

## **Взаимосвязь тропического циклогенеза и сейсмической активности по данным спутниковых и наземных измерительных комплексов**

**С.П. Головачёв<sup>1</sup>, М.Н. Дубров<sup>1</sup>, В.А. Волков<sup>2</sup>**

*1Институт радиотехники и электроники им В.А. Котельникова РАН  
141190, Фрязино, Московской обл.*

*2Институт физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН, Москва, ул. Б. Грузинская, 10  
E-mail: sgolovachev@ms.ire.rssi.ru*

В результате сопоставления инструментальных наземных наблюдений возмущений в литосфере и атмосфере и спутниковых данных о состоянии системы «океан-атмосфера» экспериментально показана взаимосвязь между активностью тропических циклонов в Мировом океане и сейсмическими процессами в твердой Земле. Данную взаимосвязь можно интерпретировать как воздействие мощного тропического циклона на активную зону тектонического разлома, запускающее триггерный механизм высвобождения запасенной сейсмической энергии в виде сильного землетрясения.

**Ключевые слова:** тропические циклоны, ураганы, тайфуны, землетрясения, геофизический мониторинг

### **Введение**

Среди известных стихийных процессов в системе «океан-атмосфера» особо мощными являются тропические циклоны, зарождающиеся в Мировом океане. В земной коре особо мощными процессами наряду с вулканическими извержениями являются землетрясения. Энергоёмкость среднего тропического циклона составляет около 10<sup>17</sup>-18 Дж. Энергия, выделяющаяся при наиболее крупных землетрясениях, сопоставима с этой величиной. Самые мощные тропические циклоны (тайфуны, ураганы) по пространственным масштабам возмущений, вызываемых в атмосфере Земли соизмеримы с наиболее крупными землетрясениями, область подготовки которых и возникающие в результате землетрясений разрывы в земной коре достигают размеров в несколько сотен и даже тысяч километров (Хаин, Су-тырин, 1983; Соболев, Пономарев; 2003). Сопоставление только этих характеристик тропических циклонов и землетрясений говорит о наличии предпосылок возможного влияния этих процессов друг на друга.

Значительный прогресс в изучении этих двух грозных явлений природы достигнут в последние десятилетия благодаря развитию дистанционных, в первую очередь спутниковых методов исследования атмосферных и геодинамических процессов. Фотоснимки и радиояркостные изображения земной поверхности и облачных образований, получаемые со спутников, выгодно отличаются от наземных наблюдений тем, что дают целостную картину распределения исследуемых параметров над обширными территориями, соизмеримыми с основными геологическими структурами Земли, вовлекаемых в единый геодинамический процесс (Бондур и др., 2009).

Проводимый в данной работе анализ, основанный на оригинальной, предложенной авторами методике (Дубров, Головачев, 2010; Golovachev, Dubrov, 2011) показывает, что наиболее мощные тропические циклоны (тайфуны, ураганы), возбуждаемые в неустойчивой

динамической системе «океан-атмосфера», тесно связаны с землетрясениями – катастрофическими явлениями в другой сопредельной и столь же неустойчивой системе «литосфера – гидросфера» Земли.

### **Основные характеристики процессов и методы исследований**

Связь мощных атмосферных циклонов и сейсмических явлений изучается многими авторами на протяжении длительного времени (Сытинский, 1979; Тюков, 2005; Морозова, 2006; Ярошевич, 2010). Одним из первых возможность влияния атмосферных процессов достаточно крупного масштаба на сейсмическую активность Земли рассматривалась автором работы (Сытинский, 1979) более 30 лет назад. Модель возбуждения тропическим циклоном сейсмо-гравитационных колебаний в океане и мантии Земли предложена в работе (Тюков, 2005). Использование спутниковых снимков облачности для изучения влияния тайфунов на сейсмические процессы в северо-западной части Тихого океана (Морозова, 2006) позволила наглядно продемонстрировать связь катастрофических землетрясений и тайфунов в этом регионе. В результате исследования архивных данных о многолетней циклонической и сейсмической активности в северо-западной части Тихого океана была обнаружена их статистическая связь, а более детальный внутригодовой анализ этой динамики позволил включить тропические циклоны в число предполагаемых механизмов, влияющих на сезонность сейсмической активности (Ярошевич, 2010).

Однако, для выявления природы наблюдаемой связи таких разнородных явлений, как тайфуны и землетрясения (рис.1), недостаточно проводить их простое временное сопоставление – требуется изучение сопровождающих эти явления вариаций физических параметров геофизической среды, в которой они зарождаются и где происходит диссипация запасенной ими энергии. В настоящей работе авторами впервые с применением спутниковых наблюдений и наземных инструментальных геофизических методов получено экспериментальное подтверждение наличия связи рассматриваемых мощных динамических процессов, сопровождающих тропические циклоны и землетрясения одновременно в трех геофизических средах: в атмосфере, гидросфере и твердой Земле. Эта связь прослежена нами по всем наиболее активным циклогенным акваториям Мирового океана. В работе представлены результаты сопоставления материалов базы данных глобального тропического циклогенеза ИКИ РАН (Покровская, Шарков, 2006) с экспериментальными данными, полученными в трёх наземных измерительных пунктах на территории Московской области, находящихся на расстоянии 40-140 км друг от друга. Осуществлен анализ результатов синхронных измерений лазерных деформографов, наклономеров, гравиметров, и других геофизических датчиков (Dubrov, et al., 2000; Волков и др., 2001). Связь атмосферных (барических) процессов и деформаций земной поверхности была отмечена и исследуется достаточно давно (Трубицын, Макалкин, 1976; Van Dam, Wahr, 1987; Гусев и др., 1999; Латынина, Васильев, 2001). Однако данные, получаемые геофизическими датчиками в одном пункте наблюдения, позволяют исследовать физические характеристики деформобарического взаимодействия только для этого пункта (Гусев и др., 1999; Латынина, Васильев, 2001). Применяемый нами метод регистрации сейсмических и деформационных возмущений распределенной системой геофизических датчиков (Дубров и др., 2007) открывает новые возможности изучения пространственно-временных характеристик исследуемых процессов. Первый

опыт таких наблюдений (Dubrov, et al., 2000), выполненных синхронно на трех геофизических станциях позволил выявить атмосферно-литосферные возмущения, перемещающиеся вдоль земной поверхности со скоростями 30-50 км/час и определить их фазовую структуру (см. рис.2.) при характерных периодах возмущений 40-60 минут.

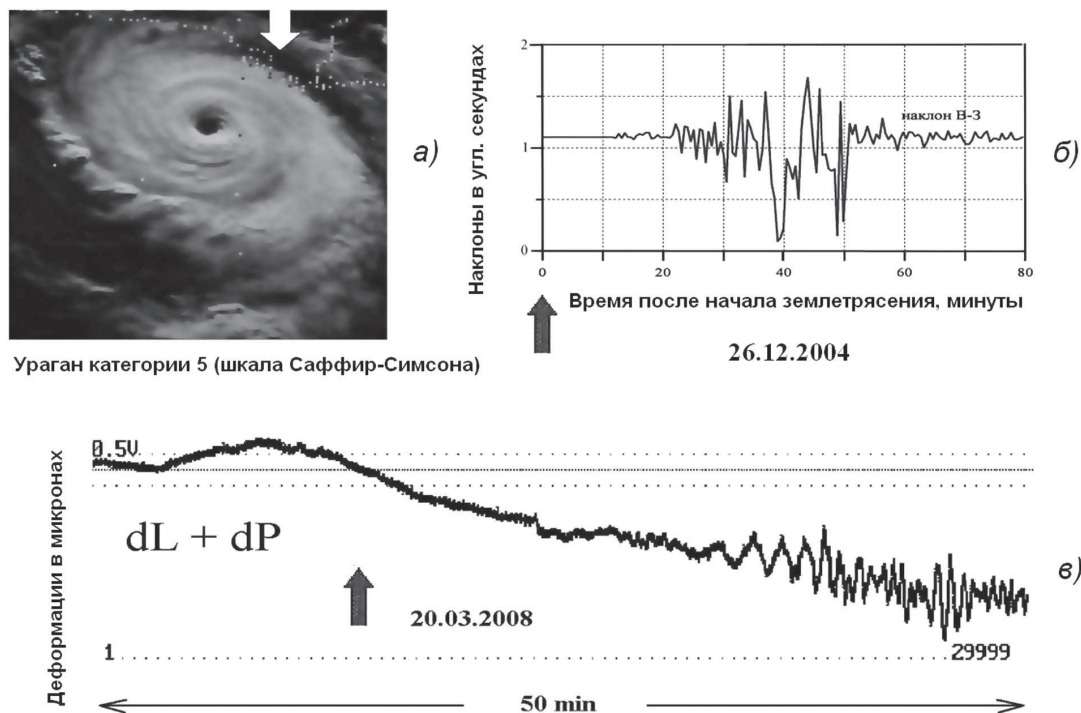


Рис.1. Мощный тропический циклон (а) (вид из космоса) и примеры регистрации наиболее мощных землетрясений – наклоны и деформации в земной коре (б, в) - с помощью наземных измерительных комплексов

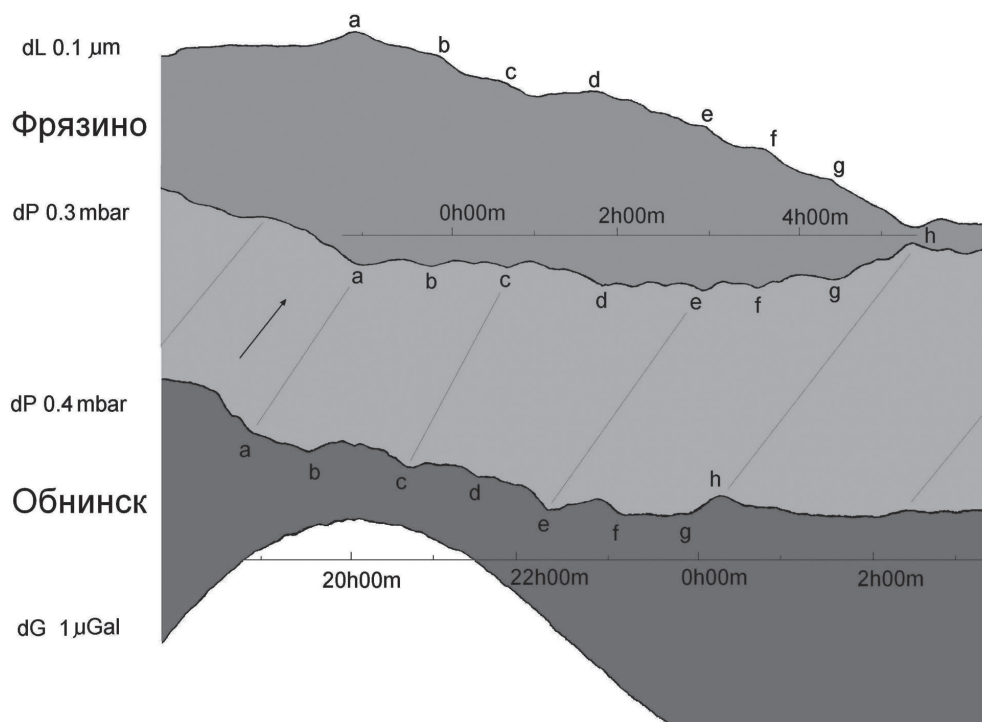


Рис.2. Деформобарические возмущения, зарегистрированные с помощью лазерного деформографа и сейсмогравиметра, расположенных на расстоянии 140 км друг от друга

Оценка пространственных масштабов наблюдаемых возмущений, полученная по аналогичной методике для разнесенных станций в Подмоскowie, составляет несколько сотен километров (Дубров и др., 2007), что согласуется с характерными размерами облачной системы тропического циклона (рис.1). Здесь необходимо подчеркнуть, что тропический циклон образуется и живет за счет конвекции теплого влажного воздуха на границе «океан – атмосфера». Внетропический циклон получает энергию за счет разницы температуры между теплыми и холодными воздушными массами. Однако известно, что циклон может стать внетропическим и, тем не менее, сохранить скорость ветра на уровне урагана или тропического шторма.

### Опыт наблюдения взаимосвязи сейсмической активности и тропического циклогенеза

Впервые такие результаты были нами получены при сопоставлении данных параллельной регистрации деформационно-барических возмущений, которая была выполнена в марте 1998 года лазерным деформографом и сейсмогравиметром, установленными в Подмоскowie на расстоянии около 40 км друг от друга. В обоих пунктах проводилась также параллельная регистрация атмосферного давления. Всеми приборами в период 17-22.03.1998 была зарегистрирована бухтообразная аномалия длительностью около 140 часов с ярко выраженными вариациями давления  $dP$ , ускорения силы тяжести  $dG$  и деформаций  $dL$  земной поверхности, а 22-23.03.1998 было также отмечено значительное усиление интенсивности волнообразных деформобарических возмущений.

Для выяснения физической картины наблюдаемых явлений нами было выполнено сопоставление зарегистрированных процессов с двумя временными рядами происходивших в этот период наиболее энергоемких природных явлений:

(1) зарождение и развитие тропических циклонов, достигших стадии тайфуна, в Юго-западной части Тихого океана – 16.03.1998 (Yaly), 18.03.1998 (Nathan) и 26.03.1998 (Zuman) с максимальной скоростью ветра  $V_m = 65-90$  узлов (Покровская, Шарков, 2006).

(2) наиболее сильные землетрясения за этот период – 25.03.1998 (о-ва Баллени,  $M=7,9$ ), 28.03.1998 (о-ва Тонга,  $M=6,9$ ), 01.04.1998 (Суматра,  $M=7,0$ ) и 01.04.1998 (Чили,  $M=7,0$ ).

Сопоставление наблюдаемых процессов представлено в виде диаграмм на рис. 3.

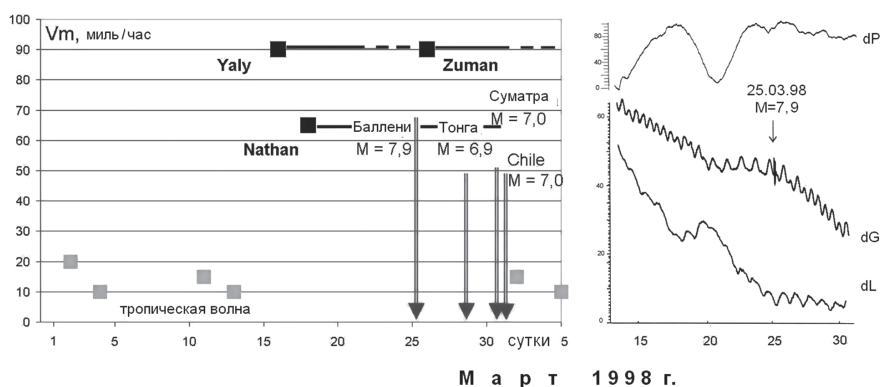


Рис.3. Сравнение активности тропических циклонов в южной части Тихого океана с барическими и деформационными процессами в Подмоскowie

Время зарождения первого тайфуна Yalu совпадает с началом отмеченной литосферно-атмосферной активности. Последний из указанных тайфунов Zuman разрушился 06.04.1998, а его зарождение по времени находится рядом с первым из 4-х землетрясений, которые на рис.3 показаны вертикальными стрелками. В периоды 02-15.03.1998 и 01-07.03.1998 наблюдался фон в виде тропических волн ( $V_m = 10-20$  узлов, см. левую диаграмму на рис.3). При этом следует отметить, что в феврале – апреле 1998 г. сейсмическими службами не было отмечено больше ни одного землетрясения с магнитудой  $M \geq 7$ .

### Землетрясения и тропический циклогенез в Северной части Тихого океана

Этот район Мирового океана традиционно является наиболее активным как в сейсмическом отношении, так и по числу и мощности тропических циклонов – тайфунов. Рассмотрим эту ситуацию на примере тропических ураганов и землетрясений, которые произошли в 2003 г.

За период с января по декабрь 2003 г. в Мировом океане было зарегистрировано около 40 тайфунов (тропических ураганов) со скоростью ветра более чем 33 м/с (Покровская, Шарков, 2006). Самый сильный ураган – супертайфун МАЕМИ (скорость ветра до 78 м/с) двигался вдоль северо-западной части Тихого океана в первой половине сентября 2003 г. Параллельный анализ сейсмических данных показывает их отличную корреляцию с тропическим циклогенезом: наиболее мощное землетрясение 2003 года произошло как раз в сентябре и именно – в бассейне северо-западной части Тихого океана (25.09.2003, район Хоккайдо, магнитуда  $M=8,3$ ).

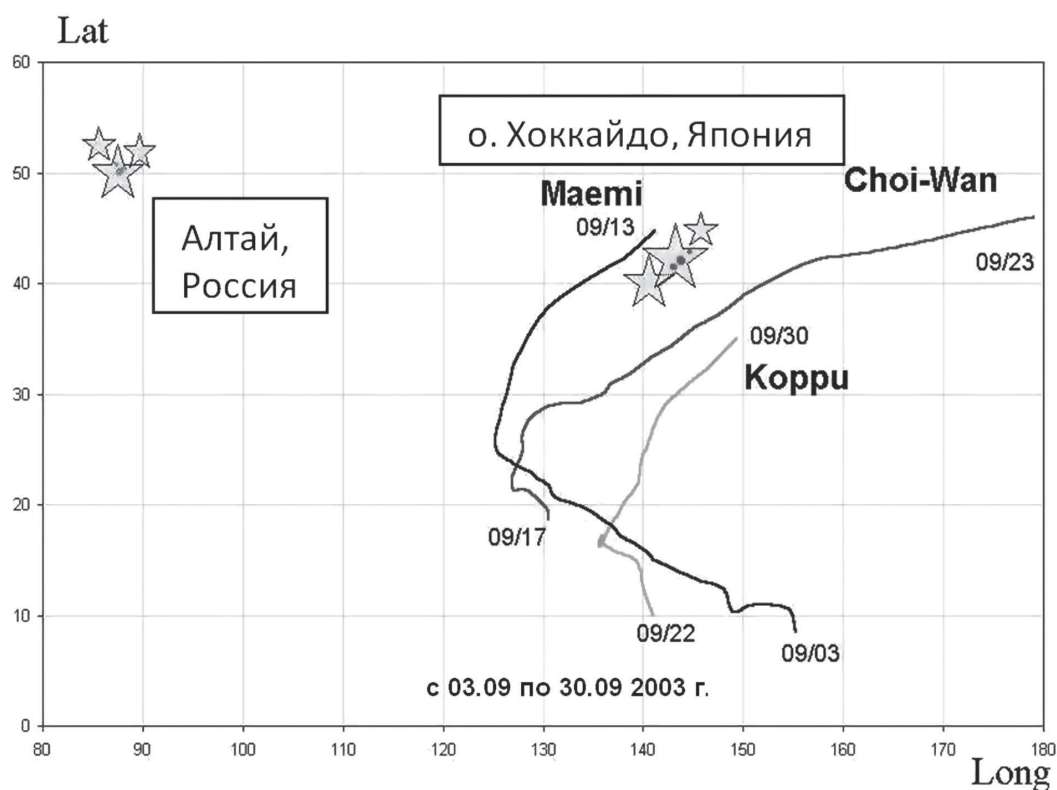


Рис.4. Эпицентры землетрясений (отмечены звездочками) и трассы тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана в сентябре 2003 г.

Еще два мощных тайфуна наблюдались в рассматриваемом регионе в этот период: СНОI-WAN (скорость ветра до 49 м/с) и КОРРУ (41 м/с). Взаимосвязь пространственной и временной корреляции циклогенеза и сейсмической активности можно видеть на рис.4, где изображены трассы прохождения трех указанных тайфунов, предшествовавших сильнейшему землетрясению в Японии (25.09.2003,  $M=8,3$ ).

Обращают на себя внимание следующие особенности этих тропических циклонов. В начальной стадии эволюции их трассы направляются на северо-запад по коридору между Филиппинами и Марианскими островами. Если условно продолжить эту линию в северо-западном направлении, то она укажет место будущих сильных землетрясений в Центральной России (Алтайские землетрясения 27.09.2003 г.,  $M=6,7-7,3$  и 01.10.2003 г.,  $M=6,9$ ). После поворота под прямым углом на северо-восток ураганы движутся сторону Японии и проходят вблизи эпицентральной области упомянутого землетрясения.

Раскачивание земной коры, вызываемое столь сильными атмосферными возмущениями, которыми являются тропические ураганы, может быть причиной или, по крайней мере, инициировать спусковые (триггерные) механизмы разрушения напряженно деформированных блоков земной коры, т.е. приводить к возникновению землетрясений.

### Заключение

В результате сопоставления инструментальных наземных наблюдений возмущений в литосфере и атмосфере и спутниковых данных о состоянии системы «океан-атмосфера» экспериментально показана взаимосвязь между активностью тропических циклонов в Мировом океане и сейсмическими процессами в твердой Земле.

Данную взаимосвязь можно интерпретировать как воздействие мощного тропического циклона на активную зону тектонического разлома, запускающее триггерный механизм высвобождения запасенной сейсмической энергии в виде сильного землетрясения.

### Литература

1. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном // Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 272 с.
2. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники // М.: Наука, 2003. 270 с.
3. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф // М.: Научный мир, 2009. 567 с.
4. Дубров. М. Н., Головачев С.П. Применение наземных лазерно-интерферометрических систем в задачах дистанционного мониторинга землетрясений и тропических ураганов, “Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2010” // Труды XVIII Международной конференции, п. Абрау-Дюрсо, г. Новороссийск, Краснодарский край. 7-11 сентября 2010 г. С. 41-55.
5. Golovachev S., Dubrov M. The Interaction Between the Tropical Cyclogenesis and Seismic Activity as Derived from Spacecraft and Ground-Based Measuring Systems, // 12th URSI Commission-F Triennial Open Symposium on Wave Propagation and Remote Sensing, 8-11 March 2011. Garmisch-Partenkirchen, Germany. P. 69-70.
6. Сытинский А.Д. // ДАН, 1979. Т. 245. № 6. С. 1337-1340.
7. Тюков И.Я. Сейсмо-гравитационные колебания в океане и мантии земли, возбуждаемые тропическим циклоном // IV Всероссийский симпозиум “Сейсмоакустика переходных зон”, Владивосток. 2005.

8. Морозова Л.И. // ДАН, 2006. Т. 410. № 3. С. 397-400.
9. Ярошевич М.И. // ДАН, 2010. Т. 431. № 3. С. 403–407.
10. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового Океана (1983-2005) // М., Полиграф сервис, 2006, 728 с.
11. Dubrov M.N., Matveev R.F., Volkov V.A., Latynina L.A., Ponomarev A.V. Strain, tilt, and gravity monitoring of long period and seismogravity oscillations // Proceeding of the Ninth International Symposium on Recent Crustal Movements (CRCM'98), NRIAG, Cairo, Egypt. 2000. V. 1. P. 167-178.
12. Волков В.А., Дубров М.Н., Калинина А.В., Матвеев Р.Ф., Николаев А.В. О возможной связи волновых динамических возмущений в атмосфере и литосфере Земли // V Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», МГГА. 2001. Москва. Т. 4. С. 65.
13. Трубицын А.П., Макалкин А.Б. Деформации земной коры под действием атмосферных циклонов // Известия АН СССР, Физика Земли, 1976, № 5. С. 94-96.
14. Van Dam, T.M., J.M. Wahr. Displacement of the earth's surface due to atmospheric loading: effects on gravity and baseline measurements // J. Geophys. Res. 1987. V. 92, B2. P. 1281–1286.
15. Гусев Г.А., Виноградова Н.О., Манукин А.Б., Осика В.И. Нагрузочные эффекты при деформационных наблюдениях // Физика Земли, 1999, № 6. С. 3-14.
16. Латынина Л.А., Васильев И.М. Деформации Земли под действием атмосферного давления // Физика Земли, 2001. № 5, С. 45-54.
17. Дубров М.Н., Волков В.А., Луканенков А.В. Лазерно-интерферометрическая система с пространственно разнесенными плечами для геофизических измерений, «Лазеры, измерения, информация» // Тезисы докладов конференции, 5-7 июня 2007 г., Санкт-Петербург, С. 47-48.
18. Дубров М.Н., Казанцева О.С., Манукин А.Б., Понятовская В.И. Исследование синхронных деформаций земной поверхности и вариаций уровня подземных вод // Физика Земли, 2007, № 5, С. 71-79.

## **The Interaction between the Tropical Cyclogenesis and Seismic Activity as Derived from Spacecraft and Ground-Based Measuring Systems**

**Golovachev Sergey <sup>1</sup>, Dubrov Mstislav <sup>1</sup>, Volkov Victor <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Sciences  
Vvedenskij Sq., 1, 141190, Fryazino, Moscow Region*

<sup>2</sup> *Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (IPE RAS)  
Bol'shaya Gruzinskaya, 10, Moscow  
E-mail: sgolovachev@ms.ire.rssi.ru,*

The interaction between tropical cyclones activity and seismic processes was observed. This correlation was confirmed by instrumental measurements in lithosphere and ocean-atmosphere system. This correlation may be interpreted as result of powerful tropical cyclone impact on active tectonic zone launching trigger mechanism of accumulated seismic energy release in form of strong earthquake.