Предвестники землетрясения в Непале 25 апреля 2015 г. (M=7,9) на спутниковых метеорологических снимках

Л. И. Морозова¹

Получено 5 мая 2015 г.; переработано 14 мая 2015 г.; принято 15 мая 2015 г.; опубликовано 17 мая 2015 г.

Подтверждено значение в качестве краткосрочных предвестников времени и места сильного землетрясения в регионе возникновение над Индийской плитой линейнопротяженной облачной аномалии над Бенгальским заливом и развитие мощного грозового облака над будущим эпицентром у подножия Гималаев с последующим образованием в регионе геологически обусловленных линейных облачных аномалий. Показано влияние сейсмического процесса на условия распространения радиоволн и обусловленное ими снижение качества изображения снимков со спутников. *КЛЮЧЕ-ВЫЕ СЛОВА*: Прогноз землетрясений; литосферно-атмосферные связи; линейные облачные аномалии; спутниковый геодинамический мониторинг; радиопомехи.

Ссылка: Морозова, Л. И. (2015), Предвестники землетрясения в Непале 25 апреля 2015 г. (*M*=7,9) на спутниковых метеорологических снимках, *Вестник ОНЗ РАН, 7*, NZ1001, doi:10.2205/2015NZ000123.

Введение

Статья посвящена проблеме отражения сейсмической активности земной коры в аномалиях облачных полей на спутниковых снимках и использовании этих аномалий в оперативном выявлении сейсмоактивных регионов. Давно замеченные различные виды линейных облачных аномалий (ЛОА) являются результатом взаимодействия трех сфер Земли: лито-, гидро- и атмосферы.

На метеорологических спутниковых снимках в периоды активизации разломов земной коры над ними иногда образуются облачные аномалии, представляющие собой резкие линейные границы на части периметра облачных массивов, узкие безоблачные каньоны в облаках и, реже, линейно протяженные гряды облаков на фоне безоблачного пространства, которые не могут быть результатом атмосферных процессов. Взаимодействие твердой и газообразной оболочек Земли порождает облачные предвестники землетрясений [Морозова, 1993, 2005, 2007, 2012]. Снимки с ЛОА несут информацию о протекающих одновременно в ее оболочках процессах, имеющих различную динамику. ЛОА являются геоиндикаторами активизированных разломов.

Природа ЛОА еще не вполне ясна, в настоящее время рабочей является электромагнитная гипотеза. Академик К. Я. Кондратьев считал, что эти "прямолинейно очерченные разрывы на снимках облачности не связаны с

http://onznews.wdcb.ru/doi/2015NZ000123-res.html

природой и динамикой самой облачности и атмосферных процессов". По мнению председателя Экспертного совета по прогнозу землетрясений РАН члена-корреспондента РАН А. В. Николаева "неясность физических принципов не может быть причиной недоверия к экспериментальным результатам".

Цель данной работы заключалась в обнаружении предвестников этого землетрясения и облачных аномалий, отражающих динамику данного сейсмотектонического процесса. Ближайшая задача – переход к синхронной регистрации и совместной обработке полей ЛОА и сейсмических полей. Вероятность прогноза катастрофического сейсмического события по аномально большому числу ЛОА может быть достаточно высокой, гораздо выше той, с какой геодинамические процессы заканчиваются землетрясениями.

Многократное дистанционное зондирование Земли со спутников обеспечивает возможность краткосрочного прогноза землетрясений в оперативном порядке только по одному предвестнику – облачности, сокращая время составления прогноза до нескольких минут – факт исключительно важный при прогнозе катастрофических природных явлений. Применение методов спутниковой метеорологии в изучении сейсмичности позволяет решить некоторые задачи, недоступные для традиционных методов.

Регулярность получения спутниковой информации обеспечивает оперативное обнаружение изменений различных природных процессов. Привлечение дистанционных методов позволит решить задачи мониторинга обширных сейсмоактивных территорий в режиме реального времени с наименьшими затратами. Однако дистанционное зондирование должно применяться в комплексе

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

^{© 2015} Геофизический центр РАН.



Рис. 1. Облачная гряда в Бенгальском заливе: а) гряда (AB), переходящая в каньон – BC 24.04.2015 г. в 04:55, спутник MTSAT-2; б) облачная гряда 24.04.2015 г. в 05:32; в) облачная гряда 10.04.2012 г., спутник Terra-MODIS.

с другими методами, обусловливая более надежные прогнозы положения эпицентра [*Kuccun*, 2013].

Исходные данные и методика исследования

По данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра (EMSC), очаг землетрясения находился на глубине 31 км от поверхности в точке с координатами: 28.12° с.ш., 84.82° в.д.

Анализировались снимки с геостационарных спутников Meteosat-7 (http://planet.iitp.ru/Oper_pr/Clouds_ Eurasia.html) и Mtsat-2 (http://www.nrlmry.navy.mil/), передающих информацию с часовым и получасовым интервалом, и полярно-орбитальных: Terra- и Aqua-MODIS (https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapidresponse) среднего масштаба, зондирующих территорию в суточном интервале.

Анализ динамики ЛОА основан на сопоставлении последовательности спутниковых снимков одной и той же территории. Поскольку ЛОА имеют пульсирующий характер, существующий регламент наблюдений за облачным покровом Земли со спутников вполне удобен для их изучения. Оперативность сбора и обработки данных со спутников, передающих информацию в режиме непосредственной передачи, достаточно высоки. Снимки с ЛОА имеют особое значение в качестве способа передачи пространственной информации о тектонических процессах, поскольку дают возможность воспринимать эту информацию визуально. Оценка геодинамической активности территории по динамике ЛОА осуществляется оперативно на качественном уровне. Полигоном для спутникового мониторинга облачных аномалий служит зона радиовидимости спутникового центра, площадь которой на 3 порядка выше наземного геофизического полигона. На спутниковых снимках фиксируется территория, охватывающая несколько тектонических плит, что позволяет следить за их взаимодействием.

Крупномасштабные снимки со спутников Terra и Aqua используются для изучения видов облачности, образующих ЛОА, и картировании мелких локальных ЛОА. Спутниковый мониторинг облачных аномалий позволяет оперативно обнаружить только регион вероятного сильного землетрясения. Однако, по мнению А. В. Николаева, "оставляя пока в стороне вопрос о возможном месте возникновения землетрясения, мы, таким образом, увеличиваем вероятность точного предсказания времени возникновения землетрясения".

В работе реализован авторский способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени по спутниковым снимкам [Патент, 1994]. Суть его состоит в оперативном обнаружении сейсмоактивного региона по появлению над ним ЛОА за несколько часов-первых суток до землетрясения на заключительной стадии его подготовки. Время существования одной ЛОА в атмосфере составляет от нескольких десятков минут до нескольких часов. Появление ЛОА на мелкомасштабных снимках выявляет сейсмоопасный регион Земли и является краткосрочным предвестником времени и региона землетрясения. На спутниковых снимках такого масштаба фиксируется территория, охватывающая несколько тектонических плит, что позволяет следить за их взаимодействием.



Рис. 2. а) Образование гигантского грозового облака над эпицентром 23.04.2015 г. в 11:32; б) образование каньона (АБ) в облачном поле над разломом, проходящим под грозовым облаком. Снимок 24.04.2015 г. в 08:32.

Результаты и их обсуждение

Протяженная облачная гряда над Бенгальским заливом у п-ва Индостан была зафиксирована на снимке 24 апреля в 03:32 и сохранялась в течение трех часов, постепенно размываясь. Ее эволюция в наиболее ярком виде показана на Рис. 1а и Рис. 1б. Появление гряды указывает на возможность землетрясения в регионе в ближайшие дни, но не определяет положение эпицентра. Такая же гряда возникала здесь и перед землетрясением 11 апреля 2012 г. (M = 8, 6) у северного побережья о. Суматра (Рис. 1в). В предыдущих работах автора было показано, что появление протяженной ЛОА является краткосрочным прогнозным сигналом сильных сейсмических событий. Облачная аномалия в виде гряды облачности при сейсмических процессах отмечалась крайне редко – преимущественно перед сильными землетрясениями в различных регионах Земли. В большинстве же случаев ЛОА выражены в размывании облачности – в виде каньонов и резких границ облачных массивов, что в большей степени связывает ее с геологическим строением земной коры [Морозова, 2012; Pulinets and Morozova, 2014]. Области подготовки сильных землетрясений имеют довольно обширные размеры, а предвестники могут проявляться на значительных расстояниях, до 1000 км и более от развивающегося очага. Если считать причиной образования ЛОА в атмосфере электромагнитное излучение земной коры, то их появление в сотнях километров от эпицентра объясняется тем, что процессы деформирования среды, сопровождающиеся электромагнитными аномалиями, наблюдаются на значительном удалении от эпицентров землетрясений, и в данном случае на границе плит [Гохберг и др., 1988]. Как отметил А. В. Николаев: "Сходство даже слабо выраженных закономерностей, независимо наблюдаемых в различных регионах, служит дополнительным подтверждением факта их существования".

На снимке 23.04.2015 г. в 11:32 над будущим эпицентром обнаружено мощное грозовое облако (Рис. 2a).

Физический механизм образования грозового облака, основанный на учете излучений, поступающих из земной коры в атмосферу, был предложен в [*Ермаков и Стоэк*- ков, 2004]. Необходимым условием развития грозовых облаков они считают ионизацию атмосферы. Замечено, что грозовая активность усиливается во время извержения вулканов и землетрясений. Образование подобного гигантского грозового облака над эпицентром на Дальнем Востоке России уже рассматривалось в статье [Морозова, 2010]. Однако при наличии в регионе землетрясения нескольких таких облаков установить местонахождение будущего эпицентра по одному снимку невозможно. На следующие сутки это облако стационировало и оказалось на фоне каньона (АБ) над разломом, проходящим под грозовым облаком; к западу от очага появилась еще одна короткая меридиональная ЛОА на границе облачного массива ЛОА (Рис. 26). В день землетрясения за 11 минут до толчка на снимке в 06:00 в облачном поле над очагом два каньона образовали угол, обозначив на снимке активизировавшие разломы (Рис. 3). Появление на двух последовательных снимках на небольшом пространстве трех и более ЛОА служит предвестником места землетрясения.



Рис. 3. Угол, образованный двумя каньонами у эпицентра, 25.04.2015 г. в 06:00, спутник Meteosat-7.



Рис. 4. а) Образование ЛОА – линейных границ облачного массива. Снимок 28.04.2015 г. в 04:00; б) сохранение ЛОА на периметре облачного массива и образование каньона внутри него. Снимок 28.04.2015 г. в 05:00.

Новые ЛОА в регионе землетрясения стали возникать только 28 апреля, что свидетельствует о продолжении сейсмического процесса и афтершоков. На периметре облачного массива у очага произошло образование резких линейных границ (Рис. 4а), сохранявшихся в течение часа, и образование каньона над новым активизировавшимся разломом (Рис. 46).

Динамика ЛОА в атмосфере является следствием динамики земной коры, поэтому по изменению положения ЛОА на снимке можно судить о направлении и скорости распространения напряжения в земной коре. Сохранение роя ЛОА после основного толчка характерно для повторных толчков. Афтершоки землетрясения достигли Дели, а также восточной части Индии. Территория сейсмического процесса с течением времени увеличивалась, распространившись на Тибет и в район Андаманских островов в Индийском океане, где 1 мая отмечен афтершок M = 5, 5. Появление каньонов в облаках над Индией и Бангладеш на снимке 28.04.2015 г. предшествовало здесь землетрясению 30 апреля (M = 4, 8) с координатами: 26.15° с.ш., 94.95° в.д. Эпицентр оказался на конце одного из разломов под каньоном (Рис. 5). В этот момент на



Рис. 5. Каньоны в облачном поле. Снимок 28.04.2015 г. в 07:40, спутник Terra-MODIS.



Рис. 6. Схема расположения плит. Сплошные черные линии – границы плит, пунктирные стрелки – векторы скорости их сближения.

МОРОЗОВА: ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В НЕПАЛЕ



Рис. 7. Отсутствие изображения на снимках: а) 25 апреля в 09:00, и б) 28 апреля в 03:00.

снимке не было облаков к северо-западу от эпицентра, и появились они только в 10:00, когда у Дели был зафиксирован каньон, сохраняющийся 4 часа, тогда как ЛОА носят импульсный характер и существуют менее получаса (интервал спутниковых съемок). Этот каньон образовался в узле пересечения тектонических нарушений – границ трех плит (Рис. 6). На Рис. 6 показана схема расположения плит, по [*Браун и Maccem*, 1984, с. 173]. Эпицентр землетрясения у г. Катманду расположен в месте схождения векторов скорости сближения плит. Это обстоятельство могло быть решающим для образования здесь эпицентра.

Как правило, исчезновение изображения на сканерных снимках начинается на широтах, близких к эпицентрам землетрясений на последней стадии их подготовки или в ближайшее после толчка время и обусловлено силь-



Рис. 8. Линейные облачные аномалии в Бенгальском заливе. Снимок 11 мая в 16:32, спутник MTSAT-2.

ным электромагнитным излучением в регионе эпицентра и его влиянием как на работу приборов на спутнике, так и на условия прохождения радиосигнала в атмосфере. Это обстоятельство можно использовать в качестве прогностического признака сейсмического процесса [*Морозова*, 1996, 2008].

Отсутствие части изображения на снимках отмечалось и в данном сейсмическом процессе, но только после толчка: первый раз спустя 3 часа – 25 апреля в 09:00 от 35°с.ш.



Рис. 9. Образование гигантского грозового облака вблизи эпицентра, разрушение облачной гряды над заливом, спутник MTSAT-2.



Рис. 10. Снимок со спутника МТЅАТ-2 12 мая в 04:40.

до северной границы радиовидимости спутника, и вторично спустя трое суток – 28 апреля в 03:00, также от 35°с.ш. до южной границы снимка (Рис. 7). Полоса радиошумов на снимке обозначает только одну координату эпицентра – широту, поскольку при сканировании искажение растягивается на ширину кадра снимка.

Диапазон спектра электромагнитного излучения при сейсмических процессах достаточно широк, поэтому радиопомехами в УКВ диапазоне, в котором передается информация со спутника, могут сопровождаться не все сейсмические события.

Высокие прогностические свойства облачных аномалий проявились при повторном сильном толчке 12 мая. Облачные предвестники землетрясений появляются в их регионах перед толчком за несколько первых дней (реже часов) и часто исчезают спустя сутки после него. Продолжение образования коротких ЛОА после первого толчка в Непале свидетельствовало о сохранении сейсмической активности территории, выраженной в магнитудах не выше 5,5. Однако перед афтершоком M = 7,5 12 мая в 07:05 процесс его подготовки отражался в атмосфере по сценарию первого толчка, а именно: облачная гряда над Бенгальским заливом сформировалась 11 мая в 12:00 и сохраняла свое положение до 20:32, после чего стала разрушаться. На промежуточном снимке в 16:32 (Рис. 8) запечатлена эта гряда, переходящая в каньон, протянувшийся до о. Суматра.

У эпицентра мощное грозовое облако достигло кульминации в своем развитии 11 мая в 19:32 (Рис. 9) и не разрушалось некоторое время и после толчка. Ближе к моменту землетрясения активизировались разломы в прибрежной части Бенгальского залива, породив над собой ЛОА – каньоны и резкие границы облачных массивов (Рис. 10).

На снимке с российского геостационарного спутника



Рис. 11. Снимок 12 мая в 06:58.

Электро-Л, полученном за 7 минут до толчка (Рис. 11), ЛОА вновь оказались далеко от эпицентра, в тех же южных широтах, что и в начальный момент сейсмотектонической активизации региона 24 апреля. Аналогичная динамика полей ЛОА типична для большинства проанализированных ранее землетрясений.

Заключение

Подтвердился выявленный ранее для этой и других территорий облачный предвестник сильного землетрясения – протяженная облачная гряда, возникшая в регионе сейсмического события за сутки до толчка на значительном удалении от эпицентра. Обнаружение нового геоиндикатора (линейной облачной аномалии) сейсмического процесса расширяет существующие представления о природе последнего.

Над эпицентром возникло и стационировало мощное грозовое облако, подпитываемое электромагнитным излучением и эманацией газов из расположенных под ним разломов, обозначенных на спутниковых снимках линейными облачными аномалиями, рой которых по обе стороны от эпицентра показывал распространение со временем тектонического напряжения от очага. Возможность обнаружения площади последнего обусловлена наличием облачности в регионе эпицентра, на которой отображаются тектонические процессы. Мощное электромагнитное излучение после основного толчка повлияло на условия прохождения радиосигнала со спутника, оставив без изображения значительную часть снимков.

Литература

- Браун, Д., А. Массет (1984), Недоступная Земля, 261 с., Мир, Москва.
- Гохберг, М. Б., В. А. Моргунов, О. А. Похотелов (1988), Сейсмоэлектромагнитные явления, 174 с., Наука, Москва.
- Ермаков, В. И., П. Н. Стожков (2004), Физика грозовых облаков, Препринт, 38 с., ФИАН, Москва.
- Киссин, И. Г. (2013), О системном подходе в проблеме прогноза землетрясений, *Физика Земли*, No. 4, 145–160. doi:10.7868/S0002333713040054
- Морозова, Л. И. (1993), Облачные индикаторы геодинамики земной коры, *Физика Земли*, No. 10, 108–112.
- Морозова, Л. И. (1996), Особенности проявления литоатмосферных связей в периоды сильных землетрясений Азии, Физика Земли, No. 5, 63–68.
- Морозова, Л. И. (2005), Спутниковый мониторинг землетрясений, 136 с., Дальнаука, Владивосток.
- Морозова, Л. И. (2007), Опыт использования предвестников на спутниковых снимках в анализе землетрясений, 132 с., Дальнаука, Владивосток.
- Морозова, Л. И. (2008), Полосы помех на спутниковых снимках Земли как предвестник землетрясения, Исследование Земли из космоса, No. 3, 88–92.
- Морозова, Л. И. (2010), Гигантское грозовое облако на Дальнем Востоке России, *Метеорология и гидрология*, No. 5, 88–91.
- Морозова, Л. И. (2012), Проявление геодинамической активности земной коры в облачных полях, *Геология и геофизика*, 53, No. 4, 541–550.
- Патент 11-2084. 51-5 G 01 V 9/00. 21-І НДР 9400316.1 (22) (1994), Способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени, Бюллетень № 3(5), с. 115, Республика Узбекистан, Ташкент.
- Pulinets, S. A., L. I. Morozova, I. A. Yudin (2014), Synchronization of atmospheric indicators at the last stage of earthquake preparation cycle, *Research in Geophysics*, 4:4898, 45–50.R.

Л. И. Морозова, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. 630090, Новосибирск, пр. Коптюга, д. 3. (nefgeo@yandex.ru)