

---

---

## НАШИ ГОСТИ

---

---

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2015.3.55281

### ВАРИАЦИИ НАКЛОНА ГРАФИКА ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНЕ МИНГЯЧЕВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2015 Г.Д. Етирмишли, д.г.-м.н., С.Э. Кязымова, к.г.-м.н., Ш.К. Исламова

Национальная Академия Наук Азербайджана (НАНА), Республиканский Центр Сейсмологической Службы, Баку, Азербайджан, 1001, ул. Н. Рафибейли, 9,  
e-mail: sabina.k@mail.ru

Изучена величина наклона графика повторяемости  $\gamma$  (при использовании магнитудной шкалы), отражающая распределение числа землетрясений по их энергии и широко используемая для характеристики сейсмического процесса. По данным каталогов РЦСС НАНА были выбраны землетрясения, относящиеся к зоне Мингячевирского водохранилища за период 1935-2002 и 2003-2014 гг. Исследованы изменения величины наклона графика повторяемости землетрясений во времени для зоны Мингячевирского водохранилища. Проведены исследования по фрактальной статистике землетрясений в зоне Мингячевирского водохранилища, а также построена карта сейсмической активности за последние 10 лет.

**Ключевые слова:** закон Гутенберга-Рихтера, закон повторяемости землетрясений, наклон графика повторяемости, сумма сейсмической энергии.

### Введение

Вопрос о характере сейсмических проявлений в районе Мингячевирского водохранилища и возможности появления здесь индуцированных (так называемых наведенных) землетрясений возник еще при строительстве ГЭС. Как известно, территория Мингячевирского водохранилища расположена в пределах Куринской сейсмогенной зоны. Согласно проведенным расчетам с данной сейсмогенной зоной могут быть связаны максимальные события магнитудой  $M=5,3$ . Для территории Мингячевирского водохранилища принята сейсмичность 8 баллов [Геология Азербайджана, 2005]. Первое сообщение о событии в зоне Мингячевирского водохранилища относят к 1935-му году.

Таким образом, приоритетным направлением исследования является анализ сейсмической опасности территории республики с применением статистико-математических методов [Салтыков, Кравченко, 2009]. Одним из современных подходов к данной проблеме является изучение сейсмоактивности с помощью величины наклона графика повторяемости.

Величина наклона графика повторяемости  $\gamma$  (при использовании магнитудной шкалы) отражает распределение числа землетрясений по их энергии и широко используется для характеристики сейсмического процесса. Одним из интересных свойств наклона графика повторяемости для нас является его непостоянство во времени. Данная статья направлена на исследование во времени аномалии накло-

на графика повторяемости по данным Мингячевирского регионального каталога за период 1935–2014 гг.

### Повторяемость землетрясений

Для оценки повторяемости землетрясений применяется линейное соотношение Гутенберга-Рихтера [Gutenberg, Richter, 1954]. Полагая, что время возникновения землетрясений случайно, их число уменьшается экспоненциально с ростом магнитуды, а величина магнитуды не лимитирована.

На основе статистических данных строилась зависимость  $\lg N$  от  $M$ , где  $N$  – количество землетрясений с заданной магнитудой  $M$ . Далее эти данные аппроксимировались функцией (1):

$$\lg N = a + bM. \quad (1)$$

Зависимость (1) отражает закон повторяемости магнитуд Гутенберга-Рихтера, где  $a$  и  $b$  региональные константы.

Как известно, выделяемая при землетрясении энергия  $E$  связана с магнитудой следующим соотношением (2):

$$\lg E = \beta M + \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты. Магнитуда  $M$  есть не что иное, как эмпирическая мера силы землетрясения.

Учитывая приведенные выше равенства, закон Гутенберга-Рихтера выражает следующее скейлинговое соотношение:  $f(E) \sim E^{-d}dE$ , где  $f(E)$  – частота землетрясений, энергия которых больше  $E$ . Степенной показатель  $dE$ , в данном соотношении равный  $b/\beta$ , аналогичен фрактальной размерности, хотя и не является фрактальной размерностью в строгом смысле слова. Здесь показатель  $dE$  является скейлинговым параметром (фрактальной размерностью) распределения землетрясений по энергиям [Кадиров и др., 2010].

Среднеквадратичная ошибка в определении наклона графика повторяемости обратно пропорциональна квадратному корню из числа используемых для его определения землетрясений, поэтому для уменьшения ошибки необходимо увеличивать объем выборки. С другой стороны, увеличение выборки требует увеличения пространственно-временного размера используемой области, т. е. к ухудшению разрешающей способности. В связи с этим, на настоящей стадии исследования проведены расчеты с вариациями исходных параметров в широком диапазоне.

Таким образом, из данных полученных из каталогов РЦСС НАНА были выбраны землетрясения, относящиеся к зоне Мингячевирского водохранилища за период 1235–2002 и 2003–2014 гг.

Каталог содержал 506 землетрясений для периода 1935–2002 гг. с магнитудами от  $M=3,0$  до  $M=6,2$  и 1230 землетрясений для периода 2003–2014 гг. с магнитудами от  $M=3,2$  до  $M=5,7$ .

Наиболее очевидным вариантом является сравнение текущих значений наклона графика повторяемости со средними значениями за все время наблюдений в данной пространственной области. Нами проводилось сравнение со средним значением, полученным по Кавказу и равным 0,45.

На основе этих каталогов были построены графики повторяемости землетрясений, приведенные ниже (рис. 1, 2). На основе имеющихся данных для территории Мингячевирского водохранилища получены следующие зависимости количе-

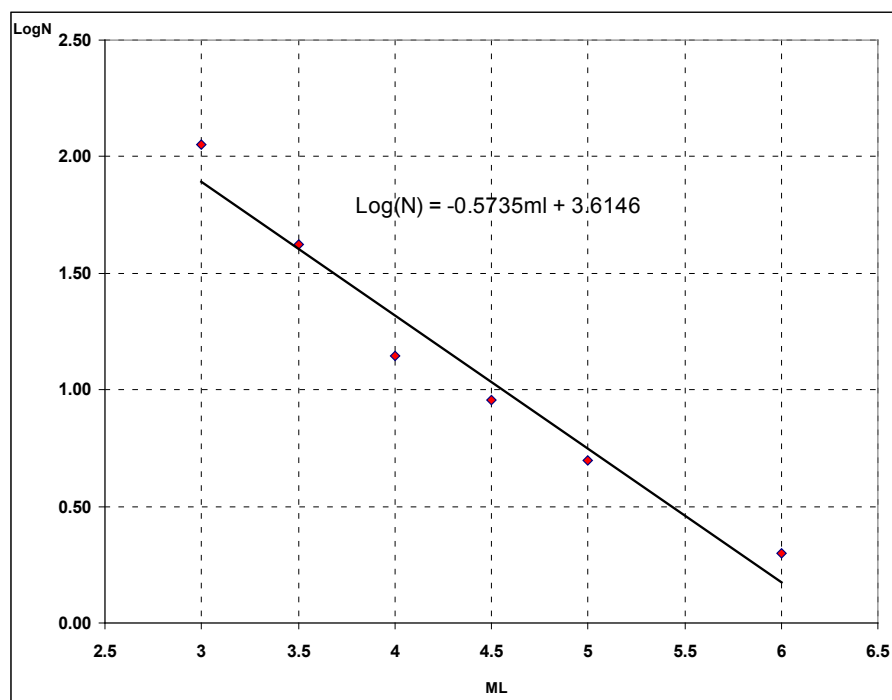


Рис. 1. График повторяемости землетрясений за период 1935–2002 гг.

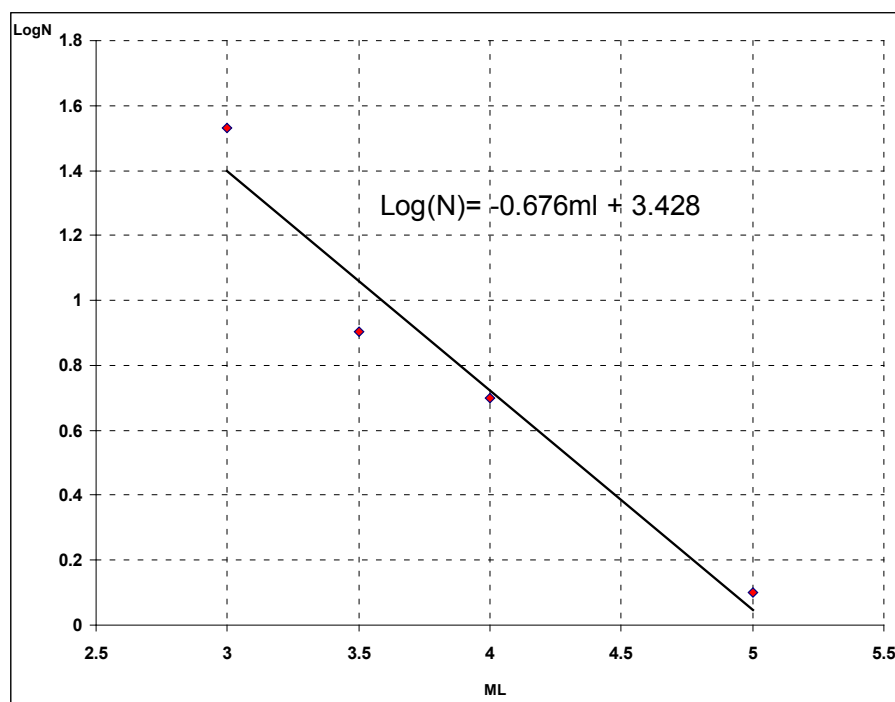


Рис. 2. График повторяемости землетрясений за период 2003–2014 гг.

ства землетрясений от магнитуды:  $\lg N = 3,6 - 0,57 M$  и  $\lg N = 3,4 - 0,68 M$ . Повышение значений наклона углов повторяемости, полученное нами, говорит о понижении сейсмичности. Мы видим, что в обоих случаях значение наклона угла графика повторяемости выше общепринятого значения по Кавказу.

Как известно, энергия сильных землетрясений и магнитуда связаны между собой формулой (формула Рихтера) со следующими коэффициентами (3):

$$\lg E = 11,8 + 1,5 M. \quad (3)$$

Эмпирические исследования показали, что для Кавказа, в случае, если магнитуда  $M \geq 5,5$ , то коэффициент  $\beta = 1,1$ , а в случае если  $M < 5,5$ , то коэффициент  $\beta = 1,5$  и совпадает со значением  $\beta$  в формуле Рихтера [Кадиров и др., 2010].

Используя эмпирически полученные значения  $b$  и  $\beta$ , вычислим фрактальную размерность  $dE = b/\beta$  для землетрясений Мингячевирского водохранилища за период 1935–2002 и 2003–2014 гг.:

- 1) для землетрясений 1935–2002 гг.  $dE = 0,57/1,8 = 0,31$ ;
- 2) для землетрясений 2003–2014 гг.  $dE = 0,68/1,5 = 0,45$ .

### Карта сейсмической активности $A_{10}$

Для вычисления сейсмической активности ( $A$ ) исследуемая территория разделяется на секторы размером  $25 \times 25$  км. Для центральной части каждого сектора вычисляется значение  $A$  с использованием формулы [Ризниченко, 1979]:

$$A = \frac{1 - 10^{-\lambda}}{10^{-\lambda(K_{\min} - K_0)}} \cdot \frac{S_0 \cdot T_0}{S \cdot T} \cdot N_{\Sigma} \quad (4)$$

Здесь  $S$  – площадь сектора, используемая для расчета данного значения  $A$ ,  $N_{\Sigma}$  – количество землетрясений, произошедших на этой площади,  $\lambda$  – угол наклона графика повторяемости землетрясений (в нашем случае он равен 0,68),  $K_0 = 10$ ,  $K_{\min} = 12$ , где  $K$  – энергетический класс землетрясений),  $T = 10$  лет (период, для которого имеются данные в каталоге).

Карта сейсмической активности представлена на рис. 3.

Анализ карты сейсмической активности позволяет выделить зоны с относительно высокой степенью активности ( $A_{10} = 2,0 - 1,6$ ) на левом берегу Мингячевирского водохранилища, и зоны с ( $A_{10} = 1,0 - 1,6$ ) на правом берегу водохранилища.

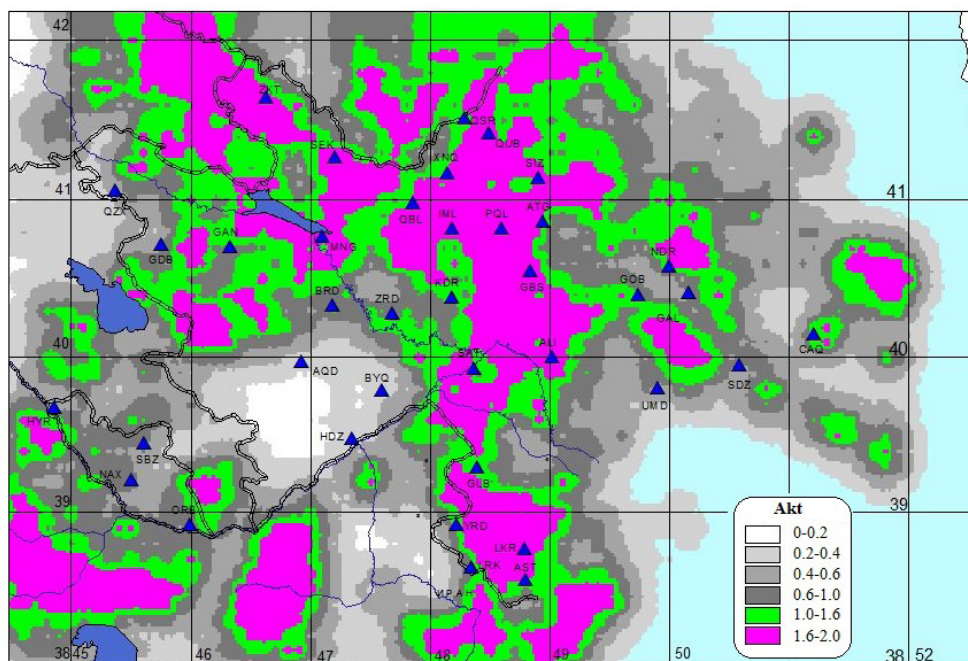


Рис. 3. Карта сейсмической активности Азербайджана, 2003–2014 гг.

### Выводы:

Исследованы изменения величины наклона графика повторяемости землетрясений во времени для зоны Мингячевирского водохранилища. Данная методика позволяет проследивать локальные временные вариации наклона графика повторяемости относительно фоновых значений в местах подготовки сильных землетрясений.

Было установлено значение наклона графика повторяемости землетрясений за период 1935–2002 гг. равное 0,57 и 0,68 для землетрясений для периода 2003–2014 гг. с магнитудами от  $M=3,2$  до  $M=7,0$ .

Проведенные исследования по фрактальной статистике землетрясений произошедших в зоне Мингячевирского водохранилища позволяют сделать следующие выводы: фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям равна 0,31 и 0,45.

### Литература

1. Геология Азербайджана, Том IV Тектоника, ред. Хаин В.Е., Ализаде Ак.А. 2005. Баку, Изд-во Nafta-Press, С. 214–234.
2. Кадиров Ф.А., Карагезова Н.Р., Кадыров А.Г. Фрактальные свойства землетрясений Азербайджана по энергиям и пространственному распределению эпицентров // Сейсмопрогностические исследования на территории Азербайджана, 2010 г., 1–7 с.
3. Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. М.: Наука, 1979. 192 с.
4. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Комплексный анализ сейсмичности Камчатки 2005–2007 гг. на основе регионального каталога // Вулканология и сейсмология. 2009. №4. С. 53–63.
5. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press, Princeton, 1954. 310 p.

DOI: 10.23671/VNC.2015.3.55281

## VARIATIONS OF SLOPE OF AN EARTHQUAKE RECURRENCE CURVE IN MINGYACHEVIR RESERVOIR ZONE

© 2015 G.D. Yetirmishli, Sc. Doctor (Geol.), S.E. Kyazymova, Sc. Cand. (Geol.), Sh.K. Islamova

Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Republican Seismic Survey Center, Nigar Refibeyli str. 9, Baku city, Azerbaijan, 1001, e-mail: sabina.k@mail.ru.

Value of slope of a recurrence curve  $\gamma$  which shows earthquakes number distribution on their energy and which is widely used for seismic process characteristics was studied (with the help of a magnitude scale). Earthquakes referred to Mingyachevir reservoir zone for the time period 1935–2002 and 2003–2014 have been chosen by the data of RCSS ANAS catalogues. Time variations of slope of an earthquake recurrence curve value were investigated for Mingyachevir reservoir zone. Investigations on the basis of fractal statistics of the earthquakes in the given zone were carried out and the map of seismic activity for a period of past 10 years was made.

**Key words:** Gutenberg-Richter law, recurrence law, slope of a recurrence curve, sum of seismic energy.