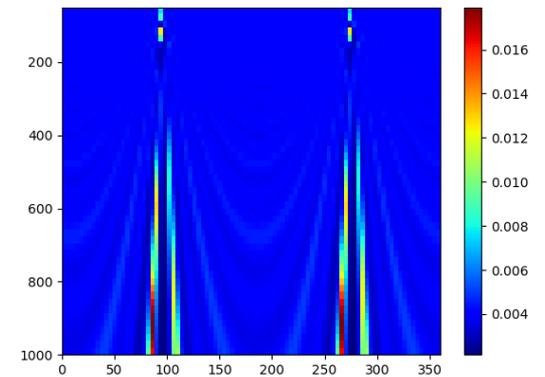
54°N: 89° (269°), ~660 км



58°N: 88° (268°), ~850 км

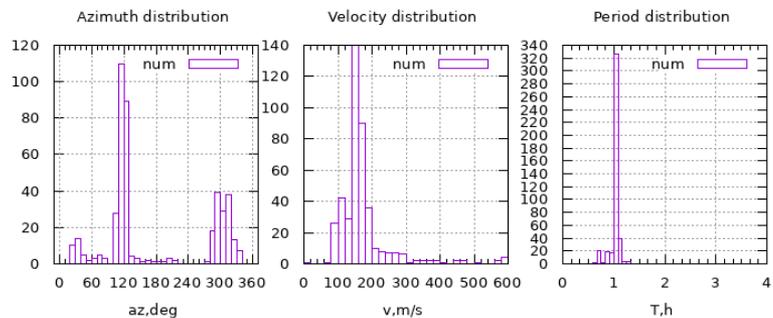
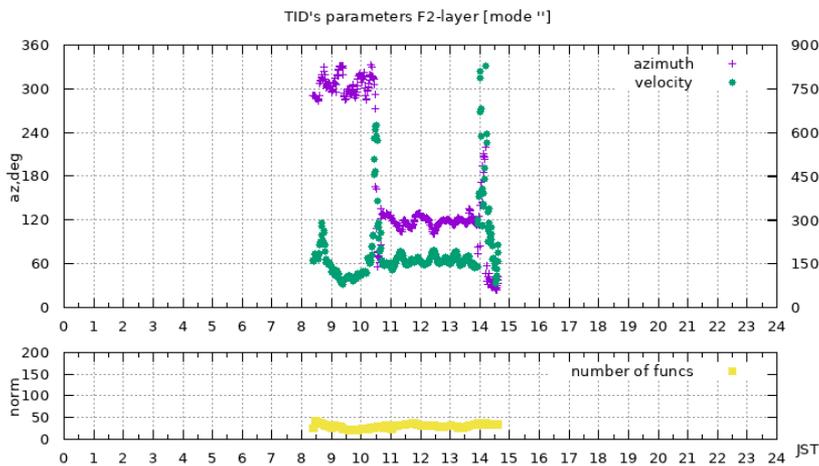
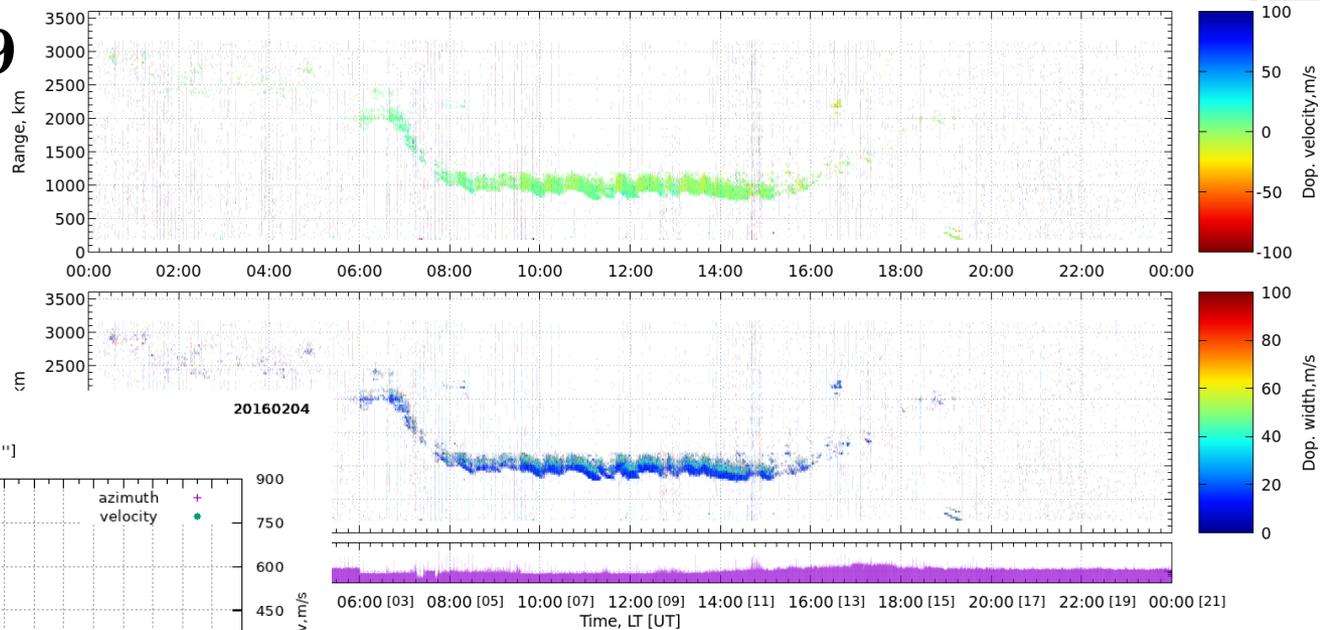


62°N: 88° (268°), 980 км



Сравнение в данными ЕКВ

04.02.2016 11:19



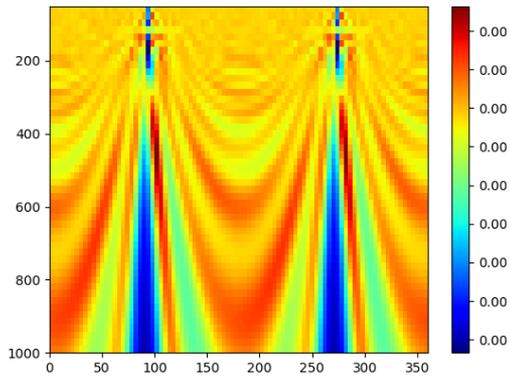
Параметры в 11:19UT

- азимут $\sim 110^\circ$
- скорость ~ 180 м/с
- период ~ 1.0 часа
- длина волны ~ 650 км

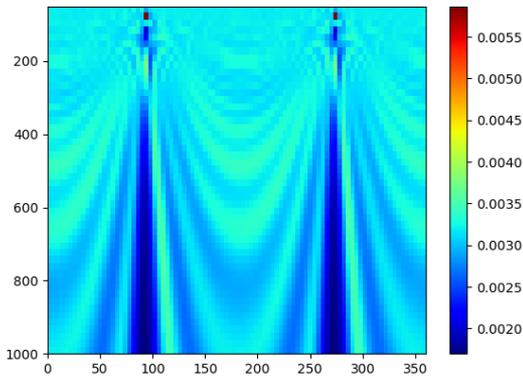
Апробация

05.02.2016 10:41

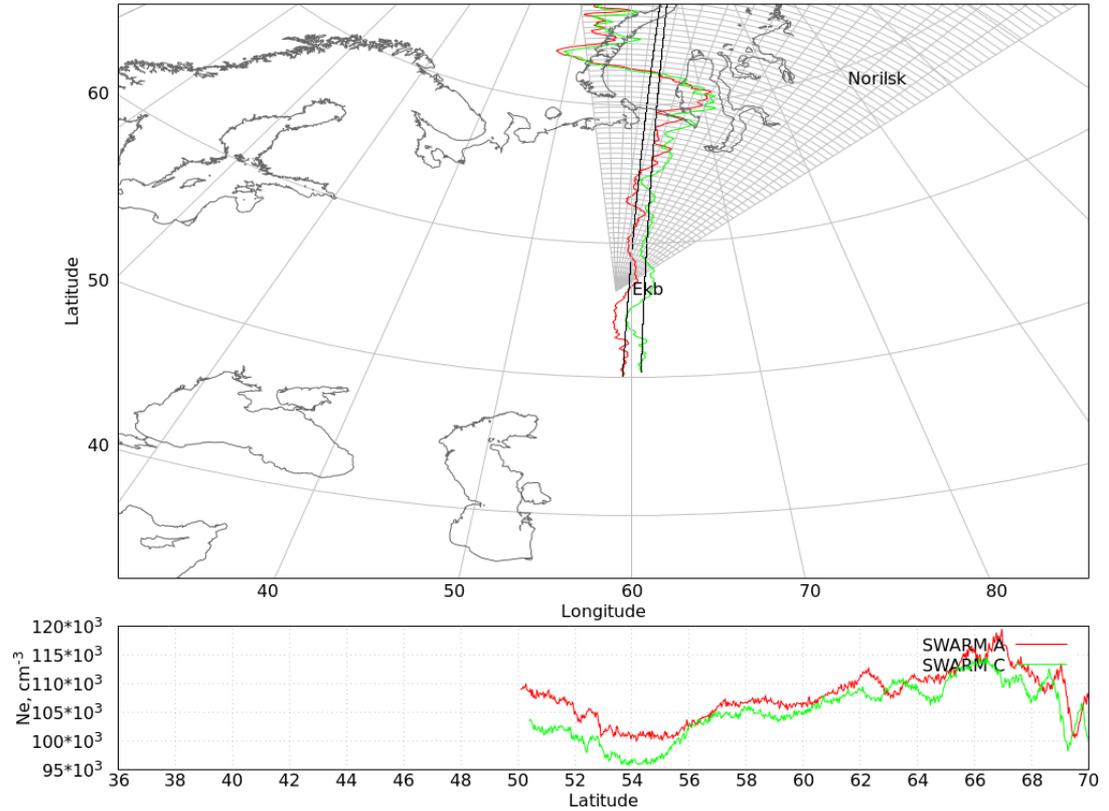
55°N: 102° (282°), ~460 км



59°N: 94° (274°) ~80 км

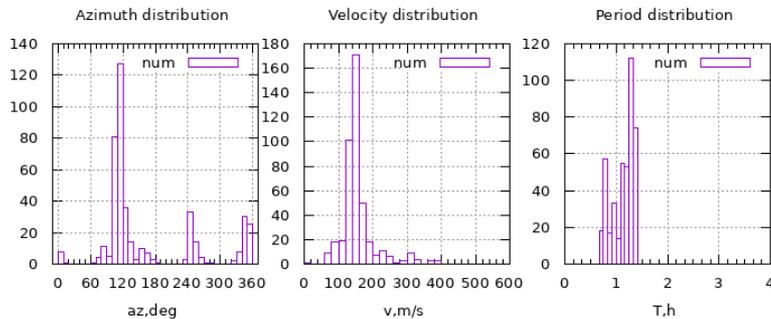
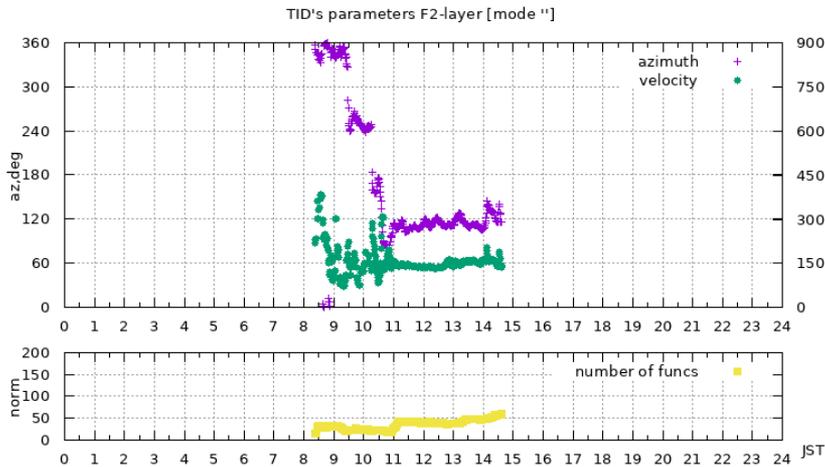
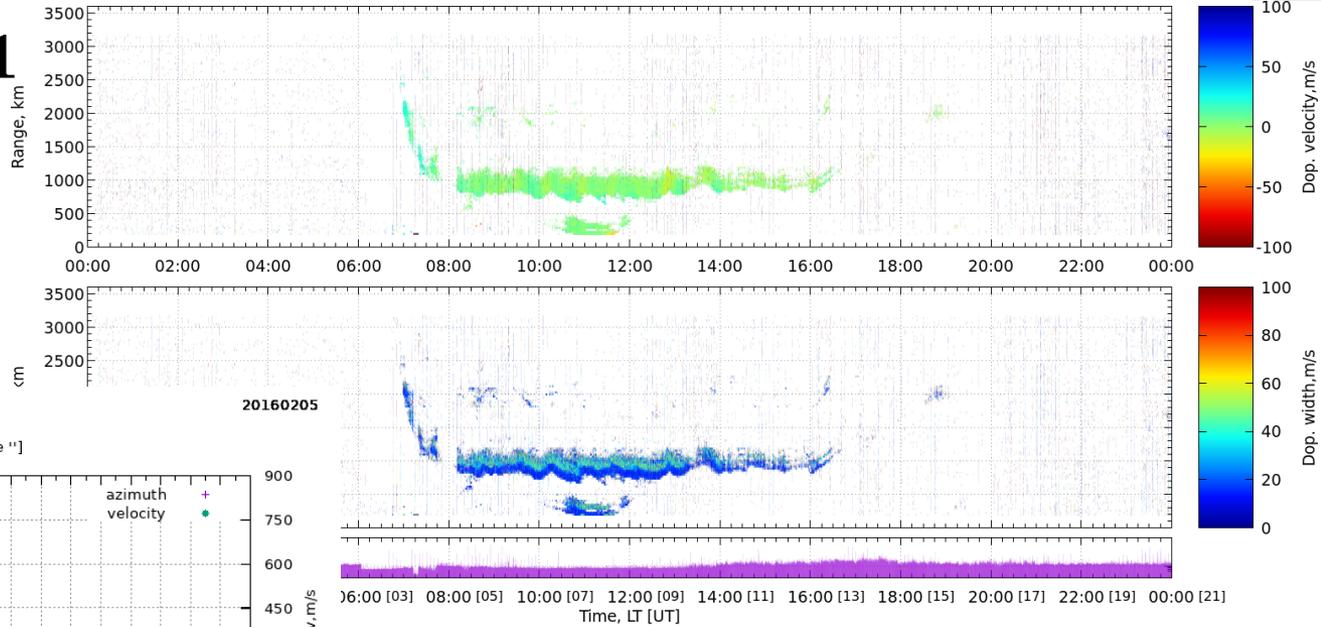


SWARM/EKB radar conjunction on 05.02.16[10:41]



Сравнение в данными ЕКВ

05.02.2016 10:41



Параметры в 10:41UT

- азимут $\sim 90^\circ$
- скорость ~ 130 м/с
- период ~ 1.25 часа
- длина волны ~ 580 км

Основные выводы

Приведены предварительные результаты сопоставления параметров СМПИВ, определенных по данным КВ радара ЕКВ с данными SWARM.

Предложен алгоритм оценки направления волнового фронта среднемасштабных возмущений по данным спутников SWARM-A и SWARM-C. Проведена проверка адекватности алгоритма на модельных данных, которая показала, что имеются ограничения в постановке задачи, связанные с конфигурацией пролетов. Ограничения приводят к возрастанию ошибки определения длины волны при ориентации азимута ПИВ, близкой к перпендикуляру к траектории пролета, и ошибки определения азимута при распространении ПИВ в направлении вдоль пролета.

Апробация проведена на данных двух пролетов 4.02.2016 11:19 и 05.02.2016 10:41 (см. таблицу сравнения). Результаты апробации свидетельствуют о качественном согласии данных и СМПИВ.

	SWARM	ЕКВ radar
4.02.2016 11:19	88° (268°), ~850 км	110°, 650 км (~180 м/с, ~1.0 ч)
5.02.2016 10:41	102° (282°), ~460 км	90°, 580 км (~130 м/с, ~1.25 ч)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Авторы выражают благодарность команде поддержки спутниковой миссии SWARM за возможность использовать данные наблюдений SWARM в своих исследованиях. Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.12 и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00889-а. В работе использованы экспериментальные данные ЦКП «Ангара» (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>).