

СВЯЗЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ТАЙФУНАМИ CONNECTION OF SEISMIC PROCESSES WITH TYPHOONS

Л.И. Морозова

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

In contrast to previous works, we used online cloud cover images transmitted every one hour from geostationary meteorological satellite, in addition to surface weather chart, to locate a typhoon in the Pacific Ocean. Interposition of the seismic centers and typhoons at different stages of its development in space images is shown. The space images of cloud cover provide a more precise and vivid idea of the typhoon's position relative to seismic sources. Earthquakes occurred within the first two days from the moment of typhoon passage near epicenter. An analysis of the spatiotemporal interrelation of seismicity and typhoons demonstrated that, in the initial period of two days (including the moment of the typhoon's passage), 80% of earthquakes (from a total of 59) occurred near the typhoon track in four days. All disastrous earthquakes ($M \geq 6.0$) occurred in the initial two days.

Помимо атмосферных процессов, соответствующих критерию катастрофических, тайфуны иногда сопровождаются землетрясениями. Представляет интерес использование внешнего по отношению к земной коре воздействия – вариаций атмосферного давления, обусловленных прохождением тайфуна. Регистрируемая вдоль траектории тайфуна сейсмичность свидетельствует об отклике верхних слоев земной коры на внешнее воздействие. В данном исследовании предстояло эмпирически определить время запаздывания сейсмического события по отношению к моменту прохождения тайфуна, а также влияние тайфуна на энергию землетрясения. В России изучением механизма воздействия тайфунов на сейсмичность занимались А.Д. Сытинский, М.И. Ярошевич, С.Н. Нетреба [6,8,5]. А.Д. Сытинским было установлено, что сильные землетрясения происходят во время планетарных возмущений атмосферы, энергия которых превосходит энергию землетрясений. Теоретические исследования влияния веса столба атмосферы на тектоническую плиту провел в Германии Visher S.[9]. В работе А.А.Любушина [3] было показано, что “пространственный радиус корреляции барообразований с периодом несколько суток и земной коры составляет сотни километров. Для пульсаций с периодами порядка 10 ч и ниже радиус корреляции баровариаций может стать соизмеримым с характерным размером блоков земной коры”.

Тайфуны изменяют напряжения внутри слоев земной коры, могущие быть причиной для разрыва неустойчивых зон в сейсмических областях. Изменения давления над водной поверхностью передаются в земную кору посредством внутренних гравитационных волн [1]. Энергия тайфуна является дополнительной к тектонической потенциальной энергии, а сильные вариации атмосферного давления являются эффективными триггерами в сейсмически неустойчивых областях.

Перемещаясь, тайфуны вызывают существенные изменения термодинамической структуры океана, образуя так называемый термический след. Индуцируемая тайфуном полоса охлажденной воды на поверхности океана является причиной, по которой следующий тайфун отклоняется от траектории предыдущего. Температура поверхности воды для зарождения и существования тайфуна должна быть выше $+26^{\circ}\text{C}$.

В отличие от работ предшественников, для определения положения тайфуна в Тихом океане помимо приземных карт погоды использовались оперативные снимки облачности с геостационарных метеорологических спутников. Космические снимки позволяют косвенно определить горизонтальный масштаб области природной катастрофы, взаиморасположение тайфуна и эпицентров землетрясений в его зоне, обеспечивая охват картины в целом на обширном пространстве. Определение положения тайфунов в пространстве по снимкам (до 10 в сутки) более точно, чем на приземной карте погоды (составляемой 4 раза), что очень важно для определения последовательности землетрясения и момента прохождения тайфуна над эпицентром.

Исследовалась территория северо-западной части Тихого океана и Восточной Азии, от 120 до 170⁰ в.д., от Филиппинских островов до Камчатки. Максимальное число выходов тайфунов осуществляется на Курильские о-ва, число выходов на Приморский край существенно меньше, невелико число выходов на Сахалин и юг Камчатки, и совсем незначительное число выходов приходится на юго-восток Хабаровского края.

Для каждого из 13 рассмотренных периодов с тайфунами за 2003 и 2004 гг. были построены траектории их движения, начиная от места зарождения в Филиппинском море до заполнения. К Камчатке вышло 6 тайфунов, 4 перемещались вдоль восточного побережья о. Хонсю и далее на восток, два заполнились вблизи о. Тайвань, один в Приморье.

С тайфуном связывались только эпицентры, оказавшиеся вблизи его траектории на расстоянии, сопоставимом с его размерами. Причинно-следственное соответствие положения тайфуна и обусловленного им землетрясения устанавливалось с учетом границ литосферных плит. Рассмотрено развитие сейсмических процессов в регионе в зависимости от траектории движения тайфуна – его взаимодействие с океанической плитой.

На начальных стадиях развития тайфуна, когда его облачное поле представляет собой компактный вихрь диаметром 300 – 700 км с “глазом бури” в центре, землетрясения начинались уже через несколько часов после его появления, на периферии облачного поля. Вихревая структура облачности ассоциируется с большими скоростями ветра в зоне тайфуна и максимальной кинетической энергией. Движение тайфуна над Филиппинской плитой вызывает землетрясения, как на самой плите, так и на ее границах. Это подтверждает процитированные выше выводы А.А. Любушина о пространственном радиусе корреляции сейсмичности и давления.

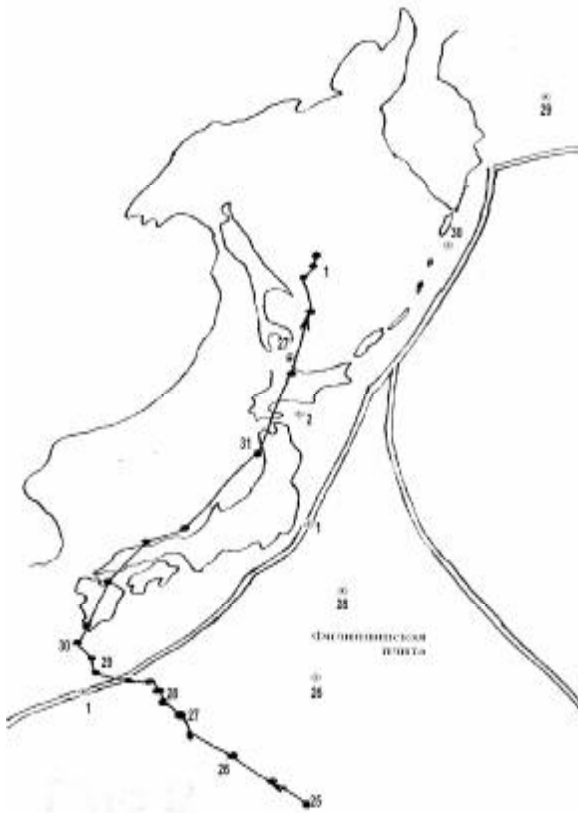


Рис. 1. Траектория тайфуна Chaba (даты положения центра) и эпицентры землетрясений (точки). Двойной линией показаны границы плит.

Тайфун “Chaba” (25 августа – 1 сентября 2004 г.) заполнился в Охотском море (рис. 1). Минимальное давление в тайфуне составило 910 гПа – самое низкое давление из всех пронесшихся тайфунов; в регионе Курильских островов - 979 гПа. При движении тайфуна над Филиппинской плитой в ее северной части отмечались толчки (табл.1). Это объясняется способностью более тонкой океанической литосферы к внутриплитным деформациям, что нашло подтверждение в наблюдениях в Индийском и Атлантическом океане (по [7]). При пересечении тайфуном западной границы плиты на Командорских островах 29.08 и на севере Курильских о-ов 30.08 (вблизи границы литосферных плит) были зарегистрированы землетрясения. Их возможной причиной могло быть перемещение тайфуна с Филиппинской плиты на Евразийскую и связанное с этим распространение напряжения вдоль границы плиты на северо-восток к эпицентрам. Часть траектории тайфуна (над Японскими островами) проходила параллельно границе плит. Землетрясения на границе плит отмечались 1.09 у восточного берега о. Хонсю (на следующие сутки после прохождения тайфуна) и на о. Рюкю (спустя двое суток).

Слабое землетрясение к югу от о.Хоккайдо 2.09 произошло спустя сутки после прохождения тайфуна над эпицентром.

Таблица 1

Землетрясения тайфуна Chaba

| date [GMT] | lat | lon | depth | mb | region name |
|---------------------|--------|---------|-------|-----|-------------------------------|
| 2004/08/26 11:38:06 | 28.03N | 139.45E | 503 | 4.5 | BONIN ISLANDS, JAPAN REGION |
| 2004/08/27 10:06:43 | 45.08N | 142.25E | 276 | 4.1 | HOKKAIDO, JAPAN REGION |
| 2004/08/28 18:24:08 | 32.02N | 141.45E | 42 | 4.6 | IZU ISLANDS, JAPAN REGION |
| 2004/08/29 00:55:06 | 55.41N | 166.25E | 19 | 4.7 | KOMANDORSKIYE OSTROVA |
| 2004/08/30 12:23:25 | 49.52N | 157.29E | 35 | 5.7 | EAST OF THE KURIL ISLANDS |
| 2004/08/30 23:22:15 | 24.39N | 121.61E | 75 | 4.6 | TAIWAN |
| 2004/09/01 02:49:28 | 36.94N | 141.61E | 35 | 5.7 | NEAR THE EAST COAST OF HONSHU |
| 2004/09/01 14:10:21 | 28.80N | 129.96E | 56 | 4.5 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/09/02 22:01:21 | 42.45N | 142.75E | 60 | 4.3 | HOKKAIDO, JAPAN REGION |

Тайфун Меаги (22 сентября – 1 октября 2004 г) дошел до юга Курильской гряды (рис. 2). Минимальное давление составило 920 гПа, вблизи Курильской гряды 990 гПа. В период движения тайфуна по Филиппинской плите 23.09 были зарегистрированы толчки у ее границы 23.09 и к югу от о. Хоккайдо 22.09 (табл. 2). Сейсмические события этих дней на Курилах и Камчатке происходили на фоне западного циклона. Пересечение тайфуном границы Филиппинской плиты сопровождалось землетрясениями на севере плиты и на ее границах на востоке и западе. При движении тайфуна над Японскими островами землетрясения там не отмечались.

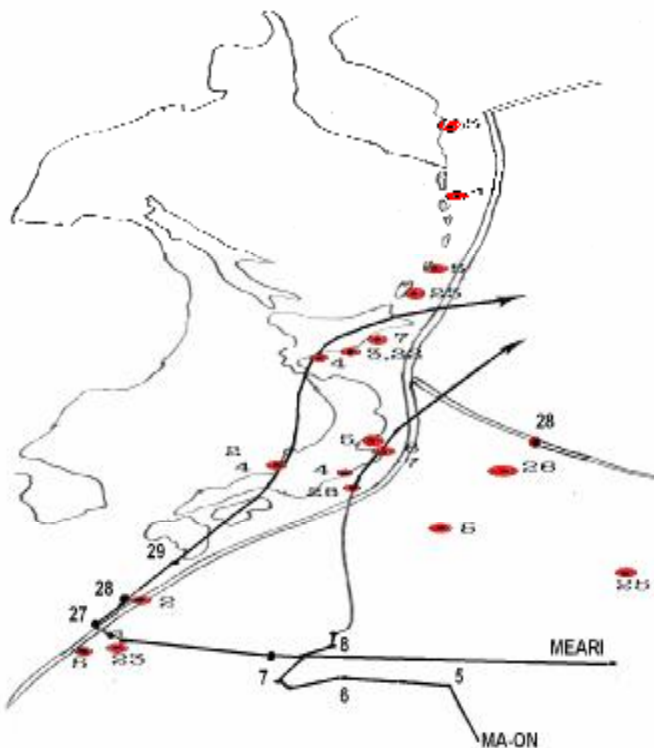


Рис.2. Схема траекторий тайфунов Меаги и Ма-Он и эпицентры землетрясений.

Тайфун Ма-Он (3 - 10 октября) (рис. 2). При движении тайфуна над Филиппинской плитой почти все землетрясения отмечались вдоль границы Евроазиатской и Тихоокеанской плит – от о. Тайвань до п-ва Камчатка (табл. 2). Близко расположенные на о. Хонсю очаги могли быть обусловлены как этим тайфуном, так и прохождением 6.10 западного циклона. Дополнительную неустойчивость здесь земной коре создает угол сочленения трех плит. 7.10 землетрясения на островах Хоккайдо и Хонсю отмечались при давлении в тайфуне - 953 гПа, в период его максимальной энергетической активности.

Можно допустить, что удаленные землетрясения Камчатки и Курильской гряды являются результатом воздействия тектонических волн, порожденных тайфуном на юге [7].

Землетрясения тайфуна Meari

| date [GMT] | | lon | lon | depth | mb | region name |
|------------|----------|-------|--------|-------|-----|---------------------------|
| 2004/09/22 | 11:03:52 | 41.41 | 141.32 | 111.4 | 5.0 | HOKKAIDO, JAPAN REGION |
| 2004/09/23 | 01:05:26 | 25.08 | 127.19 | 50.6 | 4.8 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/09/23 | 01:55:26 | 25.04 | 127.06 | 39.1 | 5.3 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/09/23 | 12:14:57 | 44.51 | 148.54 | 60.5 | 4.3 | KURIL ISLANDS |
| 2004/09/23 | 22:30:06 | 55.6 | 159.97 | 199.4 | 4.3 | KAMCHATKA PENINSULA |
| 2004/09/25 | 01:15:3 | 23.93 | 141.81 | 171.0 | 4.3 | JAPAN REGION |
| 2004/09/26 | 21:38:0 | 32.06 | 142.01 | 27.9 | 4.3 | IZU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/09/28 | 05:33:58 | 32.39 | 141.29 | 52.4 | 4.6 | IZU ISLANDS, JAPAN REGION |

Таблица 3

Землетрясения тайфуна Ma-On

| date [GMT] | | lon | lon | depth | mb | region name |
|------------|----------|-------|--------|-------|-----|-------------------------|
| 2004/10/02 | 15:22:15 | 27.92 | 127.70 | 78.7 | 5.1 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/10/02 | 23:00:20 | 33.42 | 136.73 | 8.5 | 4.7 | NEAR S. COAST OF HONSHU |
| 2004/10/03 | 23:41:25 | 41.93 | 142.40 | 88.2 | 4.7 | HOKKAIDO, JAPAN |
| 2004/10/04 | 23:33:51 | 35.87 | 136.28 | 10.0 | 4.4 | WESTERN HONSHU |
| 2004/10/05 | 00:24:32 | 29.75 | 138.74 | 415.3 | 4.1 | IZU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/10/05 | 00:04:41 | 43.61 | 151.09 | 67.4 | 4.5 | EAST OF KURIL ISLANDS |
| 2004/10/05 | 22:10:04 | 24.83 | 125.14 | 80.9 | 4.5 | RYUKYU ISL., JAPAN |
| 2004/10/06 | 14:40:39 | 35.88 | 139.96 | 61.9 | 5.8 | NEAR S. COAST OF HONSHU |
| 2004/10/06 | 14:40:39 | 35.88 | 139.96 | 61.9 | 5.8 | NEAR S. COAST OF HONSHU |

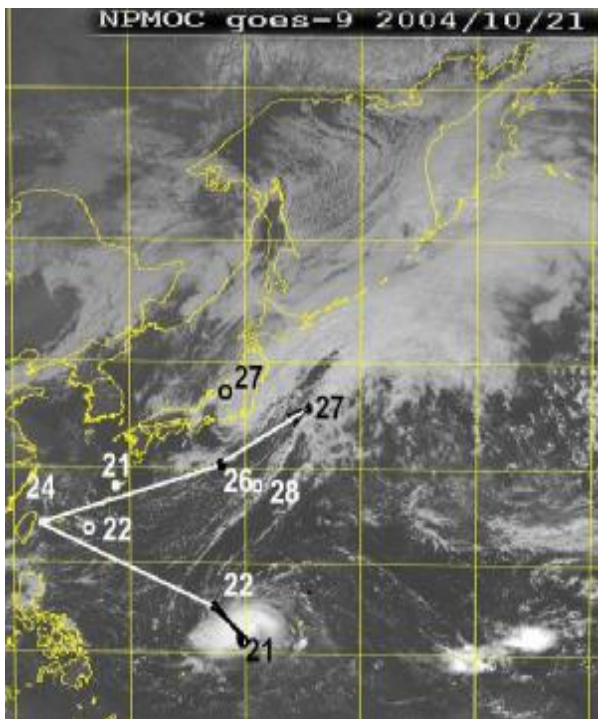


Рис.3.Траектория тайфуна Nock-Ten и эпицентры землетрясений

Тайфун Nock-Ten (21-27.10.2004) заполнился над Филиппинской плитой (рис. 3). На снимке, запечатлевшем начальную стадию тайфуна, показана его траектория и эпицентры порожденных им землетрясений. При движении тайфуна над плитой отмечены толчки на границе плиты 21 и 22.10. Вблизи границы плиты в г. Ниигата 27.10 повторно произошло сильное землетрясение, ранее -23.10 отмечавшееся в связи с прохождением тайфуна Токаге (на снимке его центр располагается у восточного побережья о. Хонсю), в японских средствах массовой информации названного причиной этого катастрофического землетрясения [4]. Тайфун, проходя на минимальном расстоянии от эпицентра, вновь оказал триггерное воздействие на тектонические напряжения в области очага при довольно высоком давлении в тайфуне (1006 гПа). Очаг на севере плиты 28.10 возник спустя сутки после прохождения тайфуна. Во время движения тайфуна над

Филиппинской плитой землетрясения происходят как на самой плите, так и на ее границе, причем, на границе значительно чаще.

Землетрясения тайфуна Nock-Ten

| date [GMT] | lon | lon | depth | mb | region name |
|---------------------|--------|---------|-------|-----|---------------------------|
| 2004/10/21 10:09:21 | 28.70N | 129.46E | 100.9 | 4.8 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/10/22 13:44:17 | 25.00N | 128.02E | 43.3 | 4.9 | RYUKYU ISLANDS, JAPAN |
| 2004/10/27 01:40:50 | 37.26N | 138.86E | 15.7 | 6.0 | NEAR WEST COAST OF HONSHU |
| 2004/10/28 04:54:29 | 29.60N | 140.51E | 124.6 | 4.7 | IZU ISLANDS, JAPAN |

По А.Д. Сытинскому, необходимым условием возникновения сильного землетрясения является большая скорость смещения тайфуна, сопровождающаяся значительной скоростью падения давления в течение суток. Эти условия выполнялись при прохождении супертайфуна «Маэми» над Японским морем 12.09.2003 г, когда давление в нем менялось от 965 до 980 гПа. С ним произошло три землетрясения в течение 5 часов $M=4.2-4.4$. Однако медленное смещение тайфуна над Камчаткой 12.08.2003 г с давлением 990 гПа не должно было закончиться землетрясением, тем не менее, оно осуществилось с $M=5.1$. В другом случае - медленное смещение здесь западного циклона с высоким давлением в центре (1004 гПа) 12.09.2003 г, также сопровождалось толчком $M=4.4$.

В моменты землетрясений на Японских о-вах давление в тайфунах составляло 910 - 995 гПа, а на Камчатке, в уже заполняющихся тайфунах 980 - 1010 гПа. Тайфуны с низким давлением 945-970 гПа сопровождались землетрясениями $M=4.2-8.1$, на высоком поле давления землетрясения имели значения магнитуд менее 5.0 .

На основе феноменологической связи землетрясений с прохождением тайфуна установлено время запаздывания сейсмического события по отношению к моменту прохождения тайфуна, а также влияние тайфуна на энергию землетрясения. Для оценки времени отклика литосферы на колебания атмосферного давления, обусловленные тайфуном, подсчитывалось число землетрясений сначала в период до двух суток с момента его прохождения вблизи очага, затем спустя еще такое же время. Анализ пространственно - временной связи сейсмичности и тайфунов показал, что в первый двухдневный период прохождения тайфуна вблизи его траектории произошло 80% землетрясений от их общего количества (59); учитывались только гипоцентры на глубинах менее 80 км (табл.5). Если бы тайфуны не оказывали триггерного воздействия на сейсмические процессы, количество землетрясений в обоих столбцах было бы одинаковым. Из 13 тайфунов 46% сопровождались землетрясениями $M \geq 6.0$.

Возможно, что изменение направления движения тайфунов (с северо-западного на северо-восточное) над границей плит происходит под влиянием геофизических полей литосферы, а не в результате различия термодинамических свойств подстилающей поверхности на границе суша-океан, как принято считать.

Полученные связи резкого изменения атмосферного давления с последующим землетрясением позволяют рассматривать землетрясение не только как геологическое, но и как атмосферное явление.

Сейсмичность в периоды тайфунов

| Периоды тайфунов | Количество землетрясений | | Интервал магнитуд |
|------------------|--------------------------|-----------|-------------------|
| | за первые | за вторые | |
| | двое суток | | |
| 8-12.08.2003 | 4 | 2 | 4.4-5.0 |
| 17-20.08 | 3 | 0 | 4.7-5.5 |
| 30.08-2.09 | 2 | 0 | 5.2-5.4 |
| 10-15.09 | 3 | 2 | 4.2-5.3 |
| 20-25.9 | 1 | 1 | 4.2-8.1 |
| 10-12.11 | 4 | 1 | 4.4-6.4 |
| 29.06-5.07.2004 | 9 | 2 | 3.9-5.1 |
| 26.08-2.09 | 4 | 1 | 4.1-5.7 |
| 5-9.09 | 3 | 2 | 4.3-7.2 |
| 23-30.09 | 2 | 0 | 4.3-5.3 |
| 4-10.10 | 2 | 0 | 4.1-6.5 |
| 14-22.10 | 8 | 0 | 4.2-6.7 |
| 22-27.10 | 2 | 1 | 4.3-6.0 |
| | 47(80%) | 12 (20%) | |

Список литературы

1. Алексеев В.В., Киселева С.В., Лаппо С.С. Лабораторные модели физических процессов в атмосфере и океане. – М.: Наука, 2005. –312 с.
2. Куснер Ю.С., Леви К.Г., Потемкин В.Л. Атмосферно-литосферное взаимодействие в рое Южно-Байкальских землетрясений, январь-февраль 1999 г. Материалы Всероссийского совещания “Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальные и прикладные аспекты“. Иркутск. Институт земной коры СО РАН, 20 – 23 сентября 2005 г. Вып. 2. Иркутск. 2005. С. 58 -64.
3. Любушин А.А. (мл.) Периодичности и катастрофы во взаимодействии геофизических процессов. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. М. Научный мир, 1998. С. 380-385.
4. Морозова Л.И. Тайфуны и сейсмичность // Доклады АН. 2006. Том 410, № 3. С. 397- 400.
5. Нетреба С.Н. Усиление инфразвука при атмосферной конденсации // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34. № 6. С. 817 – 826.
6. Сытинский А.Д. Об одном солнечно-атмосферном эффекте во время сильных землетрясений // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245. № 6. С. 1337-1340.
7. Хаин В.Е. Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника. 2002. № 4. С. 3 - 13.
8. Ярошевич М.И. Тропические циклоны и сейсмическая активность // Докл. АН СССР. 1991. Т. 316. № 1. С. 88–92.
9. Visher S.S. Tropical cyclones in the Northeast Pacific, between Hawaii and Mexico // Montly Weather Rev. 1922. Vol. 50. P. 288-295.