

УДК 550.349

## О возможном механизме землетрясений

Л. И. Уруцков

“РЭКОМ” РНЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*Обсуждены возможные физические механизмы, которые могут играть роль “спускового крючка” при землетрясениях. В качестве гипотезы рассмотрена возможность существования аналога Зееман эффекта в гравитационном поле. На основе гипотетического эффекта предпринята попытка качественного рассмотрения землетрясения как выхода гравитационных волн на дневную поверхность.*

Данная работа несколько не претендует на полное объективное изложение и анализ существующих моделей землетрясений и признаков их прогноза. Если, следуя принципу Эддингтона, учесть количество публикаций и монографий, посвященных моделям землетрясений, то следует неутешительный вывод о степени понимания нами этого явления. Тем не менее, десятилетия напряженной, и часто героической, работы многочисленных коллективов позволили на сегодняшний день ученым достаточно уверенно делать долгосрочные прогнозы в районах с повышенной сейсмичностью. С краткосрочными прогнозами дело обстоит значительно хуже.

Удачных прогнозов до сих пор было очень немного [1]. Так, в начале 1975 г. сейсмологи провинции Ляонин (Китай) вовремя заметили признаки надвигающегося землетрясения и стали отмечать на карте места, в которых регистрировались офшоки, изменения уровня воды в колодцах, что позволило им определить место на карте, к которому стягивались фокусы мелких толчков, а также скорость, с которой происходило передвижение. Власти учли прогноз кинооптиков и предложили населению временно покинуть дома, чтобы посмотреть кино на открытом воздухе. В итоге этих мер жертв землетрясения оказалось мало, хотя многие дома были разрушены.

Этот метод сейсмологов был использован в прогнозе Тянь-Шаньского землетрясения 1976 г., признаки приближения которого также были вовремя замечены. Однако на этот раз предвестники землетрясения не показывали никакой тенденции к стягиванию в какое-либо место, они возникали в разных местах, так что стягивающегося фронта не было. Не было и определенного прогноза. Это землетрясение магнитуды 8,0 было одним из самых трагичных за несколько столетий.

Тем не менее, не отсутствие краткосрочных предвестников, а скорее их зобилие [2] (геохимические, геофизические, гидродинамические, сейсмологические и т. д.) и возникающие административные и организационные трудности [3] мешают ученым предсказать землетрясение, по крайней мере, за 5 ч до его наступления.

Исходя из физического многообразия признаков надвигающегося землетрясения, вряд ли удастся на основе какого-либо одного физического явления понять механизм землетрясения. Механизм подготовки землетрясения скорее напоминает сложный шестереночный механизм, в котором в качестве шестеренок задействованы совершенно разные физические явления (гравитация, электромагнетизм, акустика, деформации горных пород, фазовые переходы и т. д.). И тем не менее, не понимая всего механизма этого удивительного явления, мы не сможем предсказать его.

тельно сложного физического явления, можно попытаться нащупать спусковой крючок. Основания для оптимизма при решении этой сложной и важной задачи, хотя и не очень радостные, все же имеются. Исследовано и выявлено влияние на сейсмичность изменений скоростей вращения Земли, приливных явлений, удаленных сильных землетрясений и подземных ядерных взрывов, штормовых микросейсм, наполнения искусственных водохранилищ, а также мощных импульсов электрического тока [4].

### Сейсмика и электромагнитная волна

Мысль о провокации готовящегося землетрясения, безусловно, не является оригинальной [5]. Автор предлагает использовать для этого ни в коем случае не подземные ядерные взрывы [6], а безобидный, но мощный импульс электрического тока [7].

В 1976—1978 гг. на Гармском полигоне в Таджикистане регулярно проводилось глубинное электрическое зондирование коры одиночными импульсами [8]. В качестве источника применялся МГД-генератор. Нагрузкой служил электрический диполь с разносом электродов 3 км и сопротивлением 1,50 Ом. Установка располагалась в северной части Таджикской депрессии на кайнозойской толще мощностью 5—7 км. При пуске МГД-генератора ток в нагрузке достигал 1,5 кА, а длительность зондирующих импульсов (ЗИ) составляла 2,5 с. Всего проведено 34 рабочих пуска.

Было выявлено, что ЗИ вызывают заметную активизацию местных землетрясений, возникающую через 5—6 сут после их воздействия, в широком диапазоне энергетических классов. При этом меняется распределение землетрясений по их энергиям и наблюдается перегруппировка гипоцентров в пространстве. Характер таких изменений режима варьируется в разных геологических структурах. Наиболее сильная активизация происходит в пределах той структуры, где располагался питающий диполь МГД-установки. Выявлено закономерное изменение иницирующего воздействия ЗИ с глубиной, связанное с границами отдельных слоев коры [7].

Суммарная энергия, выделенная землетрясениями района в течение 40 сут после 34 пусков, была больше энергии, выделенной за такой же срок до них, на  $3,8 \cdot 10^{13}$  Дж, или на  $1,1 \cdot 10^{12}$  Дж в среднем на каждый ЗИ. Энергия, отдаваемая МГД-генератором в питающий диполь при каждом пуске, составляла  $8,5 \cdot 10^6$  Дж, что на 5 порядков меньше. Следовательно, ЗИ также инициировали выделение энергии, которая была ранее накоплена в коре и могла бы высвободиться в виде одного события с  $K \sim 13$  вместо серии более слабых землетрясений [7].

Подобные эксперименты были проведены на Кольском полуострове, но в открытой печати они освещены значительно слабее. Тем не менее, опираясь на устные сообщения участников экспериментов, можно сделать вывод об идентичности полученных результатов.

Стоит упомянуть еще одну мало цитируемую работу Н. К. Плескача [9]. Проведенное автором детальное исследование сейсмического фона Земли в диапазоне частот 1—7 Гц привело к обнаружению в его составе ряда непредвиденных, практически монохроматических, сейсмических колебаний с амплитудами  $A \leq 10^{-9}$  м. Для объяснения возбуждения сейсмических колебаний автором была выдвинута гипотеза, в основе которой лежит возможность трансформации электромагнитного поля (создаваемого энергетической сетью и отдельными установками) в механические возмущения среды. Оценка такого эффекта проверялась на модельном эксперименте. В качестве излучателя

электромагнитных колебаний использовался электрический диполь с базой 1, 2 км, его электродами служили обсадные трубы скважины глубиной 0,8 км, на которые подавался переменный ток с частотой 2,6044 Гц силой 150 А. На расстоянии 7 км регистрировались сейсмические колебания с  $A = 2 \cdot 10^{-11}$  м, частота которых совпадала с частотой тока.

Из вышеприведенных работ следует, по крайней мере, три труднообъяснимых факта:

каким образом энергия электромагнитных колебаний (или электромагнитного импульса) преобразуется в энергию механических (сейсмических) колебаний;

чем обусловлена задержка в 5—6 сут и почему возникает периодичность (рой) в активизации сеймики;

откуда берется такой большой коэффициент усиления энергии  $K \sim 10^6$ .

На последний вопрос ответить проще: по-видимому, эта энергия была накоплена заранее в коре, а зондирующий импульс только инициировал выделение. Но тогда возвращаемся к первому вопросу: каков механизм инициации? Для объяснения этого механизма вполне логично попытаться привлечь обратный сейсмологический эффект второго рода, который напрямую устанавливает связь между величиной переменного электрического поля в среде и сейсмическими колебаниями среды [10]. По современным воззрениям эффект представляет собой разновидность электрострикции, обусловленной особыми структурными свойствами связанной воды [11]. Однако следует заметить, что единого мнения относительно физической природы обратного сейсмологического эффекта второго рода не существует [12]. К сожалению, коэффициент электромеханической связи в эффекте очень мал [13]:  $K_{эм} \sim 10^{-3}$  Н/(В·м), что не позволяет объяснить результаты работ [7, 9]. Помимо малости коэффициента связи, на основе этого эффекта невозможно объяснить задержку в 5—6 сут, наблюдавшуюся в [7]. Тем не менее, в работе [14] предпринята попытка с помощью сейсмoeлектрического эффекта объяснить неклассическое поведение характеристик в методе становления электромагнитного поля. По мнению автора данной статьи, физическая природа сейсмoeлектрического эффекта экспериментально исследована явно недостаточно, а в случае коротких мощных электрических импульсов ( $I \sim 1$  кА,  $u \sim 5$  кВ,  $\tau \sim 0,1$  с) совсем не исследована, поэтому целесообразно провести эксперименты.

### Сеймика и гравитация

В ряде работ предпринята попытка найти связь между землетрясениями и гравитацией на основе приливных явлений [15].

Так, на основе “мембранной модели” связь приливной силы с сейсмичностью рассматривалась с точки зрения “триггера”, т. е. приливному изменению напряжения отводилась роль “последней капли”, переполняющей “чашу” накопленного тектонического напряжения [16—20]. Правда, при такой точке зрения непонятно, какой магнитуды землетрясения могут провоцироваться приливными напряжениями и почему они вообще бывают разных магнитуд. Хотя следует признать, что в определенной мере сейсмичность связана с движением и изменением взаимного расположения Земли, Луны и Солнца, т. е. с внешним силовым воздействием [21].

Интересный механизм “спускового крючка” предложил Р. Дикке [22]. Он проанализировал случай, когда гравитационная постоянная уменьшается со временем [23]. Это должно привести к некоторому расширению Земли и уменьшению нормальных напряжений на границе раздела сред, т. е. облег-

читать возникновение скоса или разрыва. Он обратил внимание на аномалии в периодичности движения Луны в начале века: сначала движение Луны замедлялось на доли угловой секунды в год, затем наступили минимум и некоторый возврат. Р. Дикке собрал данные по землетрясениям за тот же период и провел корреляционный анализ, корреляции были обнаружены [21].

Можно рассмотреть приливную силу как тектонический фактор [15]. Тогда процесс накопления упругой энергии в блоках аналогичен процессу гистерезиса. При прохождении приливной волны деформации в системе блоков остается некоторая необратимая деформация. Долю необратимой деформации и соответствующее ей напряженное состояние можно оценить через параметр добротности  $Q$  сочленения блоков, что облегчает исследования и позволяет по мощности процесса воздействия в цикле оценивать потери в передающей системе. Таким образом, если напряжение полусуточной приливной волны оценить как  $5 \cdot 10^4$  дин/см<sup>2</sup> за цикл и принять  $Q = 1/200$  [24], то для накопления напряжения  $10^7$  дин/см<sup>2</sup>, характеризующего сильное землетрясение, потребуется время порядка 75—100 лет. Иными словами, оценка по порядку величин допускает возможность механизма накачки сейсмической энергии приливыми силами. Приливные силы могут обеспечить накопление сейсмической энергии в виде напряжений кручения и изгиба отдельных блоков, входящих в сейсмоактивную систему.

В этом разделе мы попытаемся, конечно, гипотетически приделать свою маленькую шестереночку к сложному механизму землетрясений. Попробуем рассмотреть землетрясение как выход волны вариации силы тяжести  $\delta g$  на дневную поверхность. Действительно, за счет гравитационных “приливов” поверхность Земли деформируется  $\sim 40$  см/сут, а соответствующая вертикальная составляющая вариации силы тяжести  $\delta g$  составляет  $\sim 100$  мкГал или  $\delta g/g \sim 10^{-6}$ . Теперь пусть “приливные” силы действуют только локально, на выделенном пространстве (к примеру, в Кремле), а на всей остальной поверхности “отключены”. Тогда Кремль будет за сутки подниматься и опускаться на 33 см (для Москвы). Теперь мысленно “сожжем” сутки в  $\sim 10^4$  раз, т. е. примерно до 1 с. Что мы ощутим, находясь в Кремле? Удар, очень похожий на землетрясение, что-то рухнет, что-то развалится.

Для того чтобы реализовалась предлагаемая модель, необходимо, чтобы величина “непрерывной” вариации  $\delta g$  была порядка величины “приливной” силы тяжести, но имела импульсный характер. “Неприливные” вариации силы тяжести были обнаружены сравнительно недавно [25] из-за малости их значений [26]. Измерения вариации силы тяжести с помощью абсолютного гравиметра позволили выявить отличие от расчетных “неприливных” вариаций с периодами 14 и 28 сут и амплитудами соответственно 5,2 и 5,8 мкГал [27], а в период с 1 по 3 июля 1992 г. в пункте измерений Боровое было отмечено неожиданное уменьшение силы тяжести примерно на 20 мкГал [27]. В работе [28] приведены результаты измерений “неприливной” вариации градиента силы тяжести. Выделены короткопериодные (2—74 мин) вариации градиента, которые связываются с собственными колебаниями Земли, а их амплитуда — с тектонической напряженностью Земли. Амплитуда измеренных вариаций градиента в несколько раз больше теоретических значений (ведь сила тяжести и ее вертикальный градиент — суть производные от функции потенциала притяжения). Причины этого пока не ясны, и авторы статьи [28] отмечают это лишь как установленный факт.

Как видно из процитированных работ, низкочастотная вертикальная составляющая “неприливной” силы тяжести примерно на 2, 5 порядка меньше

той величины, которая требуется для модели. Для того чтобы набрать нужную величину  $\delta g$ , требуется предположить, что, по непонятным причинам, на глубине  $\sim 30$  км произошло разуплотнение и возник "пузырь" размером с очаг землетрясения. Предположение — маловероятное, поэтому попробуем сделать еще более невероятное предположение. Чисто математически вариацию силы тяжести  $\delta g$  можно получить двумя путями: либо изменить массу ( $\partial m/\partial t$ ), либо — гравитационную постоянную ( $\partial \gamma/\partial t$ ). Единственное, что оправдывает наше кощунство — это то, что первым на подобное "святотатство" решился Поль Дирак [23]. Однако он поступил мудро, связав уменьшение гравитационной постоянной со скоростью разлета Вселенной, тем самым дав возможность экспериментаторам измерять постоянство гравитационной константы с все возрастающей точностью. На сегодняшний день установлено постоянство гравитационной константы  $\Delta\gamma/\gamma = (-0,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-11}$  лет [29].

Для нашей модели требуется локальная вариация гравитационной постоянной с частотой в несколько герц. С этой целью рассмотрим возможность существования аналога Зееман эффекта в гравитационном поле. Следует отметить, что если такой эффект существует, то это означает [30] неверность сильного принципа эквивалентности (в терминологии, введенной Р. Дикком). Аналог Зееман эффекта в гравитационном поле вращающейся звезды был рассмотрен Я. Б. Зельдовичем [31]. Физически этот эффект означает, что, в зависимости от направления спина ядра по гравитационному полю или против него, ядро будет обладать различной энергией в гравитационном поле Земли, т. е. у ядер будет слегка отличающаяся гравитационная постоянная  $\gamma+$  по полю и  $\gamma-$  против поля. Но поскольку в обычных условиях спины ядер расположены равновероятно, то измеряем мы некоторую среднюю  $\gamma^0$ , которая и входит в закон всемирного тяготения. Такая гипотеза была рассмотрена Ю. В. Лоскутовым в работе [32] и на языке теоретической физики звучит как нарушение CP-четности при гравитационных взаимодействиях. Как следует из работы [32], если 10 % спинов выстроены вдоль гравитационного поля, то, в зависимости от ориентации, относительное изменение веса составит величину  $\sim 3 \cdot 10^{-5}$ . Экспериментальные поиски таких "гравитослабых" взаимодействий, проведенные Л. И. Слабких [33], успехом не увенчались. Правда, следует отметить, что, по мнению автора, эксперимент в [33] был поставлен не совсем корректно: невозможно применявшимся магнитным полем в  $\sim 100$  Э ориентировать спины ядер. Техника динамической ориентации ядер на сегодняшний день достаточно хорошо развита [34] и стоит провести более корректные эксперименты.

И тем не менее, исходя из предположения, что гравитационный аналог Зееман эффекта существует, оценка эффекта с учетом энергетики  $W$  и размеров реального очага землетрясения, в предположении относительной концентрации ориентированных и хаотично расположенных спинов  $N_s/N \sim 10^{-4}$ , дает величину  $\Delta E_{\text{гр}} \sim 10^{-4}$  эВ/атом, что является, по мнению автора, вполне разумной величиной. Таким образом, если мы рассмотрим очаг землетрясения как некую инверсно-заселенную среду  $\gamma+$  (по аналогии с лазерной средой), то индуцированный переход ядер в основное состояние и создаст в очаге вариацию силы тяжести  $\delta g$ . В работе [35] рассмотрена возможность существования бароэлектрического эффекта, суть которого состоит в возникновении "безваттного" электрического поля, связанного с перераспределением зарядов, которое порождается перепадом давлений в проводниках первого рода. А поскольку в недрах земли существует значительный перепад давлений, то и возникающее поле приближается по масштабу к внутриатомному.

Если бароэлектрический эффект существует, то он вполне мог быть ответственным за ориентацию спинов.

Конечно же, все изложенное следует рассматривать как очень и очень "сырую" гипотезу. И тем не менее, существуют экспериментальные результаты, которые можно рассматривать в качестве поддержки выдвинутой гипотезы. В [36] С. М. Крыловым и Г. А. Соболевым обнаружены сверхнизкочастотные гравитационные поля, связанные, по мнению авторов, с тектонической активностью. А в работе [37] приведены результаты измерений сверхнизкочастотного электромагнитного излучения (СНЧ ЭМИ) активной геологической среды. В работе отмечена корреляция СНЧ ЭМИ с приливными явлениями и акустической эмиссией. Отмечена первичная роль магнитного поля и вторичная роль вихревого электрического поля, а также влияния на процесс медленно меняющегося магнитного поля, которое в некоторых случаях может приглушить СНЧ ЭМИ, а в некоторых — сыграть роль спускового механизма. В качестве механизма генерации авторы выдвигают гипотезу дискретного перемагничивания магнитных доменов горных пород [37]. Последнее обстоятельство напрямую связано со спинами атомов.

\* \* \*

Для проверки выдвинутых гипотез было бы целесообразно провести экспериментальные исследования. Эксперименты должны быть направлены на проверку гипотезы о связи мощного электромагнитного импульса с вариацией силы тяжести  $dg$  при подаче его с помощью заземлений в землю.

## Литература

1. *Эйбт Дж. А.* Землетрясение. — М.: Недра, 1982. — 262 с.
2. Электромагнитные предвестники землетрясений: Сб. — М.: Наука, 1982. — 87 с.
3. *Соболев Г. А.* Проблема прогноза землетрясений//Природа. 1989. № 12. С. 47—54.
4. *Николаев А. В.* Наведенная сейсмичность как проявление нелинейных свойств геодинамического процесса: Тезисы конф. "Наука о Земле на пороге XXI века". Москва, 11—14 ноября, 1997. — 127 с.
5. *Садовский М. А., Писаренко В. Ф.* Сейсмический процесс в блоковой среде. — М.: Наука, 1991. — 91 с.
6. *Николаев А. В., Верецогина Г. М.* Об инициировании землетрясений подземными ядерными взрывами//ДАН. 1991. Т. 319. № 2. С. 333—336.
7. *Тарасов Н. Т.* Изменение сейсмичности коры при электрическом воздействии. (В печати).
8. *Сидорин А. Я., Журавлев В. И. и др.* Комплексные электрометрические исследования геодинамических процессов. Экспериментальная сейсмология. — М.: Наука, 1983. С. 149—162.
9. *Плескач Н. К.* Электроэнергетический сейсмический эффект//ДАН. 1986. Т. 290. № 6. С. 1342—1346.
10. *Пархоменко Э. И., Гаскаров И. В.* Сквальные и лабораторные исследования сейсмoeлектрического эффекта второго рода в горных породах/Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. № 9.
11. *Черняк Г. Я.* О физической природе сейсмoeлектрического эффекта горных пород/Там же, 1976. № 2. С. 13.
12. *Мигунов Н. И., Соболев Г. А., Фролов А. Д.* Письмо в редакцию по поводу усиления сейсмoeлектрического эффекта постоянным электрическим полем/Там же, № 10. С. 110—112.
13. *Полякова Т. А., Черняк Г. А.* О некоторых особенностях сейсмoeлектрического эффекта в маловлажных осадочных породах. 1984. Деп. № 601-84. — 35 с.
14. *Сочельников В. В., Небрат А. Г.* Теоретические оценки сейсмoeлектрического эффекта и его влияния на переходные характеристики становления поля//Геофизика. 1977. № 2. С. 28—38.
15. *Авсюк Ю. Н.* Приливные силы и природные процессы. — М., 1996. — 188 с.; *Соболев Г. А.* Проблема прогноза землетрясений. — М.: Природа. 1989. № 12. С. 47—54.
16. *Neaton T. H.* Tidal triggering of earth-quakers//Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1975. V. 43. № 17. P. 307—326.

17. Knoroff L. Earth tides as a triggering mechanism for earth-quakers. 13 ul.//Seismal. Soc. Amer. 1964. V. 54. № 6. P. 1865—1869.
18. Николаев А. В., Николаев В. А.//ДАН. 1993. Т. 330. № 2. С. 261—266.
19. Николаев В. А.//Там же, 1994. Т. 336. № 3. С. 98—101.
20. Стовас М. В. Некоторые вопросы тектоногенеза. — М.: Научно-техническое изд-во, 1963. С. 225—285.
21. Цзю Х., Гоффман В. Гравитация и относительность. — М.: Мир, 1965. С. 252—294.
22. Dicke R. H. Nature. 1962. V. 194. P. 329.
23. Dirac P. M. Proc. Roy. Soc. 1938. P. 165—199.
24. Жарков В. И. Внутреннее строение Земли и планет. — М.: Наука, 1978. С. 92.
25. Буланже Ю. Д. Некоторые результаты изучения неприливых изменений силы тяжести// ДАН. 1981. Т. 256. № 6. С. 1330—1331.
26. Авсюк Ю. Н., Щеглов С. Н. Неприливная глобальная вариация и ее исследование при абсолютных определениях силы тяжести//Там же, 1986. Т. 288. № 1. С. 71—74.
27. Авсюк Ю. Н. и др. Исследование приливной вариации силы тяжести абсолютным гравиметром. ГАБЛ-М//Физика Земли. 1997. № 9. С. 57—59.
28. Антонов Ю. В., Слюсарев С. В., Чирков В. Н. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести//Геофизика. 1997. № 1. С. 41—45.
29. Hellings R. W. et al.//Phys. Rev. Lett. 1983. V. 51. P. 1609.
30. Morgan T. A. and Peres A.//Ibid, 1962, V. 9. № 2. P. 79—80.
31. Зельдович Я. Б. УФН. 1966. № 89. — 647 с.
32. Лоскутов Ю. М. Гипотеза о новом виде гравитационных взаимодействий//ТМФ. 1995. Т. 105. № 2. С. 324—340.
33. Брагинский В. Б., Слабкий Л. И., Мартынов В. К. ВМУ, сер. 111, 122, 1967.
34. Джефорис К. Динамическая ориентация ядер. — М., 1965. — 319 с.
35. Григорьев В. И., Григорьева Е. В. Барроэлектрический эффект и электромагнитные поля планет и звезд. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 140 с.
36. Крылов С. М., Соболев Г. А. О сверхнизкочастотном вихревом гравитационном поле на земной поверхности//ДАН. 1994. Т. 339. № 3. С. 396—400.
37. Крылов С. М., Никифорова И. Н. О сверхнизкочастотном электромагнитном излучении активной геологической среды//Физика Земли. 1995. № 6. С. 42—57.

Автор выражает благодарность МЧС России  
за финансовую поддержку данной работы

## About possible larthquakes process

L. I. Urutskoev

"RECOM" RRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

*This paper deals with possible physical processes that can be a "trigger" in earthquakes. The hypothesis consists in the possibility of analog of the Zeeman's effect in gravitation field. According to this hypothetical effect the try for qualitative description of the earthquake as the exit of gravitation fields to the Earth surface was performed.*