

УДК 550.34

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТКП)

© 2013 И. А. Керимов, д.ф.-м.н., профессор, М. Я. Гайсумов, к.г.-м.н.,
С. В. Бадаев, О. М. Гайсумов, А. А. Додуев

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Россия 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пл. Орджоникидзе, 100, e-mail: lbragim_Kerimov@mail.ru

С целью изучения пространственно-временных характеристик землетрясений Терско-Каспийского прогиба был составлен сейсмический каталог за период 1960-2011 гг. Изучено распределение числа землетрясений по времени суток и их связь со временами года. Составлены графики повторяемости землетрясений для десятилетних периодов. Получено значение наклона графика повторяемости $\gamma = 0,52$, согласующееся с данными, полученными по Кавказу. Это позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа. Способом распределения рассчитана сейсмическая активность A_{10} для периода $T_{\min}=51$ лет и землетрясений энергетических классов K , лежащих в диапазоне от 9 до 16. Анализ карты A_{10} свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральной зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сеймотектоническим зонам.

Ключевые слова: каталог, землетрясения, гистограмма, повторяемость, сейсмическая активность

С целью анализа сейсмичности региона был составлен каталог землетрясений для трапеции, ограниченной параллелями 42° – 44° с.ш. и меридианами 44° – $47,5^{\circ}$. Каталог охватывает период 1960-2011 гг. и включает 6770 событий 7-16 энергетических классов. Для составления каталога использованы опубликованные материалы [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; Атлас ..., 1962; Землетрясение ..., 1990; Керимов и др., 1992; Малышева и др., 1979; Новый каталог ..., 1977; Региональный каталог ..., 1980; Смирнова и др., 1973, 1974; Смирнова, 1983; Шебалин, 1974; Геофизическая служба ..., 2012; Каталог землетрясений ..., 2012].

Распределение числа землетрясений по времени суток 1960-2007 гг. Ранее приуроченность большинства землетрясений к ночным и вечерним часам объяснялась их четкой фиксацией при отсутствии городских шумов и прочих помех. В настоящее время при современной инструментальной записи землетрясений такое объяснение не может быть удовлетворительным. Очевидно, объяснение следует искать в характере суточного вращения Земли [Уткин и др., 2012]. Сама по себе приуроченность большинства землетрясений к вечерним и ночным часам дает некоторые указания на характер сейсмического режима Земли, однако не имеет отношения к сейсмогенезису [Смирнова и др., 1973].

Были составлены гистограммы распределения числа землетрясений по времени суток для десятилетних периодов. На рис. 1. приведена суммарная гистограмма для всего изучаемого периода.

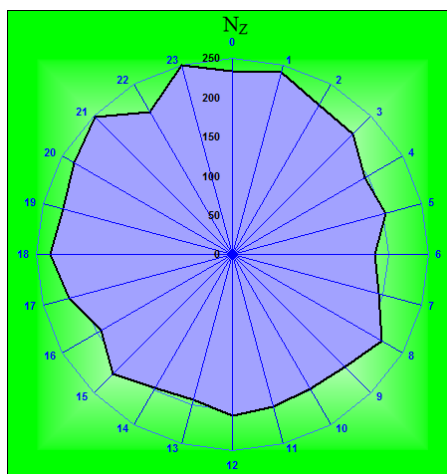


Рис. 1. Распределение числа землетрясений по времени суток 1960-2007 гг.

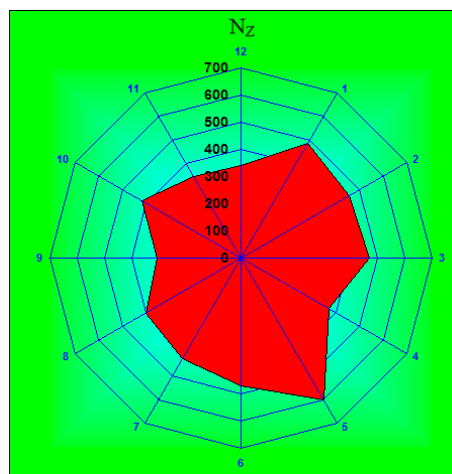


Рис. 2. Распределение землетрясений по временам года 1960-2007 гг.

Связь землетрясений с временами года. Анализ наиболее достоверных материалов за период 1960-2007 гг. обнаруживает приуроченность наибольшего количества землетрясения к весне (1446). Летом, осенью и зимой число землетрясений много меньше (1072-1302). Увеличение числа землетрясений весной объясняется характером вращения Земли вокруг Солнца.

Земля вращается вокруг Солнца по орбите, имеющей форму эллипса. Среднее расстояние между Солнцем и Землей составляет 150 млн. км. Самое кратчайшее расстояние между Солнцем и Землей бывает в декабре – январе, наибольшее в июне – июле. Разница между наименьшим и наибольшим расстояниями составляет 5 млн. км. Очевидно, при кратчайшем расстоянии между Солнцем и Землей твердые массы Земли наиболее чувствительны к притягательному действию Солнца и если землетрясение подготовлено в Земле другими причинами, то оно произойдет весной быстрее, нежели при меньших притягательных воздействиях Солнца в другие времена года.

По результатам анализа построены гистограммы распределения числа землетрясений по временам года для десятилетних периодов. На рис. 2. приведена гистограмма распределения числа землетрясений по временам года для периода 1960-2007 гг.

Распределение числа и энергии землетрясений за период 1960-2011 гг. Построены линейные гистограммы распределения числа и энергии землетрясений по годам выделенных ранее десятилетних периодов, соответственно на рис. 3 (а, б) за весь изучаемый период. Из анализа гистограмм можно сделать вывод об изменении сейсмологической активности региона по времени.

Землетрясения и солнечная активность (1994-2005 гг.). Предполагается, что влияние солнечной активности на тектонические процессы осуществляется через изменение угловой скорости вращения Земли. Н. Стойко установил связь глубоководных землетрясений Земли с изменением угловой скорости. А. Д. Сытинский на основании сопоставления солнечных и сейсмических данных за 1957-1960 гг. пришел к выводу, что землетрясения имеют прямую связь с солнечной активностью и возникают за счет быстротекущих процессов, вызванных очевидно, скачкообразными изменениями угловой скорости [Сытинский, 1963].

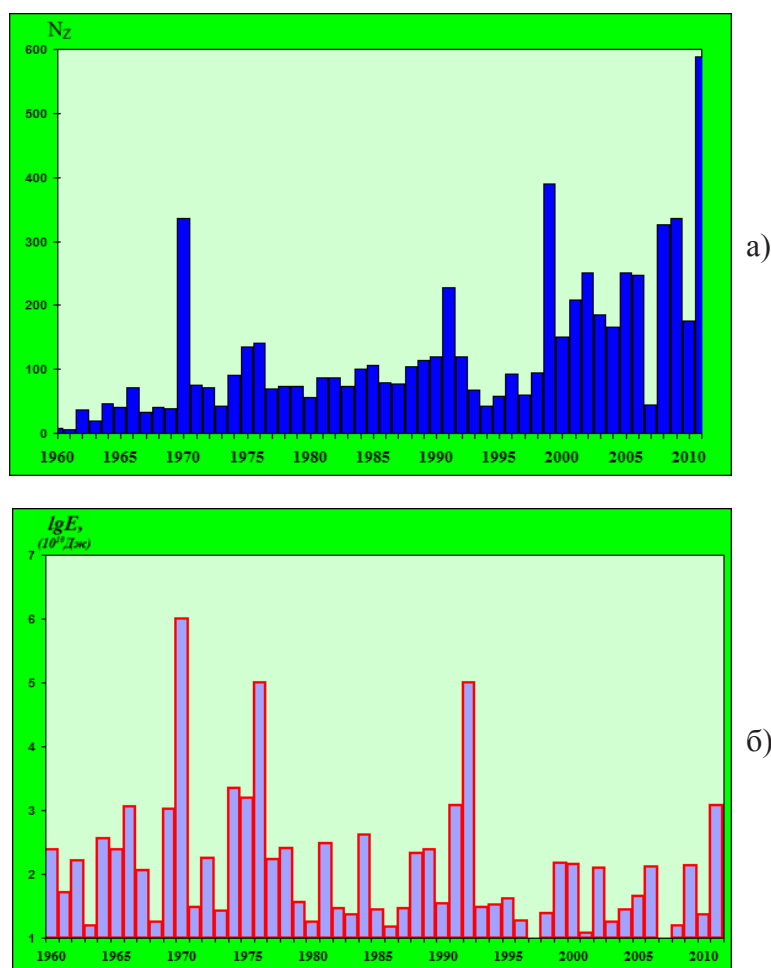


Рис. 3. а) График распределения числа землетрясений;
б) график распределения энергии землетрясений

Известные случаи изменения угловой скорости происходили в 1897, 1920, 1957 г. По ряду причин мы не можем провести статистическую обработку материалов сейсмичности на Северном Кавказе, в спокойные годы и в годы изменения угловой скорости. В 1897 г. инструментальной записи землетрясений еще не велось, в 1920 г. единственная в то время на Северном Кавказе Пятигорская сейсмическая станция прервала свою работу. В 1957 г. – в год изменения угловой скорости вращения Земли – на Северном Кавказе действительно наблюдался рой землетрясений. В центральной и восточной частях Северного Кавказа в 1957 г. произошло 271 землетрясение, а за шесть последующих лет – с 1958 по 1963 г., – лишь 156 землетрясений. Вспышка сейсмической активности 1957 г. может быть объяснена изменением ротационного режима Земли – одной из многих причин, порождающих сейсмичность Земли.

Наиболее известным, и изученным индексом солнечной активности являются солнечные пятна. Изменение интенсивности солнечных пятен подчиняется 11-летней цикличности (цикл Швабе-Вольфа), хотя обнаружен еще и 80-90-летний (вековой) цикл солнечной активности. Солнечные пятна являются активными областями Солнца, областями сильных горизонтальных и вертикальных течений газов, находящихся в вихревом движении. И извержения газов из недр Солнца по-

сылают к Земле усиленный поток ультрафиолетовых лучей и потоки космических лучей.

Известно, что испускаемые Солнцем лучи и частицы производят заметное влияние на некоторые земные явления (наблюдаются яркие полярные сияния, возникают сильнейшие магнитные бури, начинают течь теллурические токи, увеличивается интенсивность радиоволн). По данным исследований Международного геофизического года, пояса заряженных частиц являются промежуточным звеном во всех взаимодействиях между Солнцем и Землей.

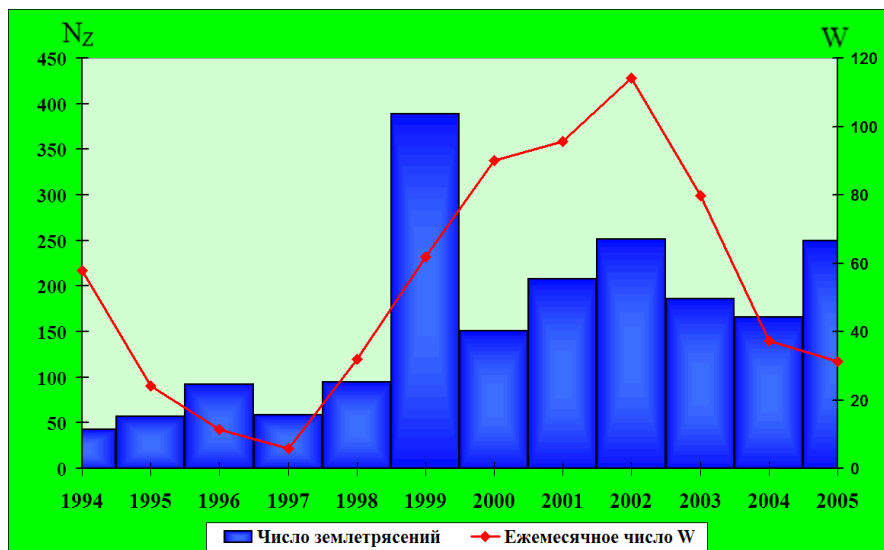


Рис. 4. Распределение количества землетрясений и относительных чисел солнечных пятен за 1994-2005 гг.

График повторяемости (и соответственно закон повторяемости землетрясений) является главнейшей характеристикой сейсмического режима [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985]. График повторяемости представляет собой статистическую функцию распределения частоты – N возникновения землетрясений по энергетическим классам $K = \lg E$. В большинстве случаев график повторяемости землетрясений в первом приближении прямолинеен. В этом случае он определяется тремя главными параметрами сейсмического режима:

1) наклон графика повторяемости землетрясений γ ;

2) сейсмическая активность, A – начальная ордината этого графика для фиксированного значения K , обычно равное 10;

3) величина максимально возможного землетрясения K_{max} , которая определяет правое окончание графика повторяемости. Существуют представления, что график повторяемости землетрясений отра-

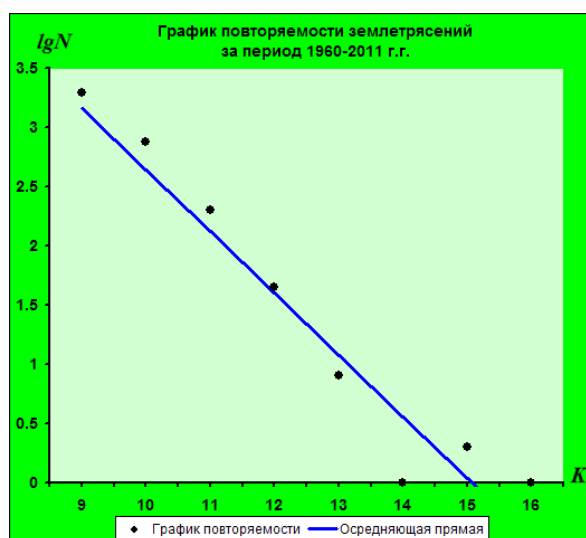


Рис. 5. График повторяемости землетрясений

жает ряд общих закономерностей разрушения твердых тел [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

Для изучаемого региона с целью построения графика повторяемости землетрясений были использованы данные по сейсмичности за 48 лет (1960-2007 гг.), начиная с предствительных землетрясений $K=9$. График повторяемости землетрясений был построен путем определения в пределах каждого класса ($K \pm 0,5$) числа землетрясений.

Были составлены графики повторяемости землетрясений для десятилетних периодов. На рис. 5. приведен график повторяемости землетрясений для периода 1960-2011 гг. Из него видно, что, действительно, в первом приближении этот график имеет прямолинейную форму. Здесь же приведена осредняющая прямая, полученная методом наименьших квадратов и характеризующая закон повторяемости землетрясений:

$$\lg N = 7,84 - 0,52K \quad (1)$$

Для этого графика параметр γ равен 0,52. Это значение согласуется с данными, полученными по Кавказу [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985]. Полученный результат позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа, Это, по-видимому, справедливо лишь для достаточно большого интервала времени.

Наклон γ графика повторяемости землетрясений имеет большое теоретическое и практическое значение и может, в частности, использоваться для прогноза сильных землетрясений. Для этой цели необходимо анализировать флуктуацию параметра γ во времени. Перед большим землетрясением значение параметра γ уменьшается с последующим увеличением после землетрясения [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

Анализ данных повторяемости землетрясений (рис. 5) свидетельствует, что график повторяемости имеет ступенчатую форму. Для территории ТКП достоверные различия можно установить между значениями повторяемостей землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13, 13 и 14 классов. Различия между значениями повторяемостей землетрясений 14 и 15 классов не достоверны. П. Н. Николаевым (1978) для территории Кавказа и других районов нашей страны были получены графики повторяемости землетрясений ступенчатой формы, и установлено для территории Кавказа наличие достоверных различий между средними значениями повторяемости землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13 энергетических классов и отсутствие достоверных различий между средними значениями повторяемости землетрясений 11 и 12, 13 и 14, 14 и 15 классов.

Сравнительный анализ графиков повторяемости землетрясений для Кавказа в целом и для Чечено-Ингушетии показывает, что первый имеет двухступенчатую форму, а второй характеризуется наличием только одной ступени. Для получения графика повторяемости землетрясений Кавказа П. Н. Николаевым (1978) были использованы данные за 1962-1971 гг., в нашем же случае за 1960-2007 гг. Это, а также разный охват территорий может служить объяснением различия между указанными графиками повторяемости землетрясений.

Сложная форма графика повторяемости землетрясений отражает взаимодействие различных факторов, влиявших на процесс хрупкой деформации земной коры, и свидетельствует о зависимости этого процесса от палеотектонических и но-

вейших тектонических движений. По данным П. Н. Николаева (1978) степень влияния этих факторов в геологических условиях Кавказе достигает 30%.

Сейсмическая активность (А) является одним из основных параметров, характеризующих сейсмический режим территории. Под сейсмической активностью в некоторой точке понимается число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса, которые возникают в окрестности этой точки в единице пространства (объем или площадь, если оговорен диапазон глубин) и в единицу времени [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

В настоящее время в нашей стране наибольшее распространение получила сейсмическая активность $A=A_{10}$, которая представляет число очагов землетрясений $K=10 \pm 0,5$ ($M=3,3 \pm 0,3$), отнесенное ко времени 1 год и к площади 1000 км². Сейсмическая активность A_{10} широко применяется в регионах с умеренной сейсмичностью, к которым относится и исследуемая территория, где землетрясения величиной $K=10$ обычно самые массовые и надежные из представительных. В районах с высокой детальностью исследований применяется сейсмическая активность $A=A_7$, а в районах с особенно высокой сейсмичности $A=A_{15}$. Однако, в последнем случае относится к площади 10^{5,5} км², что приводит к совпадению значений A_{10} и A_{15} .

В настоящее время существует несколько способов расчета сейсмической активности: суммирование с постоянной детальностью; суммирование с постоянной точностью; комбинированный; распределения.

Способ суммирования с постоянной детальностью осуществляется путем суммирования числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Для расчета используется формула Ризниченко Ю. В. (1964), которая при нормировании количества землетрясений на 1000 км² и за 1 год имеет следующий вид:

$$A_{10} = N_{\Sigma} \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{\gamma(K_{\min} - 10)}} \cdot \frac{1000}{S \cdot T} \quad (2)$$

где N_{Σ} – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью S км², приведенное к периоду T представительности землетрясений класса энергии K_{\min} ; K_{\min} – наименьший из представительных класс энергии; γ – наклон графика повторяемости.

Способ суммирования с постоянной точностью позволяет определить сейсмическую активность с заданной точностью. Этот способ предполагает присутствие постоянного количества эпицентров в каждой зоне осреднения, т.е. переменный радиус осреднения.

Комбинированный способ заключается в сочетании двух предыдущих способов.

Способ распределения был предложен Ризниченко Ю. В. и Нерсесовым И. Л. в 1960 г. и применялся при построениях первых карт параметра A . В последующем, более широко применялся способ суммирования, характеризующийся простотой вычислений и возможностью учета при расчетах эпицентров сильных землетрясений. Опыт расчета карт A по различным регионам страны показал, что эти преимущества реализуются лишь при наличии однородного материала долговременных исследований. Карты сейсмической активности A , рассчитанные способами суммирования и распределения, идентичны в пределах погрешности. Но это спра-

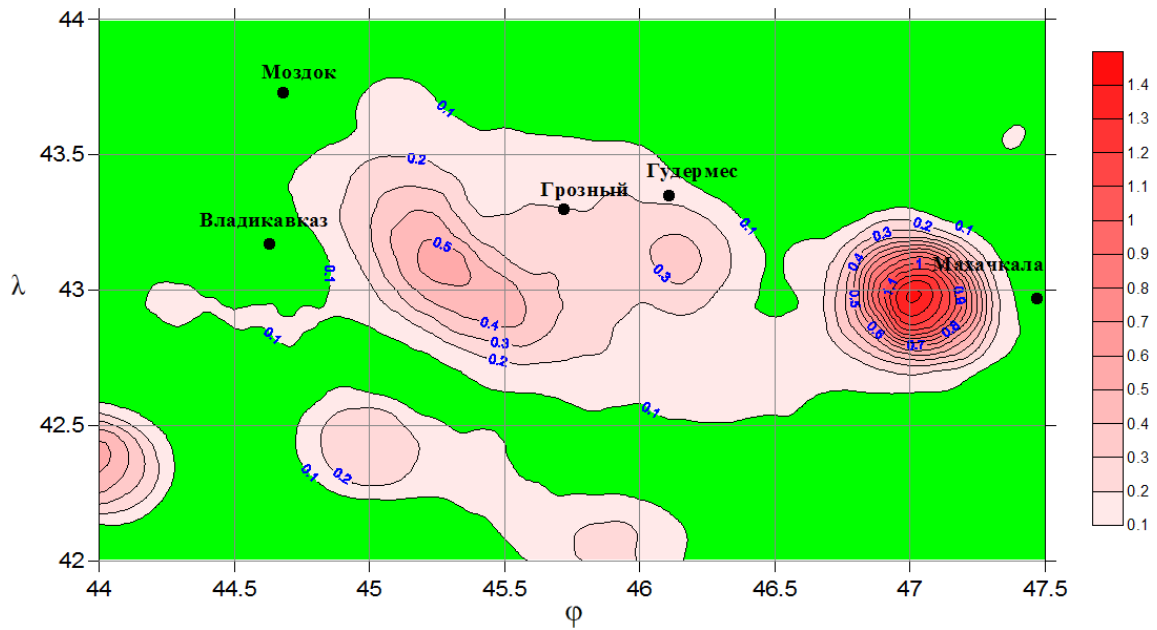


Рис. 6. Схема сейсмической активности A_{10} в изолиниях без различия глубин гипоцентров землетрясений за период 1960-2011 гг.

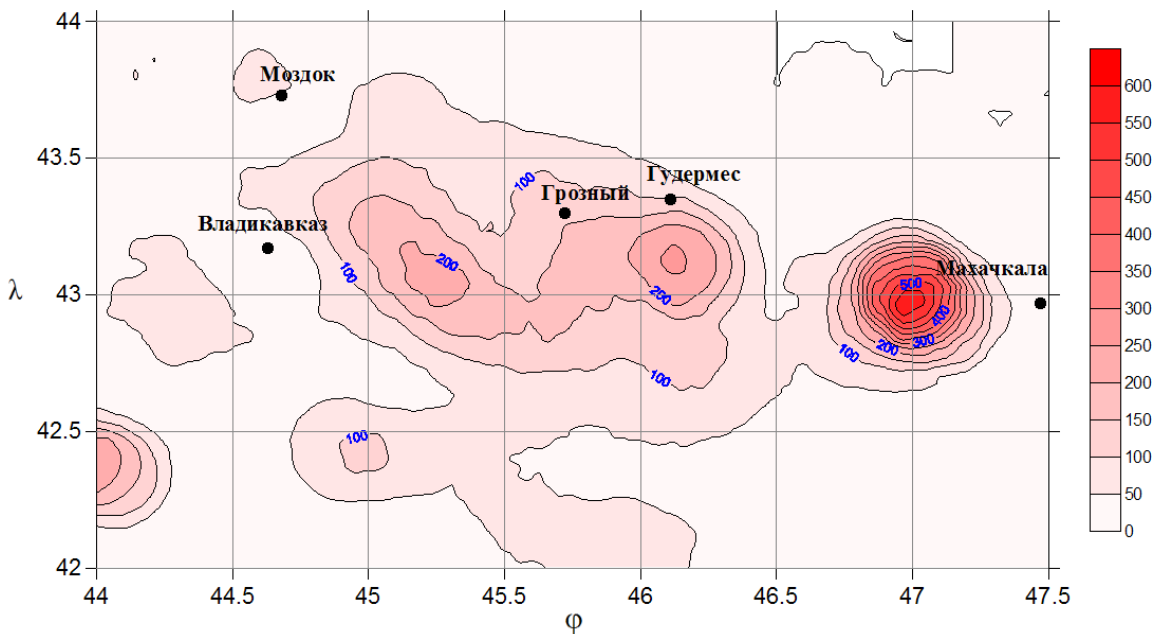


Рис. 7. Карта плотности эпицентров за период 1960-2011 гг.

ведливо лишь при равномерном распределении эпицентров всех представительных классов по площади. В противном случае карты A различаются как по уровню, так и по конфигурации.

В связи с вышеизложенным было отдано предпочтение расчету сейсмической активности способом распределения эпицентров в каждой зоне осреднения:

$$A_{10} = \frac{\sum_{K=K \min}^{K \max} N_k^2 C_k^{10} \cdot \frac{1000}{ST_{\min}}}{\sum_{K=K \min}^{K \max} N_k}, \quad (3)$$

где N_K – число землетрясений класса K , происшедших за T_{\min} лет на площади S км²;

C_k^{10} – коэффициент перехода от активности по классу K к активности по классу $K=10$.

K может меняться от K_{\min} до K_{\max} из числа классов энергии землетрясения, представительных в районе исследований.

Коэффициент C_k^{10} рассчитывается по следующей формуле:

$$C_k^{10} = 10^{\gamma(K-10)} \quad (4)$$

При неодинаковых периодах представительности землетрясений разных энергетических классов они должны быть приведены к периоду наименьшего из представительных классов.

Блок расчета сейсмической активности способом распределения был включен в описанную выше программу для персонального компьютера. Расчет A_{10} производился по формулам 3 и 4 для указанных периода $T_{\min}=51$ лет для землетрясений энергетических классов K , лежащих в диапазоне от 9 до 16.

На рис. 6 приведена карта сейсмической активности, полученная способом распределения при указанных параметрах. Числовые значения A_{10} наносились на карту в соответствующие зоны заданной сети.

Анализ карты A_{10} (рис. 6) свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральной зоне сильных землетрясений и соответствуют известным сеймотектоническим зонам.

Литература

1. Ананьин И. В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977. 148 с.
2. Асманов О. А., Даниялов М. Г., Левкович Р. А. Сейсмическая активность территории центрального Дагестана. М.: Лика, 2003. 134 с.
3. Атлас землетрясений в СССР / Под ред. Саваренского Е. Ф. М.: АН СССР, 1962. 337 с.
4. Захарова А. И. Расчет параметров сейсмического режима на ЭВМ. Ташкент: РАН, 1972. 143 с.
5. Землетрясение 3 августа 1989 года на Северном Кавказе / Б. М. Богачкин, И. П. Габсатарова, А. И. Захарова и др. Обнинск.: ОМЭ ИФЗ АН СССР, 1990. 37 с.
6. Керимов И. А., Крисюк И. М., Гайсумов М. Я. Геофизические поля, системы разломов и сейсмичность Чечено-Ингушетии. Депонировано в ВИНТИ. №1066-В92 от 30.03.1992. 91 с.
7. Малышева В. В., Смирнова М. Н., Бражник В. М. Землетрясения 1950-1955 гг. в районе нефтяного месторождения Гудермес / Сейсмологический бюллетень Кавказа 1976 г. Тбилиси: Мецниереба, 1979. С. 210-222.
8. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под общей редакцией Кондорской Н. В., Шебалина Н. В. М.: Наука, 1977. 535 с.
9. Региональный каталог Кавказа / Землетрясения в СССР в 1976 г. М.: Наука. 1980. С. 127-137.
10. Ризниченко Ю. В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

11. Смирнова М. Н., Рустанович Д. Н., Санаев О. А. Ачхой-Мартановское землетрясение 17 (18) июня 1969 г. / Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1973. С. 29-32.
12. Смирнова М. Н. Терское (Эльдаровское) землетрясение 10 августа 1912 года // Проблемы физической географии Северо-Восточного Кавказа и сопредельных территорий. Грозный: ЧГУ, 1983. С. 83-92.
13. Смирнова М. Н., Рустанович Д. Н., Новицкая Н. А. Старогрозненское землетрясение 1971 г. / Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа. Январь-июнь 1973 г. Тбилиси: Мецниереба, 1974. С. 105-115.
14. Сытинский А. Д. О возможности влияния солнечной активности на сейсмичность Земли / Бюллетень совета по сейсмологии № 15. Изучение внутреннего строения Земли по сейсмическим данным. М.: АН СССР, 1963.
15. Уткин В. И., Юрков А. К., Цурко И. А. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 1. С. 3-13.
16. Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974.
17. Геофизическая служба РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru/>. 2012.
18. Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4,0$ ($K \geq 11,0$) с древнейших времен до 2000 г. Составитель Годзиковская А. А. / МЦД по физике твердой Земли. Геофизический центр РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/catrudat.html>. 2012

SPACE-TIME CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKES OF TERRITORY TERSKO-KASPIYSKY BASIN

Kerimov I. A. Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof, Gaysumov M. Y., Sc. Candidate (Geol.) Badaev S. V., Gaysumov O. M., Doduev A. A.

GGNTU Academician M. D. Millionshchikov of «Applied Geophysics and Geoinformatics»

In order to study the spatio-temporal characteristics of Tersko-Caspian earthquakes epyseismic catalogue was compiled trough for the period 1960-2011. Studied the distribution of earthquakes in the day time, and their relationship with the seasons. Schedules the frequency of earthquakes for 10-year periods. Calculated value of the frequency graph slope $\gamma = 0.52$, consistent with the data obtained for the Caucasus. This suggests that for a relatively small regions of earthquake frequency the graph slope keeps the mean value for the whole of the Caucasus. Using distributing process the seismic activity A_{10} calculated for the period $T_{\min}=51$ years and earthquake energy classes, ranging from 9 to 16. Analysis of A_{10} maps shows significant unevenness of seismic activity of the region. A zone of high seismic activity geographically confined to the epicenter zones of strong earthquakes and correspond to the known seismotectonics area.

Keywords: catalogue, earthquake, histogram, frequency, seismic activity