ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ И ИОНОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ НИЗКОШИРОТНОМУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ НА СУМАТРЕ

Свердлик Л.Г. (l.sverdlik@mail.ru)

Научная Станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке

Кыргызско-Российский Славянский Университет (КРСУ)

Имашев С.А. (sanzhar.imashev@gmail.com)

Научная Станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке

IX Международная научная конференция

«Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли»

Институт космических и информационных технологий СФУ

13–16 сентября, 2022

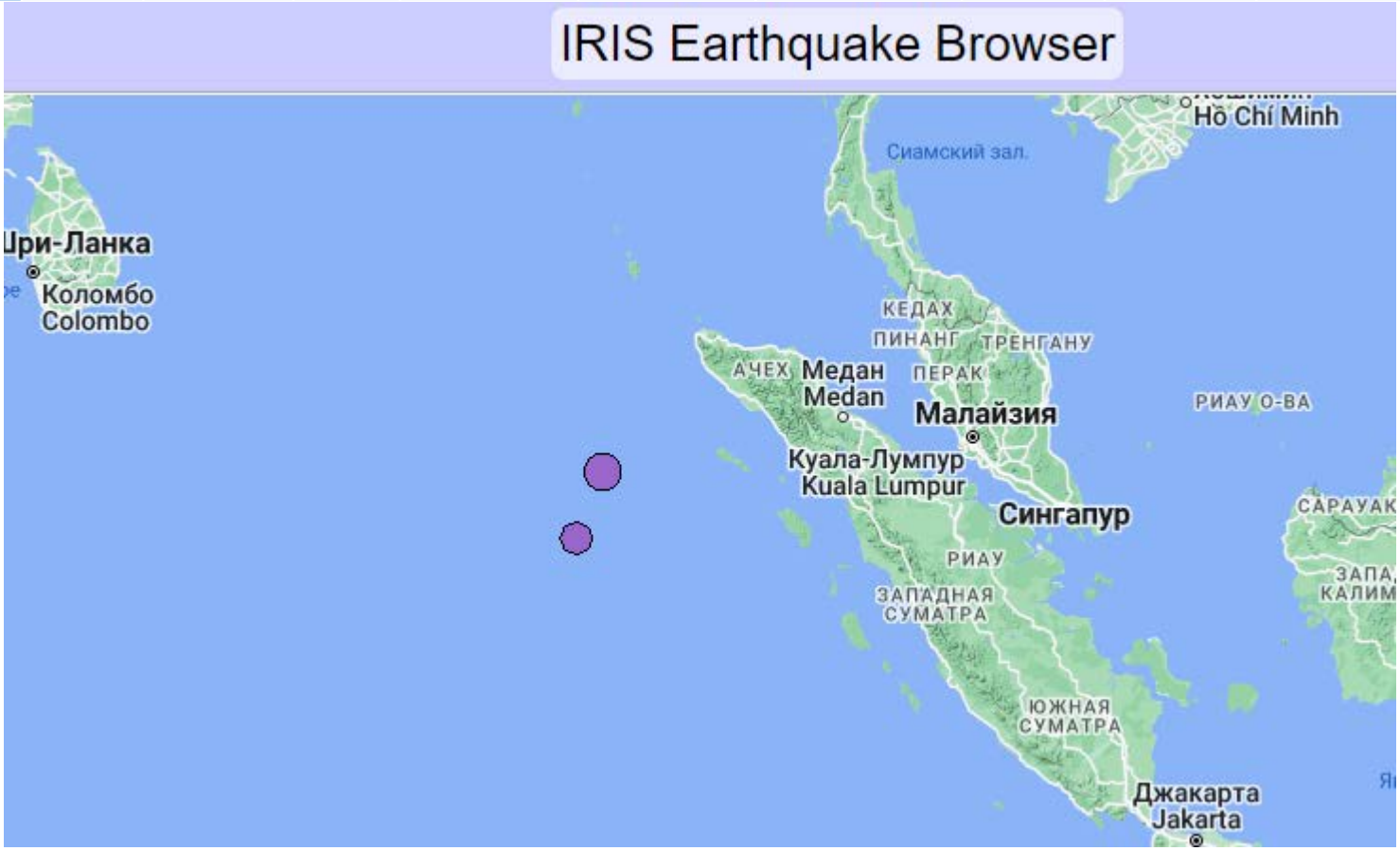
Аннотация

Спутниковое дистанционное зондирование играет важнейшую роль в изучении динамических процессов, протекающих в различных слоях атмосферы / ионосферы, и взаимодействия между этими слоями и литосферой. Мы представляем результаты сравнительного анализа аномальных вариаций температуры в нижней атмосфере и полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы, основанных на глобальных данных реанализа MERRA-2 и навигационной системы GNSS / GPS и относящихся к периоду сильной сейсмической активности. Задача выделения и идентификации предсейсмических возмущений, которые наблюдались в процессе подготовки крупного низкоширотного землетрясения магнитудой M=8,6 и его афтершока M=8,2, произошедших на Суматре (Индонезия) 11 апреля 2012 г., решалась на основе применения разработанных и апробированных ранее алгоритмов. Реакция верхней тропосферы / нижней стратосферы (UTLS) и ионосферы на предстоящее сильное землетрясение при спокойных геомагнитных условиях проявлялась в аномальном изменении температуры и ПЭС, соответственно. Аномалии располагались вблизи эпицентра землетрясения и достигали максимума 06 апреля 2012 г. (за 6 дней до события). В отличие от мезомасштабного температурного возмущения в UTLS аномалия ПЭС имела значительно больший горизонтальный размер, составляющий несколько тысяч километров. При всем различии пространственных масштабов и динамики временной эволюции возмущений в ионосфере и атмосфере области аномальных значений исследуемых параметров в момент максимального развития располагались вблизи эпицентра и были достаточно близки по форме. В качестве вероятного механизма взаимодействия литосферы, атмосферы и ионосферы рассматривалось усиление активности процесса генерации длиннопериодных атмосферных гравитационных волн.

Сейсмические данные

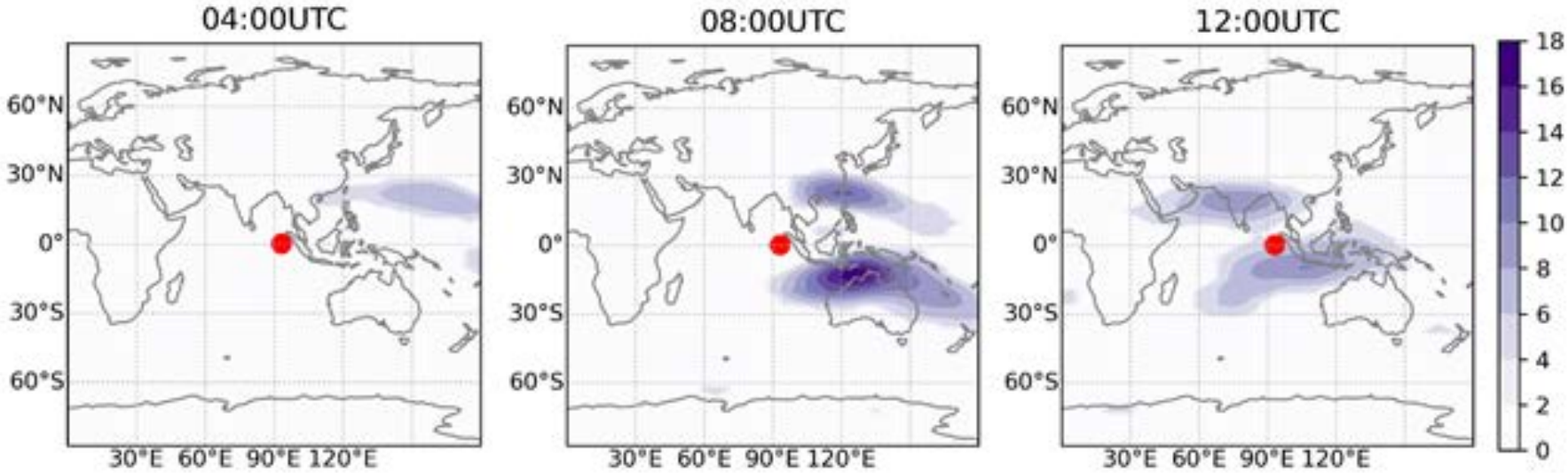
Таблица. Характеристики исследуемых землетрясений (EQ) магнитудой *M* >8,0 (Суматра, Индонезия) (http://earthquake.usgs.gov/)

№	Year	Month	Day	Time	Latitude	Longitude	M	D, км	Location
EQ01	2012	4	11	8:38:36	2,327	93,063	8,6	20,0	N. Sumatra
EQ02	2012	4	11	10:43:10	0,802	92,463	8,2	25,1	N. Sumatra

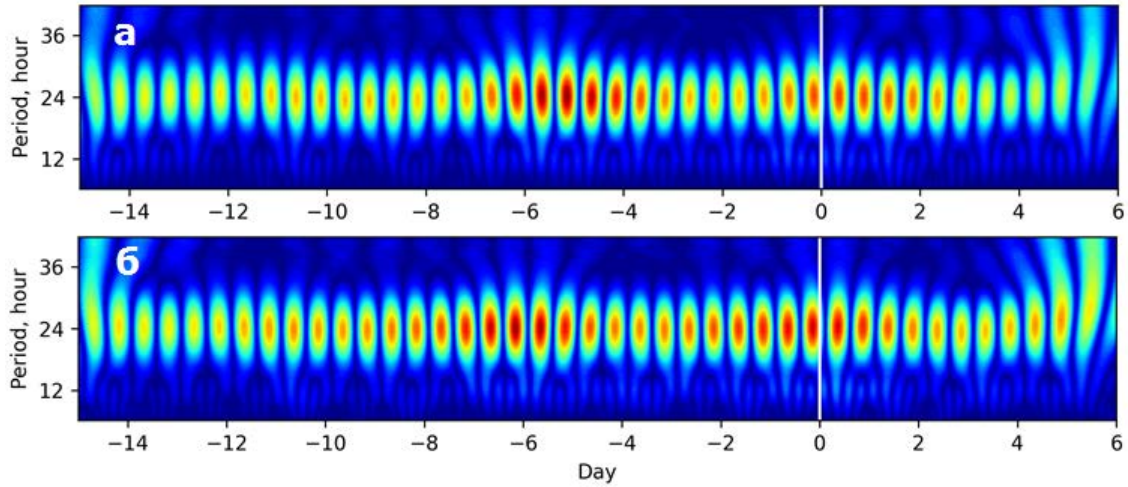


Карта расположения эпицентров землетрясений M>8.0 в апреле 2012 г.

Аномалии пространственно-временного распределения ПЭС в ионосфере

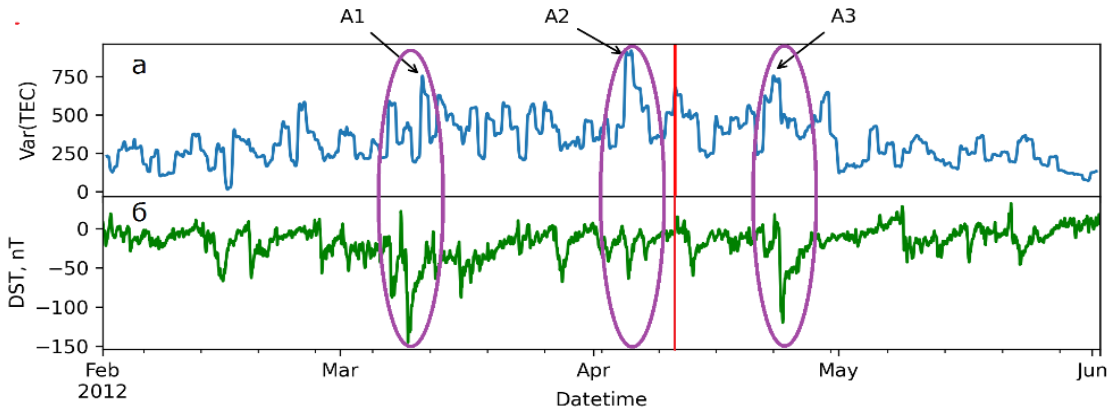


Развитие во времени пространственного распределения аномалий ПЭС 05.04.2021
(за 6 дней до события M=8.6, эпицентр которого отмечен маркером)

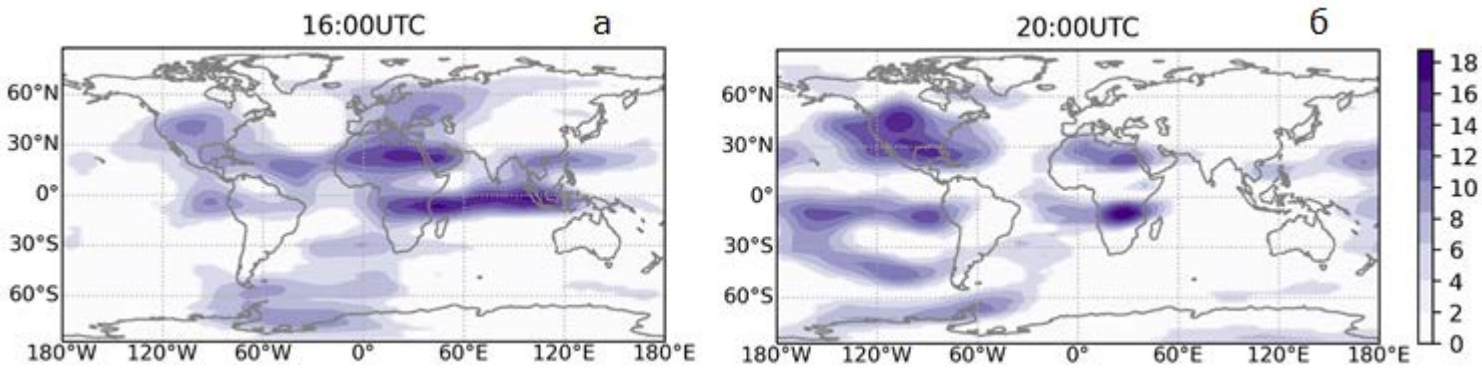


Вейвлетограммы временных рядов ПЭС над центрами аномалий (а – северная аномалия, б - южная). По горизонтальной оси – дни относительно землетрясения (обозначено вертикальной линией); по вертикальной оси – временной масштаб в часах

Аномалии пространственно-временного распределения ПЭС в ионосфере

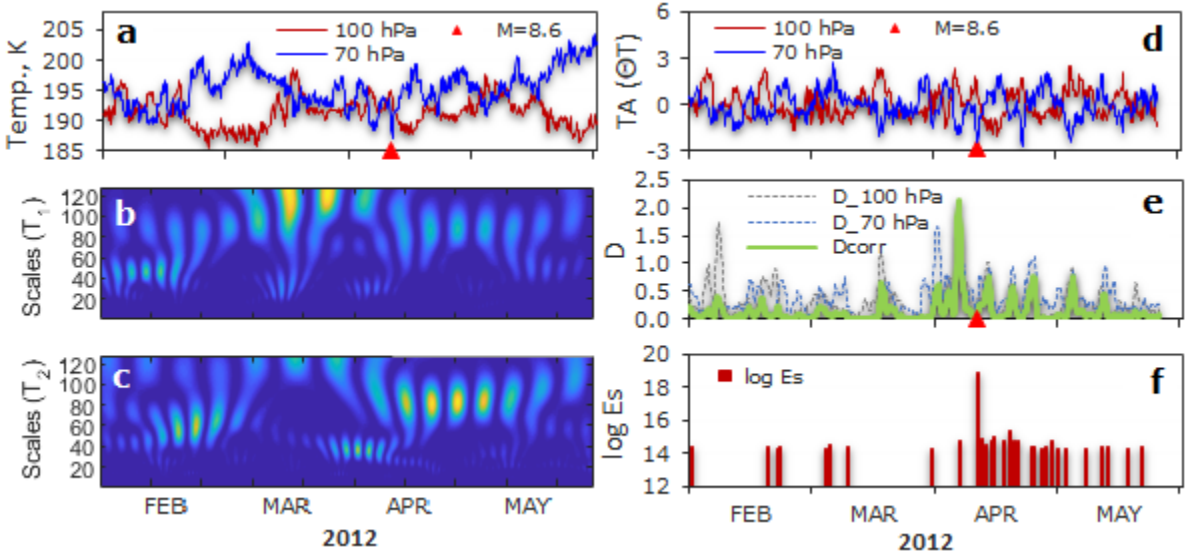


Вариации дисперсии ПЭС (Var(TEC)) над южной аномалией в скользящем окне 24 ч (а) и индекса Dst (б). Овалами отмечены области аномальных значений ПЭС (A1, A2 и A3), вертикальная линия – момент сейсмического события M=8,6 (11 апреля 2012 г.)

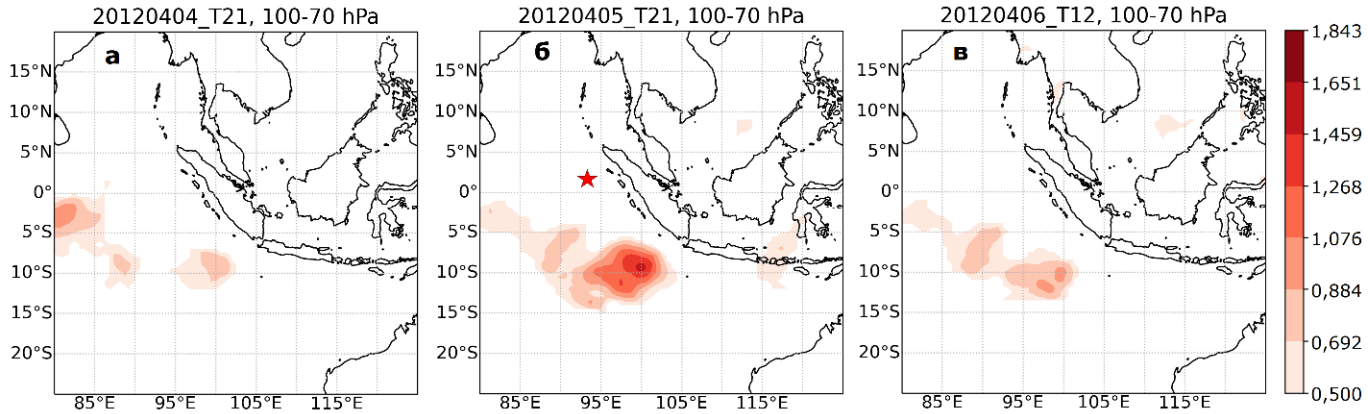


Пространственное распределение аномалий ПЭС (δTEC) во время магнитных бурь (а – 11.03.2012, б – 23.04.2012)

Прост ранст венно-временное распределение аномалий т емперат уры



Временные ряды температуры T_1 и T_2 на уровнях 100 и 70 гПа (a), спектры коэффициентов вейвлет-преобразования (b, c), аномалии температуры ΔT (d), параметр D_{CORR} (e), логарифм сейсмической энергии log(Es) (f) в период с февраля по май 2012 г.

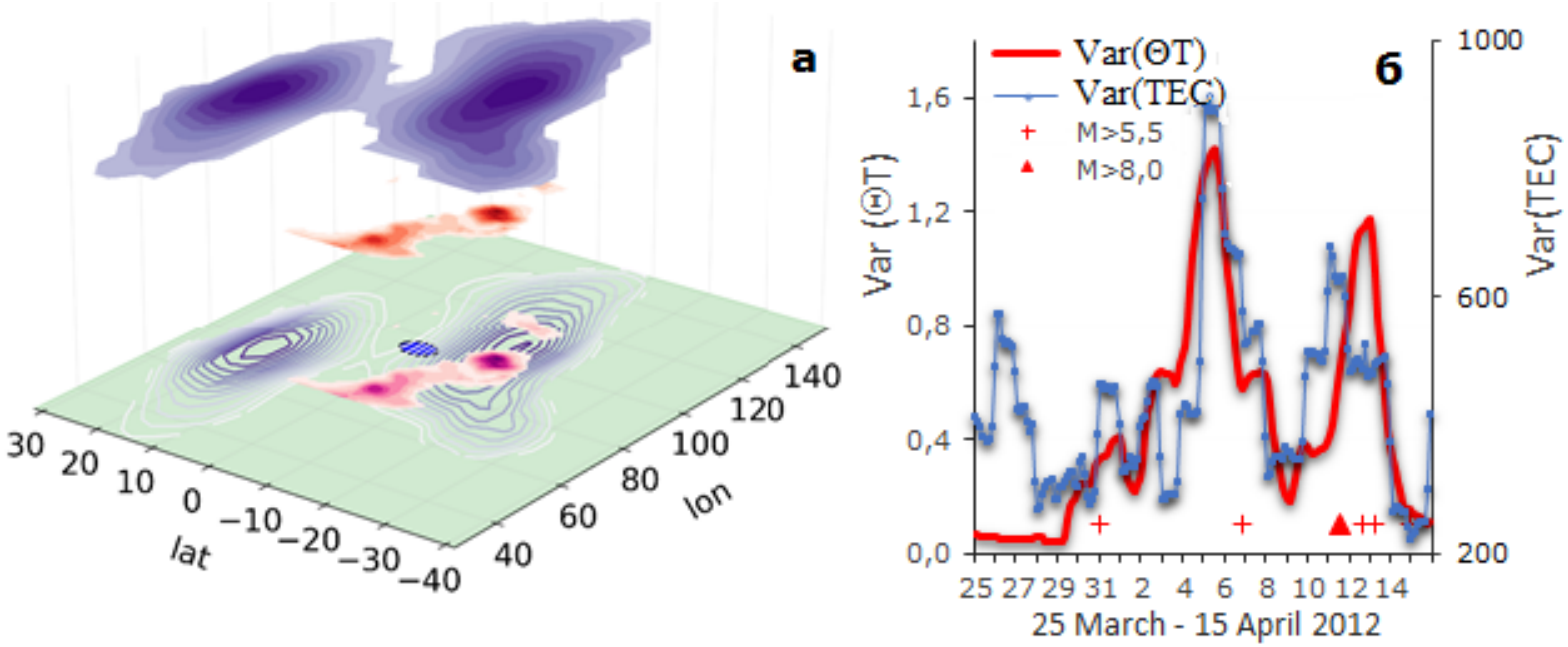


Эволюция пространственного распределения температурной аномалии с 04.04.2012 (21:00 UTC) по 06.04.2012 (12:00 UTC). Эпицентр сейсмического события M=8,6 (93,063 °E; 2,327 °N) отмечен красным маркером

Сравнение предсейсмических возмущений в атмосфере (UTLS) и ионосфере

При всем различии пространственных масштабов и динамики временной эволюции возмущений в ионосфере и атмосфере области аномальных значений исследуемых параметров в момент максимального развития (за 6 суток до землетрясений EQ01 и EQ02) располагались вблизи эпицентра, а их форма достаточно близко соответствовала друг другу.

Максимум дисперсии температурной аномалии Var(ΘT) на изобарическом уровне 100 гПа наблюдался 05 апреля 2012 г. с 3:00 до 6:00 UTC, т.е., на 3–6 часов опережал возмущение ПЭС (Var(TEC)).



Пространственное распределение аномалии ПЭС ионосферы (δTEC) и температуры в UTLS (D_{CORR}) 05 апреля 2012 г. (15:00 UTC) и их проекции на земную поверхность (высоты показаны схематично). Эпицентр землетрясения M=8,6 показан синим маркером (а). Вариации дисперсии аномалии температуры Var(ΘT) на уровне 100 гПа и дисперсии ПЭС (Var(TEC)) в период с 25 марта по 15 апреля 2012 г. (б)

Заключение

Совместный анализ пространственно-временных изменений температуры в нижней атмосфере и ПЭС ионосферы показал наличие коррелированных аномальных вариаций этих параметров, свидетельствующих вероятной связи с процессами подготовки землетрясений M=8,6 и M=8,2 на Суматре 11 апреля 2012 г. Максимумы в развития аномалий исследуемых параметров наблюдались за 6 суток до землетрясения. Одним из возможных объяснений этой взаимосвязи может являться то, что рассматриваемое землетрясение являлось мощным источником атмосферных гравитационных волн, которые, распространяясь через атмосферу на ионосферные высоты, привели к образованию соответствующих возмущений. Достоверность выделения вероятных сейсмически индуцированных аномалий определялась учетом влияния солнечной и геомагнитной активности, которые также могли вызвать возмущения атмосферы / ионосферы.

Отличительной особенностью реакции нижней атмосферы и ионосферы являлись значительные различия в пространственных масштабах и динамике временной эволюции предсейсмических возмущений.

Спасибо за внимание!
Thank you for attention!