

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ И ИОНОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ В ПЕРИОД СИЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СУМАТРЕ

**Свердлик Л.Г.** ([l.sverdlik@mail.ru](mailto:l.sverdlik@mail.ru))

Научная Станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке  
Кыргызско-Российский Славянский Университет (КРСУ)

**Имашев С.А.** ([sanzhar.imashev@gmail.com](mailto:sanzhar.imashev@gmail.com))

Научная Станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке



20 Конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»  
Институт Космических Исследований РАН, Москва,  
14-18 ноября, 2022

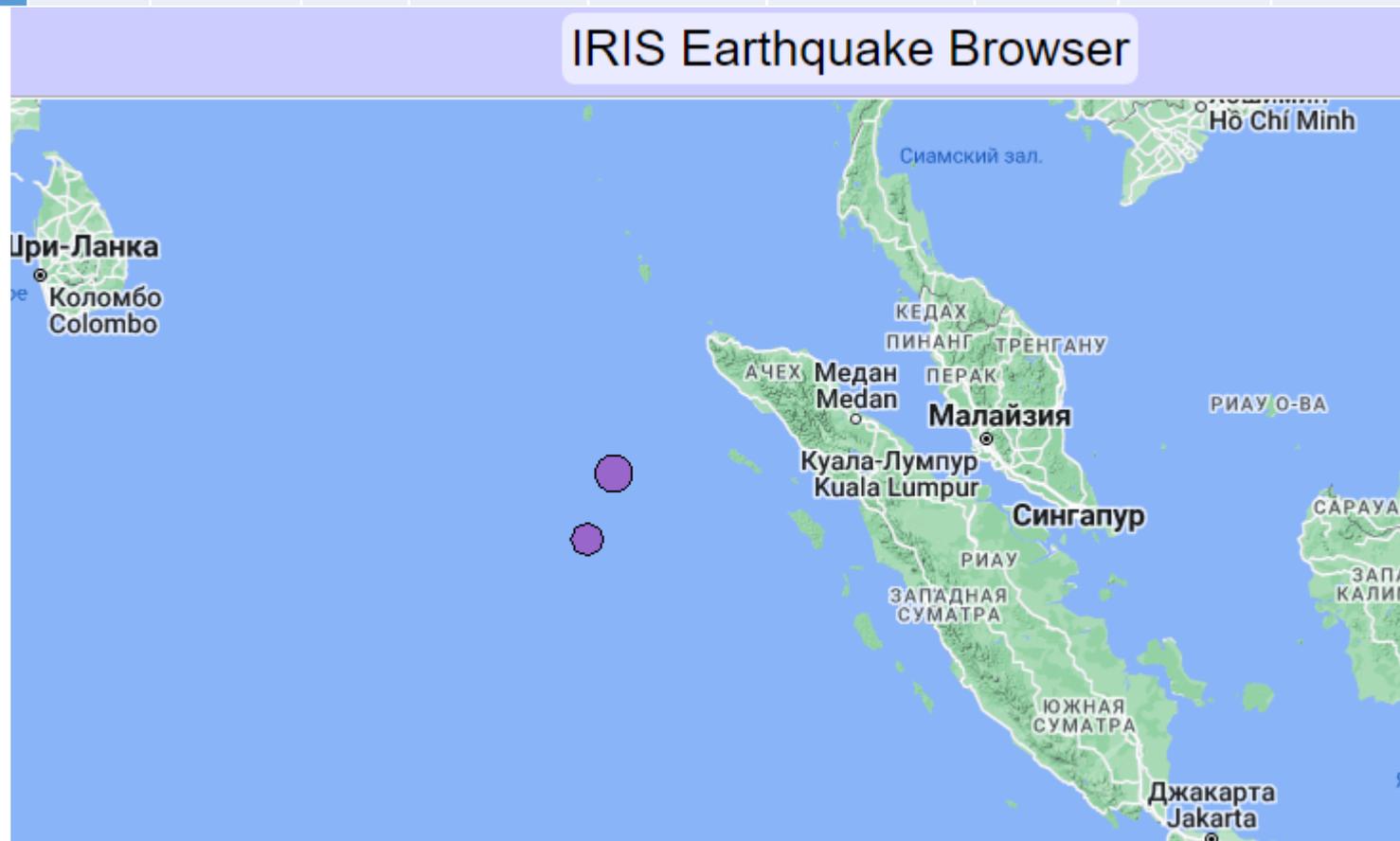
## Аннотация

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 длинопериодных атмосферных гравитационных волн.

## Сейсмические данные

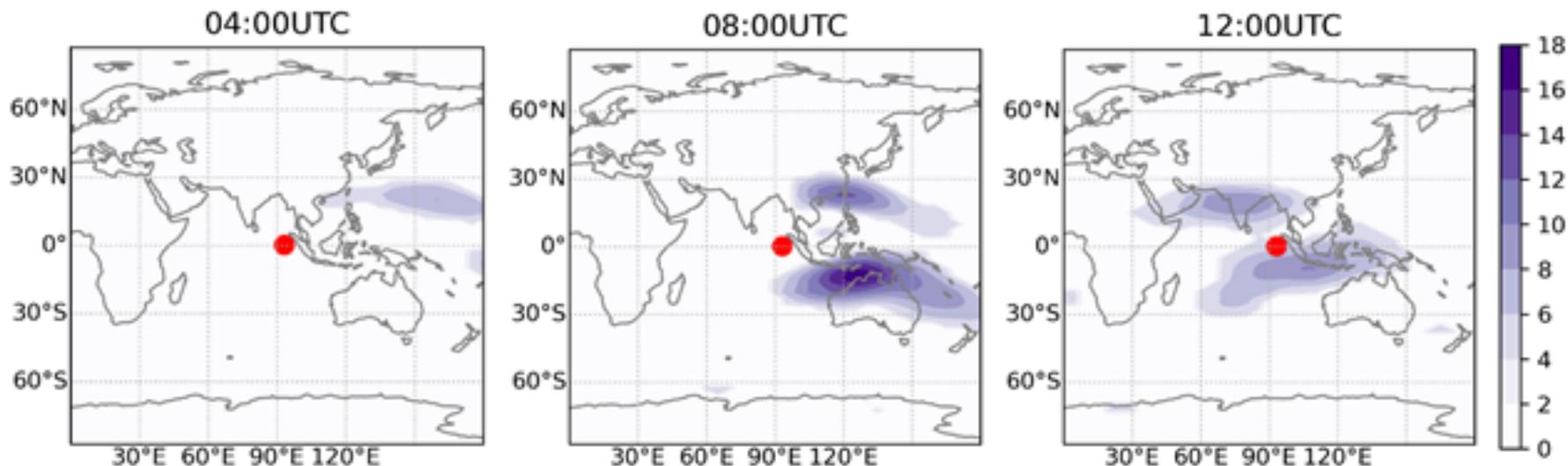
**Таблица.** Характеристики исследуемых землетрясений (EQ) магнитудой  $M > 8,0$  (Суматра, Индонезия) (<http://earthquake.usgs.gov/>)

| №    | 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 |

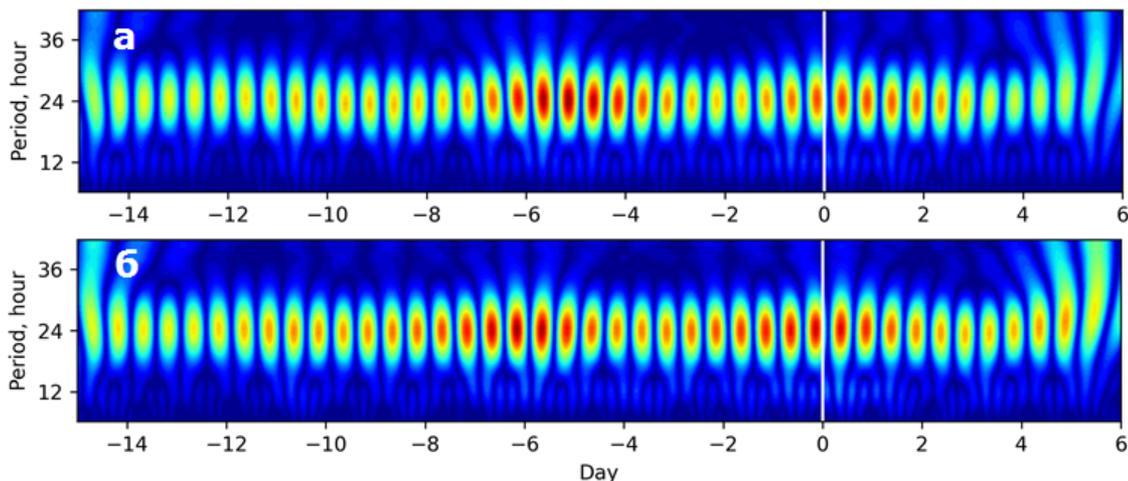


Карта расположения эпицентров землетрясений  $M > 8.0$  в апреле 2012 г.

# Аномалии пространственно-временного распределения ПЭС в ионосфере

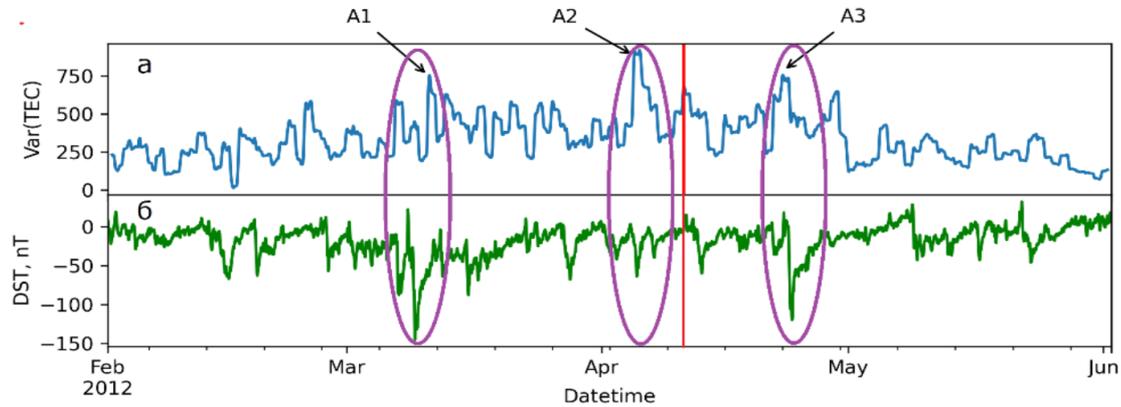


Развитие во времени пространственного распределения аномалий ПЭС 05.04.2021 (за 6 дней до события  $M=8.6$ , эпицентр которого отмечен маркером)

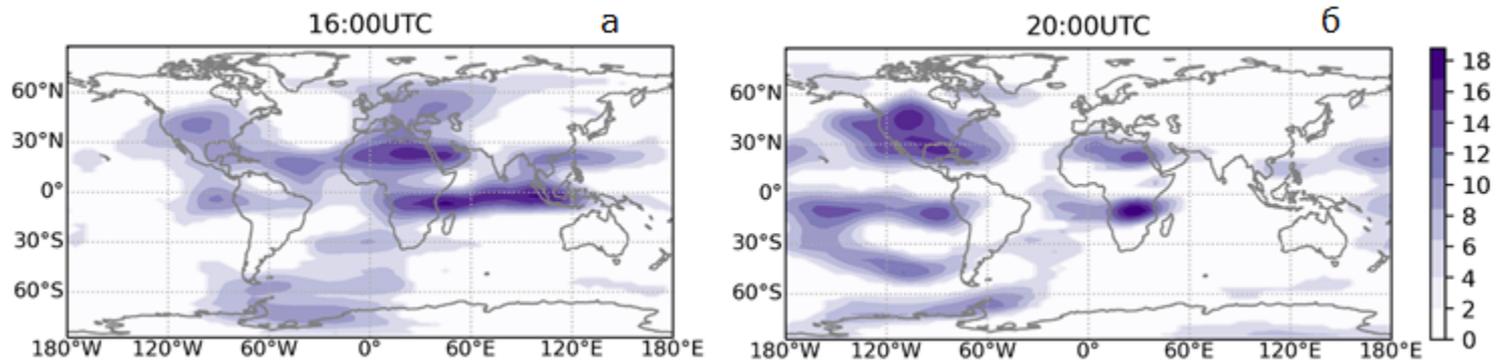


Вейвлетограммы временных рядов ПЭС над центрами аномалий (а – северная аномалия, б - южная). По горизонтальной оси – дни относительно землетрясения (обозначено вертикальной линией); по вертикальной оси – временной масштаб в часах

# Аномалии пространственно-временного распределения ПЭС в ионосфере

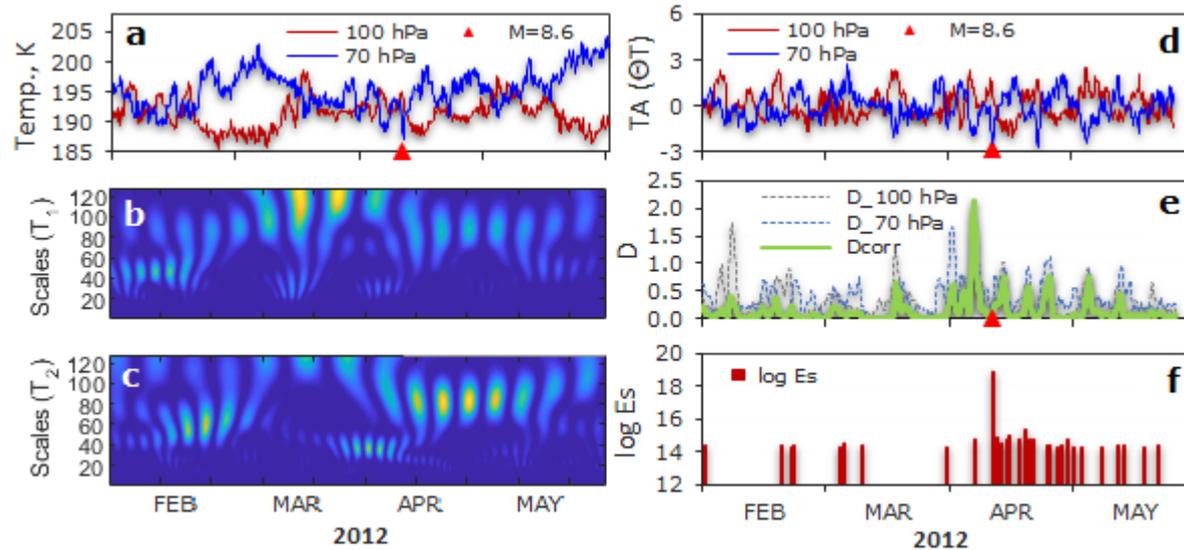


Вариации дисперсии ПЭС (Var(TEC)) над южной аномалией в скользящем окне 24 ч (а) и индекса Dst (б). Овалами отмечены области аномальных значений ПЭС (A1, A2 и A3), вертикальная линия – момент сейсмического события M=8,6 (11 апреля 2012 г.)

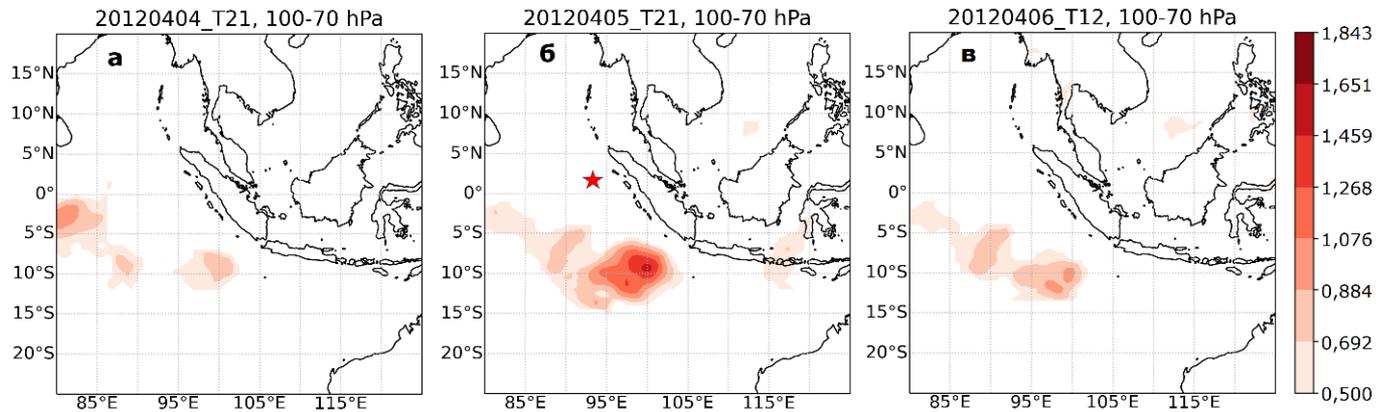


Пространственное распределение аномалий ПЭС ( $\delta\text{TEC}$ ) во время магнитных бурь (а – 11.03.2012, б – 23.04.2012)

# Пространственно-временное распределение аномалий температуры



Временные ряды температуры  $T_1$  и  $T_2$  на уровнях 100 и 70 гПа (а), спектры коэффициентов вейлет-преобразования (б, с), аномалии температуры  $\Delta T$  (д), параметр  $D_{CORR}$  (е), логарифм сейсмической энергии  $\log(Es)$  (ф) в период с февраля по май 2012 г.

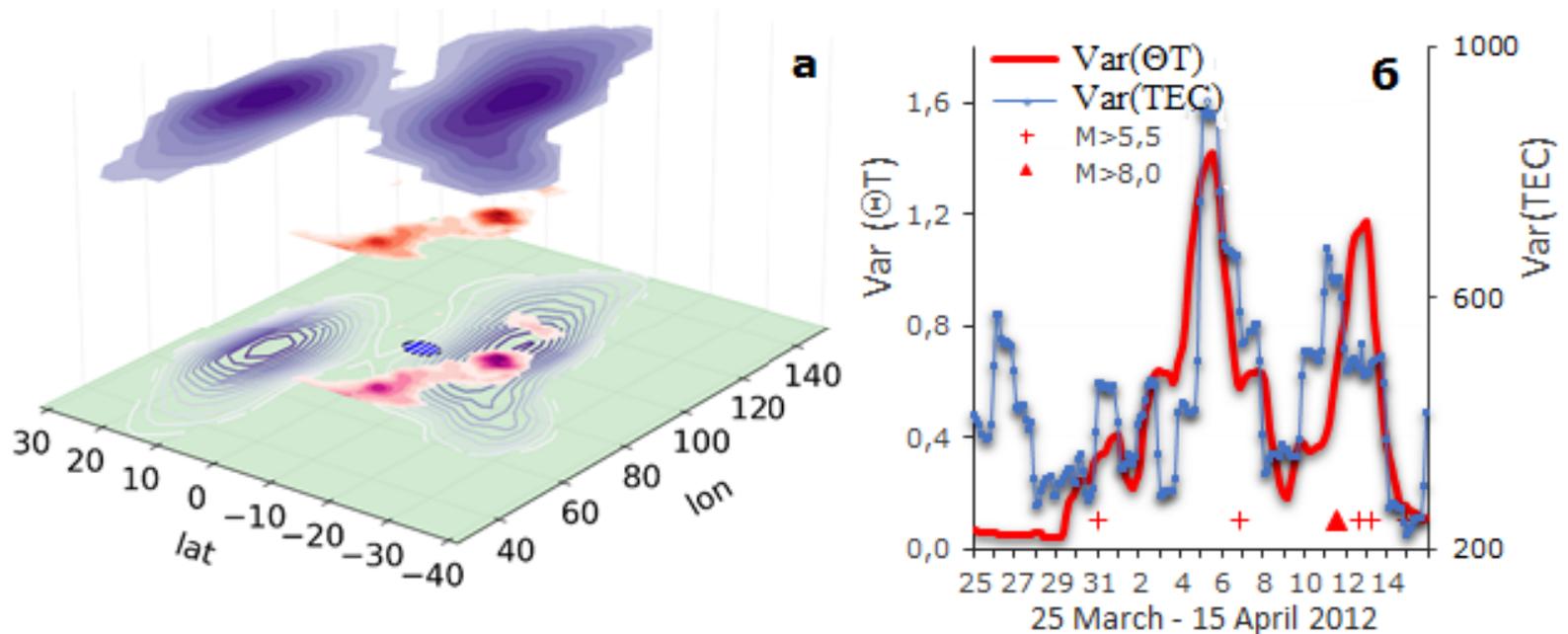


Эволюция пространственного распределения температурной аномалии с 04.04.2012 (21:00 UTC) по 06.04.2012 (12:00 UTC). Эпицентр сейсмического события  $M=8,6$  (93,063 °E; 2,327 °N) отмечен красным маркером

# 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  $\text{Var}(\Theta T)$  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 ( $\text{Var}(\text{TEC})$ ).



Пространственное распределение аномалии ПЭС ионосферы ( $\delta\text{TEC}$ ) и температуры в UTLS ( $D_{\text{CORR}}$ ) 05 апреля 2012 г. (15:00UTC) и их проекции на земную поверхность (высоты показаны схематично). Эпицентр землетрясения  $M=8,6$  показан синим маркером (а). Вариации дисперсии аномалии температуры  $\text{Var}(\Theta T)$  на уровне 100 гПа и дисперсии ПЭС ( $\text{Var}(\text{TEC})$ ) 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 развитии 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.

## Литература

1. *Имашев С.А., Свердлик Л.Г.* Атмосферные и ионосферные аномалии, предшествующие сильному экваториальному землетрясению на Суматре // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 318–327. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-318-327.
2. *Sverdlik L., Imashev S.* Spatial-temporal distribution of atmospheric temperature anomalies connected with seismic activity in Tien-Shan, *MAUSAM*, 2020, Vol. 71, No. 3, pp. 481–490. URL: [https://metnet.imd.gov.in/mausamdocs/171310\\_F.pdf](https://metnet.imd.gov.in/mausamdocs/171310_F.pdf).

An aerial photograph of a mountain valley. In the foreground, a small village with several buildings and trees is situated on a grassy slope. A winding road leads through the village. The middle ground shows steep, brownish mountainsides. In the background, a range of high, rugged mountains with significant snow cover stretches across the horizon under a clear blue sky.

**Спасибо за внимание!**  
**Thank you for attention!**