

Изменение состояния ионосферы перед землетрясением Тохоку 2011 года

Савельева Н.В. (naza@ifz.ru), Пилипенко В.А. (pilipenko_va@mail.ru)

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, www.ifz.ru

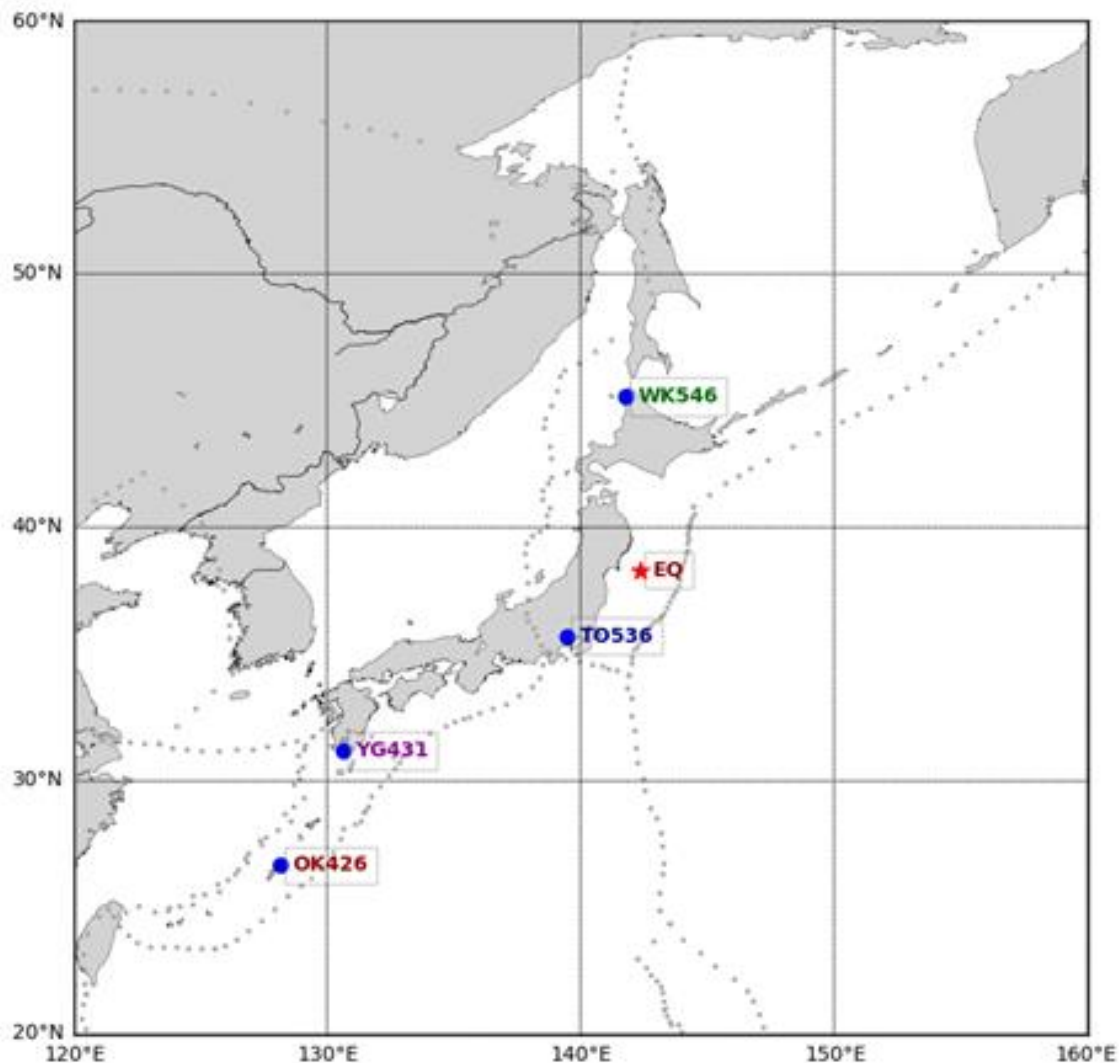
Целью исследования является изучение сейсмо-ионосферных связей и возможных предвестников землетрясений по данным наблюдений возмущений ионосферы с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В исследовании использованы двумерные карты ПЭС, построенные по задержкам GPS сигналов в ионосфере. Используются данные Отделения исследования ионосферы и околоземного космического пространства Университета Нагойя (NU), Япония [1] и Университета Каталонии (UPC), Испания [2].

В качестве дополнительных данных использованы измерения критической частоты foF2 станциями вертикального зондирования ионосферы, доступные на сайте Рабочей группы по исследованию ионосферы Национального института информационно-телекоммуникационных технологий (NICT), Япония [3].

Для учета активности солнца использованы магнитные индексы SME [4] и данные об интенсивности солнечного излучения в радиодиапазоне 10.7 см [5].

1. Global Navigation Satellite System - Total Electron Content (GNSS-TEC) database by Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan. URL: <https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/GPS/GPS-TEC/index.html>
2. Global ionosphere maps by Research group of Astronomy and Geomatics, Technical University of Catalonia (gAGE/UPC) at NASA's Archive of Space Geodesy Data. GNSS Atmospheric Products. URL: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/atmospheric_products.html#iono
3. Ionosonde observations in Japan by Ionospheric Working Group of National Institute of Information and Communications Technology, Japan. URL: https://wdc.nict.go.jp/IONO/index_E.html
4. SuperMAG Magnetic Indices. URL: <https://supermag.jhuapl.edu/indices/>
5. F10.7 cm Radio Emissions at Space Weather Prediction Center of National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>

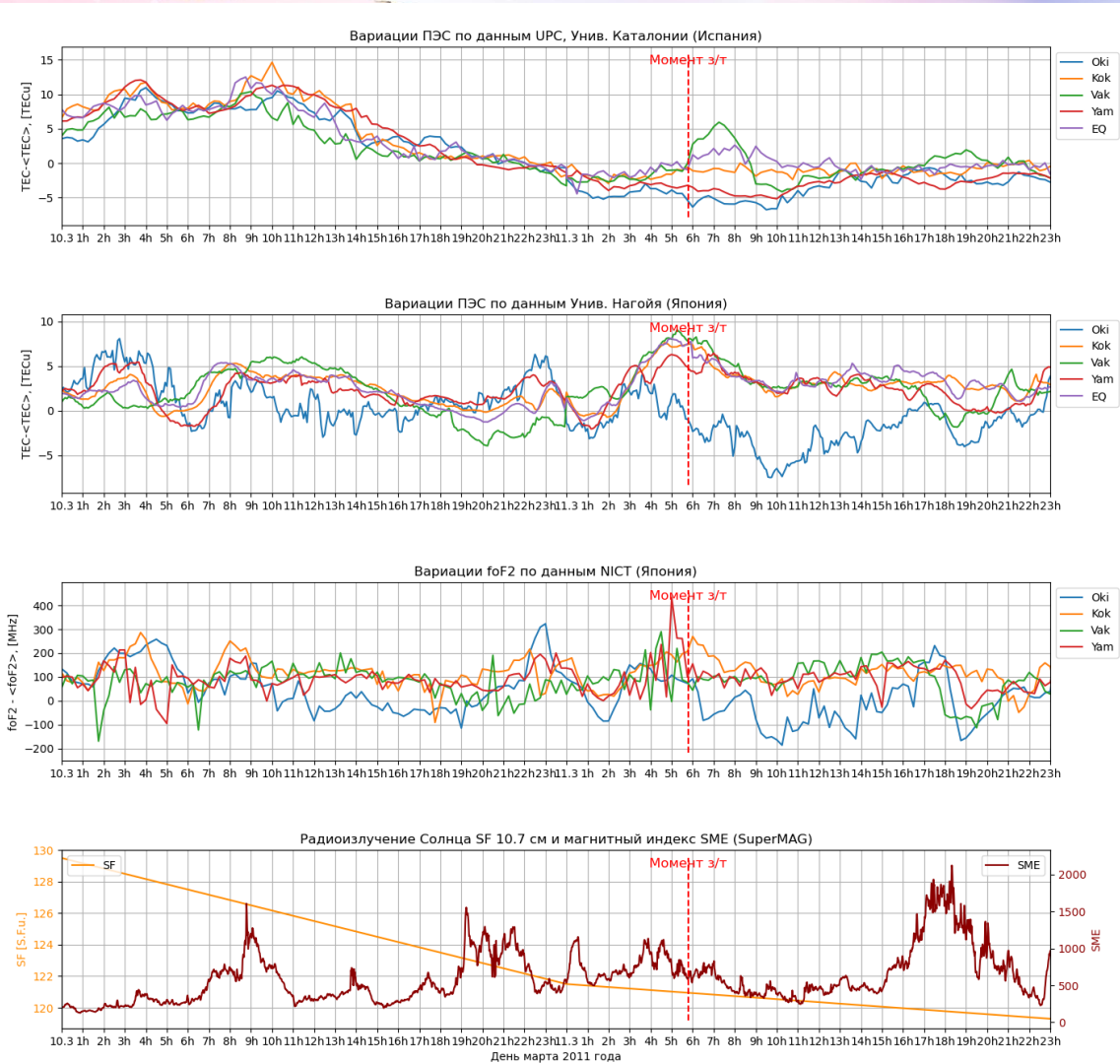


Слева показана карта окрестности эпицентра з/т (EQ), показаны положения станций ионосферного зондирования. Пунктиром обозначены места разломов земной коры, по данным цифровой карты разломов модели Питера Берда (<http://peterbird.name/>)

Координаты станций ионосферного зондирования и эпицентра з/т приведены в таблице ниже.

	Название станции (точки)	Географическая широта (WGS-84)	Географическая долгота (WGS-84)	Магнитная широта IGRF-10(2005))	Магнитная долгота IGRF-10(2005))
EQ	Эпицентр з/т Тохоку	38.32°N	142.37°E		
WK546	Wakkanai Sarobetsu	45.16°N	141.75°E	36.4°N	208.9°E
TO536	Kokubunji	35.71°N	139.49°E	26.8°N	208.2°E
YG431	Yamagawa	31.20°N	130.62°E	21.7°N	200.5°E
OK426	Okinawa/Ogimi	26.68°N	128.15°E	17.0°N	198.6°E

Проведен предварительный анализ динамики ПЭС ионосферы над эпицентром з/т (EQ) и над станциями вертикального зондирования ионосферы, для сравнения с данными foF2.



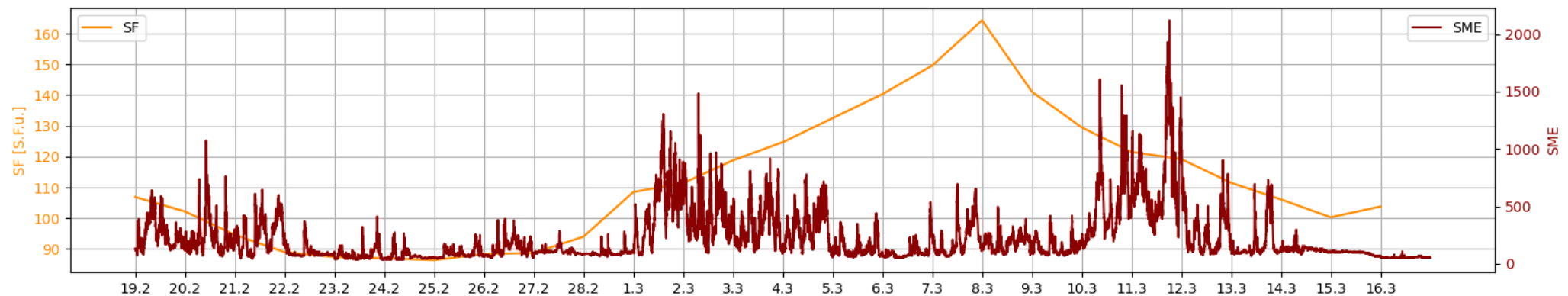
- Вариации ПЭС рассчитаны относительно усредненных суточных колебаний ПЭС по формуле: $TEC - \langle TEC \rangle$.
- Средние значения ПЭС ($\langle TEC \rangle$) рассчитаны методом «скользящего среднего», с периодом 7 суток.
- В точках расположения станций ионосферного зондирования рассчитаны вариации критической частоты foF2 по формуле: $foF2 - \langle foF2 \rangle$. Средние значения ($\langle foF2 \rangle$) рассчитаны также методом «скользящего среднего» с периодом 7 суток.
- Сравнение результатов показывает синхронные вариации ПЭС по данным Университета Нагойя и foF2 примерно за несколько часов до з/т.
- Для оценки возможного влияния солнечной активности использован магнитный индекс SME [4] и индекс SF, представляющий собой интенсивность солнечного излучения на 10.7 см [5].

Анализ солнечной активности за февраль-март 2011 года

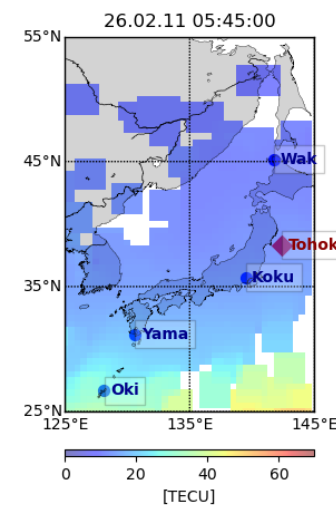
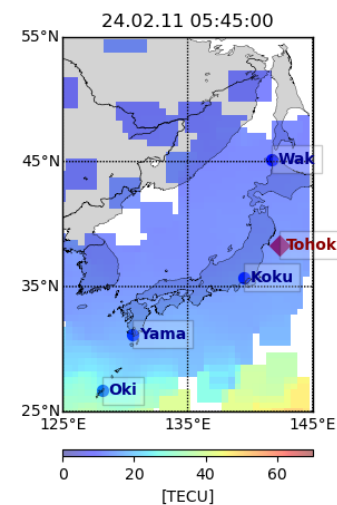
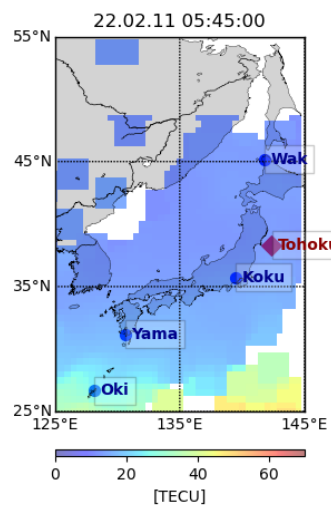
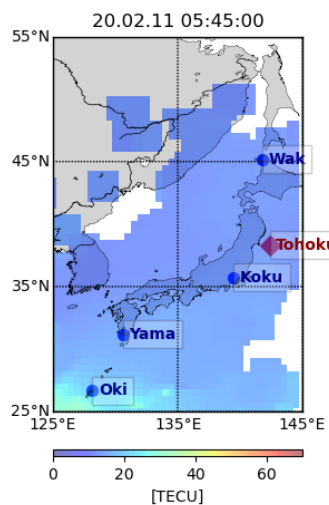
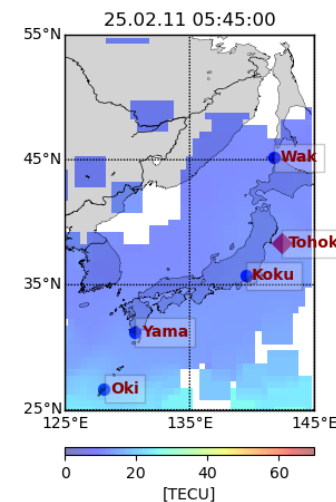
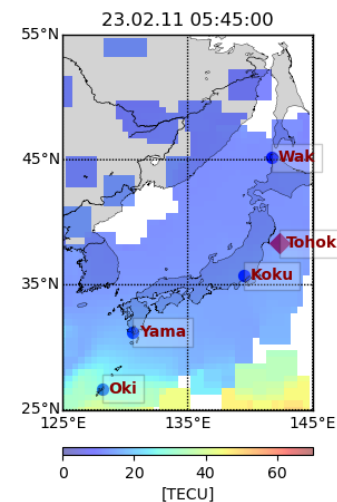
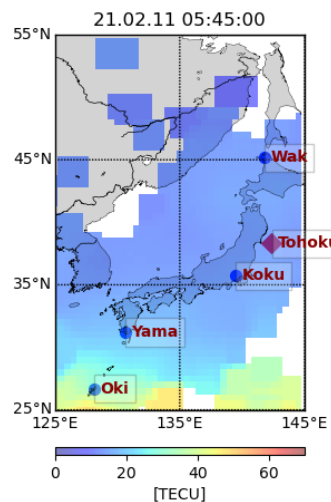
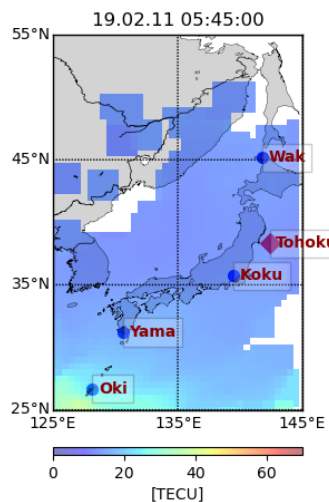
На рисунке ниже построены графики изменения индекса возмущений магнитного SME (бордовый) в период с 19 февраля по 16 марта 2011 года. В период с 22 по 26 февраля возмущения относительно низкие, однако с 19 по 12 марта наблюдался всплеск возмущений магнитного поля, что делает необходимым учет вклада солнечной активности в изменение уровней ПЭС непосредственно перед и после землетрясения.

Желтым цветом показана зависимость интенсивности излучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц). В период с 22 по 28 февраля наблюдается локальный спад, в то время как на период с 1 по 15 марта наблюдается повышенная интенсивность радиоизлучения Солнца, с максимумом 8 марта 2011 года. Таким образом, 11 марта 2011 года ионосфера испытывала возмущения за счет повышенной солнечной активности, вариаций магнитного поля, а также под действием землетрясения.

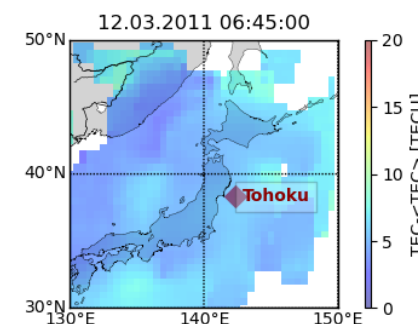
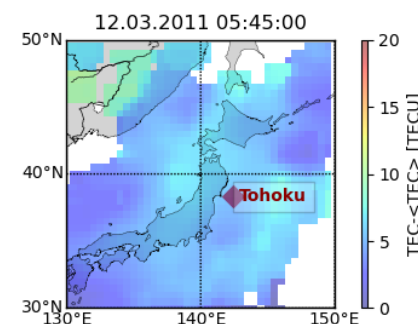
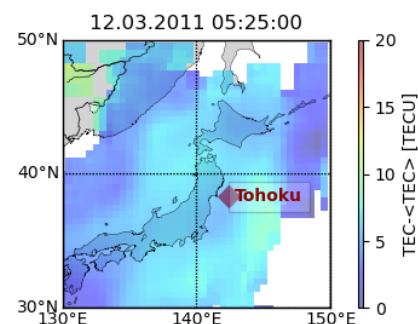
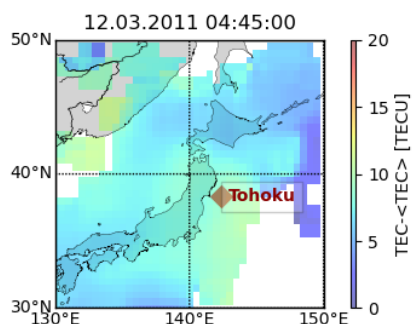
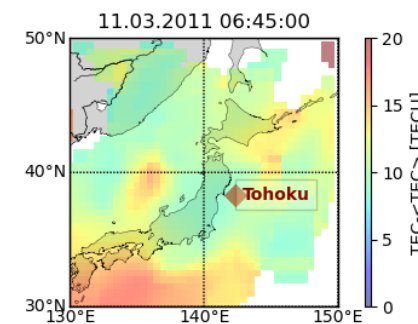
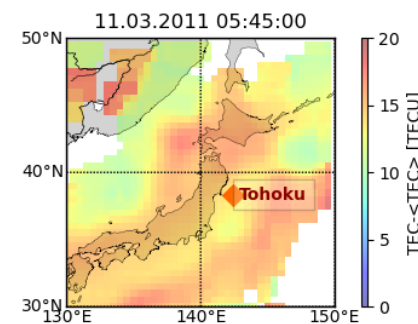
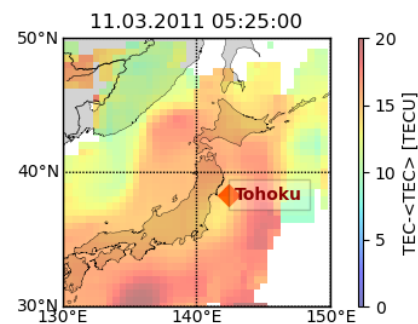
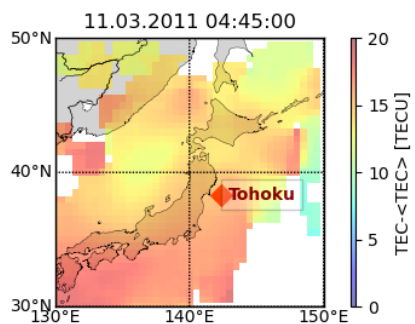
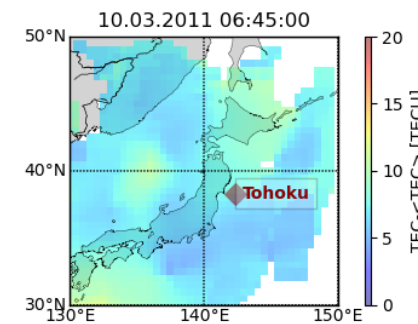
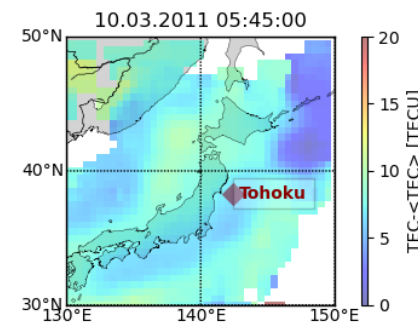
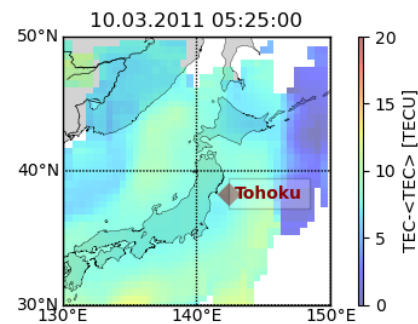
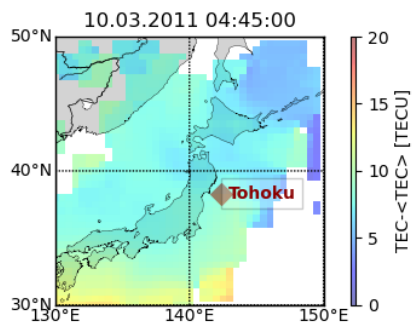
Радиоизлучение Солнца SF 10.7 см и магнитный индекс SME (SuperMAG)



Абсолютные значения ПЭС над Японией за период с 19 по 26 февраля 2011 года, который характеризуется относительно низкой солнечной активностью, не превышают 20 TECU. Указанные распределения ПЭС использованы как средние, для оценки вариаций ПЭС в период, непосредственно предшествующий землетрясению Тохоку.



Ниже показаны вариации ПЭС (TEC-<TEC>) в ст. единицах [UTEC]) над зоной землетрясения в 4:45, 5:25, 5:45 и 6:45UT за 10, 11, 12 марта 2011 года. Вариации ПЭС 11 марта 2011 года превышают вариации в другие дни практически в два раза (20 против 10 TECU).



ВЫВОДЫ

Показано значимое повышение ПЭС над эпицентром з/т за несколько часов до и в течение часа после землетрясения Тохоку, когда вариации ПЭС достигали 100% (20 TECU).

Обнаруженный эффект позволяет ставить следующие вопросы: на каком уровне ионосферы начинается повышение ПЭС, в каком слое ионосферы наблюдается максимальное повышение ПЭС, за какой период времени до начала землетрясения наблюдается значимое повышение ПЭС.

Для ответа на поставленные вопросы планируется проведение более детального исследования, с использованием методов томографии ионосферы для выявления вертикальной структуры неоднородностей ПЭС.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!