

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ВЕТРА В ОБЛАСТИ ТРОПОПАУЗЫ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНАХ АЗИИ



Свердлик Л.Г. (l.sverdlik@mail.ru)

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

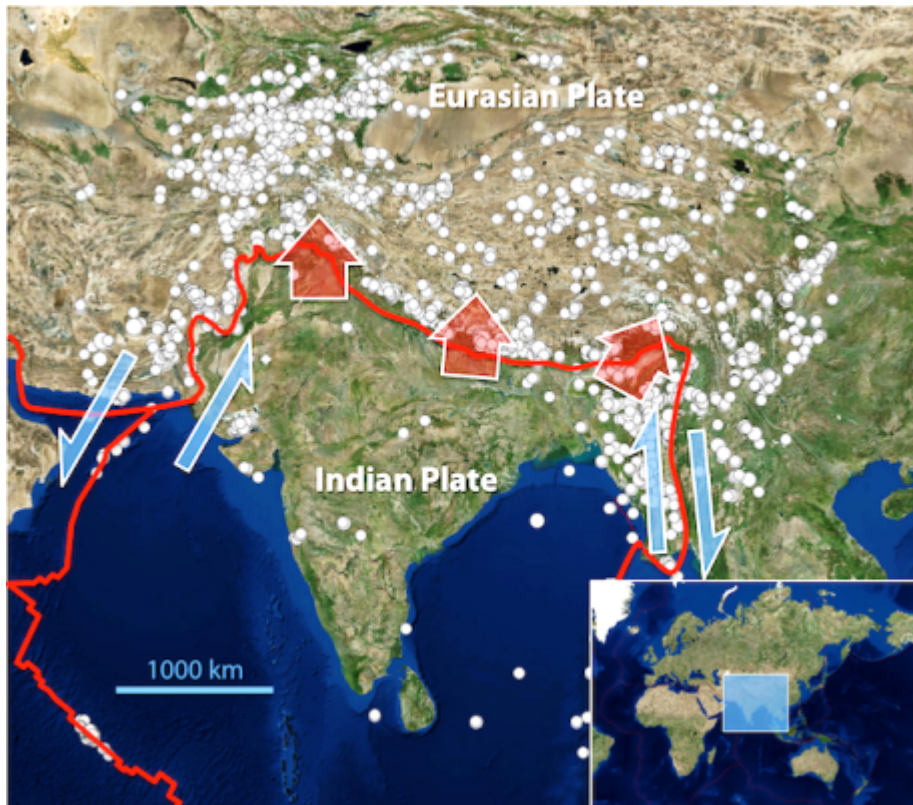


21 Конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Институт Космических Исследований РАН, Москва,
13-17 ноября, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Исследования воздействия сильных землетрясений на атмосферу с целью выявления закономерностей в изменении различных ее параметров особенно активно проводятся в последние десятилетия, что связано со значительным прогрессом в развитии и совершенствовании спутниковых технологий, многообразием информации, а также доступностью большого количества специализированных сервисов.

Одним из проявлений сейсмоатмосферных возмущений являются тепловые аномалии, наблюдаемые на различных уровнях атмосферы, что подтверждается экспериментами в разных регионах. Область верхней тропосферы – нижней стратосферы является наименее изученной с точки зрения установления взаимосвязи между динамикой изменчивости различных ее параметров и сейсмичностью.



Целью исследования являлся анализ термической и ветровой структуры верхней тропосферы и нижней стратосферы по данным спутниковых измерений, выделение аномальных вариаций метеопараметров и их сопоставление с сейсмическим процессом в одном из самых активных внутриконтинентальных регионов мира (зоне Альпийско-Гималайского сейсмического пояса), который, как считается является следствием столкновения движущихся на север Аравийской и Индийской плит с Евразийской плитой.

Данные сейсмических измерений

Исследования выполнялись в сейсмически активной области с координатами 25–50° с.ш. и 40–110° в.д.

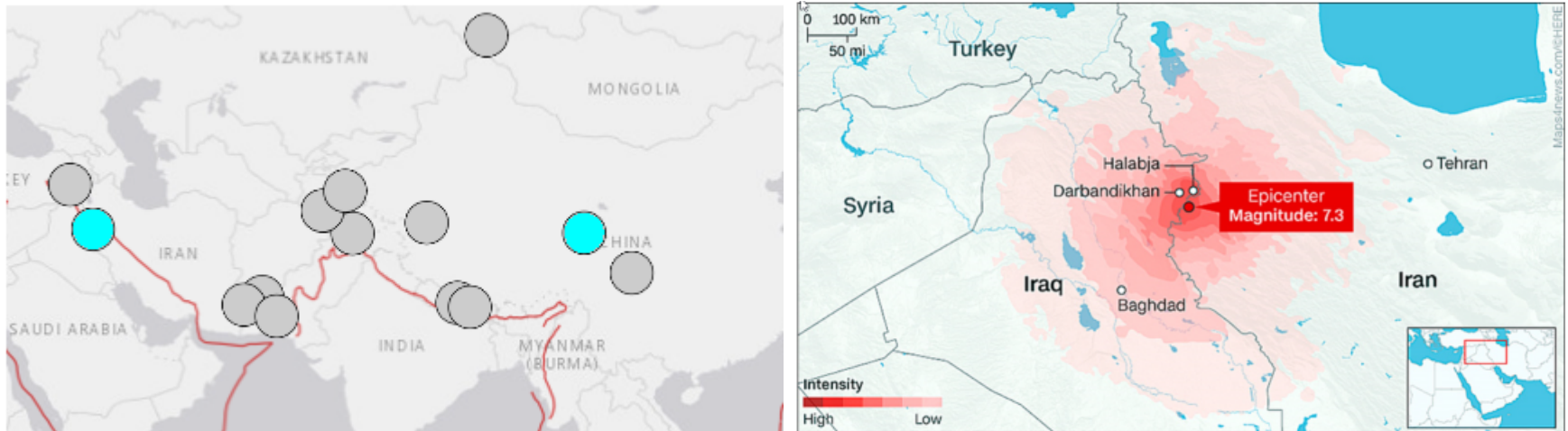


Таблица 1. Характеристики землетрясений $M > 7,0$

№	Дата	Время	Широта (N)	Долгота (E)	D, км	M	Расположение
EQ1	12.11.2017	18:18:17	34,91	45,96	19,0	7,3	Halabja, Iraq
EQ2	21.05.2021	18:04:13	34,60	98,25	10,0	7,3	S. Qinghai, China

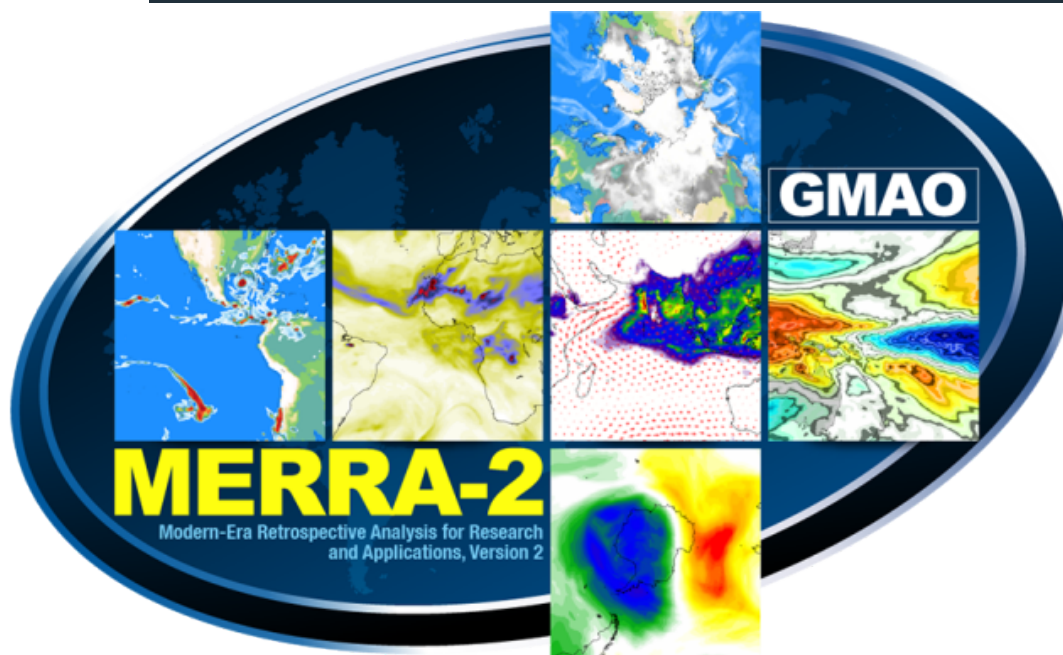
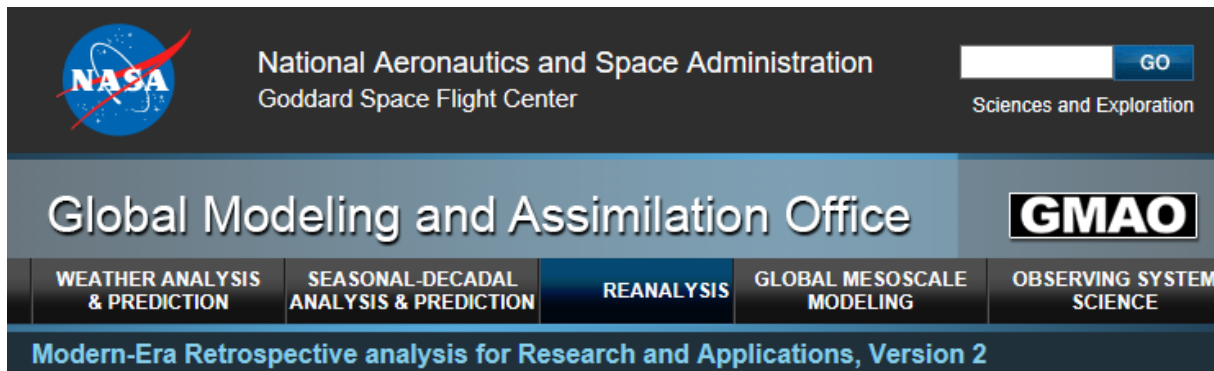


Расположение эпицентров анализируемых землетрясений $M > 7.0$
(<https://earthquake.usgs.gov>)

Данные спутниковых измерений температуры (глобальный реанализ MERRA-2)

MERRA-2 (The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications)

[\(https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/\)](https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/)



Анализируемые данные T(t):

- 12 уровней давления;
- от 500 до 40 гПа;
- диапазон высот ~5.0-24.0 км;
- разрешение $0.5^\circ \times 0.625^\circ$;
- $20-50^\circ$ с.ш. и $50-110^\circ$ в.д.;
- $\Delta t = 3$ ч.;

Загрузка метеоданных проводилась в виде файлов M2I3NPASM Версии V5.12.4 в формате netCDF

Алгоритм выделения и идентификации предсейсмических возмущений

Идентификация возмущений температуры в UTLS производилась с использованием алгоритма, основанного на анализе отношения статистических показателей в коротком (STA) и длинном (LTA) временных окнах. Формула расчета критерия STA/LTA (<https://rdr.io/cran/IRISSeismic/man/STALTA.html>):

$$R(t_i, p_k) = \frac{STA(t_i, p_k)}{LTA(t_i, p_k)} = \frac{1}{N_S} \sum_{i=N_S}^i CF(t_i, p_k) \Big/ \frac{1}{N_L} \sum_{i=N_L}^i CF(t_i, p_k) \geq THR$$

где: t_i - время текущей выборки временного ряда температуры (T) на изобарическом уровне p_k ; N_S - длина короткого (STA) временного окна; N_L - размер длинного (LTA) окна; $CF(t_i)$ - значение характеристической функции в момент времени t_i и порог обнаружения THR.

Критерий STA/LTA

(Short-Time-Average / Long-Time-Average)

Межсуточные приращения ΔT , вычисленные как разность между значениями T для одного и того же момента времени, отстоящими на определенное количество дней ($N\delta$):

$$\Delta T(t, \delta) = T(t_i) - T(t_{i-\delta}) \quad \text{где: } \delta = m \times \Delta t; m - \text{число отсчетов; } \Delta t = 3 \text{ h} - \text{шаг дискретизации.}$$

Отношения скользящих дисперсий рассчитанных для временных рядов температуры в UT и LS:

$$R(t_i) = \text{VAR}_{STA}(t_i) / \text{VAR}_{LTA}(t_i)$$

Интегральные параметры аномальных вариаций δT_C

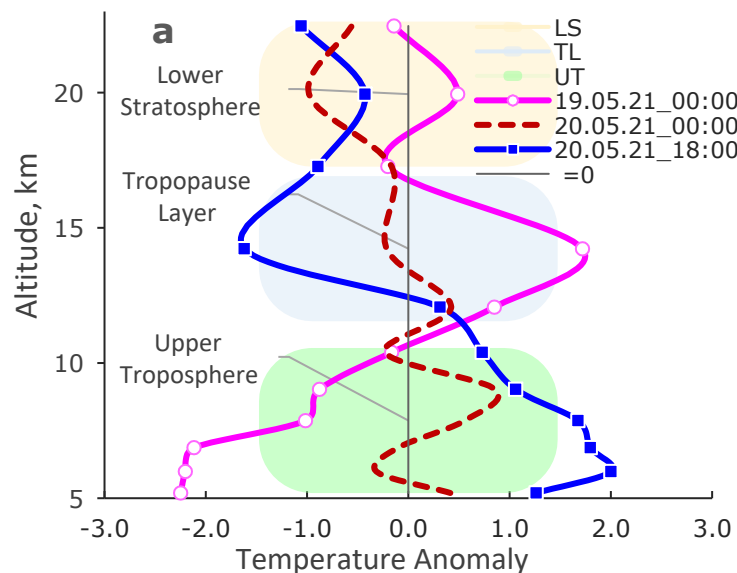
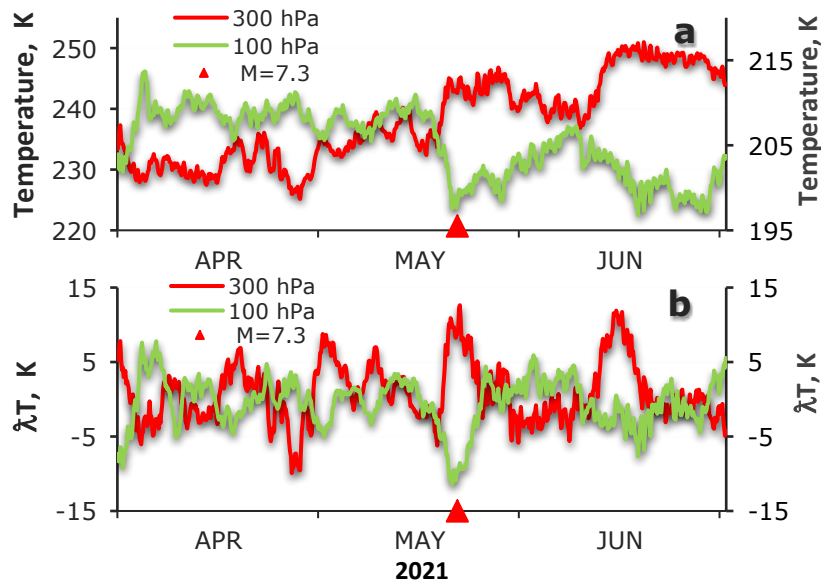
$$(\delta T_C) \delta T(t_i) = R(t_i, p_{UT}) \times R(t_i, p_{LS}) \geq THR$$

$$\delta T_C(t_i) = \begin{cases} 0,00 - \text{если } r(t_i)_{STA} \geq 0 \\ \delta T(t_i) \times |r(t_i)_{STA}| - \text{если } r(t_i)_{STA} < 0 \end{cases}$$

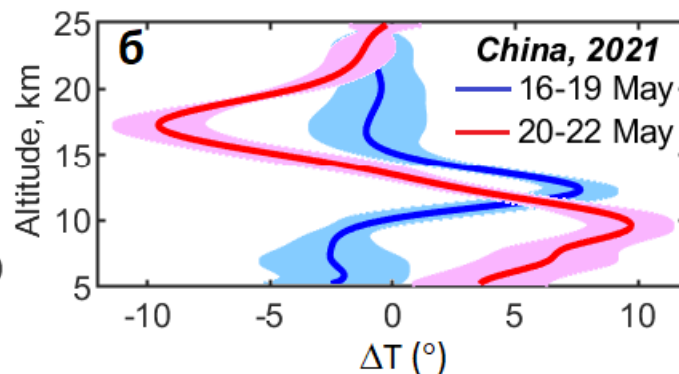
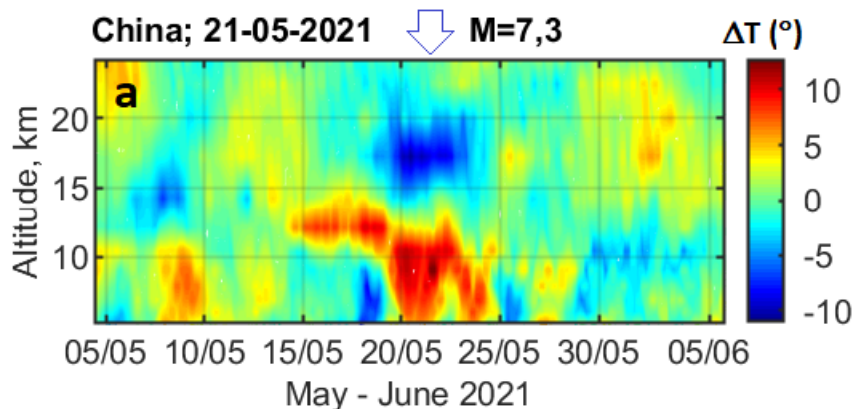


Пред- и постсейсмические возмущения температуры (Китай, 2021

г.)



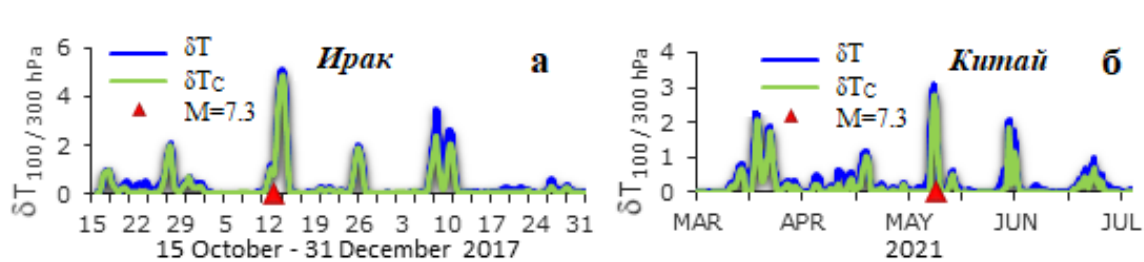
Исходные временные ряды температуры (а) и межсуточных изменений температуры (б) на уровнях 300 и 100 hPa в апреле – июне 2021 г. Вертикальные профили аномалий температуры



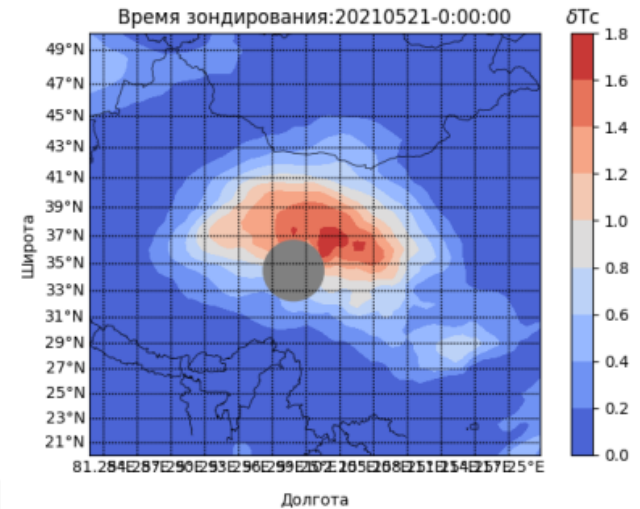
Высотно-временные распределения ΔT (а) с 05 мая по 05 июня 2021 г. и средние вертикальные профили приращений температуры (\pm стандартное отклонение) над эпицентральной областью землетрясения в Китае, усредненные в периоды 16–19 мая и 20–22 мая 2021 г. (б)

Временные изменения предсейсмических возмущений температуры в верхней тропосфере и нижней стратосфере (UTLS)

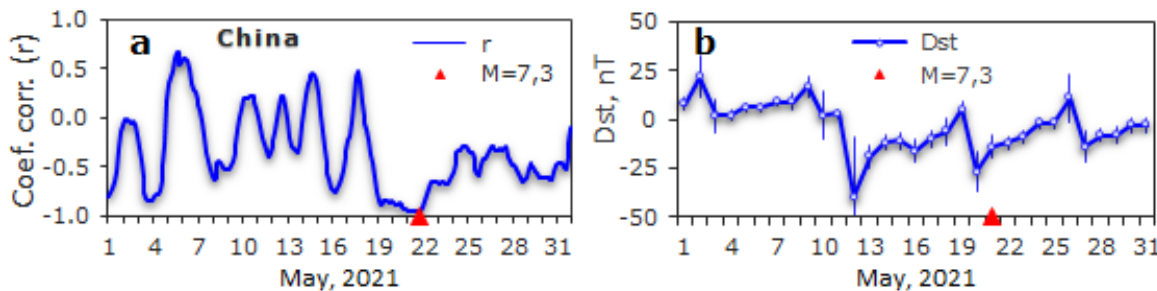
Интенсивность аномальных изменений температуры в верхней тропосфере и нижней стратосфере оценивалась путем вычисления интегральных параметров δT_C (δT). Максимальные значения параметра δT_C предвещали основные сейсмические события и четко выделялись на фоне более слабых возмущений.



Динамика изменения параметров δT и δT_C в Ираке (с 15 октября по 31 декабря 2017 г.) (а) и Китае (март–июль 2021 г.) (б). Красные маркеры – момент землетрясений



Карта пространственного распределения интегрального параметра δT_C , рассчитанная по температурным данным 21 мая 2021 г. в 00:00 UTC (за 18 часов до сейсмического события). Маркером показан эпицентр землетрясения $M=7,3$ ($34,60^\circ$ с.ш.; $98,25^\circ$ в.д.)

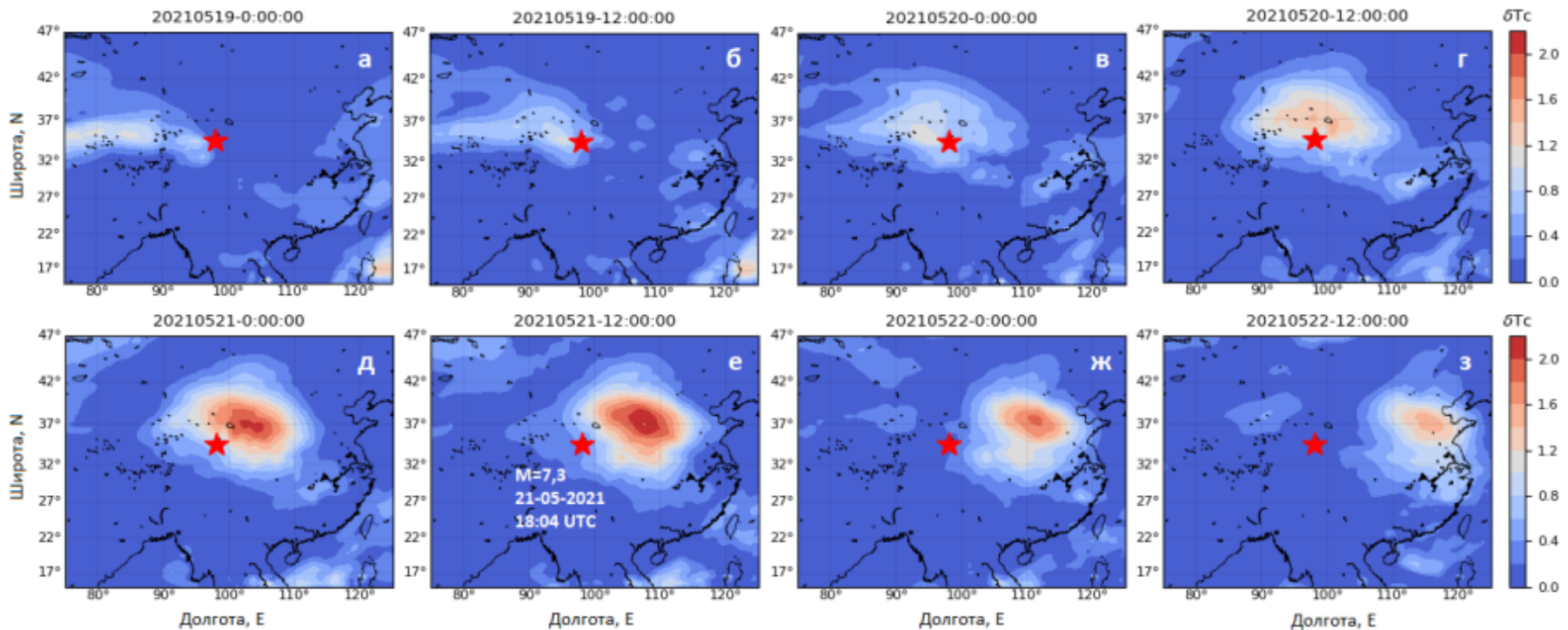


Временные ряды коэффициента корреляции между аномалиями температуры на уровнях 400 и 150 hPa (а) и вариации среднесуточных значений индекса геомагнитной активности Dst (б) в мае 2021 г.

Пространственно-временное распределение возмущений температуры в верхней тропосфере и нижней стратосфере

Результаты расчета карт распределения параметра δT_C до, во время и после землетрясения в Китае показали, что область с максимальными значениями δT_C была локализована вблизи эпицентра предстоящего землетрясения $M=7,3$ и наблюдалось 20–22 мая 2021 г.

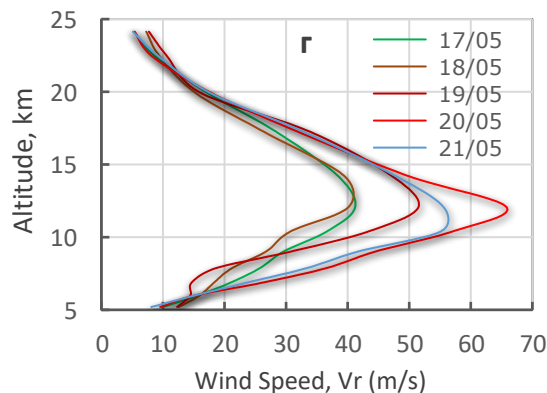
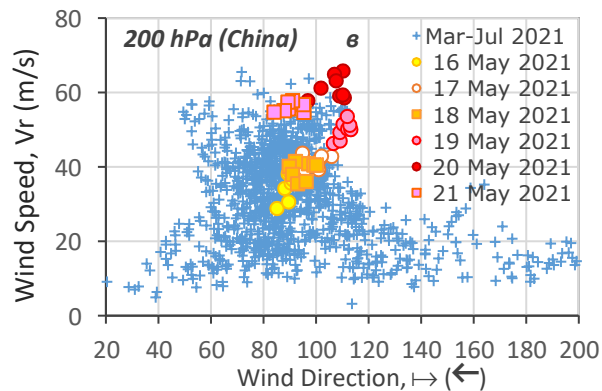
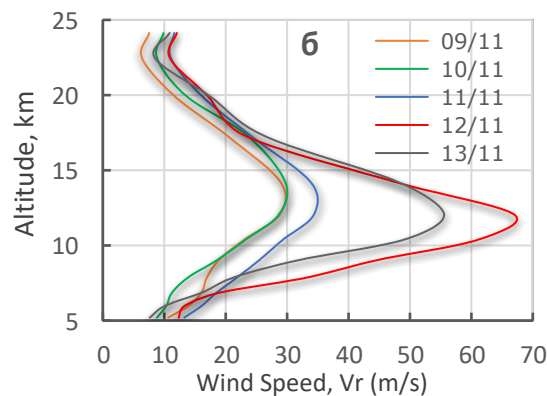
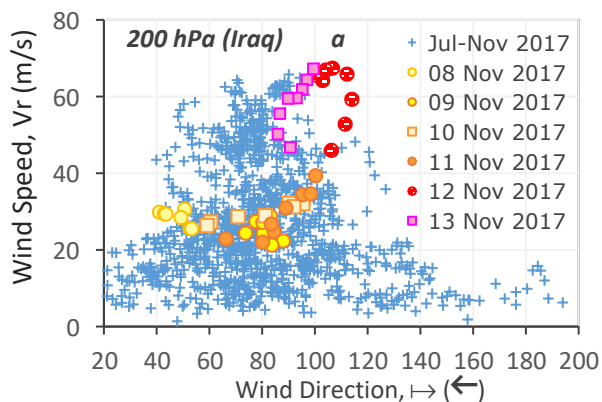
Положение мезомасштабного возмущения в пространстве оставалось практически неизменным на протяжении 18 часов (с 00:00 по 18:00 UTC 20 мая 2021 г.), а максимум наблюдался за ~6 часов до события $M=7,3$ в 12:00 UTC (21 мая 2021 г.).



Карты пространственного распределения интегрального параметра δT_C , рассчитанные через 12-часовые интервалы времени (00:00 и 12:00 UTC) в период с 19 по 22 мая 2021 г. Маркером показан эпицентр землетрясения $M=7,3$ ($34,60^\circ$ с.ш.; $98,25^\circ$ в.д.)

Предсейсмические изменения результирующего вектора и направления горизонтальной скорости ветра

Для анализа ветрового режима над эпицентрными областями землетрясений в Ираке (июль – ноябрь 2017 г.) и Китае (март – июль 2021 г.) были построены распределения всех 3-часовых значений модуля вектора скорости ветра (V_R) для различных его направлений (α) на уровне 200 гПа (~12,0 км), содержащие по 1240 точек данных.



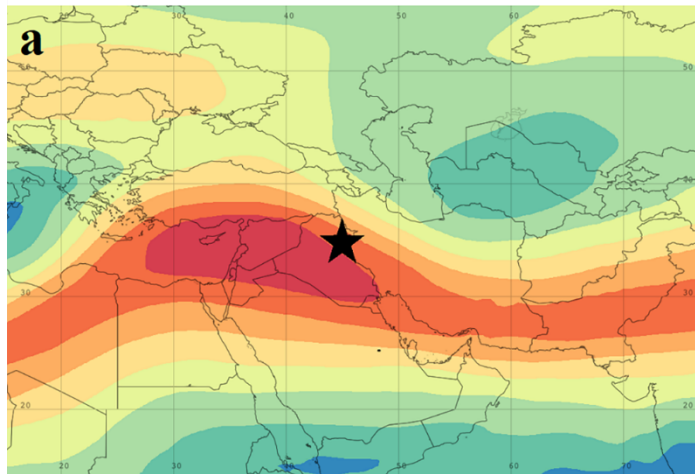
Распределение значений модуля скорости ветра для различных его направлений на уровне 200 гПа (~12,0 км) над эпицентрными областями землетрясений в июле – ноябре 2017 г. (а) и марте – июле 2021 г. (в) и вертикальные профили $V_R(h)$ в предшествующие событиям 5–6 дней

Пространственные распределения зональной компоненты скорости ветра перед сейсмическими событиями

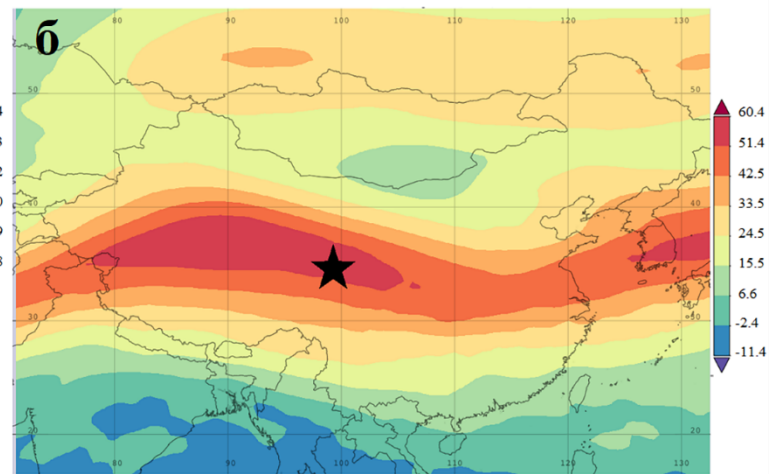
Карты пространственного распределения зональной компоненты скорости ветра на уровне 200 гПа показали, что струйные течения в выделенные пятидневные периоды вели себя достаточно устойчиво и прослеживались в виде почти непрерывного пояса сильных западных ветров, пересекающих весь исследуемый регион.

За сутки до события в Ираке (12 ноября 2017 г.) и за 2 суток до землетрясения в Китае и (19 мая 2021 г.) наблюдалась практически полная идентичность формы струйных течений, а области наиболее высоких скоростей ветра примерно указывали на расположение эпицентральных областей землетрясений.

Time Averaged Map of Eastward wind, Instantaneous 3-h, 200 hPa, MERRA-2 Model
[M213NPASM v5. 12.4] m/s over 2017-11-12 00Z - 2017-11-12 23Z



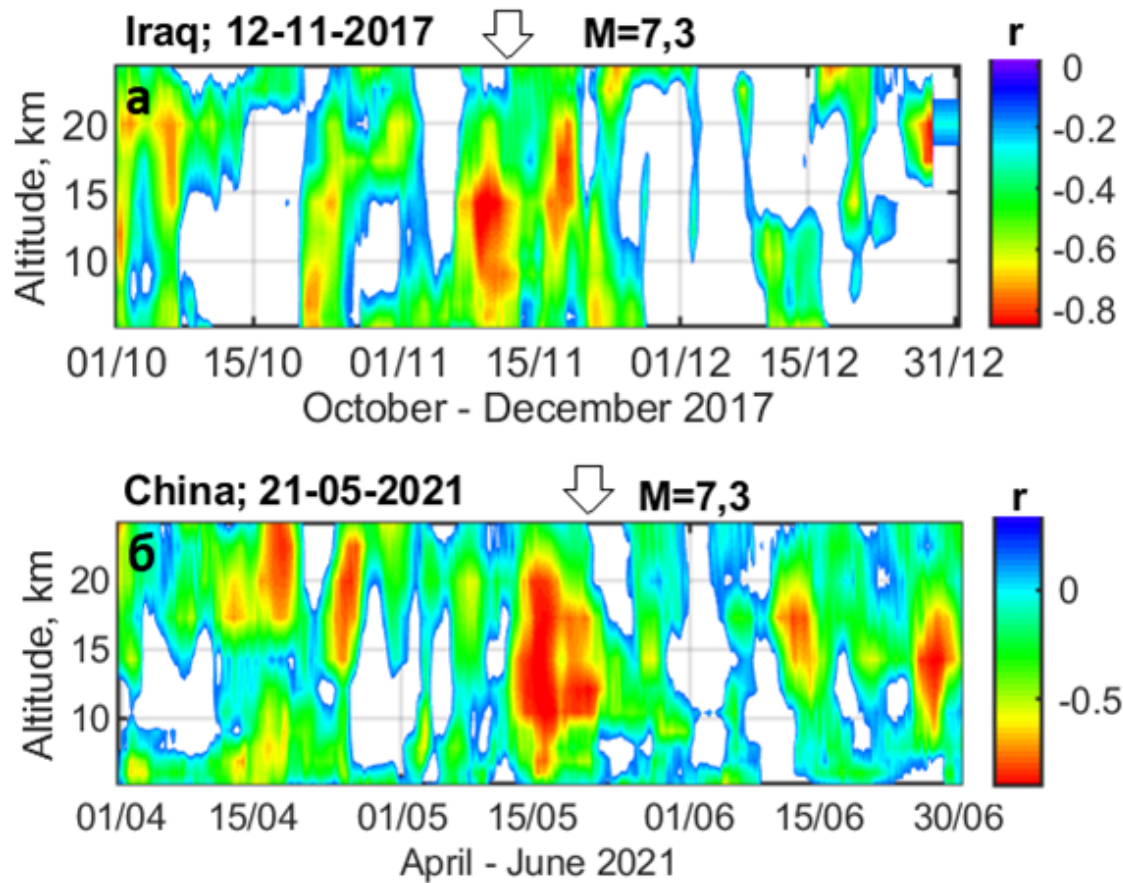
Time Averaged Map of Eastward wind, Instantaneous 3-h, 200 hPa, MERRA-2 Model
[M213NPASM v5. 12.4] m/s over 2021-05-19 00Z - 2021-05-19 23Z



Пространственные распределения среднесуточной скорости зонального ветра (200 гПа) перед землетрясениями в Ираке (12 ноября 2017 г.) (а) и Китае (19 мая 2021 г.) (б). Маркерами показаны эпицентры землетрясений $M=7,3$, произошедших 12 ноября 2017 г. и 21 мая 2021 г.

Пространственно-временные изменения взаимосвязи между компонентами горизонтальной скорости ветра

Влияние сильной сейсмической активности на состояние нижней атмосферы проявлялось не только в динамике метеопараметров, но и в изменении взаимосвязи между ними. Примером может служить анализ корреляционной связи между вариациями меридиональной $V_N(t)$ и зональной $V_E(t)$ составляющими скорости ветра. На рисунке представлены диаграммы профилей коэффициентов корреляции за 3 месяца (736 и 728 профилей, соответственно).



Высотно-временные распределения отрицательных значений коэффициента корреляции в Ираке (октябрь – декабрь 2017 г.) (а) и Китае (апрель – июнь 2021 г.) (б)

Выводы

В продолжение ранее выполненных исследований предсейсмических эффектов, основанных на данных спутникового дистанционного зондирования (реанализ MERRA-2), были проанализированы изменения температурного и ветрового режима в периоды подготовки сильных землетрясений с магнитудой $M=7,3$, зарегистрированных в зоне Альпийско-Гималайского сейсмического пояса вблизи города Халабджа (Halabja) в Ираке 12 ноября 2017 г. и в провинции Цинхай (Qinghai) на северо-западе Китая 21 мая 2021 г. Получены новые результаты, свидетельствующие о вероятной связи аномальных изменений метеопараметров в верхней тропосфере и нижней стратосфере с экстремальными сейсмическими событиями. Особенность выявленных возмущений состояла в том, что они проявлялись не только за 1–2 суток до сейсмических событий, но также спустя 1–2 суток после них. Также наблюдалось согласие между мезомасштабными возмущениями температуры и структурой зональных струйных течений в верхней тропосфере. Важно отметить большое сходство в проявлениях аномальных вариаций метеопараметров в обоих анализируемых случаях, что, вероятно, можно рассматривать как свидетельство взаимодействия литосферы и атмосферы в периоды сейсмической активности.

Литература

1. Свердлик Л.Г. Атмосферные эффекты крупнейших землетрясений Альпийско-Гималайского сейсмического пояса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 81–90.
2. Свердлик Л.Г. Идентификация предсейсмических возмущений в атмосфере с использованием модифицированного критерия STA/LTA // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 141–149. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-141-149.
3. Свердлик Л.Г., Имашев С.А. Аномалии температуры атмосферы в периоды сейсмической активности // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т. 10. № 6. С. 783–793.
4. Свердлик Л.Г., Имашев С.А. Пространственно-временное распределение возмущений в атмосфере перед сильными землетрясениями в Тянь-Шане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 114–122.
5. Sverdlik L., Imashev S. Spatial-temporal distribution of atmospheric temperature anomalies connected with seismic activity in Tien-Shan // MAUSAM. 2020. Vol. 71. № 3. P. 481-490.



Спасибо за внимание!

Thank you for attention!