

ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЙСМИЧНОСТИ АБШЕРОН-ПРИБАЛХАНСКОЙ ЗОНЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Н.Р.Карагезова

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119*

Для Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря характерны землетрясения с относительно широким диапазоном магнитуд. В статье исследуются количественные характеристики самоподобия сейсмического процесса, протекающего в пределах Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря. Проводился фрактальный анализ для землетрясений ($2.5 \leq M \leq 7$) за временной интервал 1963-2013 гг. В результате для Абшерон-Прибалханской сейсмической зоны были определены закон повторяемости землетрясений (в частности, параметра b из закона Гутенберга-Рихтера) и фрактальные размерности распределения сейсмических событий по энергиям и эпицентрам. Рассчитанные фрактальные значения могут свидетельствовать о достаточно высоком уровне накопленного тектонического напряжения.

Введение. Абшерон-Прибалханская зона поднятий отделяет глубинный Южно-Каспийский бассейн от более мелкого северного Каспия и характеризуется относительно высокой сейсмичностью сравнительно с другими областями Каспия (Гаджиев, 1965; Агамирзоев, 1987; Хаин и Богданов, 2003). Для Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря характерны землетрясения с относительно широким диапазоном магнитуд. Анализ землетрясений данной зоны выявляет диапазон магнитуд приблизительно от 2 до 7. Отметим, что Абшерон-Прибалханская зона представляет сейсмическую опасность для Абшеронского полуострова. Важность сейсмических рисков и тщательного интегрированного изучения данной проблемы подчеркивается тем, что Абшеронский полуостров на сегодняшний день является быстро растущим густонаселенным урбанизированным регионом со столицей Баку.

В настоящее время теория фрактальных множеств и мультифрактальных мер широко применяется для описания многих природных процессов, в том числе и сейсмичности (Федер, 1991; Захаров, 2008; Turcotte, 1992).

В настоящей статье рассматриваются количественные характеристики самоподобия сейсмического процесса, протекающего в пределах Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря.

При проведении данного исследования нами были использованы различные каталоги землетрясений, на основе которых был составлен сводный каталог землетрясений, охватывающих территорию Азербайджана и сопредельные области.

За основу каталога землетрясений был принят каталог Геофизического Центра Российской Академии наук под редакцией А.А.Годзикинской (в который включены землетрясения Кавказа с древнейших времен до 1997 года) и Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии наук Азербайджана (Атлас землетрясений в СССР, 1962; Гасанов, 2003; Кондорская и др., 1977). Все эпицентры расположены в прямоугольнике с координатами: $39,0-41,0^\circ$ широты, $49,5-54,0^\circ$ долготы. Каталог содержит 893 землетрясения с магнитудами от $M=2,5$ до $M=7,0$. На рис. 1 представлена карта распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны за период 1963-2013 гг. Выбранный временной период (1963-2013 гг.) объясняется тем, что данные сейсмических каталогов за более ранний период, касающиеся землетрясений исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны, отличаются высокой степенью неполноты и недостаточной точностью данных.

Фрактальная размерность эпицентрального распределения землетрясений Центрально-Каспийской зоны (Абшерон-Прибалханский регион)

Для определения фрактального показателя (D_e) распределения эпицентров землетрясений нами использовался клеточный метод (Turcotte, 1992, 1997; Robertson et al., 1995; Захаров, 2008; Крылов, Бобров, 2004; Мандельброт, 2002). Данная методика была успешно апробирована при изучении фрактальных показателей сейсмичности различных регионов мира.

Сущность метода заключается в следующем. Исследуемое фрактальное множество покрывается сетью клеток со стороной размером r . Далее строится зависимость количества непустых клеток N от размера стороны клетки r , которую можно описать следующим соотношением: $\lg N(r) = -D_e \cdot \lg(r) + c$.

В приведенной формуле N – количество сейсмических событий в выборке с магнитудой $\geq M$, происшедших в регионе исследования за определенный временной интервал; c – эмпирический коэффициент; r – размер стороны клетки разбиения, который уменьшается с каждой итерацией. При этом исследуемое фрактальное множество считается однородным. Коэффициент D_e представляет собой фрактальную размерность изучаемого множества, т.е. фрактальную размерность эпицентрального распределения землетрясений.

На карте показаны эпицентры землетрясений исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны (рис. 1).

На рис. 2 приводится полученный на основе вышеописанного клеточного метода логарифмический график, выражающий зависимость количества непустых клеток N (то есть клеток, в которых располагается хотя бы один эпицентр землетрясений) от размера клеток разбиения

изучаемой территории r .

Как видно из приведенного выше графика, получено следующее соотношение: $\lg(N) = -1,10 \cdot \lg(r) + 0,92$. Следовательно, показатель фрактальной размерности распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханского участка Каспийского моря составляет $D_e = 1,10$. Установлено (Turcotte, 1992, 1997), что максимальное значение фрактальной размерности $D_e = 2$ является характеристикой полностью однородного распределения эпицентров. Чем ниже значения размерности распределения эпицентров D_e , тем выше степень их пространственной корреляции.

Фрактальная размерность энергетического распределения землетрясений Центрально-Каспийской зоны (Абшерон-Прибалханский регион)

Наряду с фрактальностью эпицентрального распределения землетрясений, исследовалась также фрактальность распределения землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря по энергиям. С этой целью на базе составленного сводного каталога был построен график повторяемости землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (рис.3). Как известно, график повторяемости выражает логарифмическую зависимость количества землетрясений от магнитуды.

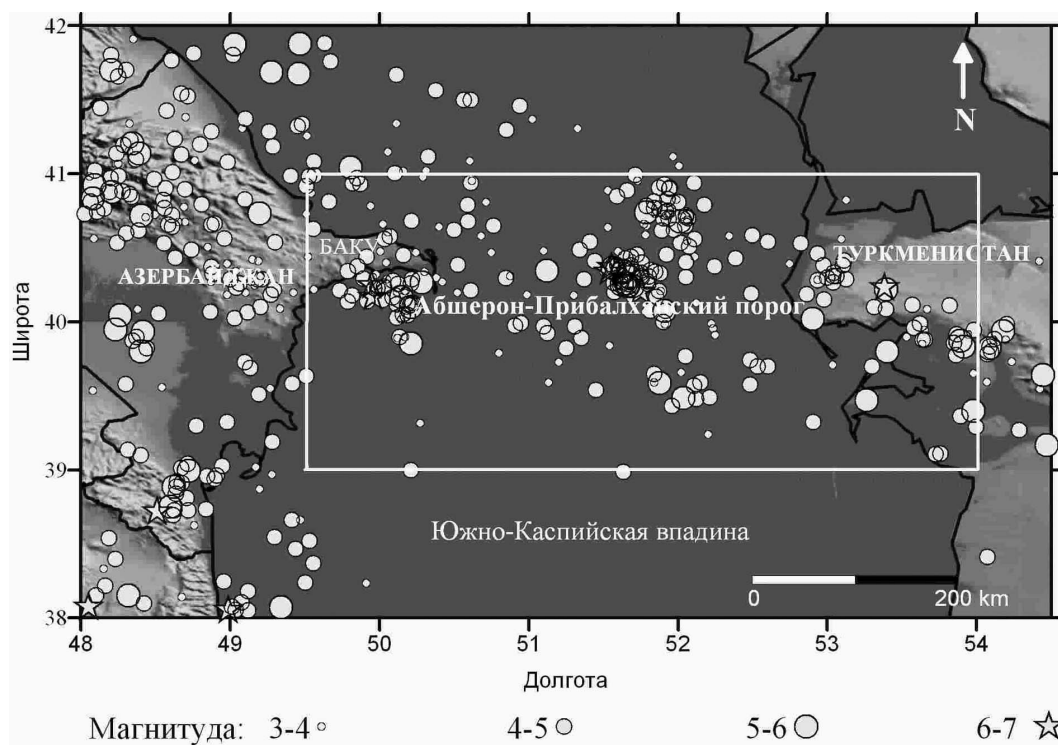


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

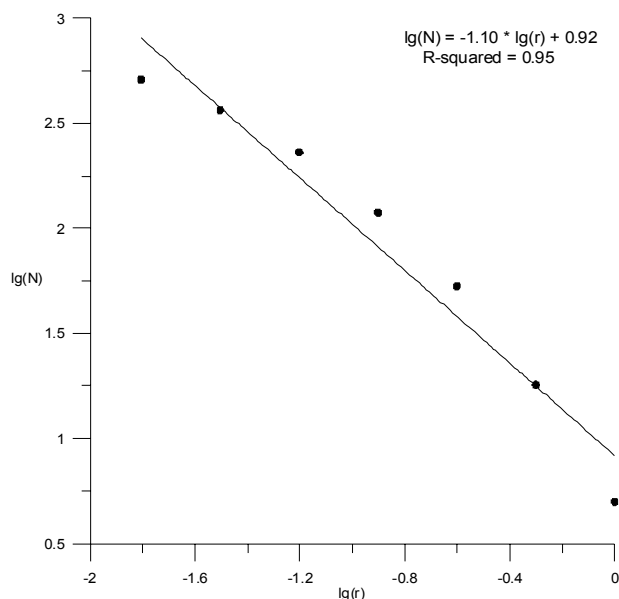


Рис. 2. Расчет фрактальной размерности распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

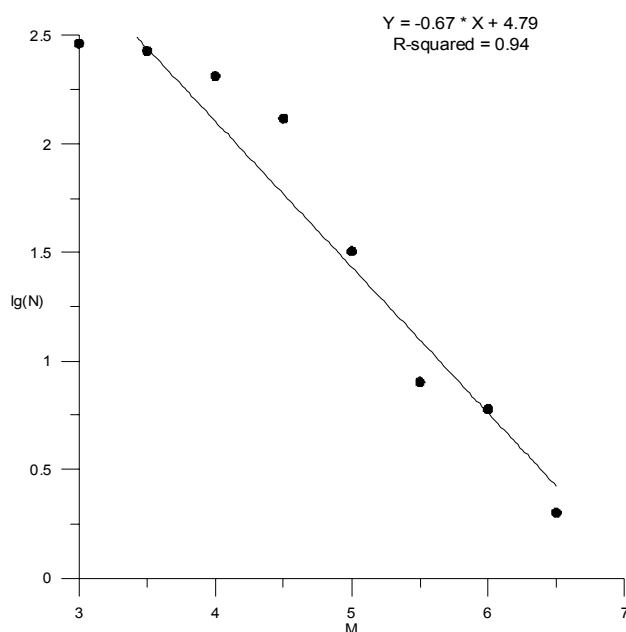


Рис. 3. График повторяемости землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

В результате было определено соотношение Гутенберга-Рихтера (Gutenberg and Richter, 1944; Richter, 1958) для землетрясений Абшерон-Прибалханской сейсмической зоны:

$$\lg N = 4,79 - 0,67M$$

В предыдущих исследованиях была получена формула, по которой вычисляется показате-

тель фрактальной размерности распределения землетрясений по энергиям: $d_E = b/\beta$ (Кадиров и др., 2011). Показатель b , определяемый из соотношения Гутенберга-Рихтера (в нашем случае b равен 0,67), выражает соотношение между числом больших и малых сейсмических событий. Среднее значение эмпирического коэффициента β , определяемого на основе формулы $\lg E = \alpha + \beta M$, составляет для Азербайджана 1,5 (Ризниченко, 1985). Следовательно, фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям для исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны имеет значение $d_E = 0,67/1,5 = 0,45$.

В сейсмологии существует известное теоретическое соотношение $D = 2b$, которое связывает параметр b из закона Гутенберга-Рихтера и фрактальные размерности распределения землетрясений по эпицентрам и разломам (Kanamori, Anderson, 1975; Касахара, 1985; Захаров, 2008). Данное соотношение выполняется приближенно. Как известно, фрактальная размерность распределения по энергиям связана с параметром b формулой $d_E = b/\beta$, где среднее значение $\beta = 1,5$. Следовательно, можно записать зависимость фрактальных размерностей распределения по эпицентрам от фрактальной размерности распределения по энергиям следующим образом: $D = 3 * d_E$. Рассчитанные для Абшерон-Прибалханской зоны показатели фрактальных размерностей распределения землетрясений по эпицентрам и по энергиям D_e и d_E позволяют получить соотношение, которое несколько ниже теоретического, но тем не менее может быть принято как достоверное ($1,10/0,45 = 2,44$).

Выводы. Полученные результаты согласуются с предыдущими исследованиями сейсмичности Абшерон-Прибалханской зоны (Telesca et al., 2012). В частности, было выявлено, что данная область характеризуется большим количеством землетрясений по сравнению с другими областями Каспийского моря. Рассчитаны показатели повторяемости землетрясений и фрактальные размерности распределения землетрясений по энергиям и эпицентрам для Абшерон-Прибалханской зоны. Получена фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны, которая составляет 1,10. Фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям для Абшерон-Прибалханской зоны принимает значение 0,45. Значение параметра b для всей Абшерон-Прибалханской зоны составляет 0,67. Принимая во внимание обратный характер связи между пара-

метром b , фрактальной размерностью распределения землетрясений по энергиям и накопленным тектоническим напряжением (Mogi, 1967, 2005; Manakou, Tsapanos, 2000; Pailoplee, Choowong, 2014), можно сделать вывод о достаточно высокой сейсмической опасности и потенциальных сейсмических рисках изучаемого региона.

Фрактальное соотношение D_0/d_E , полученное для землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны, составляет 2,44, и оно достаточно близко к теоретическому коэффициенту.

ЛИТЕРАТУРА

- АГАМИРЗОЕВ, Р.А. 1987. Сейсмотектоника азербайджанской части Большого Кавказа. Элм. Баку. 124 с.
- АТЛАС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СССР. 1962. Изд-во АН СССР. Москва.
- ГАДЖИЕВ, Р.М. 1965. Глубинное геологическое строение Азербайджана. Азербайджанское Гос. Издат. Баку. 200 с.
- ГАСАНОВ, А.Г. 2003. Ощутимые землетрясения Азербайджана 1983-2002 гг. Элм. Баку. 129 с.
- ЗАХАРОВ, В.С. 2008. Характеристики самоподобия сейсмичности и сетей активных разломов Евразии. Электронное научное издание "ГЕОразрез", 1, 20 с. http://www.georazrez.ru/articles/2008/1_1/zakharovkha_rakteristiki_samopodopiya_seysmichnosti.pdf
- КАДИРОВ, Ф.А., КАРАГЕЗОВА, Н.Р., КАДЫРОВ, А.Г. 2011. Фрактальные характеристики сейсмичности территории Азербайджана. *Изв. НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 1, 57-64.
- КАСАХАРА, К. 1985. Механика землетрясений. Мир. Москва. 264 с.
- КОНДОРСКАЯ, Н.В., ШЕБАЛИН, Н.В., ХРОМЕНЕЦКАЯ, Е.А. 1977. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древних времен до 1975 года. Наука. Москва. 535 с.
- КРЫЛОВ, С.С., БОБРОВ, Н.Ю. 2004. Фракталы в геофизике. СПбГУ. Санкт-Петербург. 135 с.
- МАНДЕЛЬБРОТ, Б. 2002. Фрактальная геометрия природы. 666 с.
- РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1985. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. Наука. Москва.
- ФЕДЕР, Е. 1991. Фракталы. Мир. Москва. 260 с.
- ХАЙН, В.Е., БОГДАНОВ, Н.А. (под ред.), 2003. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. М-б 1:2500000: Объяснительная записка. Научный мир. Москва. 120.
- GUTENBERG, B., RICHTER, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 164-176.
- KANAMORI, H., ANDERSON, D. 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Seis.Soc.Am.Bull.*, 65, 1073-1096.
- MANAKOU, M., TSAPANOS, T. 2000. Seismicity and seismic hazard parameters evaluation in the island of Crete and the surrounding area inferred from mixed data files. *Tectonophysics*, 321, 157-178.
- MOGI, K. 1967. Earthquakes and fractures. *Tectonophysics*, 5(35-55), 2005.
- PAILOPLEE, S., CHOOWONG, M. 2014. Earthquake frequency-magnitude distribution and fractal dimension in mainland Southeast Asia. *Earth, Planets and Space*, 66:8. doi:10.1186/1880-5981-66-8.
- RICHTER, C. 1958. Elementary seismology. Freeman. San Francisco. Calif. 768.
- ROBERTSON, M.C., SAMMIS, C.G., SAHIMI, M., MARTIN, A.J. 1995. Fractal analysis of three dimensional spatial distributions of earthquakes with a percolation interpretation. *Journal of Geophysical Research*, 100, B1, 609-620.
- TELESCA, L., BABAYEV, G., KADIROV, F. 2012. Temporal clustering of the seismicity of the Absheron-Prebalkhan region in the Caspian Sea area. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12 (11), 3279-3285.
- TURCOTTE, D.L. 1992. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University press. Cambridge.
- TURCOTTE, D.L. 1997. Fractals and chaos in geology and geophysics. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge. 398 p.

Рецензент: член-корреспондент НАН Азербайджана Г.И.Джалалов