

УДК 550.34 (470.6)

DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20826

## АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТЕРРИТОРИИ ЧЕЧЕНСКОЙ И ИНГУШСКОЙ РЕСПУБЛИК) И ЗАДАЧА ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2016 С.В. Бадаев

ФГБУН Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова  
Российской академии наук 364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный,  
Старопромысловское шоссе, 21а, e-mail: kniiran@mail.ru

Работа посвящена изучению сейсмичности территорий Чечни и Ингушетии. Сделан анализ литературных источников по истории изучения сейсмичности Кавказа по геолого-геофизическим данным. Пространственно-временного распределения сейсмической активности территорий за период с 1950–2015 гг. Построены карты эпицентров землетрясений, сейсмической активности  $A_{10}$ , график повторяемости, график Беньофа.

**Ключевые слова:** землетрясение, эпицентр, график повторяемости, график Беньофа, сейсмическая активность  $A_{10}$ .

Настоящая статья посвящена значимости исследования различных вариантов, характера поведения функции распределения землетрясений в области редких сильнейших землетрясений. В статье обсуждаются такие известные закономерности сейсмического режима, как уменьшение наклона графика повторяемости в преддверии сильных землетрясений, развитие афтершоковой очередности и предвестниковой активизации, а также существование сейсмического цикла.

Северный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмичностью в европейской части России. Выявление здесь потенциальных сейсмических очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений имеют чрезвычайное значение для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в этом густонаселенном и промышленно развитом регионе страны. Вопросам изучения сейсмичности и сейсмотектоники Кавказа посвящено значительное количество публикаций Ананьина И.В., Горшкова Г.П., Джибладзе Э.А. Смирновой М.Н., Рогожина Е.А., Заалишвили В.Б., Керимова И.А. и других исследователей [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; Горшков, 1984; Джабраилова, 1989; Джибладзе, 1980; Керимов, Моллаев, 1989; Керимов и др., 2013; Керимов, 2014; Керимов, Ахматханов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Керимов, Гайсумов, 2009, 2010, 2012; Ризниченко, 1985; Рогожин и др., 2013; Zaalishvili, Rogozhin, 2011]. Наиболее значительный и подробный обзор состояния изученности этого вопроса приведен в известных монографических работах [Ананьин, 1977; Горшков, 1984; Джабраилова, 1989], в которых выполнен анализ сейсмичности и сейсмического режима Кавказа с учетом данных Нового каталога сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г. на территории СССР [Новый каталог сильных землетрясений..., 1977] и региональных каталогов [Сейсмологические исследования ..., 2012].

Важную роль при оценке сейсмической опасности, в той или иной степени, играет распределение сильнейших землетрясений. Однако при долгосрочной оценке недостаточная длительность инструментальных наблюдений, погрешность

определения магнитуд палеоземлетрясений и существующего на настоящий момент целого набора кардинально различающихся моделей закона распределения редких сильнейших землетрясений не дают возможности выявить характер этого распределения на основе исключительно эмпирических данных [Заалишвили и др., 2013; Певнев и др., 2014].

Известны немногочисленные современные случаи среднесрочного прогноза землетрясений на Кавказе, в частности, сильного Тбилисского землетрясения 2002 года [Гогмачадзе и др., 2007]. Так после относительно слабого землетрясения от 11 апреля 2002 г. имело место совершенно непонятное возрастание активности. И это не были обычные афтершоки. Анализ показал почти одинаковый уровень магнитуд афтершоков, т. е. имело место явление типа «роя». Это и другие особенности «дало основание руководителю отдела инженерной сейсмологии В.Б. Заалишвили на первом же заседании Ученого Совета Института Строительной Механики и Сейсмостойкости им. К.С. Завриева АН Грузии 13 апреля 2002 г. выступить ... с заявлением о прогнозе сильного землетрясения на территории Тбилиси ... при этом не давался точный прогноз времени, но эпицентр предполагался в Тбилиси где-то в пределах эпицентральной зоны землетрясения 11 апреля 2002 г., а время проявления что-то около месяца». Заявление носило научный или только служебный характер. 25 апреля 2002 г. в Тбилиси произошло разрушительное землетрясение с преобладающим вертикальным толчком магнитудой  $M=4,5$ . При этом в городе были зафиксированы значительные разрушения и повреждения, погибло 9 человек» [Гогмачадзе и др., 2007].

Рассмотренный пример показывает достаточно сложный и прихотливый характер прогностических исследований. Хотя проблеме прогноза землетрясений было посвящено множество работ, прогноз землетрясений даже для среднесрочного прогноза не очень надежен. Это обусловлено многофакторностью и сложностью корреляционных связей установленных предвестников явления. В то же время проблема краткосрочного прогноза во стократ еще более сложна. Такой вывод, как это ни парадоксально, подтверждают отдельные случаи успешных, даже можно сказать, удивительных прогнозов краткосрочного прогноза сильных землетрясений (Китай, 1975). Дело в том, что на следующий год там же в Китае имел место «пропуск цели» в виде неожиданного для ученых и специалистов сильнейшего Тангшанского землетрясения (Китай, 1976), когда по различным данным погибли от 200 тыс. до 600 тыс. человек. Тем не менее, такие исследования в России и за рубежом продолжаются. В то же время долгосрочный прогноз, если рассматривать, например, в качестве одного, карты сейсмического районирования территории, нередко, вполне надежен [Заалишвили, Дзеранов, 2014; Сейсмическое микрорайонирование..., 2012]. В последние годы в качестве основы прогностических исследований рассматриваются т. н. прогнозные полигоны с использованием прямых геодезических методов [Заалишвили и др., 2011б; Певнев и др., 2014; Певнев, 2016], а также глубинных исследований [Заалишвили и др., 2012а; Рогожин, 2012].

Здесь необходимо отметить, что сложность заключается не только в самом прогнозе землетрясения, а в дифференциации прогнозов сильного и слабого землетрясений. Сегодня есть много современных отечественных работ посвященных этой проблеме [Габеева, Заалишвили, 2005; Заалишвили, 1996, 2009, 2014а, 2014б; Рогожин, 2012 и др.].

Согласно представлениям Musson [Musson, 1999] при оценках сейсмической опасности территории необходимо использовать данные, максимально приближенные к реальным инженерно-сейсмологическим условиям.

Можно взять в качестве примера территорию Северной Осетии, для которой наиболее близка к реальным условиям для массового строительства экспозиция, равная 1000 годам [Заалишвили, Рогожин, 2011; Заалишвили и др., 2011а]. Для уни-

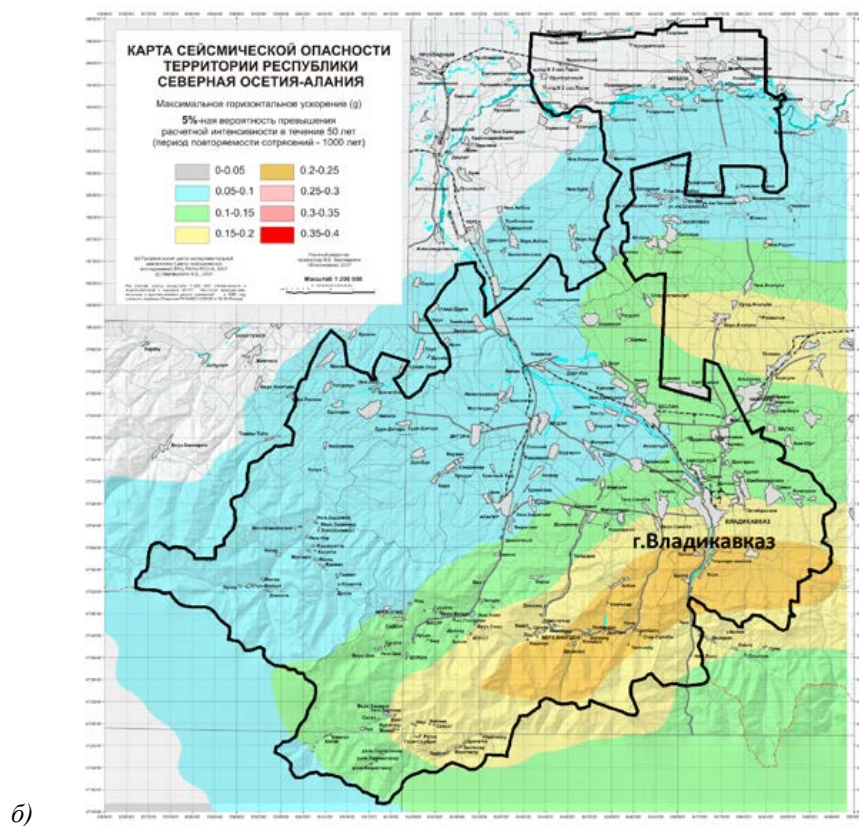
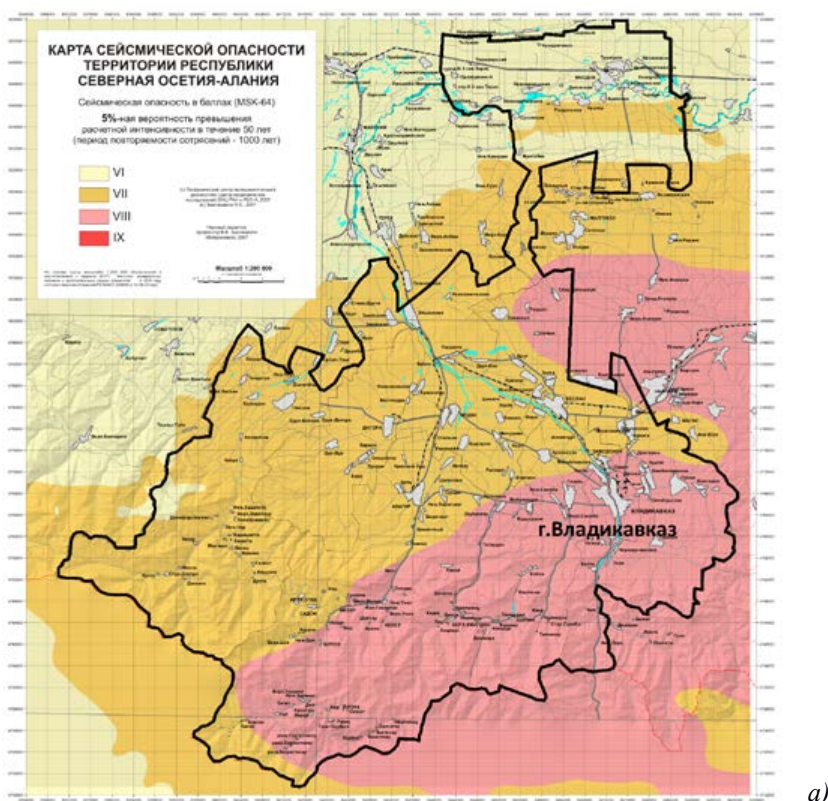


Рис. 1. Вероятностные карты сейсмической опасности с вероятностью превышения 5% в единицах интенсивностей MSK (а) и опасности в ускорениях (PHA) (б) [Заалишвили, Рогожин, 2011]



кальных зданий или сооружений необходимо рассматривать большую экспозицию, например, 2500 лет и т. д. На основе использования современных методов (внерегionalный метод ИФЗ РАН) и компьютерных программ (SEISRisk-3 – США) в технологиях ГИС разработаны вероятностные карты сейсмической опасности территории Республики Северная Осетия в единицах интенсивности (MSK-64) в масштабе 1:200000 с вероятностью превышения за 50 лет – 2%, 5%, 10%, что соответствует повторяемости сотрясений 2500, 1000, 500 лет, соответственно. Следует отметить, что вероятностные карты сейсмической опасности в единицах ускорений в масштабе 1:200000 с вероятностью превышения за 50 лет – 2%, 5%, 10% для Российской территории были разработаны впервые [Заалишвили, Рогожин, 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011].

Для градостроительных задач авторами были рекомендованы вероятностные 5% карты (рис. 1). Можно видеть большую опасность на юге Северной Осетии: здесь повышенный уровень сейсмической опасности – вблизи проходит мощный Владикавказский разлом, простирающийся далее на восток и захватывающий территорию Ингушетии и Чечни и, представляющий интерес для дальнейшего анализа (рис. 2).

В отличие от мелкомасштабной карты сейсмической опасности масштаба М 1:8000000 территории России (общее сейсмическое районирование) карты детального сейсмического районирования в масштабе М 1:200000 позволяют непосредственно учитывать особенности конкретных сейсмических источников (разломов). Но самое главное – районирование в подобном масштабе позволяет учитывать та-

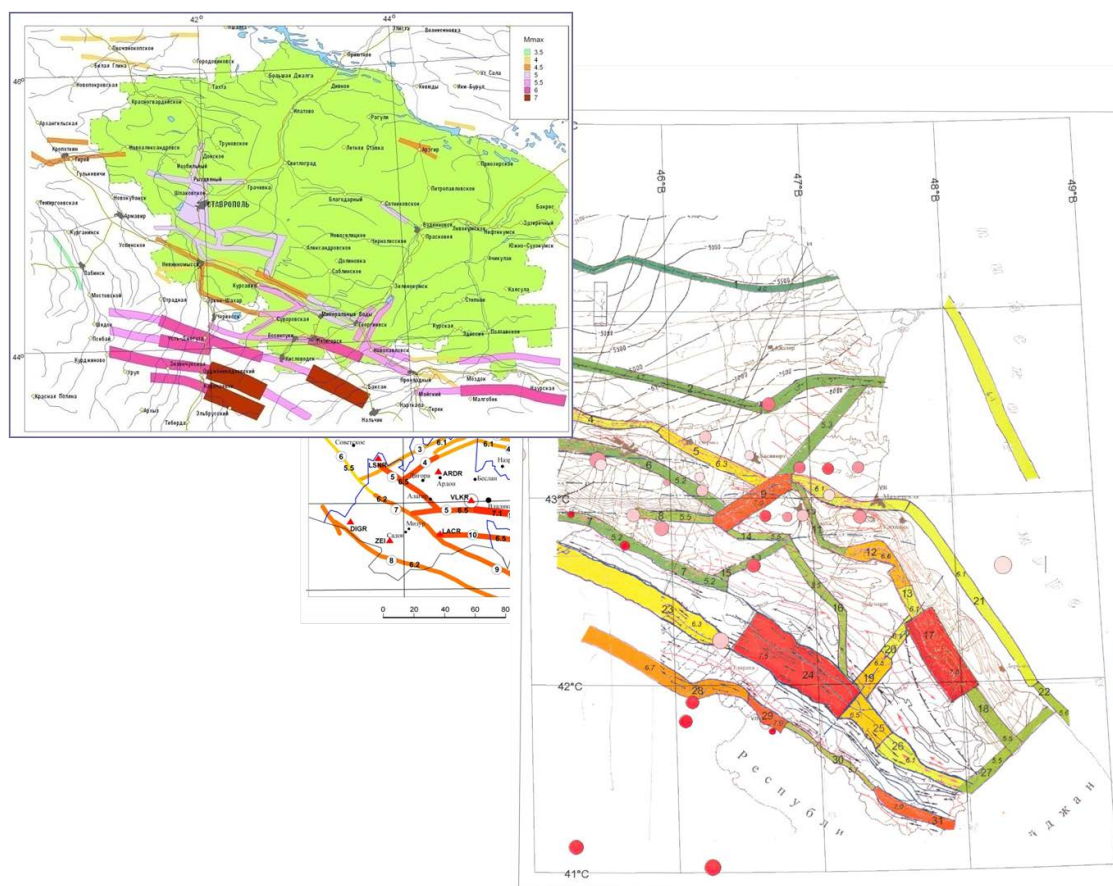


Рис. 2. Объединение опасных сейсмических разломов на территории Северного Кавказа [Заалишвили, Рогожин, 2011]

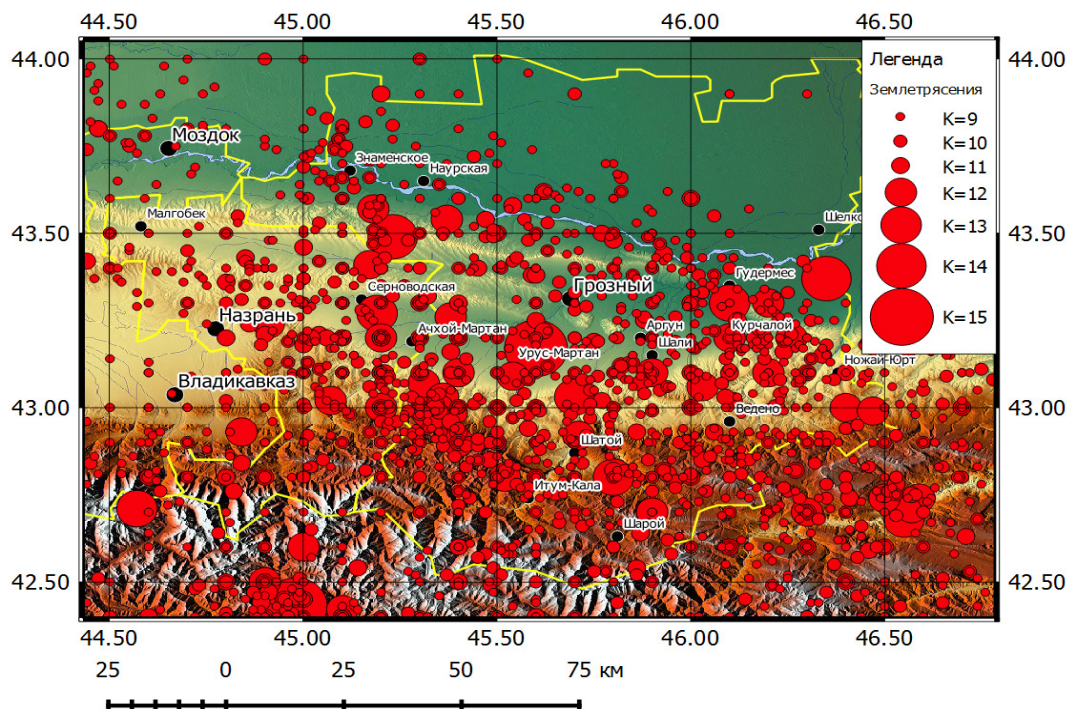


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений, произошедших за период в 1950–2015 гг.

кие особенности для весьма обширных территорий. Так, хорошо видно, что совмещение разломов на территориях различных субъектов России Северного Кавказа имеет вполне практический смысл [Заалишвили, Рогожин, 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011].

Для анализа сейсмичности региона нами был составлен каталог землетрясений для территории, ограниченной параллелями 42,50–44,00° с.ш. и меридианами 44,45–46,65° в.д. Каталог охватывает сейсмические события за период 1950–2015 гг. и включает более 1800 землетрясений 9÷15 энергетических классов. При составлении каталога были использованы актуализированный, унифицированный и специализированный по инструментальным данным каталог землетрясений Северной Евразии, использованный при работе по ОСР-97, регулярно пополняющиеся до реального времени в Лаборатории континентальной сейсмичности и прогноза сейсмической опасности ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, при участии Геофизической службы РАН (г. Обнинск) и данные, опубликованные в различных источниках [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; <http://www.ceme.gsras.ru/>, 2016; Каталог землетрясений..., 2004; Керимов и др., 1992; Новый каталог сильных землетрясений..., 1977; Сейсмологические исследования..., 2012; Шебалин, 1974].

Эти каталоги пополняются не только информацией о происходящих событиях, но и новыми сведениями об исторических и геологических сейсмических событиях с целью внесения необходимых поправок и уточнений. На рис. 3 приведена карта эпицентров землетрясений с указанными параметрами. Выборка по каталогу показала, что наибольшее количество эпицентров землетрясений (рис. 1) приурочено к границам осадочного чехла и земной коры. На глубинах менее 5 км наблюдается относительно небольшое число землетрясений с магнитудами  $M \leq 4,7$ . Более сильные землетрясения возникают на глубинах 10 км и более. Гипоцентры располагаются преимущественно в осадочном чехле (50 ÷ 60%), в земной коре (35 ÷ 45%) и в мантии (5 ÷ 15%).

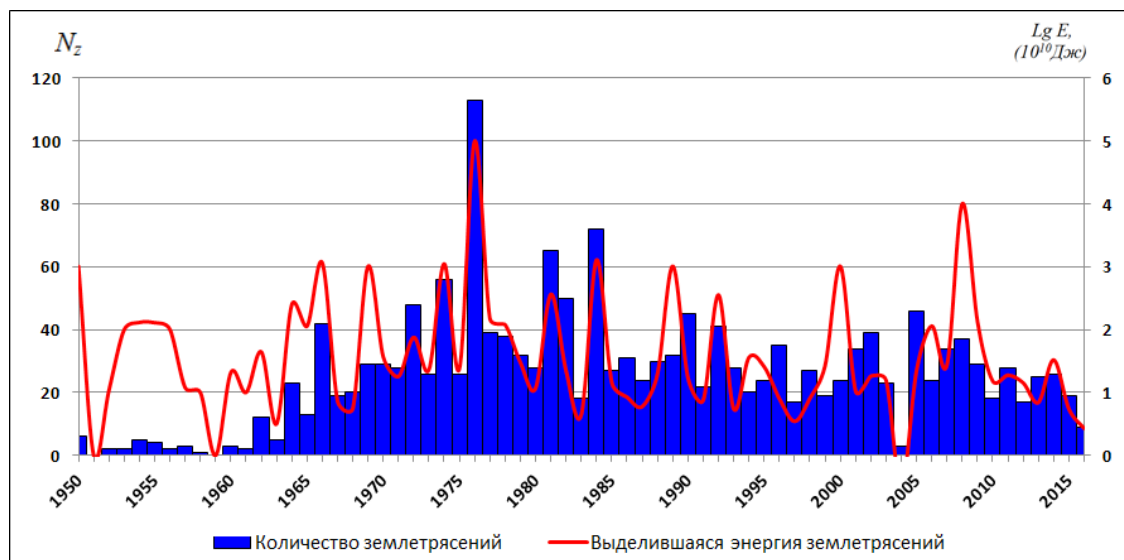


Рис. 4. Распределение числа  $N_z$  и энергии  $LgE$  землетрясений (период 1950–2015 гг.)

При рассмотрении графика сопоставления числа и энергии землетрясений выделяются главные периоды изменений сейсмического режима с наступающими после периодами относительного сейсмического спокойствия. Периоды проявления разрушительных землетрясений варьируют в пределах 20–30 лет (Гудермесское I и II, 1950-х гг.; Черногорское, 1976 г.; Курчалоевское, 2008 г.), которые затем сменяются фазами относительного сейсмического затишья. Среднее значение проявления сейсмичности в исследуемом регионе по энергетическому классу составляет  $K = 13,0$ .

Из анализа линейной гистограммы распределения количества и энергии землетрясений по годам (рис. 4) можно сделать вывод об изменении сейсмологической активности региона по времени и определить несколько его особенностей:

- природа сейсмической активности носит циклический характер;
- в целом в соответствии с графиком повторяемости отмечается соответствие количества и энергий землетрясений;
- отмечаются периоды времени когда разрядка тектонических напряжений происходит в виде большого количества относительно незначительных по энергии землетрясений и наоборот.

### График повторяемости

График повторяемости (закон повторяемости землетрясений) является главной характеристикой сейсмического режима и одним из прогностических признаков [Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2011б; Заалишвили, Дзеранов, 2014; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014]. Вопросу изучения закона повторяемости землетрясений посвящен ряд работ [Джабраилова, 1989; Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2012б; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Керимов, Гайсумов, 2012]. Существуют представления, что график повторяемости землетрясений отражает ряд общих закономерностей разрушения твердых тел [Ризниченко, 1985].

Наклон 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  $\gamma$  во времени. Перед большим землетрясением значение параметра  $\gamma$  уменьшает-



ся с последующим увеличением после землетрясения [Джибладзе, 1980; Керимов, 2014; Керимов, Бадаев, 2014; Ризниченко, 1985].

График повторяемости (рис. 3) представляет собой функцию распределения количества землетрясений  $N$  по величине их энергии  $K$ , где  $K = \lg E$  ( $E$  – энергия очага, Дж).

В большинстве случаев график повторяемости землетрясений в первом приближении прямолинеен. В таком случае он определяется тремя главными параметрами сейсмического режима:

- 1) наклоном, графика повторяемости землетрясений  $\gamma = -d \lg N / d \lg K$ ;
- 2) сейсмической активностью,  $A$  – начальная ордината этого графика для фиксированного значения  $K$ , обычно равное 10;
- 3) величиной максимально возможного землетрясения  $K_{max}$ , которая определяет правое окончание графика повторяемости.

Для изучаемого региона с целью построения графика повторяемости землетрясений были использованы данные по сейсмичности за 65 лет (1950–2015 гг.), содержащие более 1800 данных о землетрясениях с  $9 \div 15 (\pm 0,2)$  энергетических классов, т. е. начиная с представительного класса землетрясений  $K = 9$  путем определения в пределах каждого класса ( $\pm 0,5$ ).

Поскольку неприемлемо получение статистики повторяемости из полного каталога (включающего форшоки и афтершоки) и ее применение для прогноза возникновения основного толчка, то необходимо провести декластеризацию каталога, удалив афтершоки, форшоки и рои землетрясений, все вместе именуемые зависимыми событиями. Musson для них предлагает другое название – вторичные толчки [Musson, 1999]. Если не произвести декластеризацию каталога, то можно получить неправильную оценку вероятности основных толчков, поскольку наклон графика повторяемости будет искажен появлением множества слабых событий, не являющихся основными толчками (в результате удаления зависимых событий кривая повторяемости становится более полой). Процесс декластеризации не является полностью прямолинейной процедурой. Как отмечают [Reasenber and Jones, 1989],

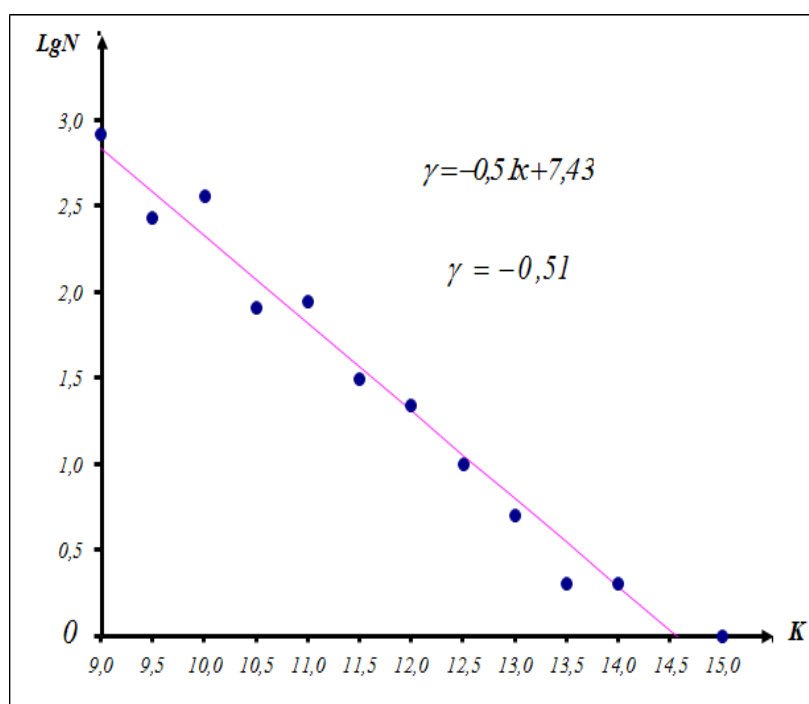


Рис. 5. График повторяемости землетрясений

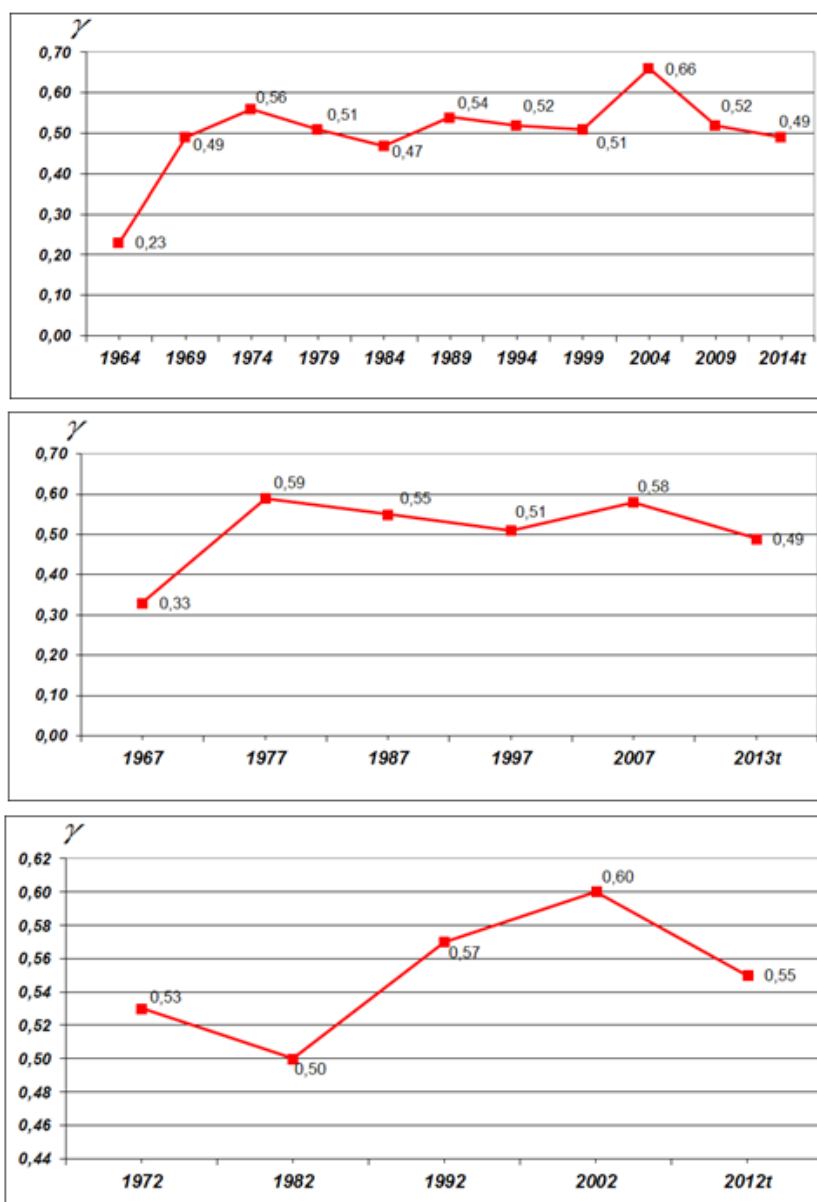


Рис. 6. Изменения углов наклона графиков повторяемости землетрясений по 5-ти и 10-ти летним периодам

«афтершоки могут быть определены лишь статистически: они ведут к известным характеристикам, отличающим их от других землетрясений». Был использован специальный алгоритм распознавания форшоков, афтершоков и роев землетрясений и составлен каталог «независимых» событий.

Действительно, на (рис. 5) видно, что в первом приближении этот график имеет прямолинейную форму. Здесь же приведена осредняющая прямая, полученная методом наименьших квадратов и характеризующая закон повторяемости землетрясений.

$$\lg N = 8.92 - 0.51K \quad (1)$$

Из графиков (рис. 6) изменения углов наклона повторяемости землетрясений видно, что в периоды изменений сейсмичности региона, значения углов наклона



графика повторяемости подчиняются закону Гутенберга-Рихтера, в пользу сохранения прямолинейности между периодами разрядки напряжений в земной коре.

Полученный результат позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа [Zaalishvili et al., 2010]. Это, по-видимому, справедливо лишь для достаточно большого интервала времени.

Сравнительный анализ графиков повторяемости землетрясений для Кавказа в целом [Ризниченко, 1985; Керимов, Бадаев, 2014] и для изучаемой территории 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 1950–2015 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, свидетельствует о зависимости этого процесса от палеотектонических и новейших тектонических движений. По данным П.Н. Николаева степень влияния этих факторов в геологических условиях Кавказа достигает 30%.

Так как не каждое землетрясение сопровождается макросейсмическим проявлением ощутимой интенсивности, для оценки частоты возникновения сейсмических сотрясений ощутимой интенсивности строились отдельные кумулятивные графики накопления землетрясений в диапазоне  $K = 10,5 \div 15,5 \pm 0,5$  (рис. 7).

Анализ данных повторяемости землетрясений 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

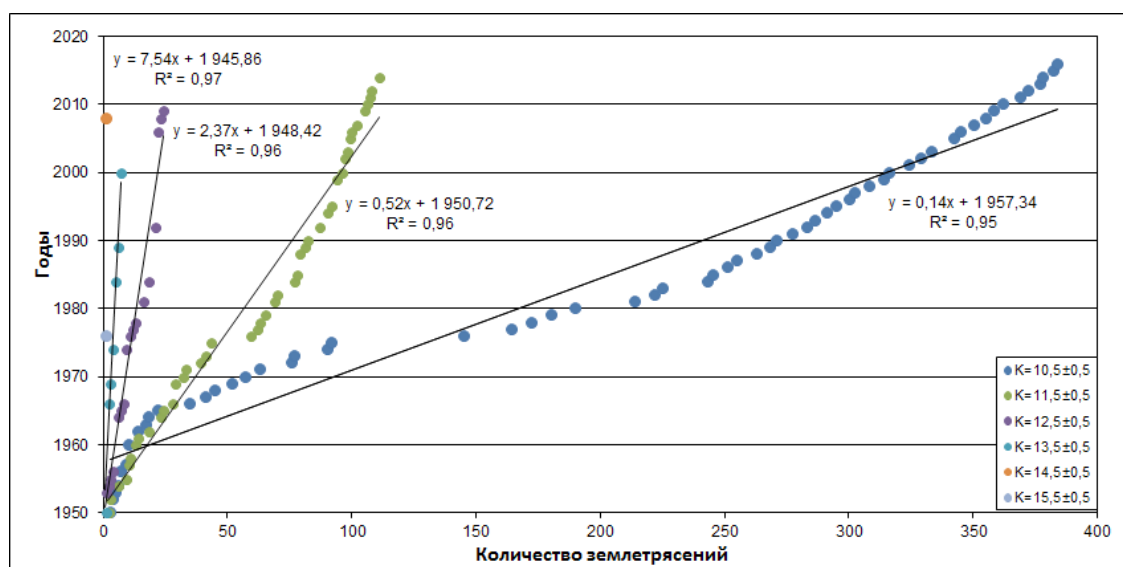


Рис. 7. Кумулятивные графики накопления землетрясений

между средними значениями повторяемости землетрясений 11 и 12, 13 и 14, 14 и 15 классов.

### Сейсмическая активность

Сейсмическая активность ( $A$ ) 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) в единицу времени [Джибладзе, 1980; Заалишвили и др., 2012б; Керимов, Бадаев, 2014; 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 км<sup>2</sup>. 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 особенно высокой сейсмичности  $A = A_{15}$ . Однако, в последнем случае относится к площади 10<sup>5,5</sup> км<sup>2</sup>, что приводит к совпадению значений  $A_{10}$  и  $A_{15}$ .

Существует несколько способов расчета сейсмической активности: суммирования с постоянной детальностью; суммирования 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 км<sup>2</sup> и за 1 год имеет следующий вид:

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

где

$N_{\Sigma}$  – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью  $S$  км<sup>2</sup>, приведенное к периоду  $T$  представительности землетрясений класса энергии  $K_{\min}$ ;

$K_{\min}$  – наименьший из представительных класс энергии;

$\gamma$  – 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 справедливо 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  $S$  км<sup>2</sup>;

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

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

Этот коэффициент рассчитывается по следующей формуле:

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

При неодинаковых периодах представительности землетрясений разных энергетических классов они должны быть приведены к периоду наименьшего из представительных классов. С этой целью была создана выборка из базы данных по каталогу землетрясений включающей 1800 событий 9÷15 энергетических классов. Блок расчета сейсмической активности способом распределения был включен в программу для персонального компьютера. Расчет  $A_{10}$  производился по формулам Ризниченко Ю.В. (13) и (14) [Ризниченко, 1985], которая была нормирована на 1000 кв. км. в 1 год, для указанных периода  $T_{\min}=65$  лет землетрясений энергетических классов  $K$ , лежащих в диапазоне от 9 до 15. Вся территория была разбита по широте и долготе на зоны с радиусом 25 км., с площадью территории 29,524 тыс. км<sup>2</sup>. На построенную схему  $A_{10}$  полученную способом распределения при указанных параметрах, числовые значения наносились в соответствующие зоны заданной сети. Восточная и западная части карты  $A_{10}$  характеризуется высокой сейсмической активностью  $A_{10} = 2,6$  и  $A_{10} = 2,4$ . Юго-восточная и северо-западная части менее активны по сравнению с перечисленными выше и соответственно равны –  $A_{10} = 0,4 \div 0,6$  и  $A_{10} = 0 \div 0,2$ .

На рисунке 6 приведена схема сейсмической активности Чеченской Республики, полученная способом распределения при указанных параметрах. Числовые значения  $A_{10}$  наносились на карту в соответствующие зоны заданной сети.

Анализ карты  $A_{10}$  (рис. 10) свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральному зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сеймотектоническим зонам – Владикавказской, Беной-Эльдаровской, Курчалоевской, Датыхско-Ахловской и Гудермесской.

Для территории Северного Кавказа и сопредельных районов сотрудниками ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН Е. А. [Рогожин и др., 2013] был разработан макет новой карты сейсмической опасности в детальном масштабе, на которой в пределах территории Чечни и Ингушетии вырисовывается одна зона повышенной сейсмической активности. Особенность выполненной нами карты сейсмической активности  $A_{10}$  заключается в том, что она более детальна и на ней четко вырисовываются два отдельных друг от друга локальных максимумов.

На рис. 8 приведен график сейсмической активности  $A_{10}$  изучаемой территории, из которого видно, что высокая сейсмическая активность совпадает с пиковыми пе-

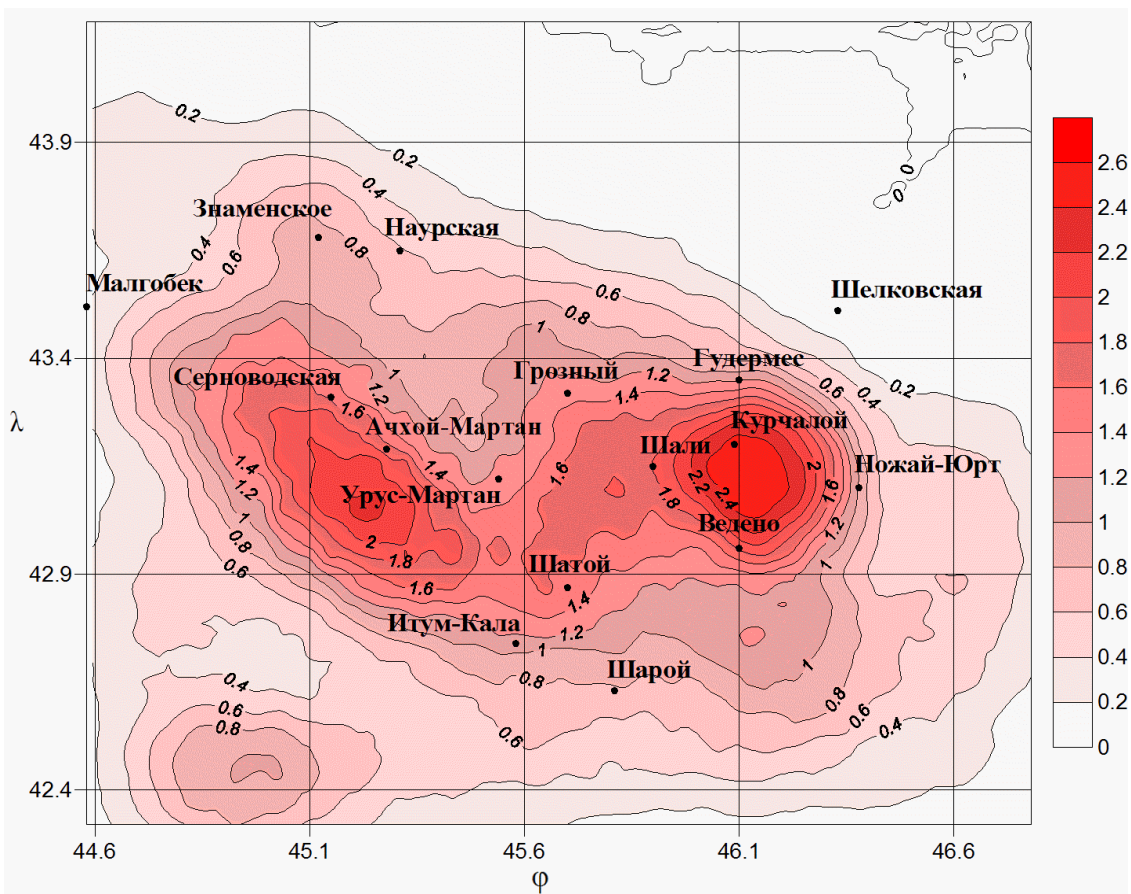


Рис. 8. Схема сейсмической активности  $A_{10}$  Чеченской Республики (период 1950–2015 гг.)

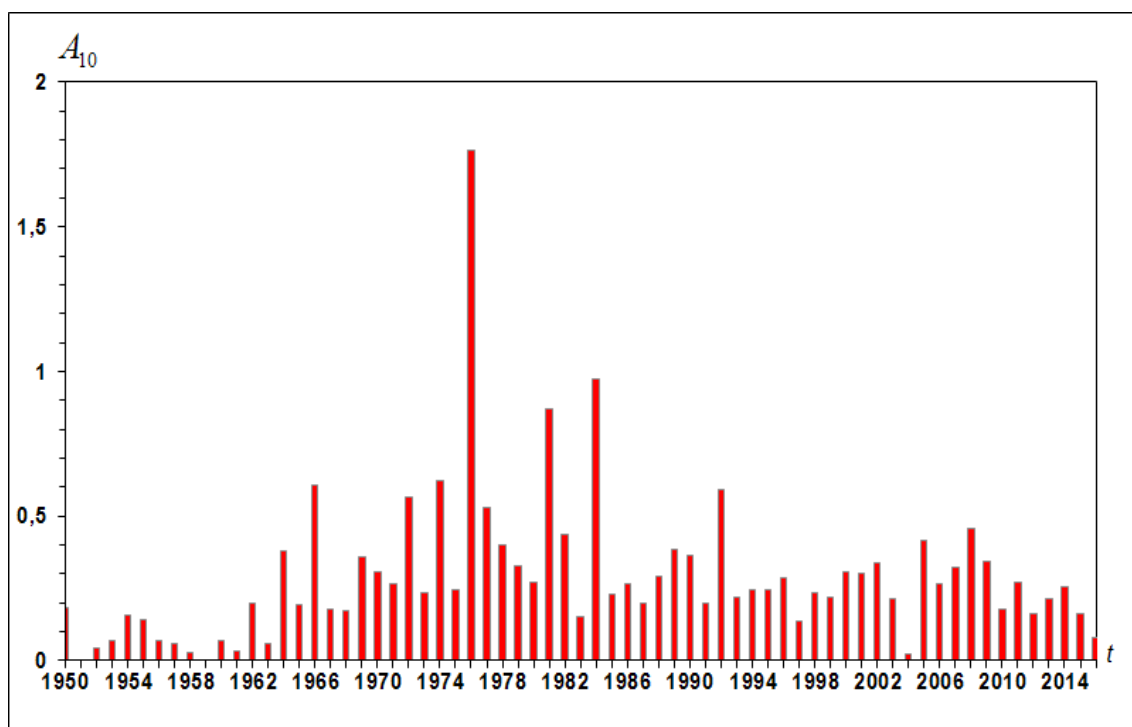


Рис. 9. График сейсмической активности  $A_{10}$ .



риодами высвобождения энергии показанной на гистограмме распределения числа и энергии землетрясений (рис. 4). Кроме того наряду с полученной гистограммой, связь отдельных сильных землетрясений с деформационными процессами связанными как с техногенной деятельностью, обусловленной возбужденной сейсмичностью градостроительства, разработкой нефтегазовых месторождений, строительством гидроэлектростанций, так и с процессами, протекающими в земной коре с течением времени наглядно демонстрируется.

Так, к примеру, слабые землетрясения в Старогрозненском районе Чеченской Республики происходили очень часто, как до эксплуатации, так и в различные периоды эксплуатации и разработки нефтяного месторождения. На фоне слабых землетрясений происходили значительные землетрясения с  $M = 3,8-4,1$ , возбужденные различными факторами [Керимов, Ахматханов, 2014; Керимов и др., 2013].

Между землетрясениями, формирующими собственно сейсмический режим, может существовать взаимная связь. В одних случаях эта связь выступает отчетливо, как например, при сильном землетрясении и его последующих толчках. В других случаях связей отдельных землетрясений, относящихся к данному сейсмическому режиму, непосредственно не видно и задача исследования может заключаться во вскрытии этих связей, если эти связи, в самом деле, существуют и в изучении их конкретных форм и закономерностей [Ризниченко, 1985].

Скачкообразные периоды на графике Бенъофа характеризуются периодами сильных землетрясений в районе исследуемой территории – это и Аргунское землетрясение 1966 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Ачхой-Мартановское землетрясение 1969 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Черногорское землетрясение 1976 г. [Керимов, Гайсумов, 2010], и Курчалойское землетрясение 2008 [Керимов, Гайсумов, 2009] и т. д.

Землетрясения, близкие по величине энергии, происходят в одном и том же месте редко, их средний период повторяемости, по мнению некоторых ученых, составляет сотни и даже тысячи лет, поэтому непосредственное наблюдение таких величин в каждой точке требует наличия инструментальных данных за большой период времени.

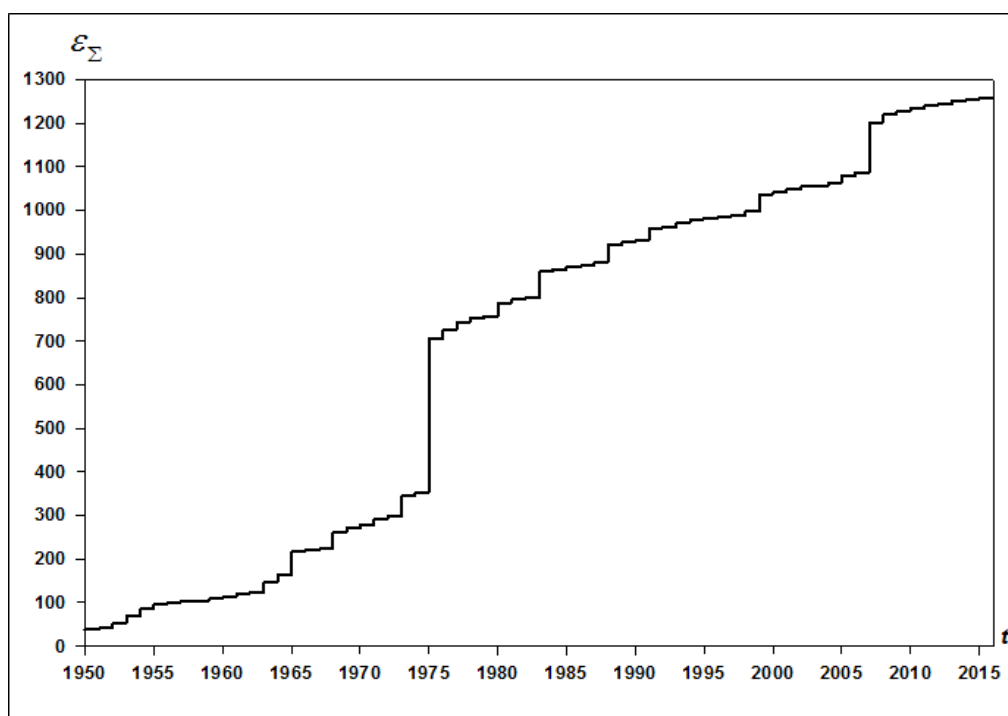


Рис. 10. График Бенъофа

## Выводы

Выполненный анализ сейсмологической информации позволяет сделать следующие выводы:

- Представленные данные свидетельствуют, что территория исследования характеризуется пространственно-временной неравномерностью распределения сейсмической активности во времени и по площади.

- При рассмотрении графика выделившейся энергии можно выявить периоды с повторяющимися относительного сейсмического затишья и периоды проявления разрушительных землетрясений, при чем, период разрушительных событий варьирует в пределах 20–30 лет (Гудермесское I и II, 1950-х гг.; Черногорское, 1976 г.; Курчалоевское, 2008 г.), которые затем сменяются фазами относительного сейсмического затишья. Среднее значение проявления сейсмичности в исследуемом регионе по энергетическому классу  $K = 13,0$ .

- График повторяемости согласуется с данными, полученными по Джибладзе Э.А. по Кавказу. Для этого графика параметр  $\gamma = -0,51$ . 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.

- Анализ гипоцентров каталога показывает, что на глубинах менее 5 км наблюдается относительно небольшое число землетрясений с магнитудами  $M \leq 4,7$ . Более сильные землетрясения возникают на глубинах 10 км и более. Гипоцентры в пределах Чеченской Республики располагаются преимущественно в осадочном чехле (50 ÷ 60%), в земной коре (35 ÷ 45%) и в мантии (5 ÷ 15%).

- Отмечается, что перед возникновением сейсмической активизации 2008 г. (Курчалойского землетрясения в 11.10.2008 г.) с параметрами –  $H = 10$  км,  $K = 14,0$ , в зоне ВОЗ в период 2001–2006 гг. отмечается сейсмическое затишье.

- Очаги фоновой сейсмичности во времени (режим затишья) могут указывать на участки зон ВОЗ, в которых в ближайшие годы можно ожидать возникновения сильных и умеренных землетрясений в земной коре.

- Сильное Черногорское землетрясение демонстрирует приуроченность очага к узлу сочленения крупных разломов. Сейсмические толчки время от времени повторяются в одних и тех же очагах, причем характер вызывающей каждое землетрясение подвижки от раза к разу может изменяться.

- На карте  $A_{10}$  высокой сейсмической активностью отличаются восточная и западная части изучаемой территории с активностями  $A_{10} = 2,6$  и  $A_{10} = 2,4$ . Юго-восточная и северо-западная части менее активны и равны  $A_{10} = 0,4 \div 0,6$  и  $A_{10} = 0 \div 0,2$ .

- За последние 65 лет по данным каталога и за 320 лет по макросейсмическим данным можно утверждать, что территории Чечни и Ингушетии являются сейсмоактивными.

- Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральному зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сейсмотектоническим зонам Владикавказской, Беной-Эльдаровской, Курчалоевской, Датыхско-Ахловской и Гудермесской.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16–35-50038).

### 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.: Лица, 2003. – 134 с.
3. Габеева И.Л., Заалишвили В.Б. Анализ колебаний нелинейной, поглощающей грунтовой среды по данным инструментального метода сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе I Кавказская международная школа-семинар молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНИИ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (редактор), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. – 2005. – С. 205–211.
4. Гогмачадзе С.А., Заалишвили В.Б., Одишария А.В., Кипиани Д.Г. Апрельские землетрясения 2002 г. в Тбилиси // Труды II Кавказской международной школы семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 20–22 сентября, 2007. – Владикавказ, 2007. – С. 55–88.
5. Горшков Г.П. Региональная тектоника территории юга СССР: Альпийский пояс. – М.: Наука, 1984. – 271 с.
6. Джабраилова К.Д. Повторяемость землетрясений Восточного Предкавказья // Вопросы сейсмичности Восточного Предкавказья. – Махачкала, 1989. – С. 152–155.
7. Джибладзе Э.А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сейсмотектонические движения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 255 с.
8. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – М.: МГУ. 1996. – 43 с.
9. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009. – 350 с.
10. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – №3. – С. 31–43.
11. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. – 2011а. – №1. – С. 48–58.
12. Заалишвили В.Б., Певнев А.К., Рогожин Е.А. О геодезическом мониторинге для прогноза землетрясений на северном Кавказе (на примере Владикавказского прогнозного полигона) // Геология и геофизика Юга России. – 2011б. – №2. – С. 33–40.
13. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Трофименко С.Н., Шемпелев А.Г. Глубинные геофизические исследования в Северо-Кавказском федеральном округе: проблемы глубинной геологии и геофизики в региональных исследованиях. О зоне предполагаемого Ардонского межглыбового разлома // Геология и геофизика Юга России. – 2012а. – №2. – С. 11–20.
14. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. и др. Сейсмологические наблюдения на площадке проектируемой Чири-Юртской ГЭС // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа // Материалы II Все-

российской научно-технической конференции / Отв. ред. Матишов Г.Г. – Грозный, 2012б. – С. 447–453.

15. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 1. – С. 17–27.

16. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. – 2014а. – № 3. – С. 3–39.

17. Заалишвили В.Б. Корреляционные взаимосвязи между линейными и нелинейными характеристиками грунтов по инструментальным данным. // Геология и геофизика Юга России. – 2014б. – № 4. – С. 45–57.

18. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В. Детальное сейсмическое районирование и построение вероятностных карт сейсмической опасности (на примере территории Республики Северная Осетия-Алания) // Монография. – Владикавказ, 2014. – 139 с.

19. Каталог землетрясений Кавказа с  $M \geq 4,0$  ( $K \geq 11,0$ ) с древнейших времен до 2004 г. Составитель Годзиковская А.А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zeus/wdcb/ru/sep/caucasus>.

20. Керимов И.А. Детальное изучение сейсмического режима и оценка сейсмической опасности территории Чечни и Ингушетии // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2014. – № 3 (24). – С. 96–109.

21. Керимов И.А., Ахматханов Р.С. К вопросу о создании геодинамического полигона на Старогрозненском нефтяном месторождении // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – № 1 (57). – С. 30–37.

22. Керимов И.А., Бадаев С.В. Сейсмичность и сейсмический режим территории Восточного Предкавказья // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – № 1 (57). – С. 38–45.

23. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Курчалоевское землетрясение 11 октября 2008 г. // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2009. – № 2 (11). – С. 48–53.

24. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сильные землетрясения на территории Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2010. – № 1 (12). – С. 57–62.

25. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сейсмичность и современная геодинамика территории Чеченской Республики // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Грозный: Академия наук Чеченской Республики. – 2012. – С. 43–64.

26. Керимов И.А., Крисюк И.М., Гайсумов М.Я. Геофизические поля, системы разломов и сейсмичность Чечено-Ингушетии. Депонировано в ВИНТИ. № 1066-В92 от 30.03.92. – 91 с.

27. Керимов И.А., Моллаев З.Х. Гравитационное поле и сейсмичность Чечено-Ингушетии // Вопросы сейсмичности Восточного Предкавказья // Тр. Института геологии Даг. Филиала АН СССР. Вып.40. – Махачкала, 1989. – С.90–97.

28. Новый каталог сильных землетрясений территории СССР с древнейших времен и до 1975 г. // Под ред. Н.В. Кондорской, В.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.



29. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 2. №4. – С. 84–90.
30. Певнев А.К. О реальном пути к осуществлению прогноза землетрясений (посвящается памяти академика Григория Александровича Гамбурцева) // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 102–131.
31. Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408 с.
32. Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники // М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
33. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедобоев Б.А., Габарев А.Ф. Новые представления о глубинном строении осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №4. – С. 3–7.
34. Сейсмологические исследования. Выполнение работ по детальному сейсмическому районированию и сейсмическому микрорайонированию площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС: отчет о НИР/ООО «Трансэнергопром»; рук. Перетокин С.А. – Красноярск, 2012. – 115 с.
35. Сейсмическое микрорайонирование площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС. Выполнение работ по детальному сейсмическому районированию и сейсмическому микрорайонированию площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС: отчет о НИР/ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А; рук. Заалишвили В.Б. – Владикавказ, 2012. – 301 с.
36. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974.
37. <http://www.ceme.gsras.ru/>, 2016.
38. Musson R. Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan region. 1999. *Annali di Geofisica*. – Vol. 42. №6. – Pp. 1109–1124.
39. Reasenber, P. and L.M. Jones (1989) Earthquake hazard after mainshock in California, *Science*, 243. – Pp. 1173–1176.
40. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V. Modern seismic hazard assessment methods (in example territory of Vladikavkaz-city) // *Proceedings of 14th European conference of earthquake engineering*. 30August – 03 September, Ohrid, republic Macedonia. – 2010. – 8 pp.
41. Zaalishvili V.B., Rogozhin E. A. Assessment of seismic hazard of territory on basis of modern methods of detailed zoning and seismic microzonation // *Open Construction and Building Technology Journal*. – 2011. – Т. 5. – Pp. 30–40.

DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20826

## **ANALYSIS OF SEISMIC REGIME OF THE TEREK-CASPIAN DEPRESSION (TERRITORY OF CHECHEN AND INGUSH REPUBLICS) AND PROBLEM OF STRONG EARTHQUAKES PREDICTION**

© 2016 S.V. Badaev

Complex research institute the name of Kh.I. Ibragimov's of the Russian Academy of Sciences, 364051, Russia, Chechen Republic, Grozny, Staropromyslovskoe highway, 21 a, e-mail: kniiran@mail.ru

The work is devoted to the seismicity of Chechnya and Ingushetia territory. The literature references about research of Caucasus seismicity according to geological and geophysical data are analyzed. Spatio-temporal distribution of seismic activity areas for the period 1950–2015 is analyzed. The earthquake epicenter maps, seismic activity  $A_{10}$ , recurrence graph, the Benioff graph are constructed.

**Keywords:** earthquake, epicenter, recurrence graph, Benioff graph, seismic activity  $A_{10}$ .