

УДК 550.340

О МЕТОДИКЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ВНЕШНИХ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СИНХРОНИЗИРУЮЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАВКАЗА.

Введение

Явлением синхронизации называют установление определенной частотно-фазовой зависимости между физически слабо связанными между собой повторяющимися процессами [3, 15]. Говоря о синхронизации землетрясений, мы имеем в виду синхронизацию каким-либо внешним фактором, проявляющегося в приуроченности землетрясений к определенному диапазону фаз этого синхронизирующего фактора.

Землетрясение принадлежит к категории релаксационных процессов. Эти процессы могут повторяться самостоятельно или под воздействием внешних сил. Основная особенность состоит в наличии двух различных по своим свойствам фаз этих процессов. Первая фаза представляет собой длительный подготовительный этап, в течение которого происходит накопление энергии и приближение к критическому состоянию. Вторая, характеризуется быстрой разрядкой накопившейся энергии. Вблизи критического состояния, системы или устройства подобного типа легко поддаются провоцированию.

Следует указать, что принципиальная возможность управления процессом накопления – разрядки с помощью малых воздействий показана в лабораторных экспериментах имитирующих динамику сейсмических процессов [4, 5, 6].

Начало процесса накопления энергии в каждом потенциальном очаге различно, различны времена накопления и, соответственно, выделившаяся энергия, или мощность землетрясения. Различной может быть и чувствительность к внешним факторам, способным спровоцировать разрядку. Эта сложная система проявляет себя, в первую очередь, в виде моментов времени переходов релаксаторов из критического состояния в режим разрядки и значений выделившейся энергии для каждого релаксатора. Эти два параметра представляют основу для поиска и исследования внешних факторов, оказывающих воздействие на приближающиеся к критическому состоянию релаксаторы, то есть провоцирующие подготовленные землетрясения.

В качестве внешних факторов исследуются разные явления, в том числе обусловленные солнечной активностью и лунно-солнечными приливами. Результаты одних исследований свидетельствуют в пользу существенного влияния внешних факторов [1, 7, 8, 14, 16, 17, 20]. Результаты других не подтверждают этого влияния [2, 9, 18, 19, 21]. Это еще раз указывает на сложность задачи и необходимость продолжать исследование вопроса.

Методика исследования

Предположим, что в зоне подготовки землетрясения тектоническое напряжение $P(t)$ возрастает монотонно, и на него налагаются обусловленные внешними факторами, гармонически меняющиеся напряжения небольшой амплитуды. Суммарное напряжение $P_c(t)$ будет представлено в виде

$$P_c(t) = P(t) + \sum_1^n a_i \sin(\omega_i t + f_i) \quad (1)$$

где a_i, ω_i, f_i , соответственно, амплитуда, циклическая частота и начальная фаза напряжений, обусловленных n внешними факторами. Переход в режим разрядки, начало землетрясения, начнется в тот момент, когда суммарное напряжение $P_c(t)$ окажется равным усредненному пределу прочности среды P_m , то есть выполнится условие

Будем считать, что на последней стадии подготовки землетрясения, с момента $t = t_0$ и напряжения P_0 , на протяжении интервала времени $(t - t_0)$, соизмеримого с периодами внешних факторов, тектоническое напряжение $P(t)$ возрастает линейно со скоростью $b = dP/dt$

$$P(t) = P_0 + b(t - t_0).$$

В результате формула (1) приобретает вид:

$$b(t - t_0) + \sum_1^n a_i \cos(\omega_i t + f_i) = P_m - P_0 \quad (2)$$

Для наглядного представления всех принципиальных особенностей процесса, следует рассмотреть простейший пример воздействия на релаксатор одного фактора. Этому случаю будет соответствовать уравнение, являющееся частным случаем уравнения (2)

$$P_0 + b(t - t_0) + a \cos(\omega t + f) = P_m, \quad (3)$$

Момент начала процесса интегрирования энергии, t_0 , неизвестен. Для рассмотрения всех возможных вариантов событий, вместо одного уравнения (3) рассмотрим N уравнений для разных начальных моментов времени

$$b(t - (t_0 + \varepsilon n)) = P_m - P_0 - a \cos(\omega t + f), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, N, \quad (4)$$

где ε - временной интервал, задающий шаг. Значения ε и n выберем таким образом, чтобы с достаточным временным разрешением перекрыть несколько периодов колебаний.

Рисунок 1 показывает семейство прямых, соответствующее левым частям уравнений, и изменяющееся относительно критического уровня и одинаковое для всех уравнений напряжение внешнего фактора, определяемое правой частью уравнений. Очевидно, точки пересечения прямых и кривой, соответствуют корням системы уравнений и определяют моменты начала процесса разрядки релаксатора.

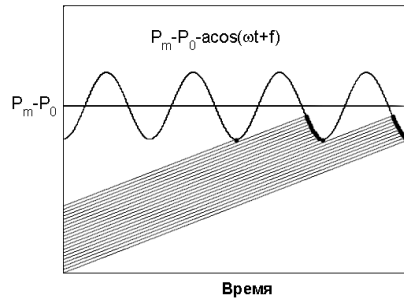


Рис. 1.

Рассмотрим расположение корней уравнений (4) относительно фазы изменения внешнего фактора на протяжении одного периода колебания T . Положим $\tau = t/T$, $\tau_0 = 0$, $f = 0$, $\Omega = \omega T$ и $\varepsilon = T/N$. Тогда (4) будет выражено относительно параметров внешнего фактора и примет вид:

$$A(\tau + n/N) = C - \cos \Omega \tau, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, N \quad (5),$$

где $A = Tb/a = b/a\omega$ - относительная скорость роста напряжения, $C = (P_m - P_0)/a$ - константа, определяющая относительный порог начала разрядки релаксатора.

В зависимости от относительной скорости роста напряжения, то есть угла наклона прямых, определяемого параметром A , будет изменяться область расположения корней относительно фазы внешнего фактора. На рисунке 2 представлены случаи для четырех различных значений A .

Основной вывод, который можно сделать, рассматривая первый случай, рис. 2а, для которого $A < 1$, состоит в том, что для ряда значений τ переход в режим разряда не происходит. Образуется своего рода «фазовая тень», которую хорошо демонстрирует распределение корней в зависимости от фазы внешнего фактора, приведенное на рис. 3а. Чем меньше значение A , медленнее возрастает напряжение, тем шире область тени, то есть уже область расположения корней вблизи момента максимума внешнего фактора. Это означает установление частотно-фазовой зависимости с внешним фактором, которое называется синхронизацией.

С увеличением A , как показано на рисунках 2б и 2в, область фазовой тени уменьшается и соответствующие распределения, представленные в виде гистограмм, принимают вид изображенный на рисунках 3б и 3в. После некоторого значения A фазовая тень исчезает, рис. 2г, однако информация о внешнем синхронизирующем факторе сохраняется в форме распределения, как это видно из рисунка 3г

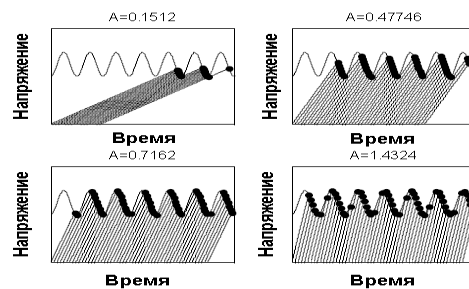


Рис. 2.

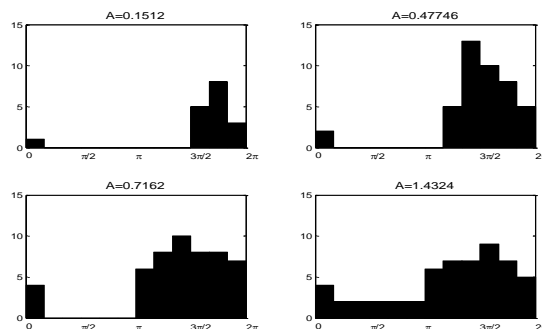


Рис.3.

Приведенные соображения содержат важный с методической точки зрения вывод. Он указывает на способ поиска факторов синхронизирующих релаксаторы. Из него следует, что, изучая распределения времен начала разрядки релаксаторов, в нашем случае распределение моментов землетрясений, можно обнаружить присутствие этого фактора и определить его характеристики.

Для множества значений A можно решить уравнение (5) и представить корни в виде диагностической диаграммы изображенной на рис. 4.

Она демонстрирует все изложенные выше свойства синхронизации релаксаторов. С увеличением A условие синхронизации ухудшается. Для больших значений разряд может произойти при любой фазе, а информация о наличии синхронизирующего фактора отображается в плотности распределения точек на диаграмме.

Синхронизация заметнее для релаксаторов (очагов готовящихся землетрясений), скорость возрастания напряжения, в которых уступает по величине максимальной скорости изменения синхронизирующего напряжения. Такими могут оказаться долго готовящиеся, сильные землетрясения. С физической точки зрения, такие релаксаторы должны представлять собой крупномасштабные интеграторы, реагирующие даже на слабые явления планетарного масштаба. Для кавказского региона такое медленное нарастание напряжений можно ожидать для долго готовящихся землетрясений с $M \geq 6$.

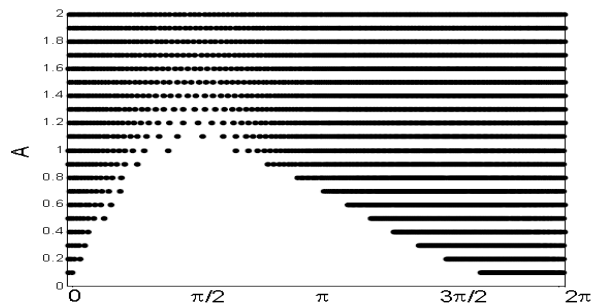


Рис.4.

Целью настоящей работы является исследование возможности обнаружения наличия приливного воздействия на процесс инициирования подготовленных землетрясений в регионе Кавказа, на основе анализа моментов времени землетрясений. Необходимые исходные данные содержатся в каталоге землетрясений Кавказа, включающем явления за 1962-1987 годы. В течение этого периода сейсмическая служба Грузии работала как единая и однородная инструментальная система.

Основная трудность исследования состоит в том, что количество землетрясений, которые имеют большие магнитуды, то есть готовятся медленно и должны проявлять большую чувствительность к воздействию синхронизирующего фактора, мало. На Кавказе произошло всего 30 землетрясений с магнитудой $M > 6$ на протяжении двадцатого века. Их исследование показывает интересные закономерности воздействия внешних синхронизирующих факторов [10, 11, 12, 13]. Землетрясений с меньшими значениями магнитуд, разумеется, гораздо больше, но для них характерным должна быть модуляция распределений моментов времени событий и наложение нескольких синхронизирующих факторов. Землетрясение инициируемые другим фактором будут искажать распределения получаемые для одного конкретного фактора. Это в значительной мере затрудняет исследование и интерпретацию результатов.

Известно, что для выявления периодичностей во временном ряде обычно используют спектральный анализ. Конечная длина и дискретность временного ряда являются причиной того, что вычисленная оценка спектра отличается от подлинного спектра. Еще одной причиной искажения спектра может быть неоднородность временного заполнения ряда, или неравноотстоящий набор данных формирующих исходный ряд. Моменты времени землетрясений представляют собой именно такие ряды. Спектральный анализ и интерпретация спектров таких рядов сильно затруднены. Для их анализа и интерпретации необходимо разрабатывать специальные методы.

Такую возможность предоставляют соображения, изложенные выше при рассмотрении модели синхронизации. Все исследуемые события, произошедшие в моменты времени t_i можно привести к одному интервалу, соответствующему исследуемому периоду T . Разделив значения моментов времени событий на значение периода, и отбросив целую часть, получим значения τ_i , представленные в интервале от 0 до T . Распределение значений τ_i называется распределением внутри искомого периода и является источником информации о синхронизирующем факторе. Пусть $D(\tau_k)$, где $k = 1, 2, \dots, N$, соответствующая этому распределению гистограмма. Изменяя значение T с достаточно мелким шагом можно получить все семейство распределений, не пропустив ни одного из значимых максимумов (существующих периодов). Исследуя форму распределений, можно выделить те из них, которые более других похожи на периодический гармонический или импульсный сигнал и более других отличаются от случайного распределения. Соответствующую вероятность отклонения от случайного распределения можно оценить с помощью критерия χ^2 .

Если в каком-либо из распределений, число событий значительно увеличится в узком фазовом интервале, то есть форма распределения окажется похожей на импульс, либо подобной синусоидальной, можно сделать заключение, что

соответствующий период выделяется и превалирует в исследуемом явлении. Значения параметров импульсных или синусоидальных функций, наиболее подобных приближений к этим распределениям, можно найти, изменяя их параметры, характеризующие фазу и вычисляя ковариацию - меру линейного подобия с распределением. Наилучшее значение параметров фазы будет соответствовать наибольшему значению ковариации. Для найденной фазы и ковариации можно оценить параметр размаха (амплитуды) и, таким образом, определить параметры указанных функций наилучшим образом приближающихся к $D(\tau_k)$.

Результаты исследования и заключение

Из упомянутого выше каталога землетрясений было отобрано два набора событий. Первый набор содержит 102 события с магнитудой $M > 4.7$, а второй 62 события с магнитудой $M > 5.0$. Эти наборы данных оптимальны с точки зрения как количества использованных для исследования явлений, так и выбора объектов по скорости возрастания напряжения и, следовательно, реализации условий синхронизации.

При помощи описанного метода исследовались периодичности в интервале 25-30 дней. В этом интервале ожидается наиболее выраженное проявление приливных периодичностей, которые известны как лунные месяцы – это синодический, сидерический, аномалистический и драконический месяцы. Им соответствуют следующие значения периодов равные 29.53, 27.32, 27.55 и 27.21 дням.

Результаты первого набора данных ($M > 4.7$) представлены на рис 5. На верхнем рисунке представлены оценки ковариации, полученные с помощью синусоидального и импульсного приближения. На среднем – оценки размаха, полученные с помощью тех же приближений. На нижнем рисунке представлена модифицированная оценка неслучайности явлений, полученная методом χ^2 . Необходимость модификации этой оценки вызвана тем обстоятельством, что для явно неслучайных периодов оценки очень близки к 1 и их восприятие затруднено. Использование величины в виде $1/P_{\chi^2}$ позволяет определить, в каком количестве случайных распределений один раз реализуется данное распределение. Представление в логарифмической шкале позволяет рассматривать эту величину в удобном масштабе. Например, периоду 29.53 дня соответствует величина этого параметра равная 6, что означает следующее – подобное распределение может реализоваться случайным образом только один раз в миллионе реализаций.

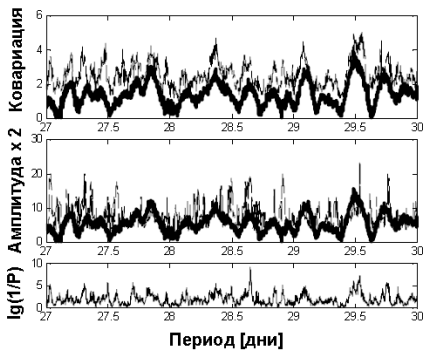


Рис. 5.

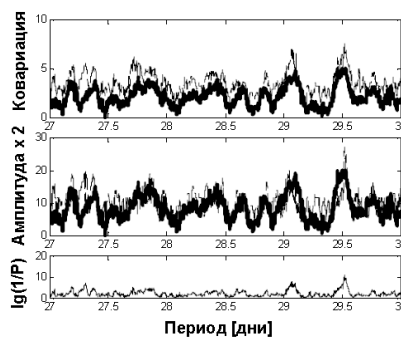


Рис. 6.

На рисунке 5, оценки ковариации отчетливо выявляют периодичность 29.5 дня, а в значениях амплитуды, оценки показывают период 29.53 дня.

Результаты второго набора данных, для землетрясений с $M > 5$, число которых составляет 62, представлены на рисунке 6. На рисуну четко выделяется период 29.53 дня.

Период 29.53 дня соответствует периоду повторяемости лунных фаз, которым соответствует максимальный прилив, являющийся суммой солнечной и лунной приливных волн.

Для определения фазы лунно-солнечного прилива, при которой происходит большая часть выбранных землетрясений, следует рассмотреть распределение угловых расстояний на небесной сфере между Луной и Солнцем. Это распределение представлено в полярных координатах на рис. 7. Распределение показывает, что существенный рост количества землетрясений происходит не в новолуние, как ожидалось, а в течение 2-5 дней после него. Этот сдвиг является предметом последующих исследований.

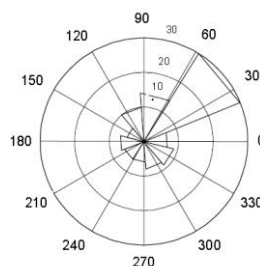


Рис. 7.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Allen M.W., 1956, The lunar triggering of earthquakes in southern California. Bull. seism. Soc. Am. Vol.26. p.147-157.
2. Beeler, N. M. and Lockner, D. A., 2003, Why earthquakes correlate weakly with the solid Earth tides: Effects of periodic stress on the rate and probability of earthquake occurrence, J. Geophys. Res., B108, 2391–2405.
3. Blechman, Synchronization of Dynamical Systems, 1971. (Sinchronizatsia Dinamicheskikh Sistem, Nauka, Moscow, in Russian.)
4. Chelidze, T., Varamashvili, N., Devidze, M., Tchelidze, Z., Chikhladze, V., and Matcharashvili, T., 2002, Laboratory Study of Electromagnetic Initiation of Slip, Ann. Geophys., 45, 587–599.
5. Chelidze, T. and Lursmanashvili, O., 2003, Electromagnetic and mechanical control of slip: laboratory experiments with slider system, Nonlin. Proc. Geophys., 20, 1–8.
6. T. Chelidze, T. Matcharashvili, J. Gogiashvili, O. Lursmanashvili, and M. Devidze, 2005, Phase synchronization of slip in laboratory slider system, Nonlin. Proc. Geophys., (2005) 12: 163–170.
7. Heaton T.N., 1975, Tidal triggering of earthquakes. Geoph. J. of the Royal Astr. Soc. vol.43. p.307-326.
8. Hoffman R.B., 1961, Aftershock-energy release versus tidal effects, Hebgen Lake earthquakes, Montana. US.Geol.Survey Prpf. Paper, 424-C. p.267-270.
9. Knopoff L., 1964, Earth tides as triggering mechanism for earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., vol.54. p.1865-1870.
10. ლურსმანაშვილი O.В., 1973, О периодичности сильных землетрясений Кавказа. "Изв. АН СССР Физ. Земли", 2.
11. ლურსმანაშვილი O.В., Гахокидзе Л.Д., Николадзе И.Е., Руда Л.Г., 1987, Результаты вычисления спектра повторения землетрясений Кавказа. "Сообщения АН ГССР", 1926, #1.
12. ლურსმანაშვილი O.В., Гахокидзе Л.Д., Руда Л.Г., 1987, Спектр повторения сильных землетрясений мира и некоторых сейсмоактивных регионов евразийского сейсмического пояса. "Сообщения АН ГССР", 126, № 2.
13. Lursmanashvili O., 2001, Role of exogenous factors in initiation of Caucasus earthquakes. Journal of the Georgian Geophysical Society. Issue (A), Physics of Solid Earth, v. 6.
14. Nikolaev, A. V. (Ed.), 1994, Induced Seismicity, Moscow, "Nauka", in Russian, 220.
15. Pikovsky, A., Rosenblum, M., Kurth, J., 2003, Synchronization: Universal Concept in Nonlinear Science, Cambridge University Press, Cambridge, 411.
16. Polumbo A., 1986, Lunar and solar tidal components in the occurrence of earthquakes in Italy. Geophys. J. Roy. Astron. Soc. Vol.84. #1. p.93-99.
17. Scholz, C. H., 2003, Good tidings, Nature, 425, 670–671.
18. Shlien S., 1972, Earthquake-tide correlation. Geoph.J.R.Astr.Soc. v.28.p.27-34.
19. Simpson J.F., 1967, Earth tides as a triggering mechanism for earthquakes. Earth. Planet. Sci. Lett, vol.2. p.473.
20. Sobolev, G. A. and Ponomarev, A. V., 2003, Physics of Earthquakes and Precursors, Moscow, "Nauka", in Russian, 270.
21. Vidale, J., Agnew, D., Johnston, M., Oppenheimer, D., 1998, Absence of earthquake correlation with earth tides: an indication of high preseismic fault stress rate, J. Geophys. Res., 103, 24 567–24 572.

უკ 550.540

კავკასიის მიწისძვრების მასინქრონიზირებული კვაზიპერიოდული ფაქტორების გამოვლენის მეთოდის შესახებ./ლურსმანაშვილი O., პაატაშვილი T., გეონჯიანი L./ჰმ-ს შრომათა კრებული -2008.-ტ.115.-გვ. 354-363.- რუს.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაჩვენებია გარე მასინქრონიზირებული ფაქტორების აღმოჩენის შესაძლებლობა, შემოთავაზებული მიწისძვრების სინქრონიზაციის მექანიზმის საფუძველზე. წარმოდგენილია ამ გარე ფაქტორების პერიოდულობის დადგენის მეთოდი, რომელიც ეფუძნება მიწისძვრების მოხდენის მომენტების განაწილებების ჰისტოგრამების ფორმების შესწავლას. გამოვლენილია მიმოქცევების ზემოქმედება კავკასიის რეგიონის მიწისძვრებზე მთვარე-მზის სინოდური თვის პერიოდით.

UDC 550.540

ON THE METHOD FOR REVEALING THE EXTERNAL QUASI-HARMONIC FACTORS SYNCHRONIZING EARTHQUAKES IN THE CAUCASUS./Lursmanashvili O., Paatashvili T., Geondjian L./Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. -2008. - ტ.115. – p. 354-363. - Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

A mechanism of earthquake synchronization by external impact is proposed. The possibility to detect this external factor by examination the shapes of histograms representing the distribution of earthquakes occurring time moments is shown. The tidal impact with Lunar-Solar synodic month period on Caucasus earthquakes is discovered.

УДК 550.540

О МЕТОДИКЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ВНЕШНИХ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СИНХРОНИЗИРУЮЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАВКАЗА./Лурсманашვილი O.В., Пааташვილი T.В., Геонджян L.А./Сб.Трудов Института Гидрометеорологии Грузии. –2008. – т.115. – с. 354-363. – Рус.; Рез. Груз., Англ., Рус.

Исходя из предложенного механизма синхронизации землетрясений, выявлены возможности обнаружения воздействия внешних факторов по форме гистограмм, представляющих распределения моментов времени землетрясений. Предложен метод оценки периодов воздействующих факторов на основе анализа форм этих гистограмм. Выявлено приливное воздействие, соответствующее периоду лунно-солнечного синодического месяца для региона Кавказа.