

Атмосферные эффекты крупнейших землетрясений Альпийско-Гималайского сейсмического пояса

Л. Г. Сврдлик

*Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, 720049, Кыргызстан
Кыргызско-российский славянский университет, Бишкек, 720000, Кыргызстан
E-mail: l.sverdlik@mail.ru*

Верхняя тропосфера/нижняя стратосфера (UTLS) является динамичным регионом, подверженным влиянию различных возмущений, которые можно проследить по изменениям температуры. В настоящем исследовании решалась задача выделения аномальных изменений температуры, которые могут быть связаны с крупными сейсмическими событиями. Были проанализированы данные спутниковых измерений (MERRA-2) в периоды подготовки четырёх разрушительных землетрясений с магнитудами $M > 7,5$, произошедших в зоне Альпийско-Гималайского сейсмического пояса: в Китае (2008), Иране, Пакистане (2013) и Непале (2015). Для идентификации предсейсмических возмущений предложен новый подход к анализу пространственно-временных вариаций температуры в UTLS, основанный на использовании модифицированного критерия STA/LTA, статистического и спектрального анализа. Разработанный алгоритм построен на последовательном вычислении межсуточной изменчивости температуры ΔT , отношения скользящих дисперсий ($\text{VAR}_{\text{STA}}/\text{VAR}_{\text{LTA}}$) и интегральных параметров аномальных вариаций δT_c (δT). Диапазон и характер изменения этих параметров определялся интенсивностью короткопериодных возмущений температуры. Применение разработанного алгоритма позволило установить, что аномалии сейсмогенного происхождения характеризовались высокими значениями параметра δT_c ($\geq 2,0$) и проявлялись в виде хорошо выраженных мезомасштабных (300–800 км), относительно долгоживущих (от 18 до 36 ч) возмущённых областей. Аномалии температуры наблюдались за 1–5 сут до сильных землетрясений и были локализованы в пределах нескольких сотен километров от их эпицентров. Поскольку все рассматриваемые события произошли на фоне спокойных геомагнитных условий, пространственно-временные распределения аномалий температуры дают основание предполагать связь с процессами подготовки землетрясений.

Ключевые слова: спутниковые измерения, температура, землетрясение, верхняя тропосфера, нижняя стратосфера, критерий STA/LTA, интегральный параметр, аномалия, геомагнитная активность, Dst-индекс

Одобрена к печати: 28.04.2022
DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-81-90

Введение

Исследования последних двух десятилетий, выполненные в различных частях земного шара, показали наличие разнообразных физических явлений, связанных с сейсмической активностью. Многие аномалии, предшествующие сильным землетрясениям, были обнаружены не в литосфере, а в атмосфере и ионосфере (Piersanti et al., 2020). Ионосферные возмущения — одна из самых обсуждаемых тем в литературе (например, работы (Carbone et al., 2021; He, Neki, 2017; Zhu, Jiang, 2020)). Возможное воздействие сейсмической активности на слои нижней атмосферы исследовалось значительно реже и, очевидно, недостаточно изучено (Jin et al., 2011). Это связано с тем, что обнаружение колебаний параметров тропосферы (Jing et al., 2019; Singh et al., 2010) и/или стратосферы (Yan et al., 2018; Yang et al., 2019), связанных с землетрясениями, представляется сложной задачей, в частности из-за развитых процессов конвекции в тропосфере и их влияния на динамику нижней стратосферы (Yan et al., 2018). Тем не менее ранее в ряде работ (Сврдлик, 2021; Sverdlik, Imashev, 2020) были представлены результаты, свидетельствующие о достаточно хорошо выраженной согласованности между возмущениями температуры и сейсмической активностью. Этот эффект наблюдался в верхней тропосфере/нижней стратосфере (*англ.* upper troposphere/lower stratosphere — UTLS).

В настоящей работе на основе использования обновлённого алгоритма выделения и идентификации предсейсмических возмущений были проанализированы вариации температуры в UTLS над сейсмически активными регионами Азии во время четырёх катастрофических землетрясений ($M > 7,5$), зарегистрированных в 2008–2015 гг.

Данные измерений и алгоритм выделения предсейсмических возмущений

Исследование атмосферных эффектов землетрясений проводилось в одном из самых активных с сейсмической точки зрения внутриконтинентальных регионов мира. Его территория вытянута в субширотном направлении от юго-восточной части Ирана до провинции Сычуань на юго-западе Китая и является частью Альпийско-Гималайского сейсмического пояса. Были проанализированы все крупнейшие землетрясения с магнитудами $M > 7,5$, произошедшие в этой области за последние 15 лет (2006–2021): в Китае (2008), Иране, Пакистане (2013) и Непале (2015). Характеристики землетрясений и расположения их эпицентров, полученные по данным каталога Геологической службы США (*англ.* United States Geological Survey — USGS, <https://earthquake.usgs.gov>), приведены в *таблице* и на *рис. 1*.

Характеристики землетрясений $M > 7,5$

| № | Дата | Время | Широта (°с. ш.) | Долгота (°в. д.) | D , км | M | Расположение |
|-----|------------|----------|-----------------|------------------|----------|-----|-----------------------------|
| EQ1 | 12.05.2008 | 06:28:01 | 31,00 | 103,32 | 19,0 | 7,9 | Сычуань (E. Sichuan), Китай |
| EQ2 | 16.04.2013 | 10:44:20 | 28,03 | 62,00 | 80,0 | 7,7 | Сераван (Saravan), Иран |
| EQ3 | 24.09.2013 | 11:29:47 | 26,95 | 65,50 | 15,0 | 7,7 | Авран (Awaran), Пакистан |
| EQ4 | 25.04.2015 | 06:11:25 | 28,23 | 84,73 | 8,2 | 7,8 | Горкха (Gorkha), Непал |



Рис. 1. Расположение эпицентров землетрясений $M > 7,5$ (<https://earthquake.usgs.gov>, <https://earthexplorer.usgs.gov/>)

Эпицентры сейсмических событий располагались примерно в одной широтной области ($27–31^\circ$ с. ш.), но при этом были широко разнесены вдоль параллели (от 62 до 103° в. д.). Диапазон глубин залегания гипоцентров варьировал от ~ 8 до 80 км, что позволило сопоставить интенсивность возмущений в UTLS при разных значениях этого параметра.

Информация о временных и высотных вариациях температуры атмосферы получена по данным реанализа MERRA-2 (*англ.* Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, версия 2) (<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/>). Температурные данные представляли собой временные серии на 12 стандартных изобарических уровнях от 500 до 40 гПа в узлах равномерной сетки $0,5 \times 0,625^\circ$. Разрешение по времени составляло $\Delta t = 3 - h$.

Ещё один аспект исследования заключался в учёте возможного влияния глобальных факторов, в частности геомагнитных возмущений. Оценка уровня геомагнитной активности (индекс Dst) проводилась по данным Всемирного центра по геомагнетизму Киотского университета

(Япония) (англ. World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>).

Для идентификации предсейсмических возмущений предложен новый подход к анализу пространственно-временных вариаций температуры в UTLS, основанный на использовании модифицированного критерия STA/LTA (англ. Short Time Averaging to Long Time Averaging), статистического и спектрального анализа. Усовершенствованная версия разработанного ранее алгоритма (Свердлик, 2021) построена на последовательном вычислении межсуточной изменчивости температуры ΔT , отношения скользящих дисперсий ($\text{VAR}_{\text{STA}}/\text{VAR}_{\text{LTA}}$) и интегральных параметров аномальных вариаций δT_C (δT). Изменения параметров δT_C (δT) определялись особенностями короткопериодных вариаций температуры, а соответственно, позволяли оценить интенсивность возмущений. При этом возмущённому состоянию UTLS соответствовали флуктуации температуры, удовлетворяющие условию: $\text{VAR}_{\text{STA}} \geq \text{VAR}_{\text{LTA}}$, а значения $\text{VAR}_{\text{STA}} \geq (1,5 - 2,0)\text{VAR}_{\text{LTA}}$ считались аномальными. Более высокую чувствительность нового алгоритма обеспечило преобразование исходных спутниковых данных в межсуточные приращения ΔT , вычисленные как разность между значениями температуры для одного и того же момента времени, отстоящими друг от друга на определённое количество дней ($N\delta$). Эффективность обнаружения аномалий определялась заданием оптимальных значений $N\delta$ и параметров критерия STA/LTA в соответствии с особенностями временных рядов (Свердлик, 2021).

Результаты диагностирования возмущений во временных рядах температуры

Для исследования предсейсмических изменений вертикальной структуры UTLS и определения высот наиболее возмущённых атмосферных слоёв были построены вертикальные распределения приращения температуры $\Delta T(h)$, относящиеся к ночному времени суток, а соответственно, более стабильным условиям атмосферы (рис. 2). На разных стадиях процессов подготовки сейсмических событий вертикальная структура температуры UTLS претерпевала значительные изменения. В то же время в её поведении были выявлены некоторые закономерности, отражающие характерные особенности поведения температуры над эпицентрными областями землетрясений EQ1–EQ4.

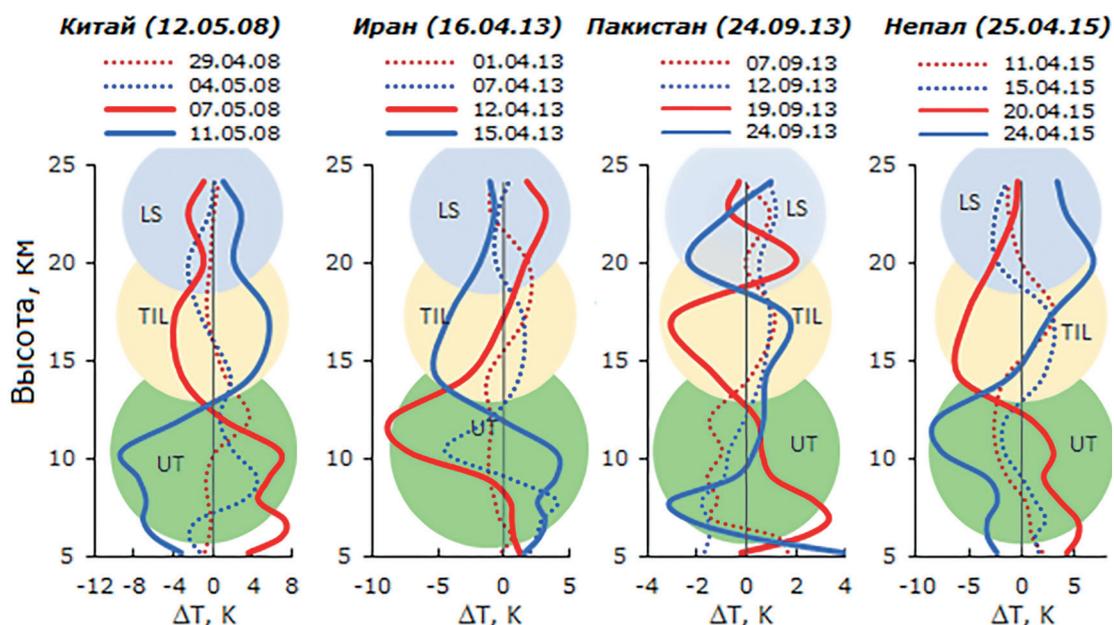


Рис. 2. Трансформация высотных профилей приращений температуры ΔT ($h = 5,0-25,0$ км) над эпицентрными областями землетрясений EQ1–EQ4 (00:00 UTC)

Так, изменения во времени вертикальных распределений $\Delta T(h)$, которые происходили примерно за 8–16 дней до сейсмических событий (показаны пунктирными линиями), характеризовались относительно низкими амплитудами и отсутствием каких-либо общих признаков согласованных изменений во всём рассматриваемом диапазоне высот. На фоне этих изменений по мере приближения к моменту землетрясения наблюдался рост межсуточной изменчивости температуры. Так, профили $\Delta T(h)$, полученные с определённой разницей во времени, а именно примерно за пять дней и за один день до землетрясений $M > 7,5$, демонстрировали близкие к противофазным изменения структуры температуры, свидетельствующие о наличии периодичности в изучаемых процессах. Наиболее интенсивные изменения ΔT происходили на изобарических уровнях 400–200 гПа ($h = \sim 7,0$ – $12,0$ км) в верхней тропосфере и 100 гПа ($h = \sim 17,0$ км) в области тропопаузы (англ. Tropopause Inversion Layer — TIL). Спектральный анализ подтвердил, что хорошо выраженные интенсивные колебания ΔT в диапазоне периодов ~ 4 – 6 сут предшествовали сейсмическим событиям.

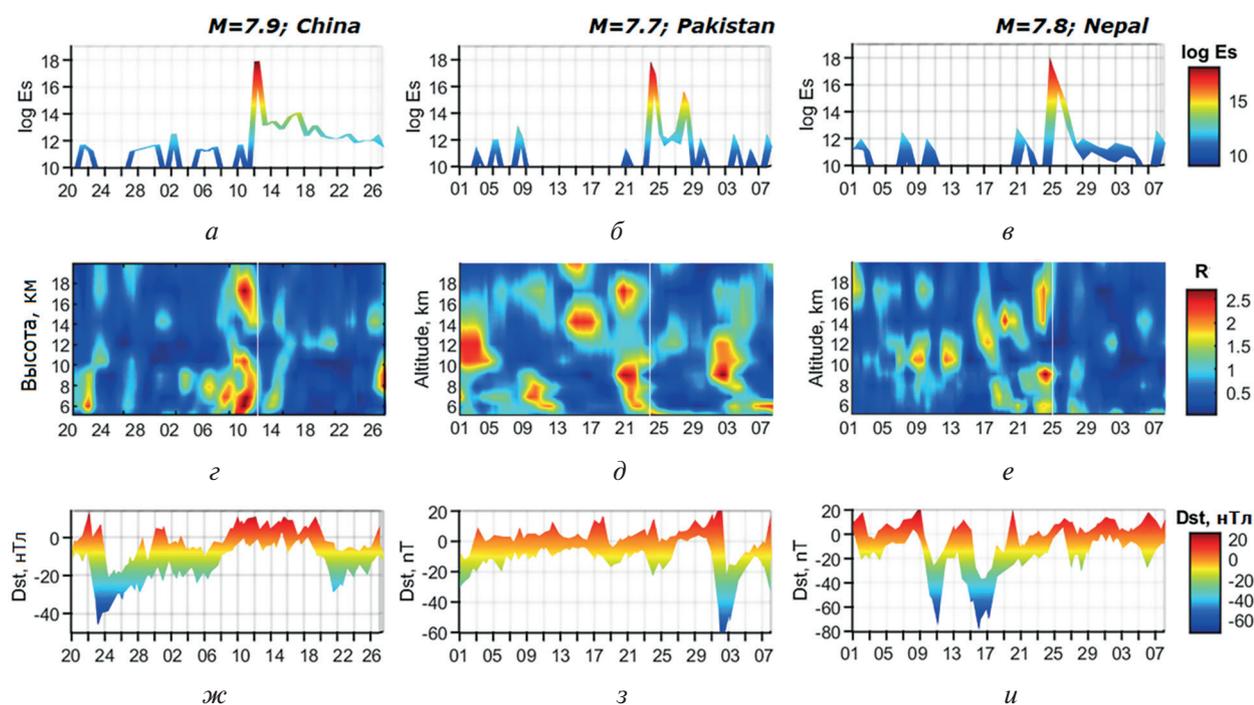


Рис. 3. Изменения логарифма сейсмической энергии $\log Es$ (а–в) и высотное-временное распределение отношения $R = \text{VAR}_{\text{STA}} / \text{VAR}_{\text{LTA}}$ над эпицентрами землетрясений $M > 7,5$ (г–е) в Китае, Пакистане и Непале; вариации индекса Dst (ж–и) в указанные периоды времени

Особенности эволюции вертикальной структуры UTLS над эпицентрными областями землетрясений в Китае, Пакистане и Непале наглядно иллюстрируют высотное-временное распределение отношения $R = \text{VAR}_{\text{STA}} / \text{VAR}_{\text{LTA}}$, совмещённые с графиками изменения логарифма сейсмической ($\log Es$) и геомагнитной (Dst) активности (рис. 3). Приведённые фрагменты показательны, поскольку включают эпизоды как значительной сейсмической, так и умеренно возмущённой геомагнитной активности. Очевидно, что во всех трёх случаях наблюдались характерные признаки согласованных предсейсмических изменений R в области высот около 9,0 и 17,0 км. Подобные результаты можно было ожидать, учитывая близкие величины магнитуды ($M = 7,7$ – $7,9$) и глубины очагов (от 8 до 19 км), а также отмеченное ранее незначительное различие в расположении эпицентров по широте (27–31° с. ш.). Уровни Dst-индекса во время событий оставались в диапазоне от -20 до $+20$ нТл, а соответственно, вероятной причиной наблюдаемых перед землетрясениями аномальных изменений R выступала не геомагнитная, а сейсмическая активность.

Что касается землетрясения в Иране, глубина гипоцентра которого составляла ~ 80 км, предшествующие ему возмущения температуры, в отличие от представленных на *рис. 3*, располагались на более низких уровнях, соответствующих высотам 7–9 и ~ 12 км. Причина такого различия может заключаться в том, что глубина очага землетрясения влияет на характер взаимодействия между литосферой и атмосферой и определяет особенности вертикального распределения возмущений температуры в UTLS.

На *рис. 4* показана пятимесячная динамика изменения параметров δT и δT_C и соответствующие последовательности магнитуд и числа землетрясений (N) в каждые сутки. Подтверждением уникальности аномалий, имеющих связь с крупными землетрясениями, может являться отсутствие в рассматриваемые сейсмоактивные периоды «ложных» срабатываний алгоритма, превышающих пороговые уровни. Несмотря на то, что каждое отдельно взятое из этих событий и их эпицентральные области имеют свои особенности, свою структуру разломов, геологические условия, движения земной коры и т.д., а следовательно, по-разному протекающие в литосфере процессы накопления напряжений и деформации (Yu et al., 2021), распределение параметров δT и δT_C показало в целом схожую картину изменения во времени.

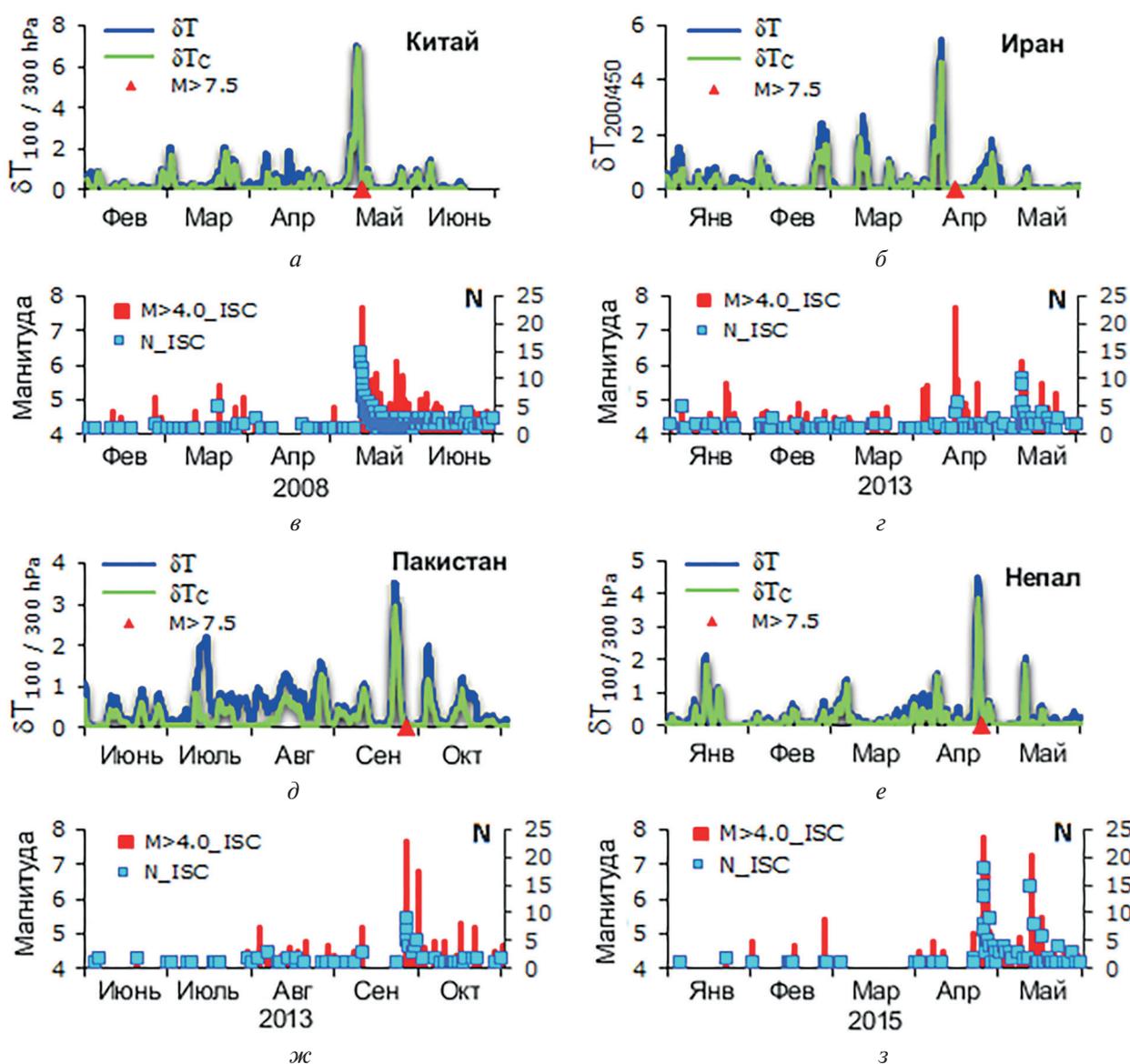


Рис. 4. Динамика изменения параметров δT и δT_C (а, б, д, е) и последовательности магнитуд и числа землетрясений (N) (в, г, ж, з) в сейсмоактивные периоды EQ1–EQ4

Значительное увеличение δT_C , превышающее порог обнаружения ($\delta T_C \geq \text{THR} = 3,0$), наблюдалось вблизи эпицентральной зоны во всех случаях, длилось от 18 до 36 ч и достигало максимума ($\delta T_{C\text{MAX}} = 3,0-7,0$) за 1–5 дней до событий. Такое подобие проявления аномальных изменений температуры перед землетрясениями может означать наличие общего механизма, посредством которого сейсмическая активность способна оказывать влияние на температуру. Многие авторы (Carbone et al., 2021; Kherani et al., 2021; Piersanti et al., 2020; Yang et al., 2019) отмечали, что это может быть связано с генерацией гравитационных волн сейсмического происхождения.

Пространственно-временное распределение предсейсмических возмущений

Как показали результаты применения алгоритма к временным рядам температуры (см. рис. 4), всем четырём землетрясениям предшествовали сильные возмущения в UTLS, которые были идентифицированы по значительному увеличению δT_C вблизи их эпицентров. На следующем этапе обработки спутниковых данных были построены карты пространственно-временного распределения аномальных изменений температуры. В качестве примера на рис. 5 показаны изменения во времени интегрального параметра δT_C по широте и долготе в периоды сейсмической активности в Китае (с 1 по 15 мая 2008 г.) и Непале (с 15 по 30 апреля 2015 г.).

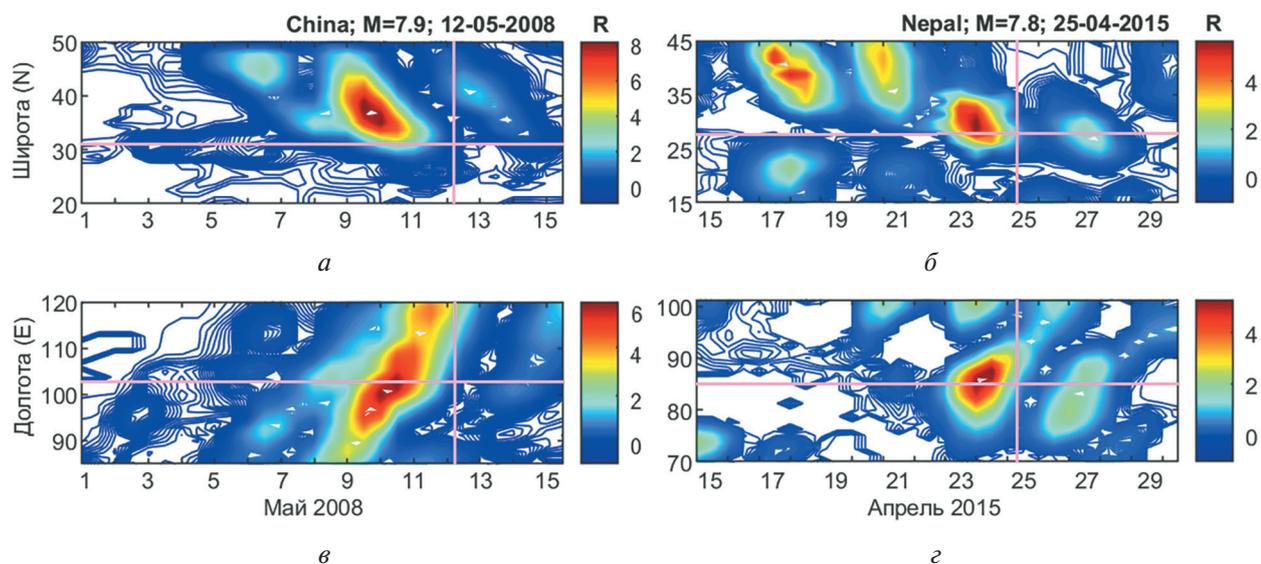


Рис. 5. Распределения параметра δT_C по широте (а, б) и долготе (в, г) в Китае (с 1 по 15 мая 2008 г.) и Непале (с 15 по 30 апреля 2015 г.). Вертикальные и горизонтальные линии показывают моменты землетрясений и координаты их эпицентров соответственно

В обоих случаях возмущения температуры проявлялись в виде локализованных мезомасштабных областей повышенных значений параметра δT_C . Несмотря на существенные различия по интенсивности, наиболее возмущённые области UTLS были расположены примерно на одинаковых расстояниях, не превышающих 400 км, от эпицентров землетрясений и предварили их на 1–2 сут. Такое совпадение в пространстве и времени между возмущениями температуры и эпицентрами рассматриваемых землетрясений может свидетельствовать о высокой вероятности связи аномалий не с какими-либо атмосферными явлениями, а с литосферными процессами.

Различие двух представленных на рис. 5 распределений интегрального параметра δT_C заключается в том, что перед землетрясением в Непале наряду с сильным сейсмогенным воз-

мушением 24 апреля 2015 г. наблюдался ряд аномальных структур в период с 16 по 20 апреля 2015 г. Основываясь на данных о вариациях индекса Dst, относящихся к этому событию (см. *рис. 3и*), можно предположить, что эти аномалии температуры были вызваны изменением солнечной и геомагнитной активности. Значения индекса Dst, зарегистрированные 15–18 апреля 2015 г., находились в пределах от -40 до -80 нТл, что свидетельствует об умеренно возмущённых атмосферных условиях, которые способны вызвать изменения температуры в слоях нижней атмосферы, в частности оказывать прямое влияние на температуру тропопавузы (Chetia et al., 2017; Piersanti et al., 2020).

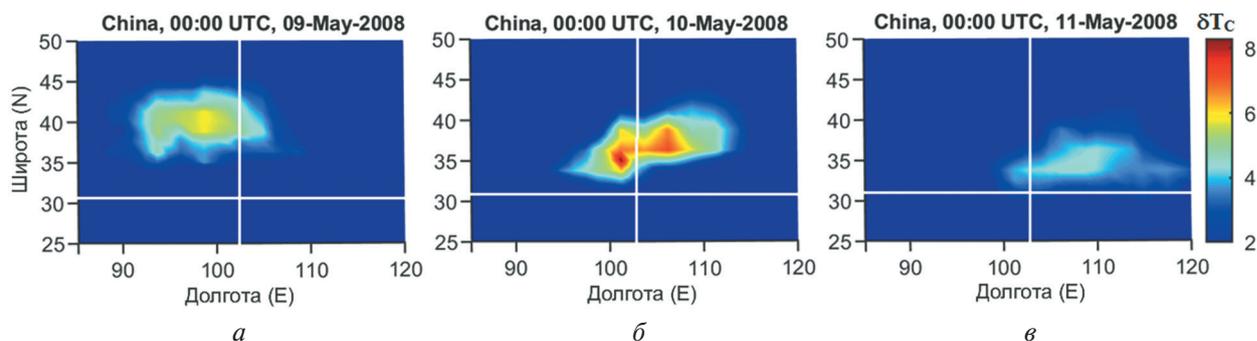


Рис. 6. Пространственное распределение параметра $\delta T_C \geq 2,0$ в 00:00 UTC: *а* — 9 мая 2008 г.; *б* — 10 мая 2008 г.; *в* — 11 мая 2008 г. Горизонтальные и вертикальные линии соответствуют координатам эпицентра землетрясения $M = 7,9$ ($31,00^\circ$ с. ш.; $103,32^\circ$ в. д.)

Результаты расчёта параметра δT_C , выполненные для каждого пикселя исследуемого региона в пределах координат $25\text{--}50^\circ$ с. ш. и $80\text{--}120^\circ$ в. д. и каждых трёхчасовых отсчётов спутниковых данных с 9 по 11 мая 2008 г., представлены на *рис. 6*. Аномалия температуры начала развиваться 7–9 мая 2008 г. на северо-западе от эпицентра Сычуаньского землетрясения и постепенно перемещалась в юго-восточном направлении. Максимум δT_C наблюдался в 00:00 UTC (*англ.* Coordinated Universal Time, всемирное координированное время) 10 мая 2008 г. и был смещён на $\sim 3\text{--}4^\circ$ к северу относительно эпицентра (см. *рис. 6б*). Возмущение температуры проявлялось в ограниченном пространственном объёме атмосферы с горизонтальным размером, составляющим ~ 800 км по долготе и около 500 км по широте. Это хорошо согласуется с результатами, полученными в период подготовки Нуринского землетрясения $M = 6,7$ (восточный сегмент Алайской долины, 5 октября 2008 г.) (Sverdlik, 2021).

Заключение

Предложен новый подход к анализу пространственно-временных вариаций межсуточной изменчивости температуры в UTLS. Для выделения предсейсмических возмущений температуры были исследованы периоды подготовки четырёх крупных землетрясений с магнитудами $M > 7,5$, произошедших в зоне Альпийско-Гималайского сейсмического пояса: в Китае (2008), Иране, Пакистане (2013) и Непале (2015). Применение разработанного алгоритма позволило установить, что аномалии сейсмогенного происхождения, характеризующиеся высокими значениями параметра $\delta T_C (\geq 2,0)$, проявлялись в виде хорошо выраженных мезомасштабных (300–800 км), относительно долгоживущих (от 18 до 36 ч) возмущённых областей, локализованных вблизи эпицентров. Максимумы δT_C наблюдались в пределах нескольких сотен километров от эпицентров и за 1–5 сут до этих землетрясений. Поскольку все события $M > 7,5$ произошли на фоне спокойных геомагнитных условий, пространственные и временные распределения аномалий температуры дают основание предполагать вероятную связь с процессами подготовки сейсмических событий. Отмечается существенная зависимость проявления аномалий температуры от глубины гипоцентра землетрясения, которая, вероятно,

влияет на интенсивность динамического воздействия на атмосферу и играет важную роль в обнаружении атмосферных эффектов, связанных с сейсмической активностью.

Автор выражает благодарность сотрудникам Центра данных и информационных служб Годдарда по наукам о Земле (*англ.* Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center — GES DISC), НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, *англ.* NASA — National Aeronautics and Space Administration) и USGS за предоставление свободного доступа к данным измерений.

Проведённые исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке по теме «Изучение геофизических полей и процессов как основы прогноза землетрясений на базе мониторинга и моделирования неупругих процессов в сейсмогенерирующих средах»

Литература

1. Сverdlik 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.
2. Carbone V., Piersanti M., Materassi M., Battiston R., Lepreti F., Ubertini P. A mathematical model of lithosphere–atmosphere coupling for seismic events // Scientific Reports. 2021. V. 11. Art. No. 8682. DOI: 10.1038/s41598-021-88125-7.
3. Chetia B., Devi M., Kalita S., Barbara A. K. Magnetic storm time effect on upper and lower atmosphere: An analysis through GPS and remote sensing observation over Guwahati // Indian J. Radio and Space Physics. 2017. V. 46. P. 120–130.
4. He L., Heki K. Ionospheric anomalies immediately before Mw7.0–8.0 earthquakes // J. Geophysical Research: Space Physics. 2017. V. 122. No. 8. P. 8659–8678. DOI: 10.1002/2017JA024012.
5. Jin S., Han L., Cho J. Lower atmospheric anomalies following the 2008 Wenchuan Earthquake observed by GPS measurements // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2011. V. 73. P. 810–814. DOI: 10.1016/j.jastp.2011.01.023.
6. Jing F., Singh R. P., Shen X. Land–Atmosphere–Meteorological coupling associated with the 2015 Gorkha (M 7.8) and Dolakha (M 7.3) Nepal earthquakes // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2019. V. 10. No. 1. P. 1267–1284. DOI: 10.1080/19475705.2019.1573629.
7. Kherani E. A., Sanchez S. A., de Paula E. R. Numerical Modeling of Coseismic Tropospheric Disturbances Arising from the Unstable Acoustic Gravity Wave Energetics // Atmosphere. 2021. V. 12. Iss. 6. Art. No. 765. DOI: 10.3390/atmos12060765.
8. Piersanti M., Materassi M., Battiston R., Carbone V., Cicone A., D'Angelo G., Diego P., Ubertini P. Magnetospheric–Ionospheric–Lithospheric Coupling Model. 1: Observations during the 5 August 2018 Bayan Earthquake // Remote Sensing. 2020. V. 12. Iss. 20. Art. No. 3299. DOI: 10.3390/rs12203299.
9. Singh R. P., Mehdi W., Sharma M. Complementary nature of surface and atmospheric parameters associated with Haiti earthquake of 12 January 2010 // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. V. 10. Iss. 6. P. 1299–1305. DOI: 10.5194/nhess-10-1299-2010.
10. Sverdlik L. Anomalous temperature changes in the UTLS region prior to the 2008 Nura Earthquake // E3S Web Conf. 2021. V. 333. Art. No. 02013. RPERS, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202133302013.
11. Sverdlik L., Imashev S. Spatial-temporal distribution of atmospheric temperature anomalies connected with seismic activity in Tien-Shan // MAUSAM. 2020. V. 71. No. 3. P. 481–490. URL: https://metnet.imd.gov.in/mausamdocs/171310_F.pdf.
12. Yan X., Sun Y., Yu T., Liu J.-Y., Qi Y., Xia C., Zuo X., Yang N. Stratosphere perturbed by the 2011 Mw9.0 Tohoku earthquake // Geophysical Research Letters. 2018. V. 45. Iss. 19. P. 10050–10056. DOI: 10.1029/2018GL079046.
13. Yang S.-S., Asano T., Hayakawa M. Abnormal gravity wave activity in the stratosphere prior to the 2016 Kumamoto earthquakes // J. Geophysical Research: Space Physics. 2019. V. 124. Iss. 2. P. 1410–1425. DOI: 10.1029/2018JA026002.
14. Yu Z., Hattori K., Zhu K., Fan M., Marchetti D., He X., Chi C. Evaluation of Pre-Earthquake Anomalies of Borehole Strain Network by Using Receiver Operating Characteristic Curve // Remote Sensing. 2021. V. 13. No. 3. Art. No. 515. DOI: 10.3390/rs13030515.
15. Zhu F., Jiang Y. Investigation of GIM-TEC disturbances before $M \geq 6.0$ inland earthquakes during 2003–2017 // Scientific Reports. 2020. V. 10. Art. No. 18038. DOI: 10.1038/s41598-020-74995-w.

Atmospheric effects of the largest earthquakes in the Alpine-Himalayan seismic belt

L. G. Sverdlik

Research Station RAS in Bishkek City, Bishkek 720049, Kyrgyzstan
Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek 720000, Kyrgyzstan
E-mail: l.sverdlik@mail.ru

The upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) is a dynamic region exposed to impacts of various perturbations which can be traced by temperature changes. Within this study the task was to identify anomalous temperature changes which can be associated with large seismic events. Satellite measurements (MERRA-2) within periods of preparation of four destructive earthquakes of $M > 7.5$ occurred in the Alpine-Himalayan seismic belt: in China (2008), Iran, Pakistan (2013) and Nepal (2015). To identify pre-seismic perturbations a new approach to the analysis of spatial-temporal temperature changes in UTLS based on a modified STA/LTA criterion, statistic and spectral analysis has been suggested. The developed algorithm is based on sequential calculation of inter-day temperature variability ΔT of the moving dispersions ratio ($\text{VAR}_{\text{STA}}/\text{VAR}_{\text{LTA}}$) and integral parameters of anomalous variations δT_C (δT). The range and nature of changes of the parameters were determined by the intensity of short-period temperature perturbations. Application of the developed algorithm revealed that the anomalies of seismogenic origin were characterized by high values of parameter δT_C (≥ 2.0) and manifested as explicit mesoscale (300–800 km), relatively long-lived (from 18 to 36 hours) disturbed areas. Temperature anomalies were observed 1–5 days before strong earthquakes within several hundred kilometers from their epicenters. Due to the fact that all events under examination occurred against the background of calm geomagnetic conditions, the spatial-temporal distribution of atmospheric temperature anomalies suggest probable association with the earthquake preparation processes.

Keywords: satellite measurements, temperature, earthquake, upper troposphere, lower stratosphere, STA/LTA criterion, integral parameter, anomaly, geomagnetic activity, Dst-index

Accepted: 28.04.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-81-90

References

1. Sverdlik L. G., Identification of pre-seismic atmospheric perturbations using modified STA/LTA criterion, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 3, pp. 141–149 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-141-149.
2. Carbone V., Piersanti M., Materassi M., Battiston R., Lepreti F., Ubertini P., A mathematical model of lithosphere–atmosphere coupling for seismic events, *Scientific Reports*, 2021, Vol. 11, Art. No. 8682, DOI: 10.1038/s41598-021-88125-7.
3. Chetia B., Devi M., Kalita S., Barbara A. K., Magnetic storm time effect on upper and lower atmosphere: An analysis through GPS and remote sensing observation over Guwahati, *Indian J. Radio and Space Physics*, 2017, Vol. 46, pp. 120–130.
4. He L., Heki K., Ionospheric anomalies immediately before Mw7.0–8.0 earthquakes, *J. Geophysical Research: Space Physics*, 2017, Vol. 122, No. 8, pp. 8659–8678, DOI: 10.1002/2017JA024012.
5. Jin S., Han L., Cho J., Lower atmospheric anomalies following the 2008 Wenchuan Earthquake observed by GPS measurements, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2011, Vol. 73, pp. 810–814, DOI: 10.1016/j.jastp.2011.01.023.
6. Jing F., Singh R. P., Shen X., Land–Atmosphere–Meteorological coupling associated with the 2015 Gorkha (M 7.8) and Dolakha (M 7.3) Nepal earthquakes, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2019, Vol. 10, No. 1, pp. 1267–1284, DOI: 10.1080/19475705.2019.1573629.
7. Kherani E. A., Sanchez S. A., de Paula E. R., Numerical Modeling of Coseismic Tropospheric Disturbances Arising from the Unstable Acoustic Gravity Wave Energetics, *Atmosphere*, 2021, Vol. 12, Issue 6, Art. No. 765, DOI: 10.3390/atmos12060765.
8. Piersanti M., Materassi M., Battiston R., Carbone V., Cicone A., D’Angelo G., Diego P., Ubertini P., Magnetospheric–Ionospheric–Lithospheric Coupling Model. 1: Observations during the 5 August 2018 Bayan Earthquake, *Remote Sensing*, 2020, Vol. 12, Issue 20, Art. No. 3299, DOI: 10.3390/rs12203299.

9. Singh R. P., Mehdi W., Sharma M., Complementary nature of surface and atmospheric parameters associated with Haiti earthquake of 12 January 2010, *Natural Hazards and Earth System Science*, 2010, Vol. 10, Issue 6, pp. 1299–1305, DOI: 10.5194/nhess-10-1299-2010.
10. Sverdlik L., Anomalous temperature changes in the UTLS region prior to the 2008 Nura Earthquake, *E3S Web Conf.*, 2021, Vol 333, Art. No. 02013, RPERS, 2021, DOI: 10.1051/e3sconf/202133302013.
11. 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, available at: https://met-net.imd.gov.in/mausamdocs/171310_F.pdf.
12. Yan X., Sun Y., Yu T., Liu J.-Y., Qi Y., Xia C., Zuo X., Yang N., Stratosphere perturbed by the 2011 Mw9.0 Tohoku earthquake, *Geophysical Research Letters*, 2018, Vol. 45, Issue 19, pp. 10050–10056, DOI: 10.1029/2018GL079046.
13. Yang S.-S., Asano T., Hayakawa M., Abnormal gravity wave activity in the stratosphere prior to the 2016 Kumamoto earthquakes, *J. Geophysical Research: Space Physics*, 2019, Vol. 124, Issue 2, pp. 1410–1425, DOI: 10.1029/2018JA026002.
14. Yu Z., Hattori K., Zhu K., Fan M., Marchetti D., He X., Chi C., Evaluation of Pre-Earthquake Anomalies of Borehole Strain Network by Using Receiver Operating Characteristic Curve, *Remote Sensing*, 2021, Vol. 13, No. 3, Art. No. 515, DOI: 10.3390/rs13030515.
15. Zhu F., Jiang Y., Investigation of GIM-TEC disturbances before $M \geq 6.0$ inland earthquakes during 2003–2017, *Scientific Reports*, 2020, Vol. 10, Art. No. 18038, DOI: 10.1038/s41598-020-74995-w.