

УДК 550.837

## АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ НА ОДНОМ ИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ПЕРИОДЫ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ В 2004, 2011 ГОДАХ

Ш. Г. Идармачев, В. И. Черкашин, И. А. Алиев, А. Ш. Идармачев

Институт геологии ДНЦ РАН

В статье приводятся данные аномальных вариаций кажущегося электрического сопротивления горных пород в скважине перед катастрофическими цунамигенными землетрясениями в Юго-Восточной Азии, произошедшими 26.12.2004 г. в Индийском океане (Суматранское) и 11.03.2011 г. в прибрежной зоне Японии. Рассмотрены возможные механизмы возникновения аномалий перед этими землетрясениями.

This article presents data of anomalous variations of the apparent resistivity of rocks in the well before the disastrous tsunami-genic earthquakes in Southeast Asia that took place on 26 December, 2004 in the Indian Ocean (Sumatra) and 11 March, 2011 in the coastal area of Japan. Possible mechanisms of the anomalies before the earthquakes are discussed.

Ключевые слова: кажущееся сопротивление; суперинтенсивная деформация; очаг землетрясения; сейсмические гвозди.

Keywords: apparent resistance; super Intensive deformation; the earthquake; seismic nails.

### Введение

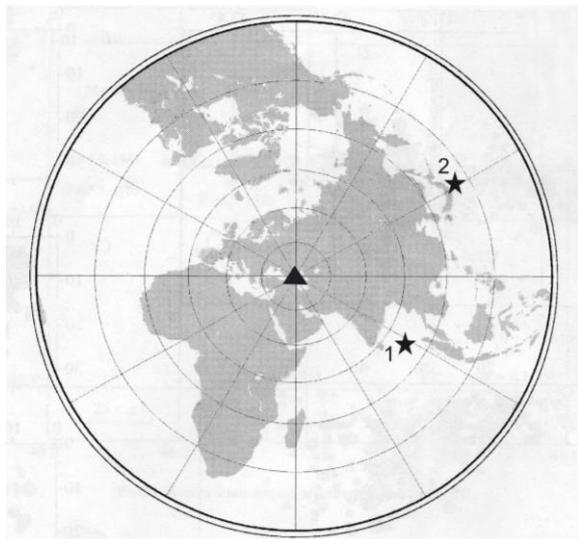
Последние десятилетия в мире произошло два катастрофических землетрясения с магнитудами  $M \geq 9.0$  и длиной разрыва в очаге 400–500 км. Амплитуда смещения континентальных плит относительно друг друга вдоль плоскости скольжения составила 20–36 м. Сила землетрясения, произошедшего 26.12.2004 г. в Индийском океане вблизи острова Суматра, была настолько велика, что вызвала изменение скорости вращения и «влияние» оси Земли. Ранее нами были опубликованы данные, показывающие, что подготовка землетрясения 26.12.2004 г. вызвала синхронное изменение геофизических полей на Кавказе [1]. Настоящая работа является продолжением этих исследований, в ней показано, что такой процесс аномального растяжения земной коры вновь был зарегистрирован на измерительном пункте Института геологии ДНЦ РАН «Махачкала» перед катастрофическим землетрясением в Японии, произошедшим 11.03.2011 г. Совпадение во времени аномальных вариаций перед двумя сильнейшими в истории Земли землетрясениями за 10-летний период наблюдений позволяет предположить, что они могут быть обусловлены возмущением земной коры планетарного характера.

### Исходные данные и обсуждение результатов наблюдений

В работе использованы данные кажущегося электрического сопротивления осадочных пород ( $\rho_k$ ) за период 01.03.2003 – 01.11.2012 г., полученные в районе Восточного Предкавказья (рис. 1) г. Махачкалы. На данном пункте производится измерение  $\rho_k$  методом электрического зондирования на постоянном токе с использованием четырехэлектродного зонда, установленного в необсаженной скважине глубиной 27 м. Осадочные породы представлены пластичными влажными непроницаемыми глинами.

Удельное электрическое сопротивление горных пород равно 5 Ом·м. Измерения  $\rho_k$  осуществляются специальной станцией «Георезистор», разработанной авторами [2]. Установка позволяет контролировать изменение  $\rho_k$  объема пород не менее 250 м<sup>3</sup> вокруг зонда. Относительная погрешность измерений не превышает  $\pm 0.05\%$ .

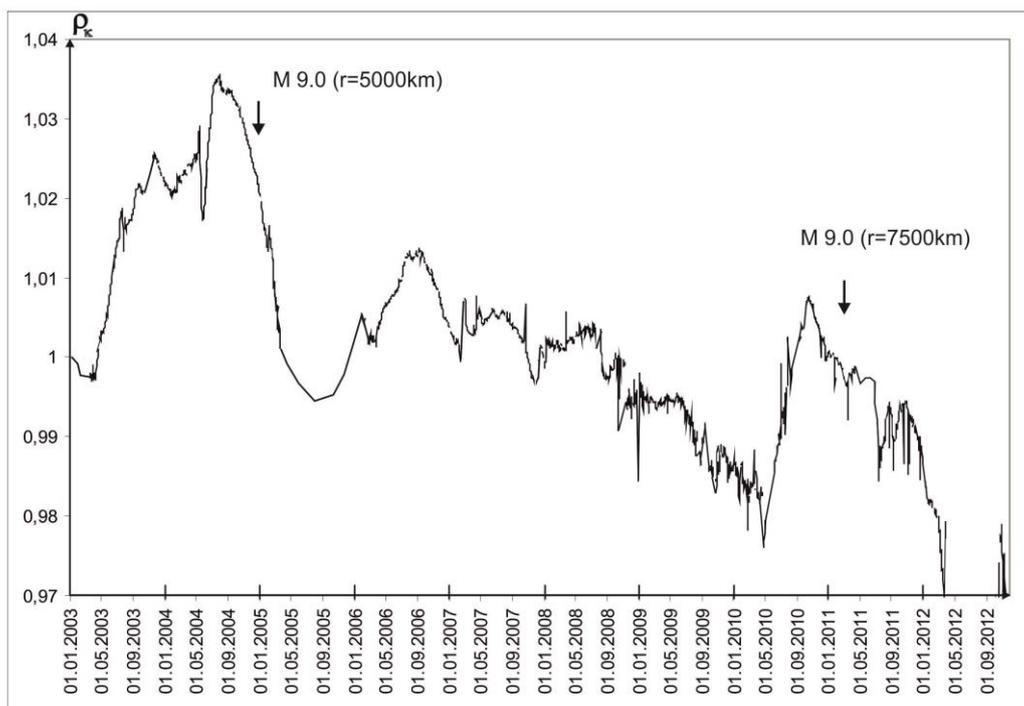
На рис. 2 приведен график нормированных среднесуточных данных  $\rho_k$ . Анализ данных, полученных за 10-летний период наблюдений, показал, что они не зависят от количества атмосферных осадков и температуры, а с сезонным ходом атмосферного давления имеют слабую отрицательную корреляционную связь, достигающую  $K = - (0.2)$  [3]. Также на рис. 2 стрелками отмечены даты землетрясений – 26.12.2004 г. в Индийском океане и 11.03.2011 г. в Японии. В скобках приведены расстояния от пункта наблюдения до эпицентров землетря-



**Рис. 1.** Расположения станции «Георезистор» и эпицентров цунамигенных землетрясений  $M \geq 9$ : 1 – эпицентр Суматранского землетрясения 26.12.2004 г.; 2 – эпицентр землетрясения в Японии 11.03.2011 г.

сений, а их расположения показаны на рис. 1. На данном графике видно, что оба этих землетрясения по времени совпадают с периодами аномального изменения  $\rho_k$ . Максимальные значения амплитуд для первого и второго аномалий составляют 3.8% и 3.1% соответственно. Ход графика после первого землетрясения имеет вид затухающих колебаний. Период, соответствующий максимальной амплитуде колебаний, равен 2.5 года, а последующие периоды колебаний – 1.5, 0.83, 0.66 лет. Из них видно, что первый период никак не может быть связан с сезонным ходом атмосферного давления.

Совпадение по времени аномальных вариаций  $\rho_k$  за 10-летний период наблюдений с двумя сильнейшими в истории Земли землетрясениями позволяет предположить, что затухающие колебания в первом случае и аномальное изменение  $\rho_k$  во втором могут быть обусловлены возмущением земной коры планетарного характера.



**Рис. 2.** График нормированных значений кажущегося электрического сопротивления осадочных пород в скважине (стрелками отмечены даты землетрясений, рядом с ними показаны их магнитуды и расстояния от пункта наблюдения до эпицентров землетрясений)

Перед Суматранским землетрясением 26.12.2004 г., а также после него в различных районах Земли были зафиксированы различного рода аномалии земной коры:

- зарегистрированы синхронные аномалии в вариациях кажущегося сопротивления горных пород на трех измерительных пунктах, а также уровня воды в скважине, расположенных на территории Дагестана, обусловленные процессом растяжения земной коры [1];

- по данным GPS было зарегистрировано устойчивое движение островов внешней дуги к побережью материка со скоростью 25–50 мм/год. После толчка, который длился 3–4 минуты, длина разрыва составила 400–500 км, а смещение берегов 20–36 м [4]. Косейсмические смещения, зафиксированные после сильного афтершока 28.03.2005 г. ( $M = 8.7$ ), достигали 5 м [5]. Сила землетрясения, произошедшего 26.12.2004 г., была настолько велика, что вызвала

изменение скорости вращения и «виляние» оси Земли [6]. Продолжительность суток увеличилась на 2.68 микросекунд;

– были также зафиксированы случаи перераспределения упругих напряжений на больших удалениях от фокальной зоны. В частности, в работе [7] приведены данные временного хода деформаций в далеких друг от друга обсерваториях – Протвино в Подмосковье и Баксан на Кавказе за период с конца декабря 2004 г. по март 2005 г. на эпицентральных расстояниях 8000 км и 6500 км. На этих пунктах на протяжении 1.5 месяцев вариации деформации земной коры длительностью до 20 суток и величиной порядка 50 нанострейн оказались взаимно-коррелируемыми. Резкое изменение деформации в обеих зонах отмечается перед Суматранским землетрясением 26.12.2004 г.;

– на Апшеронском полуострове Кавказа перед землетрясением были зарегистрированы аномальные вариации длиннопериодной гравитационной волны амплитудой 0.15 мГал [8];

– лазерный деформограф, расположенный в Приморском крае Дальнего Востока – на расстоянии 5700 км от эпицентра землетрясения, зарегистрировал скачок неупругой деформации величиной  $1.1 \cdot 10^{-6}$  [9];

– в другом районе – на расстоянии 3200 км – вода из скважины фонтанировала на высоту 60 м [10]. Через двое суток после землетрясения высота фонтана достигла 20 м;

– во время прохождения сейсмической волны на расстоянии 8200 км в пьезометрической скважине Камчатской ОМП ГС РАН было зарегистрировано скачкообразное уменьшение уровня воды амплитудой 4 см, затем в течение четырех часов наблюдались затухающие осцилляции с амплитудами не более 0.5 см [11];

– за месяц до землетрясения на геодинимическом полигоне Москвы были зафиксированы скачки эманационного фона радона и водорода [12].

Ниже рассмотрим несколько возможных механизмов деформации земной коры перед сильнейшими землетрясениями  $M \geq 9.0$ .

В 1910 г. Рейдом [13] была выдвинута идея о том, что земная кора находится в непрерывном перемещении, а подготовка землетрясения начинается с возникновением определенного препятствия этому движению. Затем препятствие разрушается и происходит землетрясение. Для землетрясения такого масштаба, как Суматранское линией разрыва порядка 500 км, необходимо допустить зацепление континентальных плит, таких как Индо-Австралийская и Бирманская. Начало процесса разрушения земной коры в Суматра-Андаманском регионе в виде криповой подвижки было зарегистрировано системой GPS. Скорость смещения материков составляла 55 мм/год, а затем блоки сдвинулись относительно друг друга на 20–36 м [14], следовательно, смещения мегаблоков Земли могли привести к глобальной деформации земной коры.

Оценим радиус проявления деформационного предвестника для землетрясения  $M = 9.0$  по формуле [15]:

$$R = \frac{10^{0.433M - 2.73}}{\varepsilon^{0.33}}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус предвестника землетрясения в километрах;  $\varepsilon$  – величина относительной деформации на расстоянии  $R$  от эпицентра землетрясения. Допустим, что для обнаружения предвестника аномальная деформация земной коры в различных ее частях должна превышать уровень приливных деформаций ( $\varepsilon = 10^{-8}$ ) на порядок, т.е.  $\varepsilon = 10^{-7}$ . Подставляя в формулу (1) значения  $M = 9$  и  $\varepsilon = 10^{-7}$ , получаем  $R = 2454$  км.

Оценка радиуса предвестника по другой формуле [16]:

$$R = \left( \frac{10^{0.37M - 6.89}}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{0.85}}, \quad (2)$$

получаем почти четырехкратное увеличение радиуса,  $R = 10\,568$  км. Таким образом, численные оценки показывают возможность глобальной деформации земной коры в результате снятия упругих напряжений, связанных с зацеплением континентальных плит.

Другим альтернативным механизмом аномалий может являться возмущение флюидного режима земной коры, вызванное деформацией Земли. В частности, считается, что флюидодинамические процессы оказывают существенное влияние на формирование суперинтенсивных деформаций земной поверхности (СД) [17]. Существование СД выявлено повсеместно, как в сейсмичных, так и в асейсмичных платформенных областях, они имеют скорости порядка 2–7 см/год и обладают пульсационной и знакопеременной направленностью. Поступающие из недр порции флюида активизируют трещины отрыва вертикальной ориентации и вызывают деформацию растяжения земной коры. Доказательством тому является открытое в последнее время явление субвертикального скопления гипоцентров слабых землетрясений – сейсмических «гвоздей» [18].

## Выводы

Зарегистрированы аномальные вариации кажущегося электрического сопротивления горных пород в скважине, совпадающие по времени с мегаземлетрясениями магнитудами  $M = 9.0$ , произошедшими в Индийском океане 26.12.2004 г. (Суматранское землетрясение) и в Японии 11.03.2011 г. В качестве одного из возможных механизмов, вызвавших аномальную деформацию на удалении 5000 км и 7500 км от очагов землетрясений, рассматривается процесс деформации Земли планетарного масштаба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И. Возмущения геополей на территории Северного Кавказа в период цунамигенного Суматранского землетрясения 26.12.2004 // Отечественная геология. 2012. № 4. С. 64–68.
2. Идармачев Ш.Г. и др. Станция для геоэлектрического зондирования «Георезистор» // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы Междунар. конф. Воронеж, 2001. С. 86–87.
3. Вариации кажущегося сопротивления горных пород в скважине в сейсмоактивном районе Дагестана / Ш.Г. Идармачев, М.М. Алиев, И.А. Алиев, А.Г. Магомедов, А.Ш. Идармачев // Вестн. Дагест. науч. центра. 2012. № 46. С. 18–21.
4. <http://ru.wikipedia.org/wkj/%Do%9> (дата обращения: 24.02.2013).
5. <http://www.tectonics.caltech.edu/sumatra/sugar/html> (дата обращения: 24.02.2013).
6. [http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazart/Shownh.php3?img\\_id=12646](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazart/Shownh.php3?img_id=12646) (дата обращения: 24.02.2013).
7. Латина Л.А., Гусева Т.В. Проявления глобальных тектонических процессов в деформациях земной коры // Материалы XI Междунар. науч.-тех. симпозиума по GPS и GPS технологиям. Львов, 2006. С. 113–114.
8. Khalilov E.N. About possibility of creation of International global system of forecasting the earthquakes "ANTROPOTENA". Natural cataclysms and global problems of the modern civilization. Baku-Innsbruck. 2007. P. 51–69.
9. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.И. Регистрация деформационной аномалии цунамигенного землетрясения лазерным деформографом // Докл. АН. 2007. Т. 412, № 1. С. 104–106.
10. Manga M., Wang C.Y. Earthquake gidrology // Treatise on Geophysics. 2007. Vol. 2. P. 293–320.
11. Копылова Г.Н. Геодинамический мониторинг сеймотектонических процессов // Материалы конф. «Современная геодинамика и опасные геологические процессы в Центральной Азии». Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. Вып. 3. С. 194–197.
12. Рудаков В.П., Цыплаков В.В. Сравнительный анализ деформаций земной коры геосинального и платформенного регионов» [Электронный ресурс] // Вестн. Отд. наук о Земле. 2009. № 1(27). URL: <http://onznnews.wdcb.ru/publications/asempg/planet-22.pdf> (дата обращения: 12.03.2013).
13. Reid H.F. The California earthquake of April, 18, 1906. The mechanics of the earthquake. Washington: The Carnegie Inst., 1910. Vol. 2.
14. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В. Поле напряжений до Суматра-Андаманского землетрясения 26.12.2004. Модель метастабильного состояния горных пород // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 11. С. 1192–1206.
15. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 308 с.
16. Зубков С.И. О краткосрочных предвестниках землетрясений // Физика Земли. 1993. № 9. С. 67–70.
17. Кузмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов. Геологическое изучение и использование недр: информационный сборник / АОЗТ «Геоинформмарк». М., 1996. Вып. 4. С. 43–53.
18. Вадковский В.Н. Субвертикальные скопления гипоцентров землетрясений – сейсмические «гвозди» [Электронный ресурс] // Вестн. Отделения наук о Земле. 2012. Т. 4 (05.02.2012). URL: <http://onznnews.wdcb.ru/doi/2012NZ000110.html> (дата обращения: 12.03.2013).

Поступила в редакцию 07.05.2013 г.  
Принята к печати 28.09.2014 г.