

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ УДАЛЕННЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

В. Е. Хаин*, Э. Н. Халилов**

* Московский Государственный Университет им. М. В. Ломносова

** Научно-исследовательский институт по прогнозированию и изучению землетрясений IAS (Баку, Азербайджан)

Gravitational Effects Before the Large Distant Earthquakes

V. E. Khain, E. N. Khalilov

M. V. Lomonosov Moscow State University
Research Institute on forecasting and studies of earthquakes (Baku, Azerbaijan)

Авторами предложена принципиально новая концепция, объясняющая наблюдение вариаций силы тяжести перед удаленными сильными землетрясениями, а также базирующийся на этой основе инструментарий прогнозирования землетрясений. Многократно зарегистрированные вариации силы тяжести (гравитационной постоянной) перед сильными землетрясениями, эпицентры которых находятся на удалении в 4–7 тысяч километров от регистрирующей станции, могут пролить свет на пространственно-временной характер процесса зарождения глубинной геодинамической активности. Главный вопрос при интерпретации гравитационных аномалий перед сильными удаленными землетрясениями, заключается в том, связаны ли эти аномалии непосредственно с подготовкой очаговой зоны землетрясения или отражают зону зарождения геодинамической активности в глубинных слоях мантии.

The authors propose fundamentally new concept explaining the observation of gravity variations before the large distant earthquakes and based on that the instruments of earthquake forecasting. Repeatedly registered gravity variations (gravitational, permanent) before the large earthquakes, the epicenters of which are located at a distance of 4–7 thousand kilometers from the register station can throw light on spatio-temporal character of the process of initiation of deep geodynamic activity. The main question in interpreting of gravitational anomalies before large earthquakes is whether these anomalies are directly connected with the preparation of focal zone of an earthquake or reflect the zone of the birth of geodynamic activity in deep layers of mantle.

Изучение неприливных вариаций силы тяжести является важнейшим аспектом исследований современной геодинамики. Эта проблема также лежит в основе одного из наиболее перспективных направлений краткосрочного прогнозирования землетрясений.

Профессор Барт во многих работах приводил теоретические обоснования возможных изменений силы тяжести глобального характера. Эти вариации обосновывались возможным перемещением ядра Земли относительно ее оболочек, что, по мнению ученого, должно было бы приводить к изменениям силы тяжести, порядка 0,5 мГал/год. Впоследствии эти результаты не получили своего подтверждения. Между тем, расчеты выполненные Н. Н. Парийским показали, что если вариации силы тяжести связаны с процессами, оказывающими влияние на неравномерность вращения Земли, то они могут достигать первых десятков мкГал/год [10]. Этот вывод согласуется с результатами исследований, выполненных Е. Линдером (1979). Влияние деформаций, происходящих внутри Земли, на изменения силы тяжести на ее поверхности теоретически рассчитывалось Вальшем (Walsh, Rice, 1979), а также рядом других исследователей (Тараканов, Шлейников,

1977; Bursha, 1972) и оно оказалось незначительным, в пределах до нескольких мкГал.

Смещения масс, вызываемых геодинамическими процессами, по мнению Столза, может привести к перемещению центра масс Земли на величину, порядка, 10 км, что должно вызвать изменение силы тяжести на поверхности Земли на 2–3 мкГал/год (Stolz, 1976).

В своих работах Р. Адамс отмечает, что перед и после Хайченского землетрясения в Китае с $M=7,3$ в 1975 году были зафиксированы изменения гравитационного поля до 350 мкГал, несколько меньшие вариации гравитационного поля наблюдались в период катастрофического землетрясения в Тяньшане в 1976 г. (Adams R. P., 1977).

При анализе записи наблюдений с помощью гравиметра Аскания за периоды, включающие сильнейшие землетрясения, Т. Кизава отмечал, что перед землетрясением на Аляске в 1964 году ($M=8,4$), примерно за 3 дня до землетрясения, появилась так называемая «вибрация записи» (относительно высокочастотные колебания показаний гравиметра), которая закончилась сразу после окончания землетрясения 28.03.1964 года (Kizawa T., 1970).

Изменения силы тяжести в зоне эпицентра готовящегося землетрясения, как указывалось выше, неоднократно наблюдались многими исследователями перед сильными землетрясениями. Эти вариации силы тяжести вблизи очаговой зоны могут быть обусловлены целым рядом геофизических и тектонических причин:

- доходящее до критического уровня напряженное состояние очаговой зоны приводит либо к сжатию и, следовательно, уплотнению пород, либо к растяжению и снижению их плотности;

- критические напряжения в очаговой зоне готовящегося землетрясения приводят к активным движениям флюидов в пластах Земли, в результате чего, в колодцах и скважинах наблюдается подъем либо спад уровня грунтовых вод перед землетрясениями;

- при достижении напряжений критических величин начинается массовое трещинообразование в очаговой зоне и прилегающей к ней области, что вызывает нарушение сплошности пород и их разуплотнение;

- деформационные процессы, возникающие в очаговой зоне перед землетрясением, приводят к появлению участков повышенной и пониженной плотности.

Возможно, существуют и другие факторы, приводящие к изменениям силы тяжести, но все они имеют небольшой радиус действия вблизи очаговых зон готовящихся сильных землетрясений. Это связано с тем, что эффект изменения силы тяжести, связанный, непосредственно, с геодинамическими процессами в очаговой зоне, быстро уменьшается с расстоянием и может наблюдаться в радиусе от десятков до сотен километров от очаговой зоны.

Между тем, на прогнозной станции «Vinagadi» полигона НИИ прогнозирования и изучения землетрясений (г. Баку) на протяжении ряда лет устойчиво регистрируются изменения силы тяжести перед сильными землетрясениями, очаги которых находятся на расстоянии в десятки тысяч километров от станции регистрации.

Так, с 2002 года Научно-исследовательский институт прогнозирования и изучения землетрясений Международной Академии Наук осуществляет непрерывное измерение неприливных вариаций силы тяжести на станции «Vinagadi», размещенной на Апшеронском полуострове, в 25 км от г. Баку. Регистрация и первичная обработка данных производится группой специалистов под руководством Б. Асланова, возглавляющего геофизическую лабораторию и станцию по прогнозу землетрясений.

Измерения осуществляются одновременно четырьмя высокоточными кварцевыми гравиметрами типа KB и KC. Гравиметры были выбраны таким образом, чтобы их показания были максимально схожими, т.е. цены деления и смещения «нуль-пункта» в абсолютных значениях характеризовались между собой малой разницей.

В результате измерений и интерпретации полученных данных были выявлены гравитационные сигна-

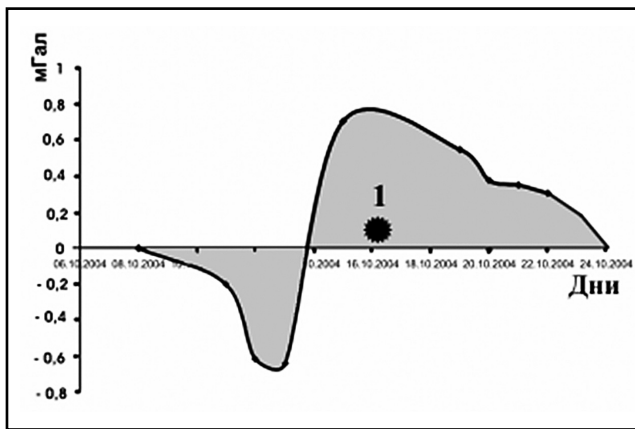


Рис. 1. Вариация силы тяжести перед сильным землетрясением в Тайване (№1).

лы в вариациях силы тяжести, предшествующие сильным землетрясениям, эпицентры которых находятся на большом расстоянии (в радиусе от одной тысячи до десятков тысяч км) от регистрирующей станции.

Статистические данные показывают, что гравитационные сигналы были зарегистрированы в 90% случаев, в среднем, за 8—15 дней перед сильными землетрясениями.

Некоторые наиболее характерные результаты регистрации вариаций силы тяжести перед сильными землетрясениями за 2004—2006 годы, показаны на приведенных ниже графиках. Анализ данных графиков показывает, что в большинстве случаев, перед далекими сильными землетрясениями наблюдается сначала снижение, а затем увеличение силы тяжести. В подавляющем большинстве случаев наблюдается «вибрация записи» — относительно высокочастотные колебания показаний гравиметра, с частотой 0,1—0,4 Гц, которая прекращается сразу после землетрясения. Между тем, в некоторых случаях, перед далекими сильными землетрясениями изменения аномалий силы тяжести имеют более сложный характер.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ТАЙВАНЕ С М7 (15.10.2004 г.)

15 октября 2004 г. у берегов Тайваня произошло сильное землетрясение. В эпицентре, который находился на дне океана, более, чем в ста километрах к юго-востоку от столицы Тайбэй, сила толчков достигала 7 баллов по шкале Рихтера. По имеющейся информации, при землетрясении погибло около 3000 человек.

На рис. 1. показан график изменения силы тяжести перед землетрясением с М7 (№1), которое произошло в Тайване 15.10.2004 г.

Таким образом, было зарегистрировано квазиволновые вариации силы тяжести (КВВ).

Полный период квазиволновой вариации Δg составляет 15 суток.

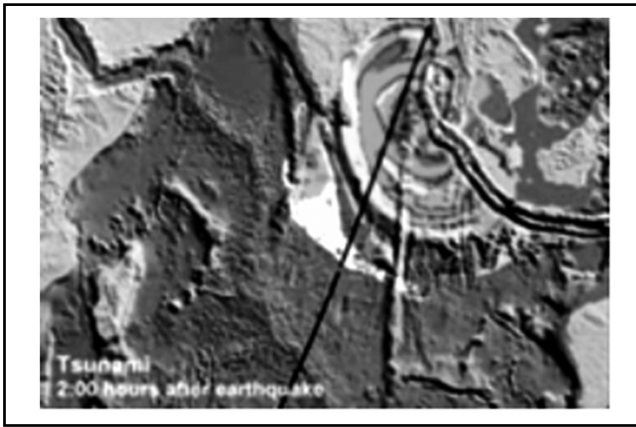


Рис. 2. Схема распространения цунами от эпицентра катастрофического землетрясения в Индонезии 26 декабря 2004 г. Изображение из сайта: www.wikipedia.org.

КАТАСТРОФИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ С М9 И ЦУНАМИ В ИНДОНЕЗИИ (26.12.2004 г.)

Катастрофическое землетрясение 26 декабря 2004 г. с магнитудой 9 вблизи Северной Суматры, возбудившее сильнейшее цунами, стало причиной гибели около 300 тысяч человек и вошло в историю человечества, как одно из грандиознейших природных катастрофических событий. И дело не только в чудовищном числе жертв от землетрясения и произведенного им цунами (рис. 2.). Речь идет, прежде всего, об удивительном геологическом событии, масштабы которого столь велики, что оказали влияние на общепланетарные процессы на Земле.

Достаточно детально это событие описано в фундаментальной статье Старостенко В. И. и др. [12]. Катастрофическое землетрясение в Юго-Восточной Азии изменило геофизические характеристики Земли. Как сообщается на сайте Spaceflight Now, ученые из NASA установили, что подземные толчки повлияли на скорость вращения планеты, увеличили продолжительность суток и слегка изменили форму планеты. Кроме того, в результате землетрясения сместилось положение Северного географического полюса. Он сдвинулся на 2,5 сантиметра в направлении 145 градуса восточной долготы. Изменение скорости вращения планеты вызвало увеличение продолжительности суток на 2,68 микросекунды, а перемещение масс привело к изменению формы планеты. В результате землетрясения пропорции планеты изменились на одну десятиллиардную, то есть Земля стала менее сплюснутой и более компактной.

По данным, приведенным в работе Старостенко В. И. и др., катастрофическое землетрясение 26 декабря 2004 г. произошло в виде взброса на стыке Индо-Австралийской и Евразийской плит в районе

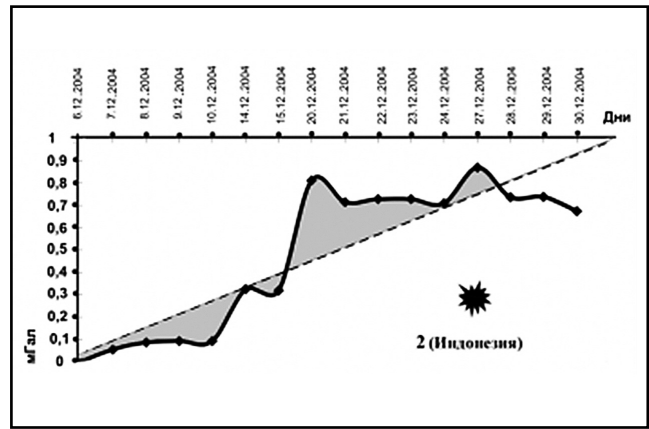


Рис. 3. Вариация силы тяжести перед сильным землетрясением вызвавшим цунами в Индонезии 26.12.2004 г.

Северной Суматры. Примерно за 2 минуты разрыв реализовал упругую деформацию, которая накапливалась в данной очаговой зоне в течение столетий в результате продолжающейся субдукции (поддвига) Индо-Австралийской плиты под Евразийскую. Зона афтершоков 26 декабря имела протяженность около 1300 км. Если даже предположить, что только часть афтершоков отражала плоскость разрыва главного толчка, то, по мнению ряда исследователей, ее протяженность составляет значительно более 500 км. Как указано в работе Chen Ji [14], геодезические наблюдения и компьютерное моделирование позволили прийти ученым к выводу, что максимальный подвиг, во время данного землетрясения, на глубине 18 км, составил, примерно, 20 м. При этом морское дно переместилось значительно меньше: в вертикальном направлении, примерно на 5 м, а в горизонтальном — на 11 м.

Именно с точки зрения общепланетарной масштабности данного события наиболее интересным, на наш взгляд, является исследование процесса геодинамической подготовки этого события, отраженного в глобальных изменениях силы тяжести.

Анализ записей изменений Δg до, во время и после Индонезийского землетрясения (№2) показал, что в отличие от других сильных землетрясений, процесс подготовки, который проявился в виде квазиволнового полного цикла вариации силы тяжести, имеет значительно более длительный период, рис. 3. Так, снижение значения силы тяжести относительно средней величины, начало проявляться 03 декабря 2004 г.

Начиная с 10 декабря наблюдается достаточно резкий подъем значений силы тяжести, при этом к 20 декабря сила тяжести увеличилась на 0,8 мГал, после чего, к 21 декабря несколько снизилась на величину 0,1 мГал и оставалась неизменной вплоть до 24 декабря. 24 декабря значение силы тяжести опять начинает увеличиваться, достигнув своего максимума 26 декабря, подскочив на 0,15 мГал за 1 сутки, рис. 3. После землетря-

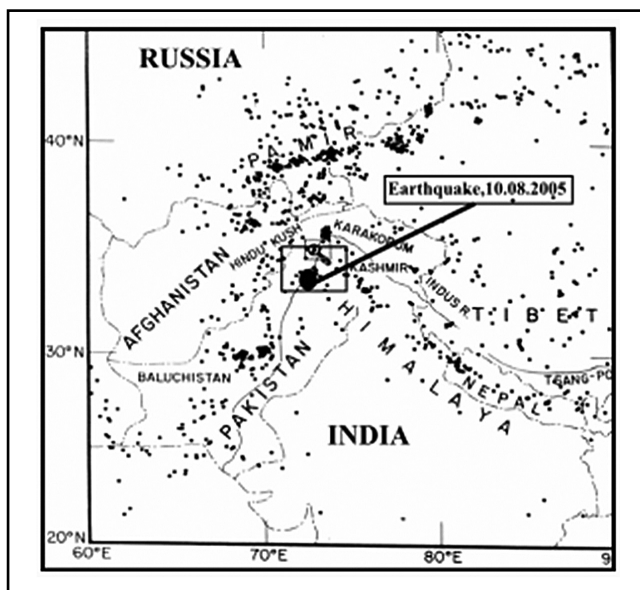


Рис. 4. Схема расположения эпицентральной зоны Пакистанского землетрясения.

сения значение Δg начинает медленно спадать, дойдя до среднего значения к 01 января 2005 г. Таким образом, полный цикл гравитационного квазиволнового сигнала составил при Индонезийском катастрофическом землетрясении 26 декабря 2004 г. около 28 суток. При этом, начало этих изменений зафиксировано за 23 дня до основного толчка. Этот период времени примерно втрое превышает средний период времени начала проявления гравитационного предвестника для других сильных землетрясений. Максимальная амплитуда КВВ составила 0,82 мГал. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра. Этот факт еще раз подтверждает существенное отличие этого незаурядного геологического события в масштабе всей планеты от остальных сильных землетрясений, произошедших за последние 100 лет.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ПАКИСТАНЕ С М7,7 (08.10.2005 г.)

Катастрофическое землетрясение, произошедшее 08 октября 2005 г. в Пакистане с магнитудой 7,7, отнесено специалистами к самым сильным и разрушительным землетрясениям в данном регионе за последние 100 лет. Первый толчок силой 7,7 балла произошел в 8.50 утра в субботу. По данным геологической службы США (USGS), эпицентр землетрясения находился в 100 км северо-восточнее Исламабада — в пакистанском Кашмире, вблизи демаркационной линии, разделяющей Индию и Пакистан, на глубине 10 км. По данным USGS, в субботу и воскресенье в Пакистане было зафиксировано еще, по меньшей мере, 45 толчков, самый сильный из них — с эпицентром в 110 км к северу от Исламабада — достигал 6,3 балла по шкале Рихтера. Больше всего пострадали города Музаффарабад, Багх и

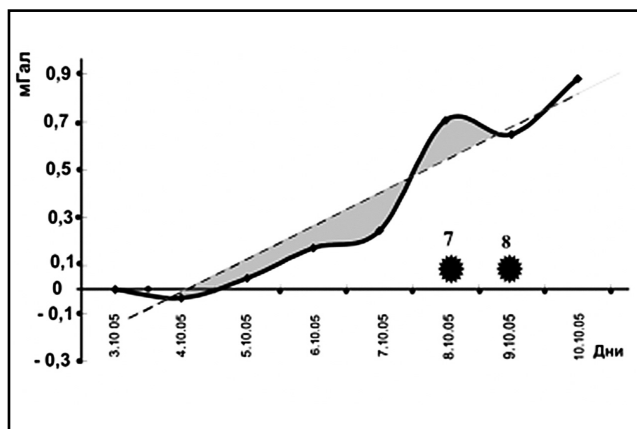


Рис. 5. Вариация силы тяжести перед сильным землетрясением в Пакистане (№7 и №8).

Равала-Кот и прилегающие к ним территории. Серьезные разрушения наблюдаются в районах Батаграм, Бала-Кот, Мансехра, Абботтабад и Патан. По имеющимся данным, это землетрясение унесло около 70 тысяч человеческих жизней в Пакистане. В Индии в наибольшей степени пострадали пограничные города Ури, Тангдар, Пунч и Сринагар. По данным индийских властей, погибло около 2000 человек.

Анализ изменений Δg до, во время и после пакистанского землетрясения, показанных на рис. 4, также представляет большой интерес. В отличие от значительно более масштабного землетрясения в Индонезии от 26.12.04 г., землетрясению в Пакистане предшествовал относительно короткий период времени вариаций Δg . Снижение значений Δg относительно средних значений началось 02 октября, дойдя до минимума 04.08.05, после чего началось повышение значений Δg , которое к моменту землетрясения 08.10.05 (№7) поднялось на 0,73 мГал. Завершение цикла квазиволнового изменения силы тяжести пришлось на 09.10.2005 г. Период цикла составил 7 суток, рис.5. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

Через день после основного толчка, значение Δg снизилось на 0,1 мГал и, в этот момент, произошел достаточно ощутимый афтершок с магнитудой 5,7 (№8), после которого значение Δg возросло на 0,2 мГал. Затем значение Δg начинает снижение, достигая среднего значения к 14.10.05 г.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЮЖНОМ ИРАНЕ 13.03.2005 (М6) И ИНДОНЕЗИИ 28.03.2005 (М8,7)

Два, неравноценных по своей энергетической значимости, события, тем не менее, достаточно отчетливо проявились в вариациях Δg , предшествующих и сопутствующих землетрясениям в Южном Иране (13.03.2005) с магнитудой 6 и Индонезии (28.03.2005) с магнитудой 8,7.

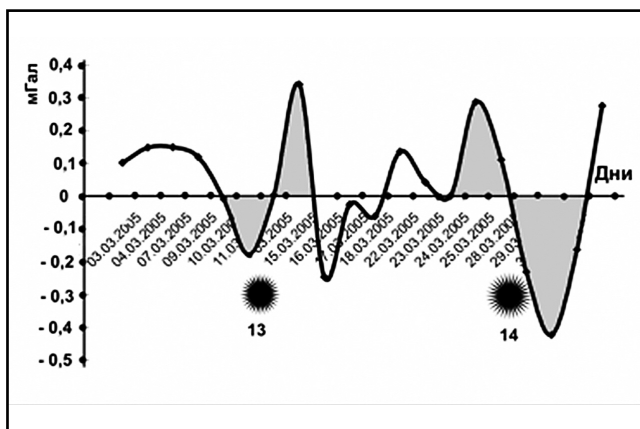


Рис. 6. Вариации силы тяжести перед сильным землетрясением в Иране (№13) и Индонезии (№14).

Не останавливаясь детально на описании Иранского землетрясения, нам представляется довольно интересным подробнее рассмотреть события, произошедшие при сильнейшем землетрясении в Индонезии.

28 марта 2005 г. в Индийском океане около полуночи произошло землетрясение силой 8,7 балла по шкале Рихтера. Землетрясение ощущалось на расстоянии свыше 700 километров от эпицентра. Подземные толчки почувствовали жители Таиланда, Малайзии и Сингапура. Эпицентр землетрясения находился на дне океана недалеко от индонезийского острова Суматры. Возникшее в результате землетрясения цунами высотой три метра обрушилось на индонезийский остров Симелуэ, при этом, пристань главного порта острова была частично разрушена, волна цунами достигла также аэропорта прибрежного города Синабанг. По оценкам властей Индонезии, число погибших в результате землетрясения, произошедшего 28 марта 2005 г. у побережья Суматры, превышает 2 тыс. человек.

На рис. 6 приведен график вариаций Δg предшествующих и сопутствующих землетрясениям в Южном Иране (№13) и в Индонезии (№14).

Рассмотрим сначала Иранское землетрясение. 04 марта 2005 г. начинается снижение значений Δg , которые достигают своего минимума между 10 и 11 марта 2005 г, понизившись на 0,27 мГал. С 11 марта начинается возрастание Δg и 13 марта происходит землетрясение в Южном Иране с магнитудой 6, при этом значение силы тяжести продолжает увеличиваться достигая максимума к 15 марта, причем максимальная амплитуда повышения Δg существенна и составляет 0,56 мГал. После этого наблюдается резкое снижение величины Δg на 0,62 мГал, с достижением минимума 16.03.2005 г. Полный период КВВ охватывает с 09 по 15 марта 2005 г. и составляет 6 суток.

В течение последующих пяти суток происходит повышение Δg на фоне флуктуаций. На наш взгляд, начало процесса подготовки Индонезийского землетрясения отражено на графике с 23 марта, когда Δg имеет фоновое значение. Между 24 и 25 марта

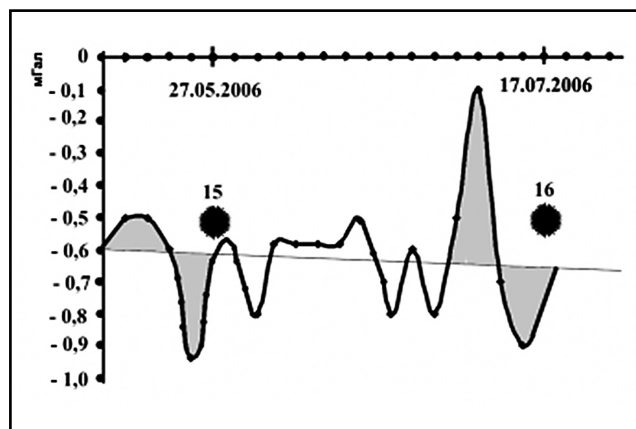


Рис. 7. Вариации силы тяжести перед сильными землетрясениями в Индонезии (№15 и №16).

Δg возрастает на 0,3 мГал, затем резко снижается на 0,72 мГал и, в процессе этого снижения, 28.03.2005 г. происходит сильнейшее землетрясение в Индонезии с магнитудой 8,7. При этом, Δg достигает своего минимального значения между 29 и 30 марта 2005 г. Полный период квазипериодического изменения во времени Δg охватывает с 23 по 31 марта 2005 г. и составляет 9 суток. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ИНДОНЕЗИИ 27.05.2006 С М6,3 И 17.06.2006 г. (М7,7)

27 мая 2006 года в Индонезии, в районе города Джокьякарта, на о.Ява произошло сильное землетрясение, сила которого составила 6,3 балла по шкале Рихтера. Число погибших в результате землетрясения на острове Ява достигло 5115 человек. Ранения получили до 20 тысяч человек, без крова остались около 100 тысяч. После основного толчка последовали около сотни менее мощных. Практически весь регион остался без электричества и связи. В городе Бантул уничтожено около 80% зданий. На рис. 7 приведен график вариаций Δg , на котором отчетливо наблюдается аномальное изменение силы тяжести во времени перед основным толчком (№15). Форма графика изменения Δg во времени имеет квазипериодический характер с полным периодом 12 дней. Максимальная амплитуда вариации (от максимума до минимума) составляет 0,45 мГал. КВВ сопровождается «вибрацией записи» показаний гравиметра.

17 июля 2006 г. в Индонезии произошло очередное сильнейшее землетрясение с магнитудой 7,7. Его эпицентр находился на глубине 48 км в Индийском океане в 360 км от Джакарты. Затем последовали еще более 20 толчков. Землетрясение спровоцировало цунами высотой более 4-х метров, которое обрушилось на западное побережье индонезийского острова Ява. Основной удар стихии пришелся на курортный городок Пангандаран (провинция Западная Ява) и на район в 40 километрах к востоку порта Чилачап.

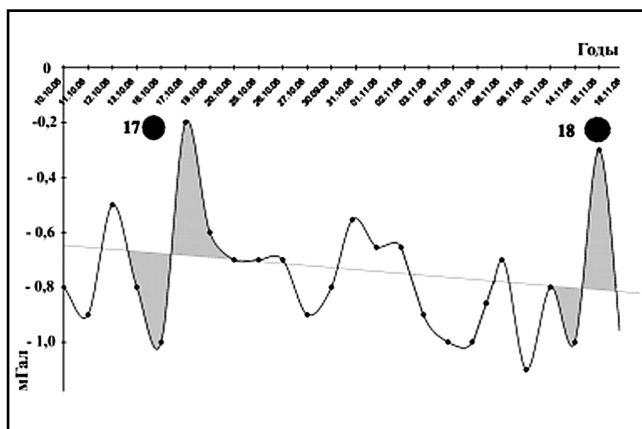


Рис. 8. График вариаций силы тяжести перед землетрясениями в Японии (№17) и на Курилах (№18).

Примерно на трехсоткилометровом участке побережья Явы цунами разрушило и смыло в океан тысячи домов. Было нарушено энергоснабжение и телефонная связь. От землетрясения и цунами пострадал и город Джокьякарта. В результате землетрясения и цунами погибли около 1000 человек и еще 500 получили ранения.

На графике проявилась ярко выраженная аномалия вариации Δg , существенно превышающая аномалию при землетрясении 27.05.2006. На наш взгляд, это может быть объяснено значительно большей магнитудой землетрясения 17.07.2006. г. Форма аномалии Δg , предшествующей землетрясению также имеет квазипериодический характер с периодом 13 дней. Максимальная амплитуда вариации Δg составляет 0,92 мГал. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЯПОНИИ 10.10.2006 С М6 И НА КУРИЛАХ 15.11.2006 С М8,3

10 октября 2006 г. В северной части Японии произошло землетрясение силой 6 баллов по шкале Рихтера. Эпицентр землетрясения находился в море вблизи города Фукусима, что в 240 км к северо-востоку от Токио.

Землетрясение не вызвало больших разрушений, но его подготовка сопровождалась ярко выраженной аномалией вариации силы тяжести. Период квазипериодической вариации составляет 7 суток. Максимальная амплитуда изменений Δg составила 0,8 мГал. КВВ не сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

15 ноября 2006 г. на Курилах произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой 8,3 по шкале Рихтера. Подземные толчки ощущались примерно в 390 км. восточнее острова Итуруп (Курильские острова).

Землетрясению предшествовала аномальная вариация Δg имеющая квазипериодический характер с периодом 5 суток. Амплитуда вариации составляет 0,72 мГал. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

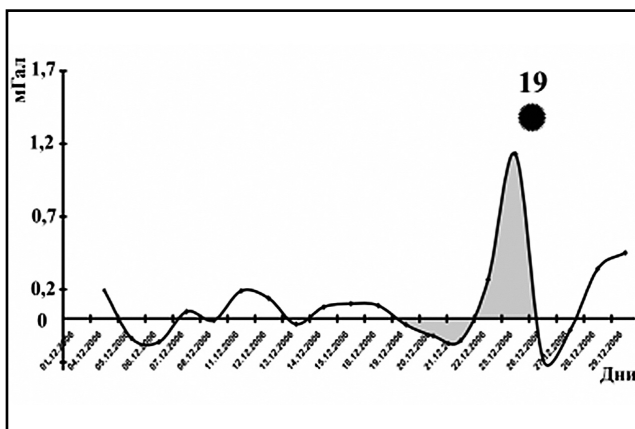


Рис. 9. График вариаций силы тяжести перед землетрясением в Тайване (№19).

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ТАЙВАНЕ 26.12.2006 С М7,4

26 декабря 2006 года в 12 час 26 мин Гринвичского времени у южного побережья острова Тайвань произошло сильное землетрясение с $M=7,4$. Эпицентр землетрясения находился у южного побережья острова Тайвань в 90 км к юго-востоку от города Гаосюн.

По данным Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США NEIS землетрясение ощущалось на всем о.Тайвань, а также на юго-восточном побережье Китая. Имеются разрушения и жертвы: под завалами разрушенной мебельной фабрики погибло 2 человека, более 30 человек ранены.

На рис. 9 показан график квазипериодической вариации силы тяжести перед землетрясением в Тайване. 19 декабря началось снижение силы тяжести, которая к 21.12.2006 достигла своего минимума снизившись на 0,1 мГал, после чего началось ее возрастание. Своего максимума Δg достигло между 25 и 26 декабря, при этом общая амплитуда повышения Δg составила 1,2 мГал. 26 декабря произошло землетрясение. Примечательно, что данный график можно было бы назвать эталонным, для краткосрочного прогнозирования землетрясений. КВВ сопровождалась «вибрацией записи» показаний гравиметра.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Проведенные исследования неприливных вариаций силы тяжести позволили выявить квазипериодические аномалии вариаций Δg и сделать вывод об их связи с сильными землетрясениями. Между тем, представляет интерес установление закономерностей между различными параметрами квазипериодических вариаций и сильных землетрясений. С этой целью нами был составлен график зависимости периодов КВВ от магнитуд землетрясений, сопутствующих КВВ.

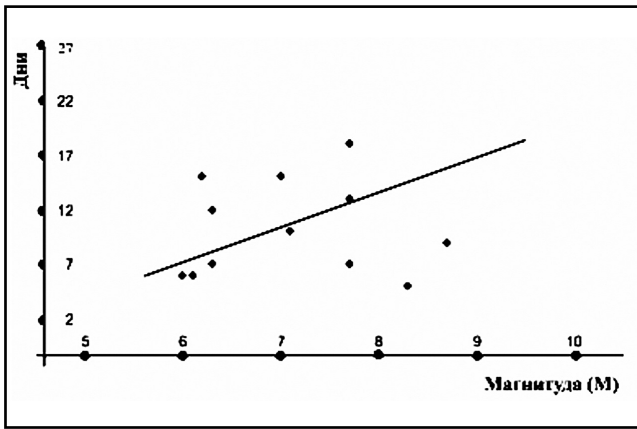


Рис. 10. График зависимости магнитуды от периода квазиволновой вариации Δg .

На графике (рис. 10) показан прямолинейный тренд, характеризующий зависимость периодов КВВ от магнитуд землетрясений. Как видно из графика, эти два параметра имеют прямо пропорциональную зависимость, т. е. чем выше период КВВ тем выше магнитуда землетрясения.

Это может быть логично объяснено тем, что чем выше энергия землетрясения, тем больше времени требуется на процесс накопления и разрядки напряжений в недрах Земли.

Другим интересным аспектом, на наш взгляд, является возможность установить наличие зависимости между магнитудой землетрясения и амплитудой КВВ. На рис. 11 приведен график зависимости магнитуд землетрясений от амплитуд КВВ. Как видно из графика, эта зависимость также описывается прямолинейным трендом, свидетельствующим о том, что магнитуды землетрясений прямо пропорционально зависят от амплитуд КВВ, т. е. чем выше амплитуда проявления КВВ, тем выше энергия землетрясений. На наш взгляд, данный вывод также вполне логичен, ибо амплитуда КВВ может свидетельствовать о масштабе геодинамического процесса в недрах Земли.

Полученные результаты полностью изменяют сложившиеся представления о подходах к прогнозу землетрясений и о масштабах проявления предвестников сильных землетрясений на гигантских территориях.

Исходя из полученных результатов, становится ясна причина многочисленных неудачных попыток прогноза землетрясений посредством регистрации изменений силы тяжести и, по всей видимости, ряда других предвестников. Исследователи, регистрирующие аномалии силы тяжести во времени относили их только к проявлениям подготовки близлежащих к регистрирующему прибору очаговых зон, тогда, как на самом деле, эти предвестники отражали подготовку землетрясений, очаги которых находились на больших расстояниях от станции наблюдения. Наиболее красноречиво об этом заблуждении свидетельствует высказывание Тадзиму М., который указывает на то, что короткопериодические изменения силы тяжести до 0,2—0,3 мГал происходят до и после землетрясений, вследствие одно-

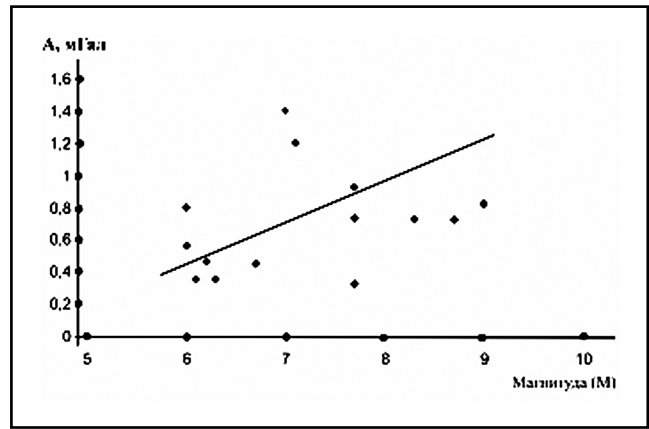


Рис. 11. График зависимости амплитуды квазиволновой вариации Δg от магнитуды землетрясения.

осного горизонтального сжатия масс коры вблизи эпицентральной зоны (Тадзиму, 1970).

В результате проведенных исследований, нами сделан вывод о существовании двух типов предвестников сильных землетрясений:

- локальные предвестники, основной причиной которых являются тектонические процессы, локализованные в радиусе сотен километров от очаговой зоны готовящегося землетрясения;

- далекодействующие предвестники землетрясений, причиной которых являются крупномасштабные глубинные геодинамические процессы, происходящие в энергетически активных участках глубинных слоев Земли.

Становится очевидно, что существование двух типов гравитационных предвестников землетрясений, с одной стороны усложняет интерпретацию получаемых данных мониторинга силы тяжести, а с другой — позволяет исключить ошибки при краткосрочном прогнозировании землетрясений, когда далекодействующие гравитационные предвестники землетрясений воспринимаются в качестве локальных. Но самое важное — это то, что появилась возможность регистрировать момент зарождения будущей сейсмической активизации, связанный, по всей видимости, с проявлением геодинамической активности в глубинных слоях вблизи ядра Земли.

Опираясь на вышеописанные новейшие данные сейсмотомографии и сформированную, в определенной степени, обновленную модель глубинной геодинамики Земли, можно предположить следующий механизм проявления далекодействующих предвестников сильных землетрясений. В глубинных слоях Земли, предположительно в слое D, с определенной квазипериодической циклическостью, возникает некий энергетический выплеск, носящий относительно кратковременный характер. Этот выплеск энергии, должен спровоцировать образование области повышенного давления, температуры и пониженной плотности, подпитывающей плюм, которая создает дополнительный импульс в конвективных течениях в мантии. Этот импульс, через определенное время, приводит к ускорению конвективных потоков в астеносфере, что приводит к активизации движения определенных литосферных плит, в за-

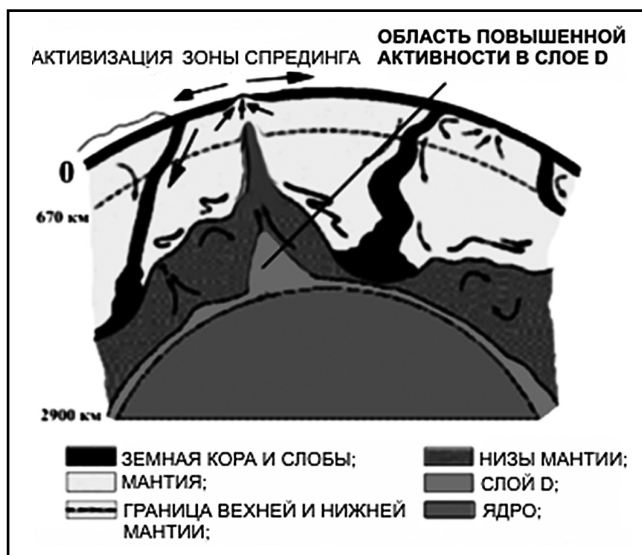


Рис. 12. Модель начального момента выплеска энергии и образования области повышенного давления и температуры и пониженной плотности, подпитывающей плюм.

висимости от того, в какой части слоя D происходит выплеск энергии. Безусловно, от момента энергетического импульса в слое D до начала сейсмической активизации на границах литосферной плиты проходит определенной время. Именно этот промежуток времени (8—20 дней), по всей видимости, проходит от начального момента регистрации вариаций силы тяжести перед сильными землетрясениями. И в этом случае могут быть две причины возникновения зарегистрированных аномалий силы тяжести:

1. Образование в слое D гигантских областей аномальной плотности, вызванных энергетическим выплеском;
2. Излучение тектонических волн в зоне энергетического выплеска в слое D. Природа тектонических волн иная, чем сейсмических и они отражают не только попеременное чередование и движение от источника излучения областей повышенной и пониженной плотности, но и частичное перемещение вещества мантии.

Литература

1. Антонов Ю. В., Слюсарев С. В., Чирков В. Н. Возможные причины временных изменений вертикального градиента силы тяжести. *Геофизика*, 2000; №4:45—51.
2. Булатова Н. П. Широтное распределение сейсмичности Земли в зависимости от положения Солнца и Луны. *Вулканология и сейсмология*. 2005; №2: 57—78.
3. Буланже Ю. Д. Некоторые результаты изучения неприливных изменений силы тяжести. *Докл. АН СССР*, 1981; 256; 6: 1330—1331.
4. Буланже Ю. Д. По поводу неприливных изменений силы тяжести. *Изв. АН СССР*, 3: 1983.
5. Веселов К. Е. Изменение силы тяжести во времени и корпускулярная теория тяготения. В сб.: *Прикладная геофизика*, М.: Недра, 1977.
6. Володичев Н. Н., Подорольский А. Н., Левин Б. В., Подорольский Вл. А. Корреляция появления крупных серий землетрясений со временем фаз новолуния и полнолуния. *Вулканология и сейсмология*. 2001; 1: 60—67.
7. Добровольский И. П. Гравитационные предвестники тектонического землетрясения. *Физика Земли*, 2005; 4: 23—28.

С физической точки зрения, наблюдаемые аномалии более правдоподобно могут быть объяснены именно регистрацией сверхдлинных тектонических волн, излучаемых в слое D и попеременно изменяющих плотность пород по мере своего движения, что, в свою очередь, регистрируется гравиметрами в виде вариаций силы тяжести. Тектонические волны вызывают резкое повышение напряжений в очаговых зонах, где напряжения достигли критических величин, что приводит к землетрясениям.

Зарегистрированные в НИИ прогнозирования и изучения землетрясений вариации силы тяжести перед сильными землетрясениями, эпицентры которых находятся на удалении в 4—7 тысяч километров от регистрирующей станции, могут пролить свет на пространственно-временной характер процесса зарождения глубинной геодинамической активности. Главный вопрос, при интерпретации гравитационных аномалий перед сильными удаленными землетрясениями, заключается в том, связаны ли эти аномалии непосредственно с подготовкой очаговой зоны землетрясения или отражают зону зарождения геодинамической активности в глубинных слоях мантии.

Проведенные нами расчеты показывают, что если бы источником гравитационных аномалий, зарегистрированных перед сильными землетрясениями в Пакистане, Индонезии и других, удаленных от станции «Binagadi» на 4—7 тысяч километров, землетрясений, были бы их очаговые зоны, то в них должны были бы образовываться, неправдоподобно, гигантские области повышенной плотности диаметром в сотни километров. В этом случае, вблизи самих очаговых зон были бы зарегистрированы гравитационные аномалии в сотни миллигал, что в действительности не наблюдается. Следовательно, источник гравитационной аномалии находится на большой глубине и удален от очаговой зоны землетрясения так же, как и от регистрируемой станции.

Таким образом, нами предложена принципиально новая концепция, объясняющая наблюдение вариаций силы тяжести перед удаленными сильными землетрясениями.

8. Левин Б. В. Ядро Земли — дирижер сейсмической активности? *Земля и Вселенная*. 2001; 3: 12—19.
9. Михайлов В. О., Тихоцкий С. А., Диаман М., Пани И. Исследование возможности обнаружения и изучения вариаций силы тяжести геодинамического происхождения по современным спутниковым гравиметрическим данным. *Физика Земли*. 2005; 3: 18—32.
10. Парицкий Н. Н. О нерегулярных изменениях скорости вращения Земли и возможной связи их с деформациями Земли и изменениями силы тяжести. В кн.: *Проблемы расширения и пульсации Земли*. М.: Наука, 1984; 84—93.
11. Перцев Б. П. Приливные деформации поверхности геоида. *Физика Земли*, №8, 3—5.
12. Старостенко В. И., Гейко В. С., Кендзера А. В. и др. Катастрофическое землетрясение 26 декабря 2004 г. у берегов Суматры: причины, последствия, уроки. *Геофизический журнал*. 2005; 27; 6: 940—961.
13. Федоров В. М. Хронологическая структура и вероятность вулканической активности в связи с приливной деформацией литосферы. *Вулканология и сейсмология*. 2005; 1: 44—50.
14. Chen Ji. Computer Simulation of Earth Movement that Spawned the Tsunami. California Institute of Technology. 2005; http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/shownh.php3?img_id=12646