

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КОГЕРЕНТНЫХ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ В ПЕРИОДЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Свердлик Л.Г. (l.sverdlik@mail.ru)

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

Научная Станция Российской Академии Наук в г. Бишкеке



XVIII Всероссийская Открытая Конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Институт Космических Исследований РАН,
Москва, 16-20 ноября, 2020

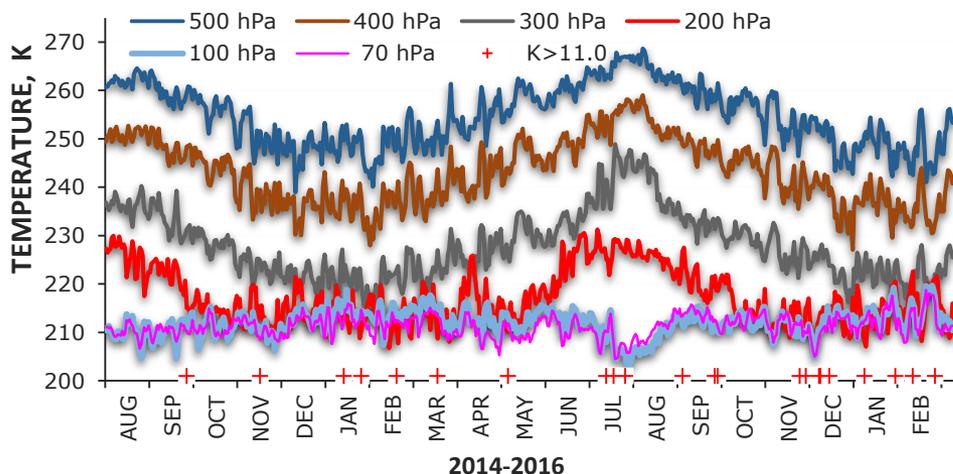
Исследование взаимосвязи между аномалиями температуры и сейсмичностью

Исследование взаимосвязи между аномалиями короткопериодных вариаций температуры в верхней тропосфере / нижней стратосфере (UTLS) и сейсмической активностью основано на ретроспективном анализе данных спутникового дистанционного зондирования. Основные задачи данного этапа:

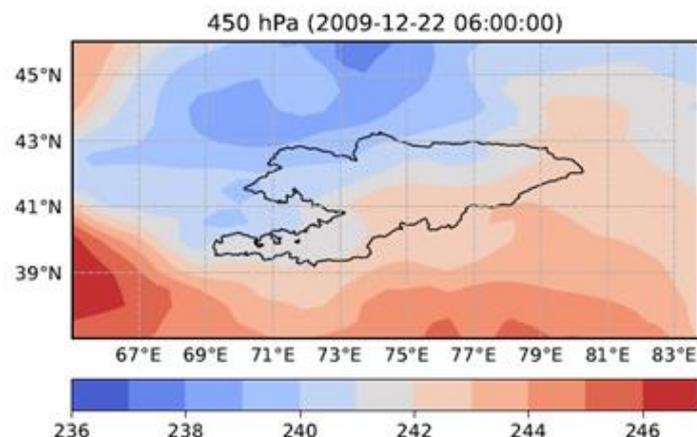
1. Расширение набора исследуемых событий. Основное внимание уделялось региону Центральной Азии (Тянь-Шань и Северный Памир). В тоже время, для установления общих закономерностей проявления сейсмоатмосферных эффектов сильных землетрясений, были проанализированы события, произошедшие в сейсмически активных регионах Центральной и Юго-восточной Азии (Япония, Россия, Непал, Суматра) и в Средиземноморском регионе Европы (Италия, Турция, Кипр, Крит).
2. Усовершенствование алгоритма обработки и анализа спутниковых и сейсмических данных. Один из возможных вариантов состоит в исследовании динамики спектров вариаций температуры и комбинированном использовании разных высотных интервалов.
3. Выделение эффектов временной, пространственной и частотной когерентности в вариациях температуры в области UTLS над эпицентрными областями землетрясений. Представлены наиболее показательные примеры с результатами проведенных исследований пространственного и временного распределения аномалий температуры в зоне раздела тропосферы и стратосферы, в которых проявились определенные характерные особенности литосферно-атмосферной связи.

Данные спутниковых измерений температуры атмосферы

• MERRA-2 Model [M213NPAM v5.12.4], Time Series, Area-Averaged of Air temperature, Instantaneous 3-hourly 0.5 x 0.625 deg. [<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/>]

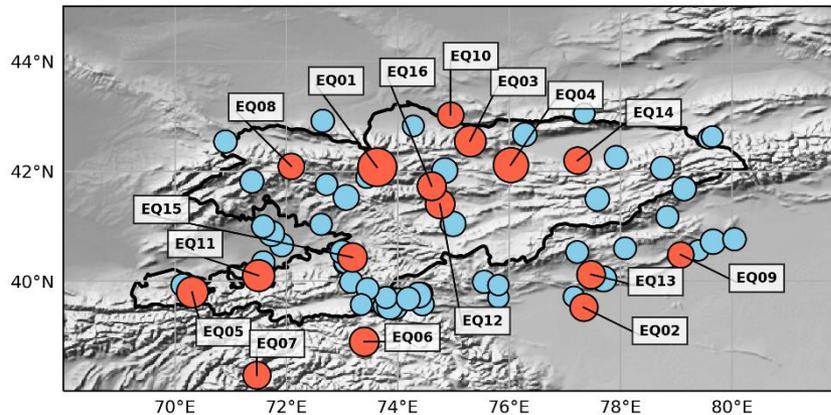
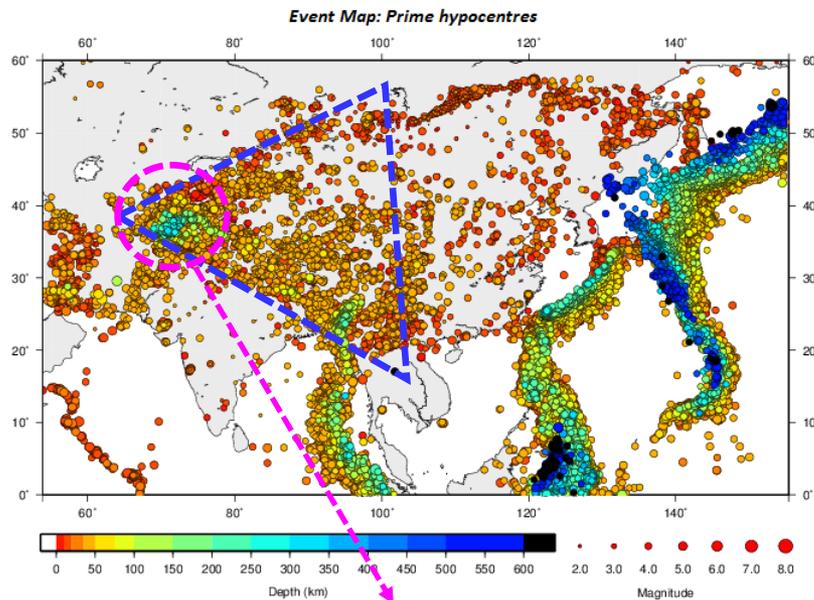


• M213NPASM: MERRA-2 inst3_3d_asm_Np: 3d, 3-Hourly, Instantaneous, Pressure-Level, Assimilated Meteorological Fields V5.12.4, 0.5 x 0.625 deg. [<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/>]



Исследуемые сейсмические события

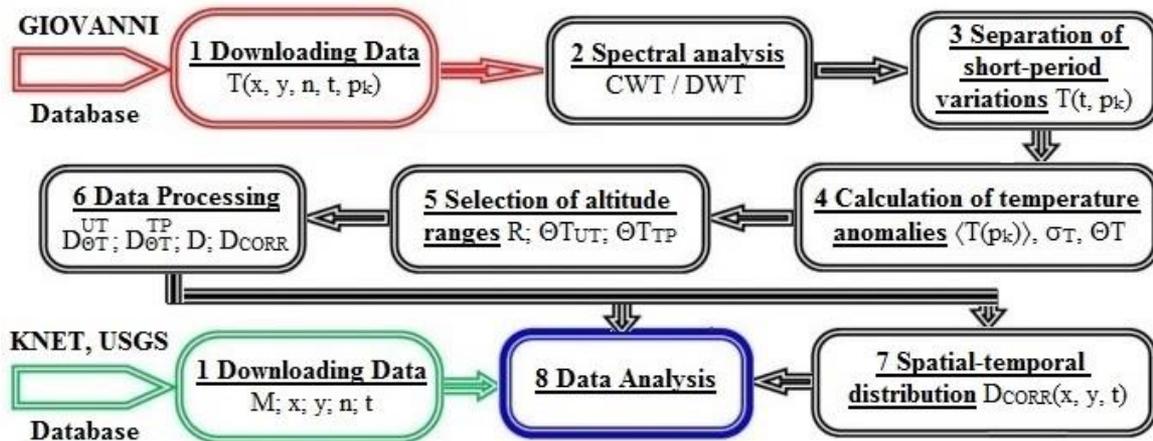
Таблица. Характеристики землетрясений $M \geq 5.0$ по данным региональной сети KNET и глобальных каталогов USGS и ISC



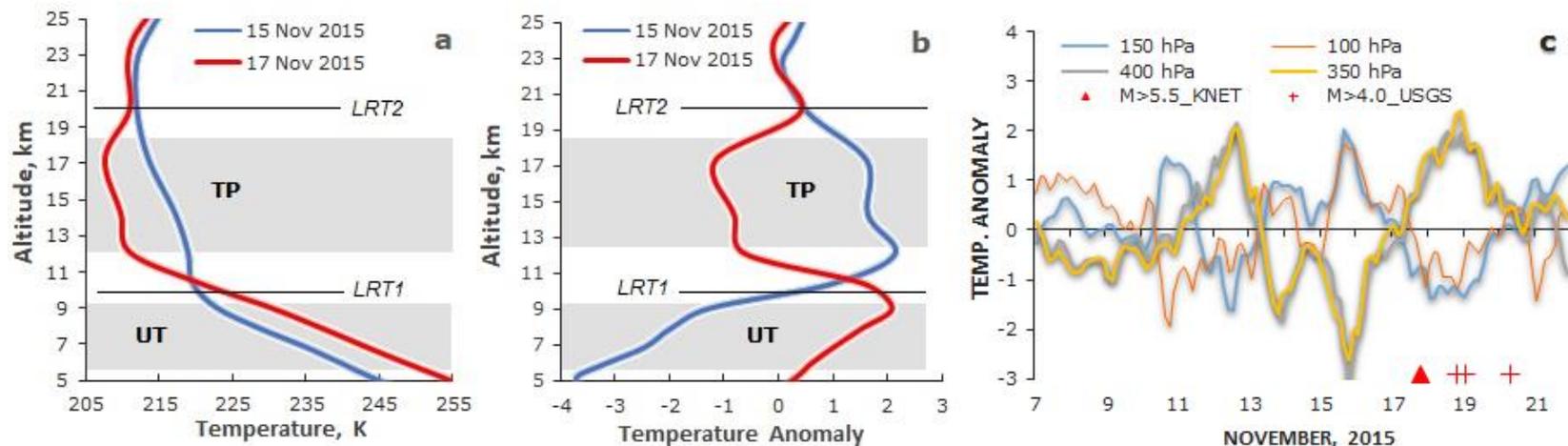
Исследование выполнено в наиболее сейсмоактивной области Центральной Азии, расположенной в зоне сочленения двух крупнейших горных систем – Памира и Тянь-Шаня, которая выделяется на карте распределения эпицентров землетрясений. Проанализированы результаты, относящиеся к двум событиям: $M=7.4$ (19.08.1992) и $M=5.8$ (17.11.2015).

№	Date	M	Region
EQ01	19.08.1992	7.4	Kyrgyzstan, Suusamyr
EQ02	30.03.2003	5.3	China
EQ03	16.01.2004	6.0	Kyrgyzstan
EQ04	25.12.2006	6.7	Kyrgyzstan
EQ05	08.01.2007	6.0	Kyrgyzstan
EQ06	05.10.2008	5.6	Tajikistan
EQ07	02.01.2010	5.3	Tajikistan
EQ08	19.01.2010	5.0	Kyrgyzstan
EQ09	17.03.2011	5.0	China
EQ10	18.03.2011	5.0	Kyrgyzstan
EQ11	19.07.2011	6.1	Kyrgyzstan
EQ12	05.02.2012	5.6	Kyrgyzstan
EQ13	11.03.2013	5.4	China
EQ14	14.11.2014	5.2	Kyrgyzstan
EQ15	17.11.2015	5.8	Kyrgyzstan
EQ16	27.12.2011	6.6	Russia, Tuva
EQ17	26.02.2012	6.7	Russia, Tuva
EQ18	11.04.2012	8.6	Indonesia, Sumatra Isl.
EQ19	24.09.2013	7.7	Pakistan, Baluchistan
EQ20	12.02.2014	6.8	China
EQ21	25.04.2015	7.8	Nepal
EQ22	16.02.2015	6.7	Japan, Honshu Island
EQ23	12.05.2015	6.8	Japan, Honshu Island
EQ24	30.05.2015	7.8	Japan, Ogasawara Isl.
EQ25	23.10.2011	7.1	Turkey
EQ26	20.05.2012	6.1	Italy
EQ27	15.06.2013	6.3	Greece, Crete
EQ28	16.06.2013	6.1	Greece, Crete
EQ29	12.10.2013	6.8	Greece, Crete
EQ30	24.05.2014	6.9	Aegean Sea, Gr/Tur
EQ31	17.11.2015	6.5	Greece
EQ32	30.10.2016	6.6	Italy

Исследование атмосферных эффектов землетрясений в области UTLS

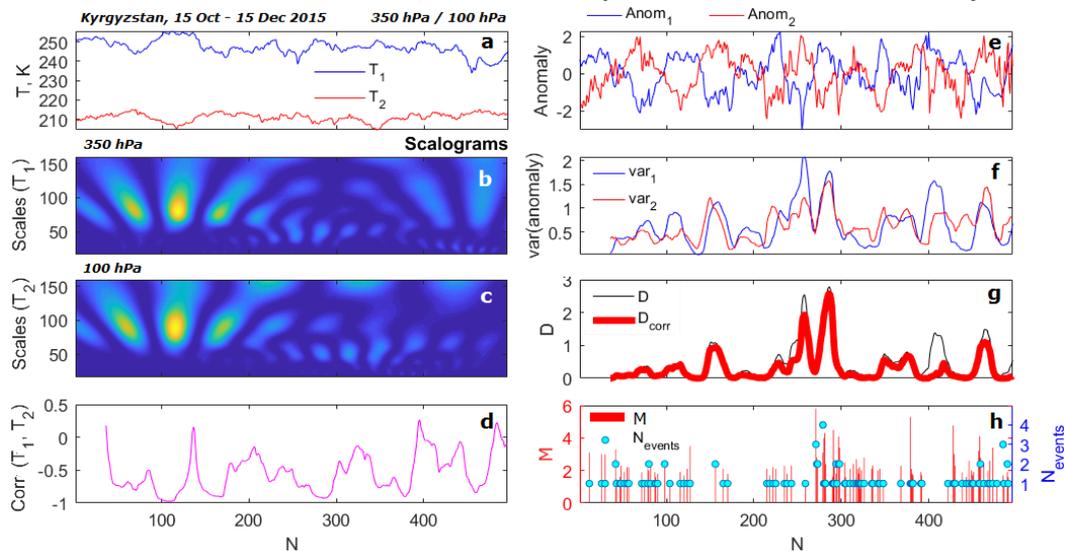


Блок-схема алгоритма обработки сейсмических и температурных данных. Выходным параметром алгоритма, изменения которого сопоставлялись с сейсмической активностью, являются интегральные показатели аномальных вариаций D_{CORR} , которые фактически служат мерой когерентности или согласованности вариаций температуры на двух изобарических уровнях во времени

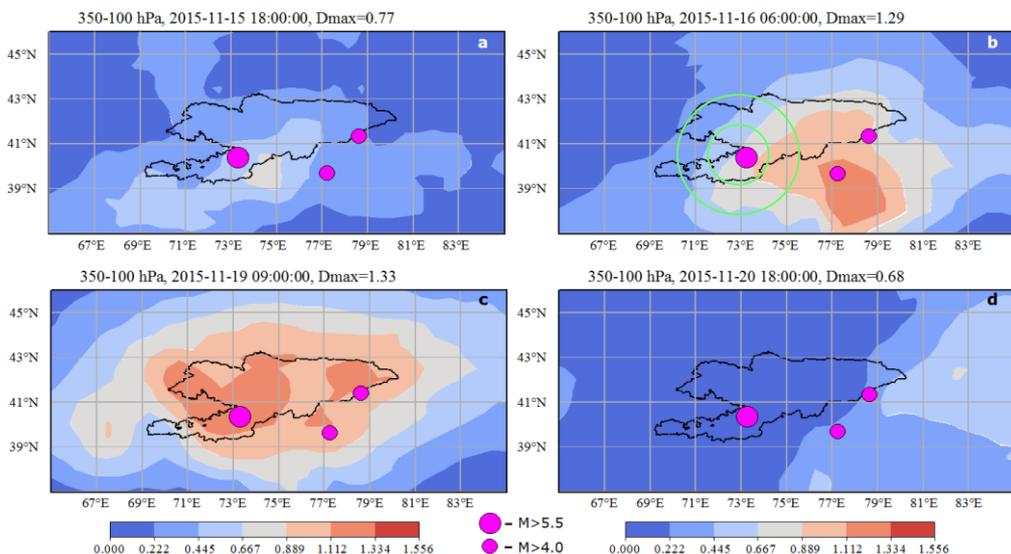


Трансформация вертикальных профилей температуры (a) и аномалий температуры (b) в области верхней тропосферы / нижней стратосферы (UTLS) перед землетрясением $M=5.8$ (17 ноября 2015 г.). Временные ряды аномалий температуры в слоях 450–300 и 150–100 hPa (c) (маркерами отмечены моменты землетрясений с $M>5.5$ и $M>4.0$ с 7 по 21 ноября 2015 г.

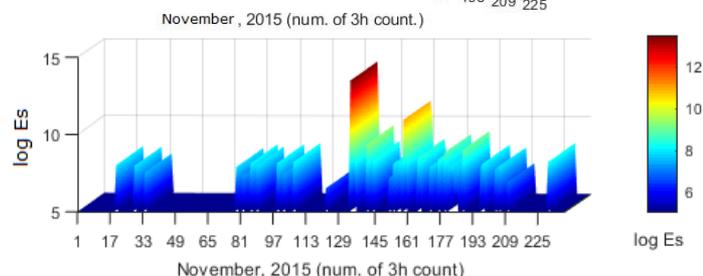
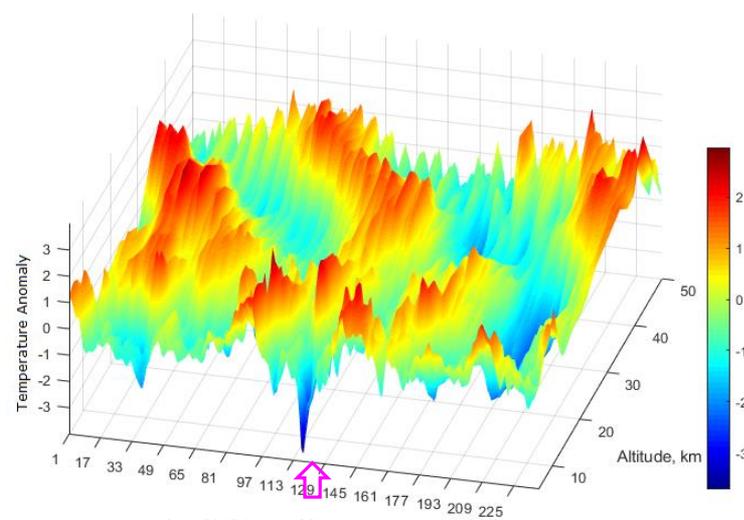
Пространственно-временное распределение аномалий температуры (землетрясение магнитудой $M=5.8$, 17.11.2015)



Рисунки иллюстрируют все этапы применения алгоритма к температурным данным. Временные ряды температуры T_1 и T_2 на уровнях 350 и 100 hPa соответственно (a), спектры коэффициентов вейвлет-преобразования (b, c), коэффициент корреляции (d), аномалии температуры (e), и их скользящие дисперсии (f), параметры D и D_{CORR} (g), магнитуда M и количество землетрясений за сутки N_{events} (h) с 15 октября по 15 декабря 2015



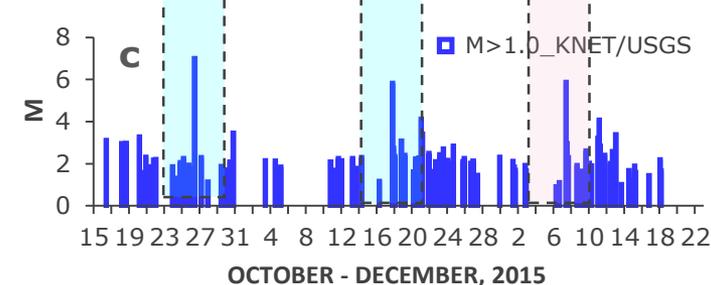
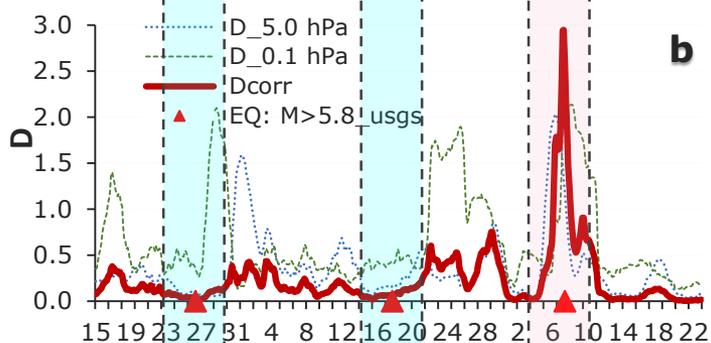
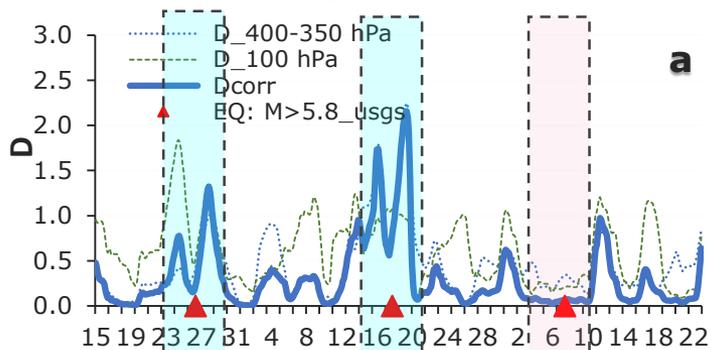
Эволюция пространственного распределения интегрального параметра D_{CORR} в период подготовки и прохождения землетрясений $M=5.8$ (17.11.2015), $M=4.0$ (18.11.2015) и $M=4.3$ (19.11.2015)



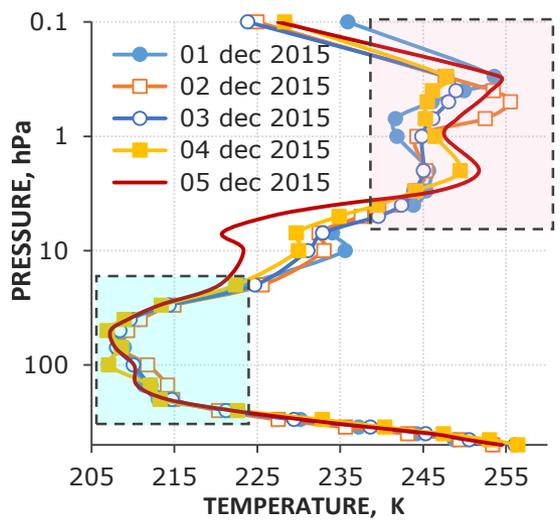
Высотно-временной разрез аномалий температуры атмосферы и суммарное суточное значение выделенной сейсмической энергии ($\log E_s$) в ноябре 2015 г.

Аномальные вариации температуры в верхней стратосфере

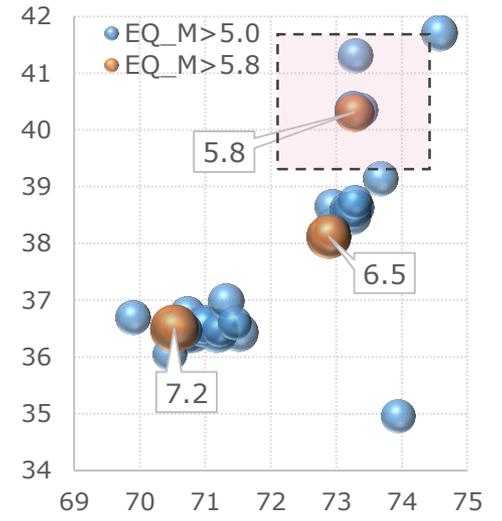
Поскольку, как видно из представленных вертикальных профилей, возмущение температуры перед крупными землетрясениями охватывали высотный диапазон от тропосферы до мезосферы (600–0.1 hPa), алгоритм был применен температурным данным выше и ниже стратопазузы (в данном случае 5.0 и 0.1 hPa).



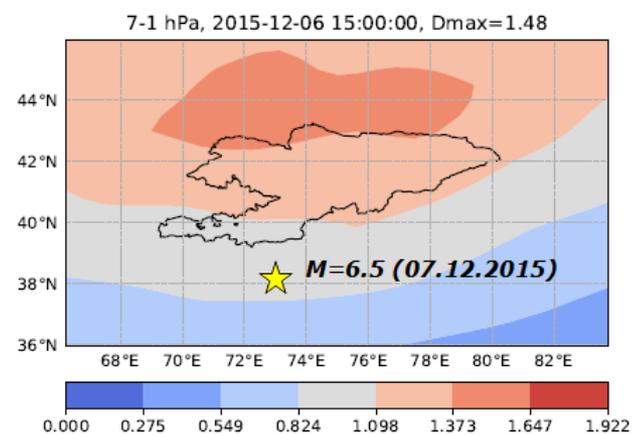
Временные ряды скользящих дисперсий аномалий температуры и параметра D_{CORR} на уровнях 400-350 и 100 гПа (a), 5.0 и 0.1 гПа (b), последовательность магнитуд землетрясений в исследуемом регионе (c) с 15 октября по 22 декабря 2015 г.



Трансформация вертикальных профилей температуры с 01 по 05 декабря 2015 г.

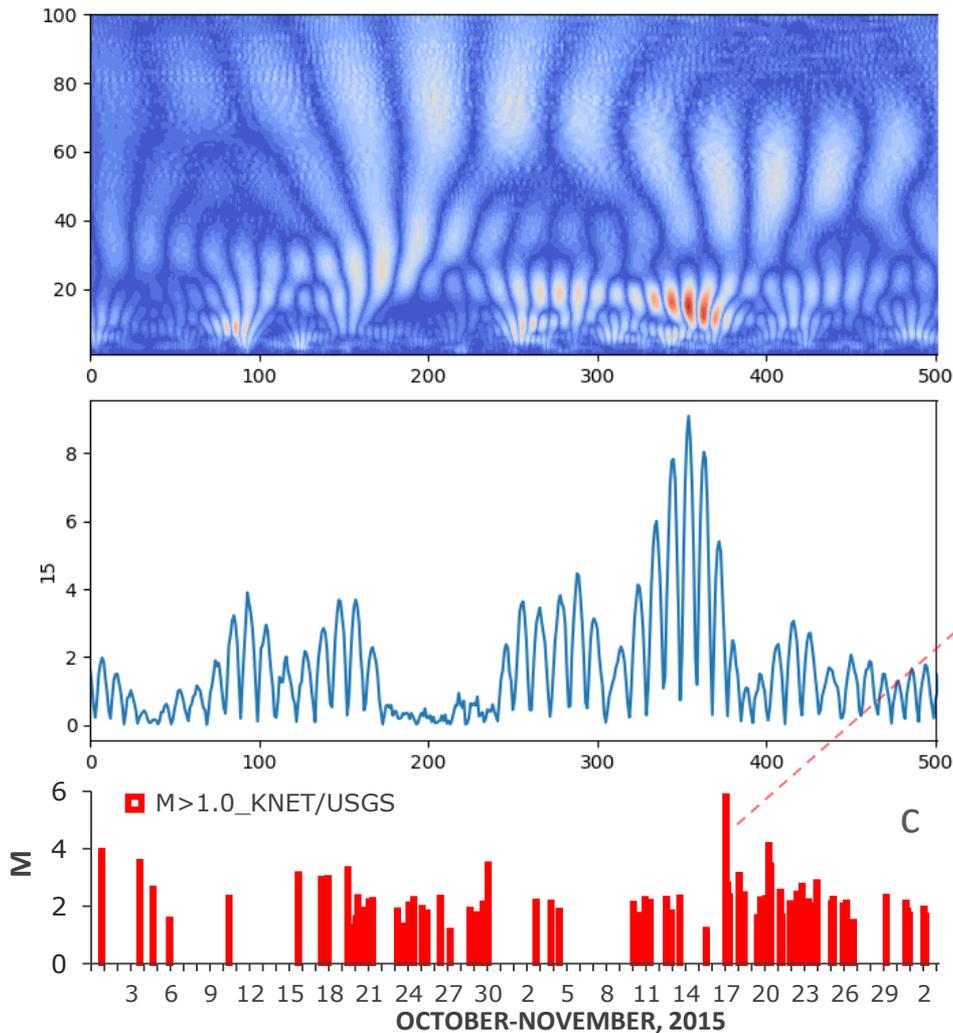


Расположение эпицентров землетрясений $M \geq 5.0$ в октябре – декабре 2015 г.

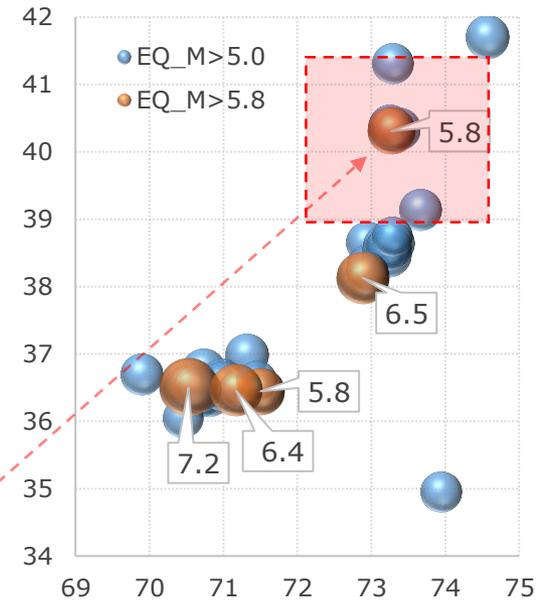


Пространственное распределение параметра D_{CORR} на границе раздела стратосферы и мезосферы

Динамика спектров вариаций приращений разности температур



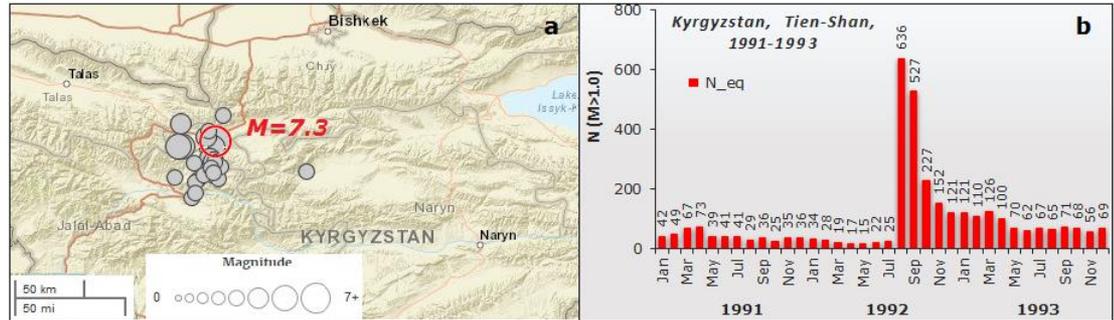
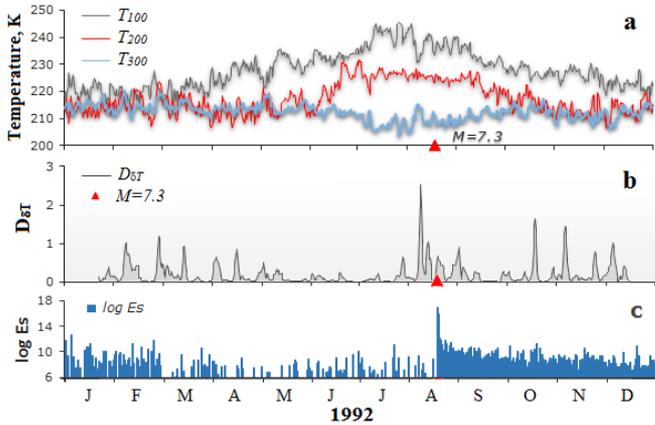
Модули коэффициентов вейвлет-преобразования вариаций приращений разности температур ΔT между уровнями 400 и 150 hPa (a), соответствующие вариации короткопериодной спектральной составляющей $T=2$ суток (b) и последовательность магнитуд землетрясений (c) в октябре-ноябре 2015



Расположение эпицентров землетрясений $M \geq 5.0$ в октябре – ноябре 2015 г. Выделена область восстановления спутниковых данных

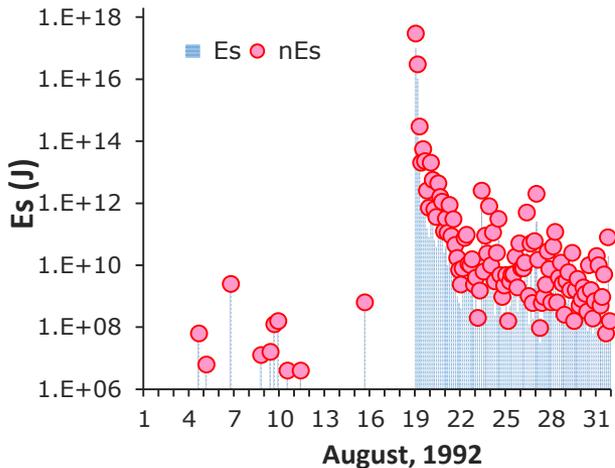
Роль короткопериодных вариаций в формировании предсейсмических аномалий иллюстрируют результаты анализа временных рядов приращения разности температур ΔT между исследуемыми уровнями 400 и 150 hPa. В качестве примера на рисунке представлено изменение во времени амплитуды 2-х суточной спектральной компоненты. Очевидно, что локальную сейсмическую активность предвляло характерное увеличение амплитуды этих вариаций.

Пространственно-временное распределение аномалий температуры (землетрясение $M=7.4$, 19.08.1992 г.)

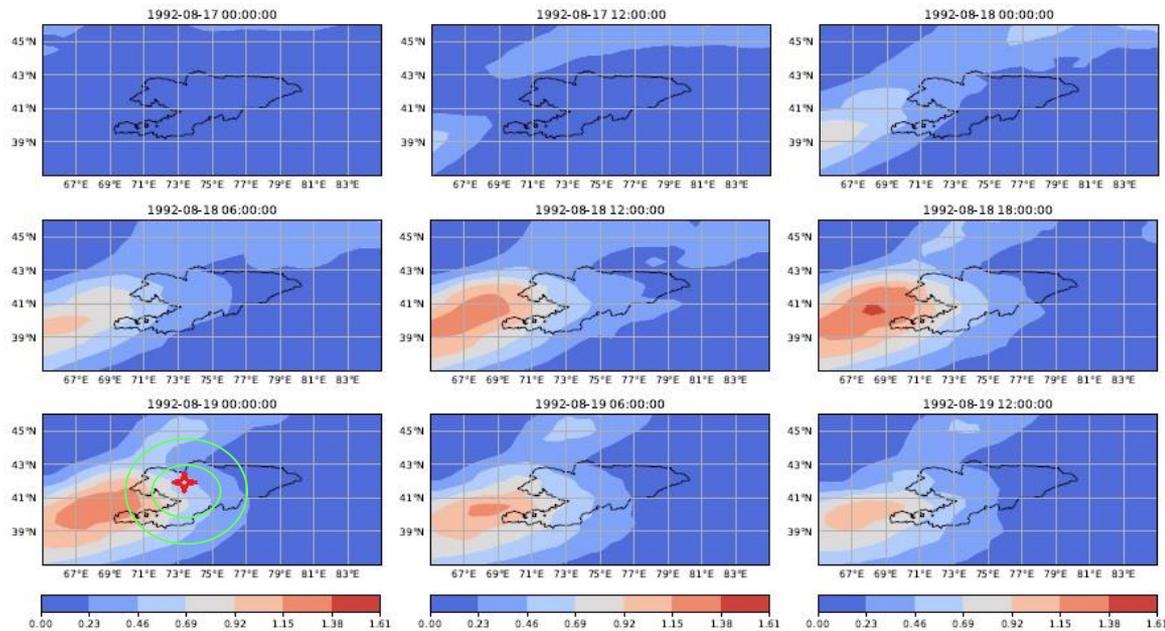


Афтершоковое поле землетрясения $M=7.4$ (северный Тянь-Шань) 19.08.1992 г. (a) и распределение количества землетрясений за каждый месяц 1991–1993 гг. (b)

Временные ряды температуры на уровнях от 300 до 100 hPa (a) и динамика изменения параметра D_{CORR} (b) и распределение логарифма сейсмической энергии ($\log E_s$) (c) в 1992

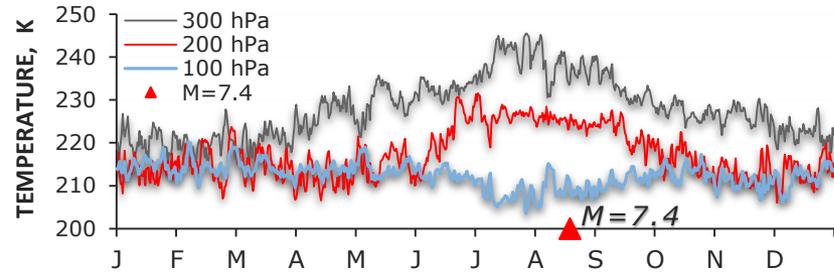


Изменение выделенной сейсмической энергии (E_s) в августе 1992 г.



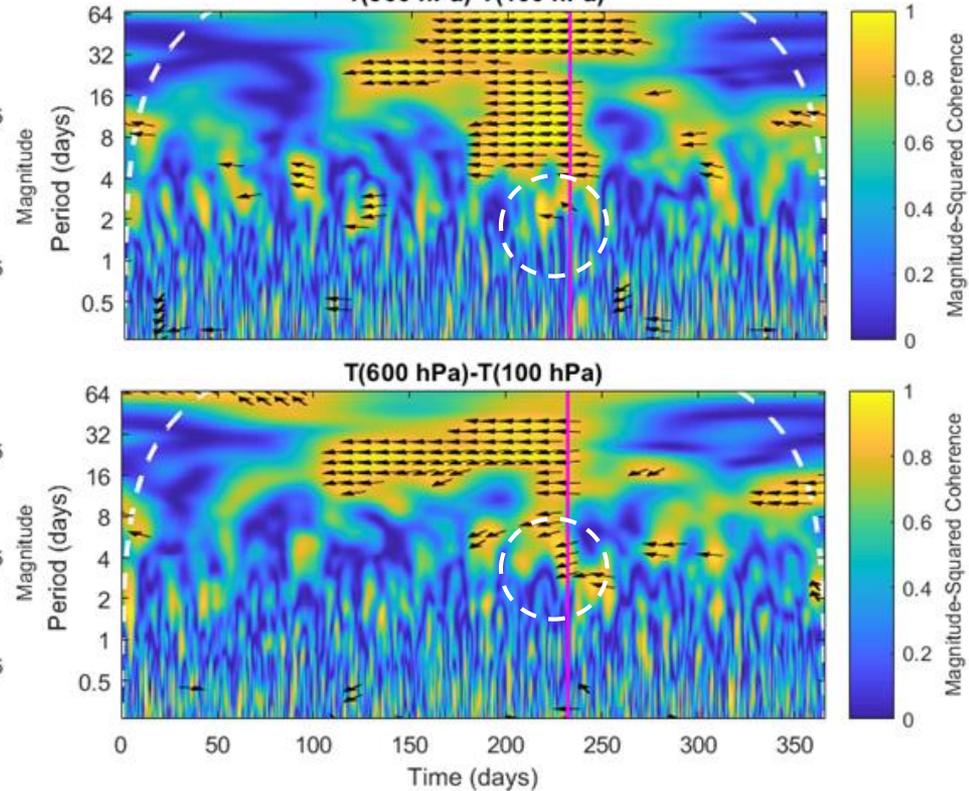
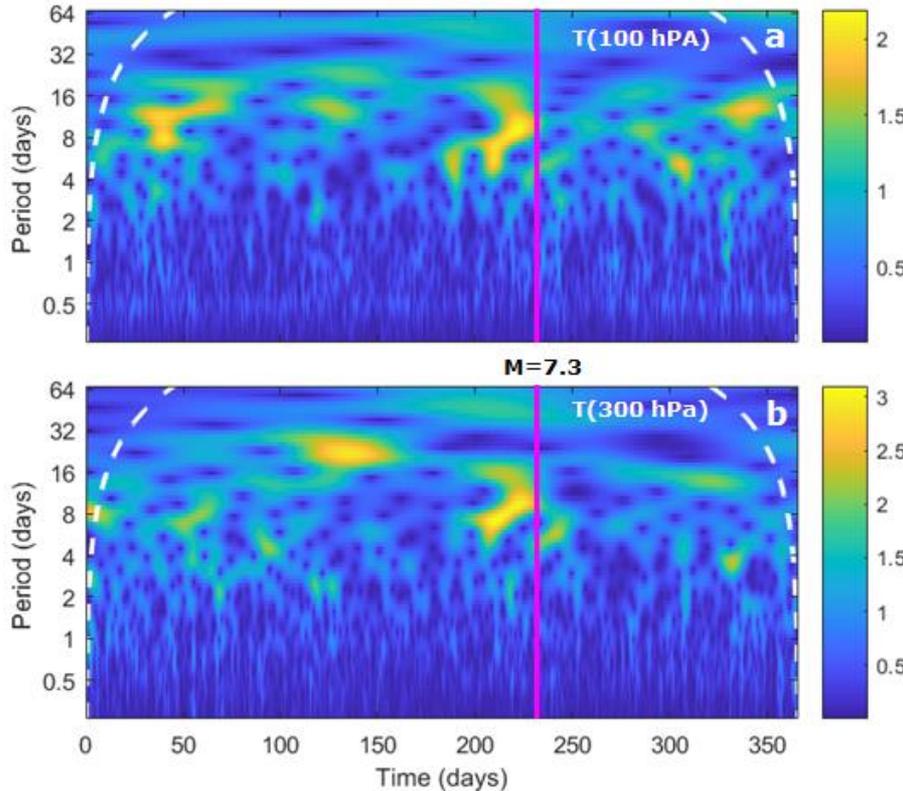
Эволюция пространственного распределения параметра D_{CORR} в период подготовки землетрясения магнитудой $M=7.4$ (19 августа 1992 г., 02:04:36). Максимум в развитии аномалии наблюдался за ~8 ч до события

Динамика периодичностей вариаций температуры в области UTLS



Временные ряды температуры в 1992 г. на изобарических уровнях от 300 до 100 hPa

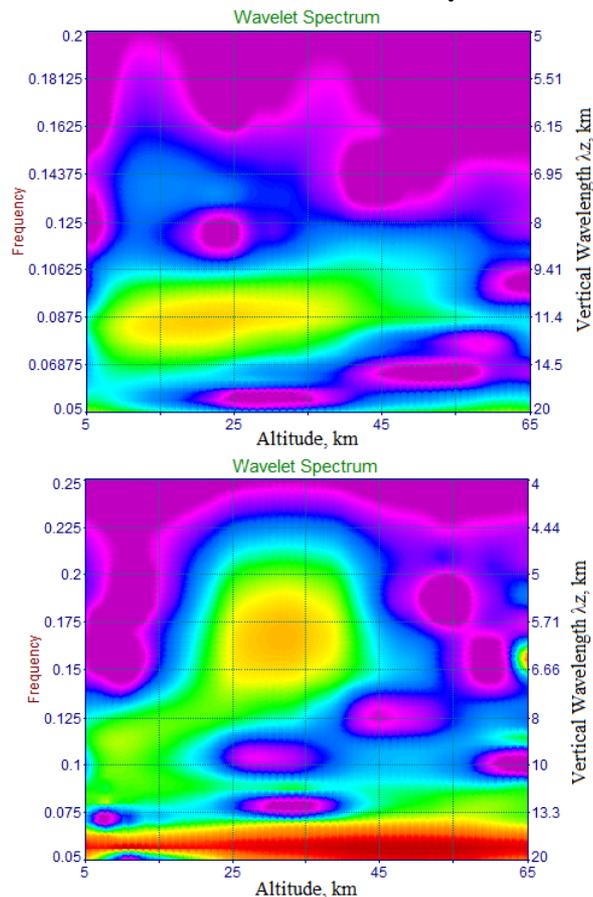
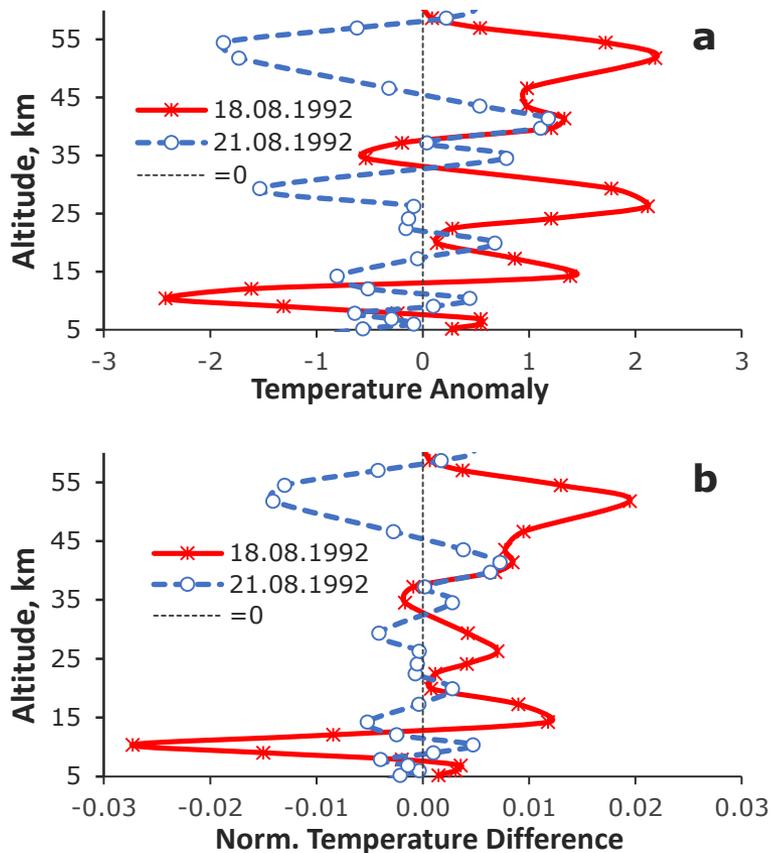
Вертикальная линия – момент землетрясения M=7.4



Динамика спектров вариаций температуры, построенные для диапазона периодов от 0.125 до 64 суток на уровнях 100 и 300 hPa в 1992 г. Значительное возмущение температуры ($T=6-12$ суток) одновременно проявлялось на обоих изобарических уровнях и предшествовало землетрясению $M=7.4$

Квадрат когерентности между коэффициентами вейвлет-преобразования спектров вариаций температуры двух временных рядов на изобарических уровнях 300-100 hPa и 600-100 hPa. Хорошо выраженные интенсивные колебания в диапазоне периодов 6–12 суток в первые декады августа 1992 г.

Трансформация волновых проявлений в вертикальных профилях нормированных флуктуаций температуры до и после землетрясения $M=7.4$

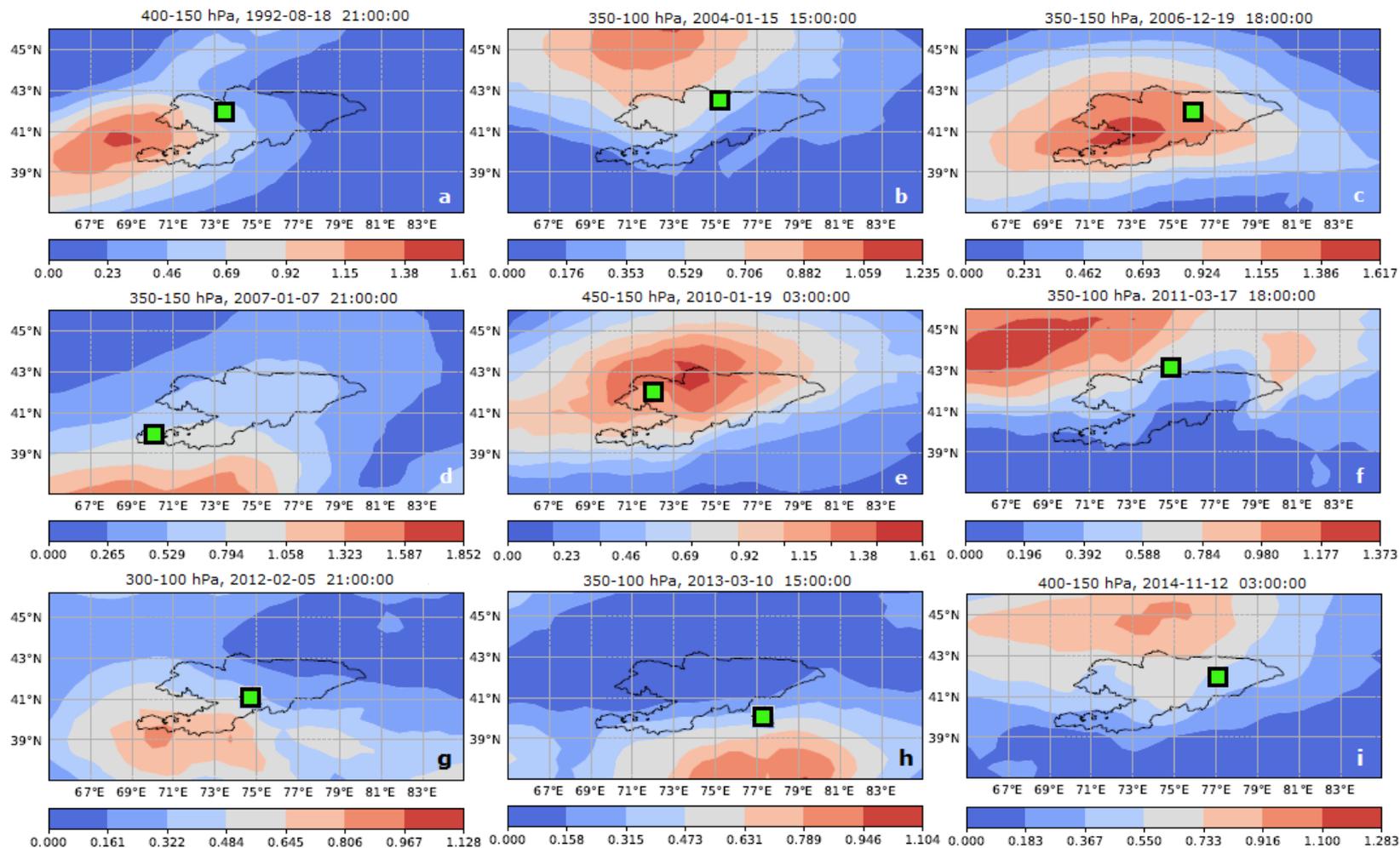


Трансформация вертикальных профилей аномалий температуры (a) и нормированных флуктуаций температуры (b) до и после землетрясения $M=7.4$

Вейвлет-спектры спутниковых профилей возмущений температуры 18 и 21 августа 1992 г.

Иллюстрацией изменений высотного распределения и характерных длин волн возмущений температуры являются волновые проявления в вертикальных профилях и соответствующих им вейвлет-спектрах аномалий температуры до и после землетрясения (18 и 21 августа 1992 г.) в интервале высот от 5.0 до 60.0 км. Наиболее интенсивные гармоники предвещали сейсмическое событие и наблюдались в области UTLS. Основной вклад вносили колебания с вертикальной длиной волны $\lambda_z=11.0-12.0$ км. После землетрясения распределение температуры представляло комбинацию двух длин волн (~ 6.0 и 18.0 км). Наиболее интенсивные волновые возмущения ($\lambda_z=15.0-20.0$ км) сместились в область стратопазы.

Пространственное распределение аномалий температуры в области тропопаузы, относящиеся к сейсмическим событиям $M \geq 5.0$, произошедшим на территории Памира и Тянь-Шаня



Пространственное распределение интегрального параметра аномальных вариаций D_{CORR} в периоды подготовки землетрясений $M > 5.0$ (маркерами показаны расположения эпицентров сейсмических событий EQ01–EQ03 и EQ05–EQ10, обозначения соответствуют Таблице)

Заключение

Проанализированы пространственно-временные изменения температуры атмосферы, полученные по данным спутникового дистанционного зондирования над эпицентрными областями двух землетрясений: $M=5.8$ (17.11.2015) и $M=7.4$ (19.08.1992). В качестве главных признаков, характеризующих поведение температуры атмосферы перед сейсмическими событиями, рассматривались аномальные изменения амплитуды, частоты и фазы вариаций температуры, происходящие в областях, характеризующихся сменой знака вертикального градиента температуры. Представленные пространственные и временные распределения областей повышенных значений параметра аномальных вариаций температуры указывают на вероятную связь с сейсмическим процессом. Расчеты показывают, что наиболее интенсивные волновые возмущения наблюдались за несколько дней до землетрясения, главным образом, на границах раздела слоев атмосферы.

Результаты проведенного исследования показывают наличие эффектов временной, пространственной и частотной когерентности короткопериодных вариаций температуры в области тропопаузы, предшествующих сильным землетрясениям.



Спасибо за внимание!
Thank you for attention!