

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ**

На правах рукописи

КАРАГЕЗОВА НИГЯР РАУФ ГЫЗЫ

**ИНТЕГРИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА**

2507.01 – «Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по наукам о Земле

БАКУ – 2015

Диссертационная работа выполнена в Институте геологии и геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный руководитель: академик, доктор геолого-минералогических наук,
проф. **Ф.А.Кадиров**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор **Т.Р.Ахмедов**

доктор философии по физико-математическим наукам
Ю.А.Шихалиев

Ведущая организация: Бакинский Государственный Университет, кафедра «Сейсмология и физика недр Земли»

Защита состоится « 30 » 10 _____ 2015 г. в 14³⁰ часов на заседании Диссертационного Совета Д 01.081 при Институте геологии и геофизики НАН Азербайджана.

Адрес: Az1143, г.Баку, проспект Г.Джавида, 119

Факс: (99412) 537 22 85

Электронная почта: gia@azdata.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологии и геофизики НАН Азербайджана

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Д 01.081, доктор философии
по техническим наукам

 Д.Р.Мирзоева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Большинство природных образований, включая сейсмичность и систему разломов, имеет самоподобные (масштабно инвариантные) геометрические конструкции. Эти природные самоподобные конструкции Мандельброт впервые назвал «фракталами». Фрактальные концепции успешно применялись при описании многих природных феноменов, в том числе сейсмичности. Сейсмические события являются типичным примером широкого класса явлений, демонстрирующих различные фрактальные свойства. В связи с этим применение фрактальных методов анализа к сейсмическим данным для изучения пространственно-временных закономерностей распределения параметров землетрясений становится весьма актуальным в науках о Земле. Актуальным является также изучение фракталов разломной тектоники.

Прогноз землетрясений является одной из важнейших проблем для стран с высокой сейсмической активностью, расположенных на границах литосферных плит. На сегодняшний день множество исследований посвящено изучению распределения землетрясений во времени и пространстве с целью более глубокого понимания процессов генерации землетрясений, а также минимизации последствий землетрясений. Теоретически, если возникновение отдельно взятого землетрясения было бы не связано с другими сейсмическими событиями, тогда их распределение имело бы случайный (неупорядоченный) характер и подчинялось бы распределению Пуассона.

Однако проведенные исследования позволили установить непурассоновское распределение землетрясений во многих регионах, в которых события разделяются на отдельные кластеры с временными интервалами. Среди региональных примеров можно упомянуть южную Калифорнию, центральную Калифорнию, Неваду, Нью-Мексико, регион Фиджи-Тонга-Кермадек, Новую Зеландию и южную часть Италии. Таким образом, в изучении сейсмических процессов имеется еще много проблем, требующих своего разрешения с использованием новых теоретических и методологических подходов.

В связи с этим, тема данной диссертационной работы «Интегрированный анализ сейсмической опасности территории Азербайджана», посвященная решению отдельного класса задач путём совершенствования существующих, а также поиском и применением интегрированных методов изучения сейсмических процессов, является актуальной.

Цель работы:

Основная цель диссертационной работы – выявление самоподобных свойств сейсмичности на основании фрактального анализа особенностей ее режима и связи с тектоникой; проведение интегрированного анализа сейсмической опасности территории Азербайджана.

Основные задачи исследования:

В процессе осуществления поставленной в диссертации цели решались следующие основные задачи:

- анализ и выявление самоподобных характеристик сейсмического процесса, выражающихся в параметрах степенных законов (закона Гутенберга–Рихтера), фрактальных распределений землетрясений (по эпицентрам и энергиям) и разломов;

- вычисление значений фрактальных показателей распределения землетрясений по эпицентрам (D_e) и энергиям (d_E) для Азербайджана в целом и для отдельных сейсмических зон;

- анализ самоподобных характеристик геометрии разломов и вычисление фрактального показателя распределения активных разломов (D_f), выявленных на территории Азербайджана;

- проведение мультифрактального анализа землетрясений с целью увязки всех выявленных фрактальных показателей;

- интегрированный анализ сеймотектонических процессов и сейсмической опасности территории Азербайджана, базирующийся, главным образом, на фрактальной теории;

- уточнение границ регионов Азербайджана, представляющих наибольшую сейсмическую опасность, на основе комплекса различных показателей (повторяемости и фрактальных характеристик землетрясений, сейсмической активности и сотрясаемости).

Основные защищаемые положения:

1. Фрактальность в распределении эпицентров и энергии землетрясений Азербайджана и Абшерон-Прибалханского порога, их фрактальные размерности.

2. Зависимость фрактальных размерностей и тектонических условий.

3. Результаты интегрированного анализа сейсмического режима территории Азербайджана.

Научная новизна:

На основании фрактального анализа сейсмических событий,

произошедших на территории Азербайджана, выявлены следующие фрактальные характеристики сейсмичности и сети тектонических разломов Азербайджана:

- сравнительный фрактальный анализ землетрясений южного склона Большого Кавказа и Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря позволил установить, что фрактальный показатель сейсмического процесса D (фрактальный показатель распределения землетрясений по эпицентрам и энергиям) на Большом Кавказе отличается от аналогичного показателя Центрально Каспийской зоны и зависит от тектонической характеристики регионов.

- установлено существенное влияние на показатель D сейсмического процесса исследуемой территории определенных групп сейсмических толчков.

- установлено, что чем больше степень равномерности (однородности) распределения эпицентров землетрясений исследуемого участка, тем выше фрактальная размерность эпицентрального распределения землетрясений D_e .

- с помощью интегрированного анализа проведено сейсмическое районирование южного склона Большого Кавказа; были выделены четыре сейсмогенные зоны.

Практическая значимость:

Полученные автором при выполнении настоящей работы результаты могут быть использованы при сейсмическом и геодинамическом районировании, построении моделей сейсмического прогнозирования землетрясений, при изучении согласованности и взаимозависимости процессов генерации землетрясений и разломообразования, исследовании напряженного состояния среды, в которой протекает сеймотектонический процесс, а также для уточнения и дополнения действующих карт сейсмической опасности. Рассмотренные и примененные в ходе данной работы методики определения фрактальных размерностей (количественных характеристик самоподобия) сейсмо-энергетического процесса и тектонических нарушений могут быть использованы для решения широкого класса и других задач сейсмологии.

Также на основе показателей фрактальной размерности тектонических нарушений различных иерархических уровней, закартированных на поверхности Земли, можно получить представление о деформационных процессах, предшествующих формированию крупного разлома.

Исходный материал и личный вклад автора:

Исходными данными о сейсмичности территории Азербайджана послужил каталог землетрясений Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии Наук Азербайджана. Данные для сопредельных областей взяты из каталога землетрясений Геофизической Службы Российской Академии Наук, а также каталогов международных сейсмологических центров, таких как EMSC, IRIS и некоторые другие.

В основу диссертации положены результаты многолетней деятельности соискателя в Институте Геологии и Геофизики НАН Азербайджана. Основные результаты получены автором самостоятельно при выполнении в качестве ответственного исполнителя ряда фундаментальных и прикладных НИР, которые включают:

- научный обзор исследований по данной проблеме и самостоятельно сформулированные задачи, результаты решения которых отражены в разделах «Научная новизна» и «Основные защищаемые положения»;

- предложение и обоснование выбора математических моделей исследуемых сред.

Отдельные результаты получены автором совместно с академиком Ф.А.Кадировым.

Апробация работы и публикации:

Основные научные положения диссертационной работы опубликованы в десяти работах (6 статей, 5 тезисов) и прошли апробацию при выступлении с докладами на ряде республиканских и международных конференций: 1) III-я международная конференция молодых ученых и студентов (Баку, 2009). 2) IV-я международная конференция молодых ученых и студентов (Баку, 2011). 3) Научные конференции аспирантов НАНА (Баку, 2010; 2011). 4) Международная геофизическая конференция (Баку, май 2010). 5) I-я Региональная междисциплинарная конференция молодых ученых «Наука - Обществу» 18-20 марта 2010 г. (Владикавказ, 2010). 6) Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных (Материалы Десятой Международной Сейсмологической Школы, 2015).

Структура и объем работы:

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 208 наиме-

нований. Общий объем работы составляет 162 страниц, включая 36 рисунков и 1 таблицу.

Благодарности:

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю академику НАНА, д.г.-м.н., проф. Кадинову Ф.А., а также ведущему научному сотруднику Института Геологии и Геофизики НАНА Кадырову А.Г. за оказанное содействие и ценные советы при выполнении диссертационной работы.

Содержание работы:

Во введении приводятся общая характеристика диссертационной работы, актуальность данной темы, цель исследования, защищаемые положения, научная новизна и полученные результаты.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В настоящей главе анализируется состояние изученности проблемы сейсмической опасности территории Азербайджана, рассматриваются эволюция методов исследования данной проблемы и особенности сейсмичности изучаемого региона.

Приводятся данные о крупных исторических землетрясениях, происходивших на территории современного Азербайджана, а также рассматривается сейсмическая активность территории Республики за инструментальный период наблюдений. Анализируются изученность и динамика развития проблемы сейсмической опасности. Рассматриваются результаты, полученные в ходе исследований проблемы, отечественными, а также некоторыми иностранными учеными. Приводятся основные характеристики разломной тектоники региона.

Также приводится краткий обзор научных работ, в которых затрагиваются проблемы сейсмической опасности на территории Азербайджана за исторический и инструментальный периоды; проблемы сейсмического районирования территории Азербайджана; проблемы выявления областей, для которых характерны землетрясения с максимальными магнитудами. Рассматриваются особенности разломной тектоники Азербайджана, выделяются разломные зоны Азербайджана, а также изучается связь параметров сейсмичности и сетей разломов.

За последние десятилетия строились карты сейсмической опасности территории Азербайджана (Ахмедбейли Ф.С., Гасанов А.Г., Кулиев Ф.Т., Шихалибейли Э.Ш., Бабазаде О.Б., Маммадли Т.Я.,

Етирмишли Г.Д., Кадиров Ф.А., Кадыров А.Г.). В этих исследованиях считалось, что сейсмические процессы случайные и подчиняются нормальному закону распределения. На полученных картах одним и тем же регионам присваивались различные уровни потенциальной сейсмической опасности. Однако можно отметить, что, как наиболее опасные в сейсмическом отношении, обычно выделялись следующие регионы Азербайджана: Шамахи-Исмаиллинская зона, Абшеронский полуостров, а также относительные магнитудные максимумы наблюдались в пределах сейсмоактивной зоны Шеки-Габала и вблизи г. Балакен. Анализ проведенных на сегодняшний день работ показывает важность интегрированного изучения сейсмической опасности территории Азербайджана, как с привлечением новых подходов, так и на основе усовершенствования имеющихся методик.

ГЛАВА II. ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

В настоящей главе рассматриваются понятия фрактала и фрактальной размерности (количественной характеристики фрактальных множеств), в основе которых лежит понятие самоподобия. Основной принцип самоподобия заключается в том, что фрактальные самоподобные структуры не демонстрируют каких-либо значительных изменений на разных масштабных уровнях. То есть, фрактальные структуры, как на малых масштабах рассмотрения, так и на больших, в среднем являются подобными.

Во фрактальном анализе ключевыми понятиями являются фрактальная размерность исследуемого множества, объекта или процесса, а также степенные законы, которым подчиняются фрактальные структуры. В соотношении $N \sim r^{-D}$, где r является масштабом рассмотрения, N – число уменьшенных копий, которое нужно для заполнения исходного объекта, D – фрактальная размерность. Можно записать в соответствующем виде:

$$D = -\lim_{r \rightarrow 0} \lg(N)/\lg(r).$$

Приводится краткий обзор современных мировых научных исследований, посвященных применению фрактальной теории непосредственно к проблемам геофизики, в частности, к изучению фрактальных особенностей и количественных характеристик сейсмического и сейсмоэнергетического процессов, разломной тектоники, а также согласования и взаимозависимости указанных процессов (Мандельброт Б., Стаховский

И.Р., Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Захаров В.С., Turcotte D.L., Barton C.C., La Pointe P.R., Ben-Zion Y., Caneva A., Smirnov V.).

Исследователями выделяются две основные модели фрактального распределения землетрясений по частоте и магнитуде. Первая модель подразумевает фрактальное распределение разломов, и каждый разлом имеет собственные типичные именно для данного разрывного разрушения землетрясения определенной магнитуды. Вторая модель подразумевает, что сейсмические события, приуроченные к тем или иным разломам, имеют фрактальное распределение.

Актуальной проблемой исследования является самоподобие сейсмического режима, который в целом представляет собой множество землетрясений, которые принимаются за точки в координатах пространство-время, наделенные энергетическим параметром. Характеристиками сейсмического режима являются статистические параметры данного множества землетрясений. Известно, что распределения землетрясений по энергиям, в пространстве и во времени, распределение землетрясений по очагам и по глубине носят неоднородный характер. На основе различных исследований выявлено, что сейсмический режим характеризуется чётко выраженными свойствами самоподобия.

Рассматриваются методы вычисления фрактальной размерности. Следует отметить, что в случае природных объектов, даже наделенных очевидными свойствами самоподобия, описывающие их степенные законы не выполняются абсолютно строго. Как правило, наблюдается ограниченный масштабный диапазон, для которого они выполняются (так называемая, область скейлинга). Однако и в пределах области скейлинга описываемые степенные соотношения носят статистический характер.

Широко применяемым методом изучения фрактальных размерностей является клеточный метод, в основе которого лежит определение клеточной фрактальной размерности путем подсчёта количества клеток, в которых содержится контур фрактала. В основе клеточного метода лежит разбиение изучаемого фрактального множества на определенное количество клеток со стороны размером r .

После разбиения множества на ячейки можно получить зависимость количества непустых клеток N от размера стороны клетки r , которая выражается следующей формулой: $\lg N(r) = -D_e * \lg(r) + c$,

где N – число землетрясений в выборке с магнитудой $\geq M$, происшедших в регионе рассмотрения за определенный промежуток вре-

мени; c – эмпирический коэффициент; r – размер стороны клетки разбиения, который уменьшается с каждой итерацией.

Наряду с клеточным методом существуют и другие методики определения фрактальной размерности, в частности, определение фрактальной размерности на основе соотношения площади и периметра, вычисление информационной размерности и некоторые другие методы.

ГЛАВА III. ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЙСМИЧНОСТИ И РАЗЛОМНОЙ СЕТИ АЗЕРБАЙДЖАНА

В настоящей работе исследуются фрактальные особенности распределения землетрясений по энергиям, пространственного распределения землетрясений по эпицентрам, а также фрактальность сети разломов. Получены фрактальные размерности параметров сейсмичности и разломной сети Азербайджана. Также фрактальный анализ проводился для выделенных в пределах Азербайджана сейсмических зон (южный склон Большого Кавказа) и Абшерон-Прибалханской зоны Каспия. Исследована статистика повторяемости землетрясений Азербайджана и отдельных сейсмических зон, рассчитаны соотношения Гутенберга-Рихтера и значения параметра b .

При расчётах фрактальных показателей пространственного распределения землетрясений по эпицентрам и разломной сети использовался клеточный метод.

Для определения показателя фрактальной размерности распределения землетрясений Азербайджана по энергиям использовался закон повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера, в частности параметр b ; а также формула взаимосвязи энергии сильных землетрясений и значений магнитуды $\lg E = \alpha + \beta M$.

Соответственно был определен закон повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера для территории Азербайджана: $\lg N = 5.82 - 0.85M$.

Как видно из вышеприведенной формулы, параметр b для землетрясений территории Азербайджана составляет 0.85.

На основе закона повторяемости землетрясений Азербайджана, эмпирически полученных величин b и β (среднее значение β для Кавказа составляет 1.5) рассчитывалась фрактальная размерность энергий землетрясений для Азербайджана и сопредельных территорий по формуле $d_E = b/\beta$. Фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям составляет $d_E = 0.85/1.5 = 0.57$.

Клеточным методом получена фрактальная размерность распределения землетрясений Азербайджана по эпицентрам. На основе карты пространственного распределения эпицентров землетрясений был построен график, отражающий логарифмическую зависимость числа непустых клеток N , то есть количества клеток, в которых располагается хотя бы один эпицентр землетрясений, от размера клеток разбиения территории Азербайджана r (рис. 1). Получена следующая логарифмическая зависимость (рис.1):

$$\lg(N)=-1.66*\lg(r)+1.55$$

Следовательно, фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений Азербайджана (D_e) составляет 1.66.

Также клеточным методом вычислена фрактальная размерность сети активных разломов территории Азербайджана (рис. 2). Получена следующая логарифмическая зависимость:

$$\lg(N)=-1.64*\lg(r)+1.03$$

Фрактальная размерность разломной сети Азербайджана (D_f) составляет, соответственно, 1.64.

С помощью описанного клеточного метода рассчитывалась фрактальная размерность распределения сейсмических событий южного склона Большого Кавказа по эпицентрам ($D_e = 1.33$).

На основе полученного соотношения Гутенберга-Рихтера для сейсмических событий южного склона Большого Кавказа определялся показатель угла наклона графика повторяемости $b = 0.80$. На основе формулы $d_E=b/\beta$ вычислялась фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям ($d_E= 0.53$).

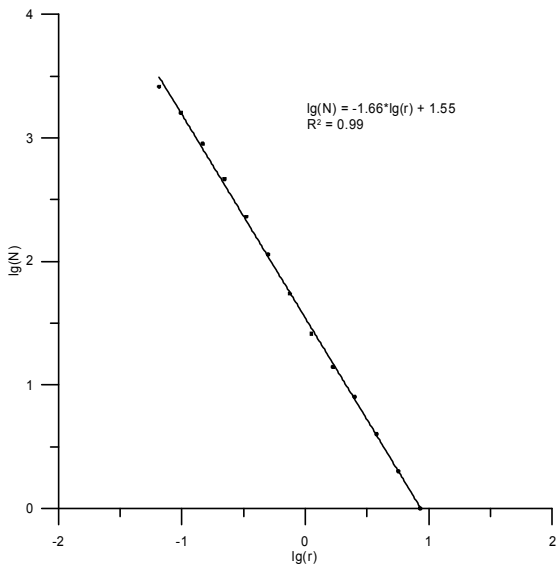


Рис. 1. Определение фрактальной размерности эпицентрального распределения землетрясений Азербайджана за период 1902-2012

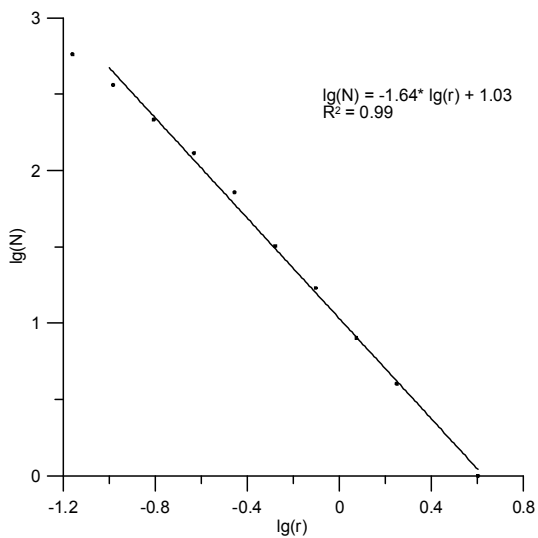


Рис. 2. Вычисление фрактальной размерности разломной сети территории Азербайджана

Также исследовались фрактальные особенности выборки землетрясений всей Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря. За основу была взята карта эпицентров распределения землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны за 1963-2014 гг. Были рассчитаны фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений данной зоны ($D_e = 1.10$), а также фрактальная размерность распределения энергии землетрясений исследуемой сейсмической зоны ($d_E = 0.45$).

ГЛАВА IV. РАСЧЁТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Оценка долговременной сейсмической опасности представляет собой важный этап при прогнозировании сейсмической ситуации того или иного региона. Под этим понимается, главным образом, выделение региональных сейсмогенерирующих зон, определение сейсмopotенциала и пространственно-временных закономерностей возникновения землетрясений в них, установление возможных сейсмических воздействий, как в баллах сейсмической интенсивности, так и в терминах максимальных ускорений и скоростей колебания грунта.

С целью построения карты сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана были составлены карты сейсмической активности (A_{10}) и карты максимально возможных землетрясений (M_{\max}) Азербайджана за период 1902 – 2012 гг.

Сотрясаемость B_I представляет собой среднюю частоту повторения сейсмических толчков заданной интенсивности I в любом исследуемом месте. Любая данная точка земной поверхности испытывает сотрясения не только от очагов, возникающих непосредственно вблизи этой точки, но и от удаленных землетрясений. Величина B_I характеризует интегральный эффект действия всей совокупности очагов и может быть выражена следующей зависимостью:

$$B_{\Sigma} = \iiint_V N_{\Sigma} dx dy dz,$$

где $B_{\Sigma I}$ - суммарная частота повторения сотрясений заданной интенсивности I и выше; N_{Σ} — общее число очагов, вызывающих в точке приёма сейсмические сотрясения интенсивностью I и выше.

При подстановке конкретного выражения функции суммирования N_{Σ} в параметрах очаговой сейсмичности можно записать:

$$B_{\Sigma I} = \sum_S A \frac{\left\{ (10^{-bK_I}) - (10^{-bK_{max}}) \right\} 10^{bK_0}}{10^{0.5b} - 10^{-0.5b}} \Delta S \quad (1)$$

где K_I — величина землетрясения, обеспечивающего интенсивность I в точке, где определяется сотрясаемость; A , b и K_{max} — параметры очаговой сейсмичности. Суммирование ведется по окружающей исследуемую точку площади S , которая разбита на элементарные площадки ΔS . При этом учитывается эффект лишь с тех площадок, где выражение под знаком суммы больше нуля.

Для расчета сотрясаемости требуются данные двух видов: сведения о пространственном распределении параметров сейсмического режима (A , b и K_{max}) и сведения о затухании сейсмического эффекта с расстоянием для исследуемого региона. По формуле (1) рассчитывалась карта сотрясаемости для территории Азербайджана (рис. 3).

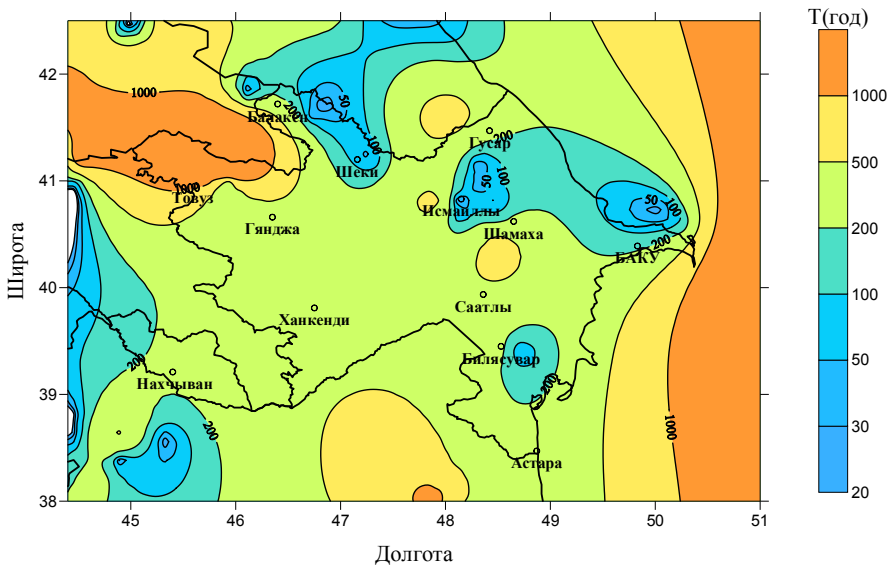
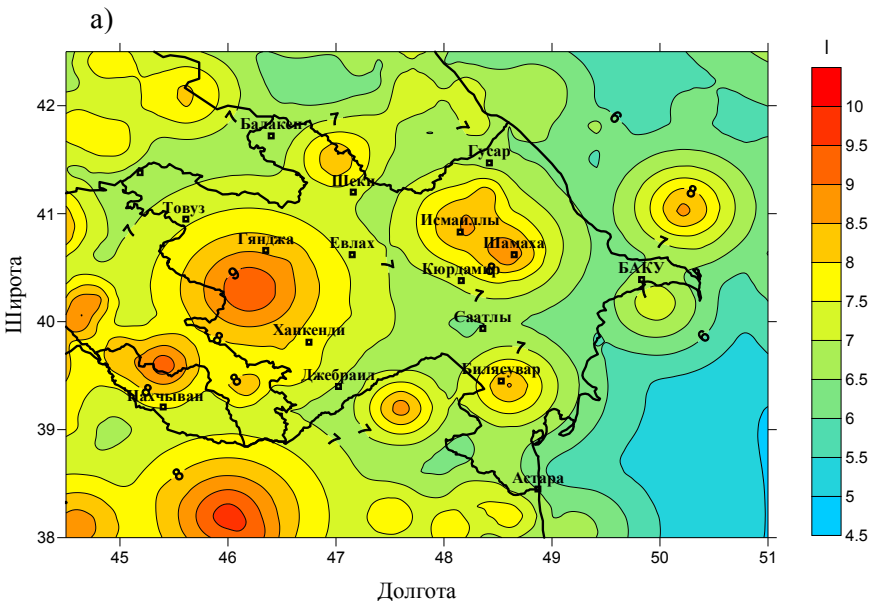


Рис. 3. Карта сейсмической сотрясаемости Азербайджана. Изолиниями показаны средние периоды $T_{\Sigma I} = 1/B_{\Sigma I}$ (в годах) повторения сотрясений интенсивностью равной или большей $I \geq VII$ баллов (1902-2012)

В результате выявлено, что для сейсмических сотрясений $\geq VII$ баллов T_{min} составляет 50 лет. Сюда относится район севернее Абшеронского полуострова. Область наименьшего 50-летнего периода повторяемости VII –балльных и выше сотрясений расположена в районе Шамаха-Исмаиллы, Шеки-Белакан, а также в районе г. Билясувар. Следовательно, данные регионы Азербайджана представляют наибольшую сейсмическую опасность. Почти вся оставшаяся территория Азербайджана охватывается областью с 200 летним и более периодом повторяемости.

В настоящей работе на основе каталога землетрясений были построены карта максимально возможных интенсивностей землетрясений Азербайджана и карта сейсмической опасности в терминах максимальных ускорений грунта (PGA) за исторический период 427-2014 гг. (рис.4а,б).

На карте сейсмической опасности Азербайджана за исторический период в терминах максимальной интенсивности (рис.4а) выделяются зоны с наибольшей интенсивностью, а именно: Шамаха-Исмаиллинский район, участок севернее Абшеронского полуострова, вблизи г. Гянджа, г. Билясувар, г. Шеки, участок южнее Абшеронского полуострова.



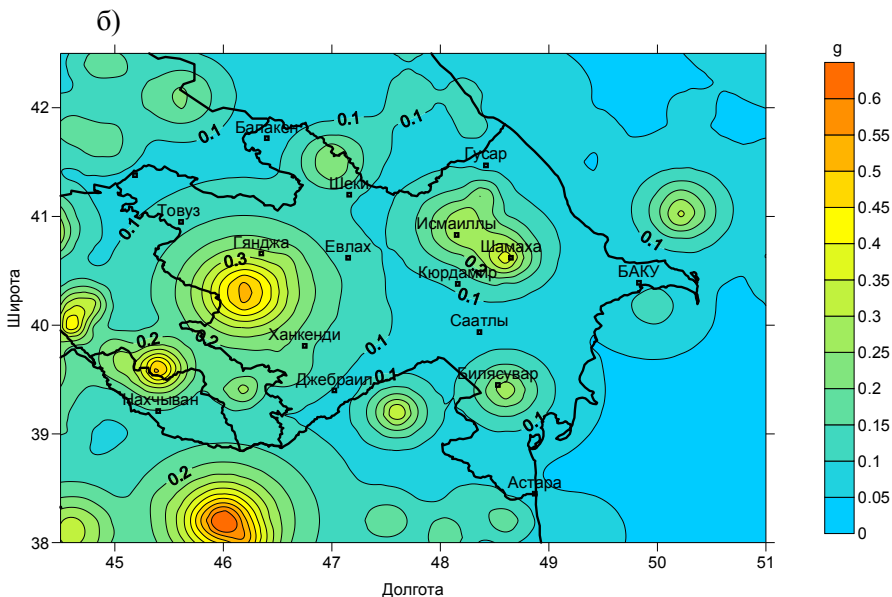


Рис. 4. а) Карта максимальных интенсивностей землетрясений Азербайджана (427-2014 гг.); б) карта сейсмической опасности в терминах максимальных ускорений грунта (PGA) для Азербайджана (427-2014 гг.).

Выделенные на карте зоны с наибольшими значениями PGA (рис. 4б) приблизительно совпадают с приведёнными сейсмическими зонами Азербайджана, для которых характерны максимальные интенсивности.

ГЛАВА V. ИНТЕГРИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧНОСТИ АЗЕРБАЙДЖАНА

На основе фрактальности распределения землетрясений по эпицентрам и энергиям был проведен интегрированный анализ сейсмического районирования южного склона Большого Кавказа, а также Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря.

На рис.5 приводится карта зонального распределения эпицентров землетрясений на южном склоне Большого Кавказа. Анализ эпицентрального разброса землетрясений в пределах изучаемого региона показал наличие четырех отдельных сейсмических зон с различной плотно-

стью эпицентрального распределения, а именно: Балакен-Загатальская (зона I), Шеки-Габалинская (зона II), Шамахи-Исмаиллинская (зона III) и Гобустан-Абшеронская зоны (зона IV). Для каждой из этих сейсмоактивных зон (рис. 5) были рассчитаны показатели фрактальных размерностей эпицентрального распределения землетрясений D_e .

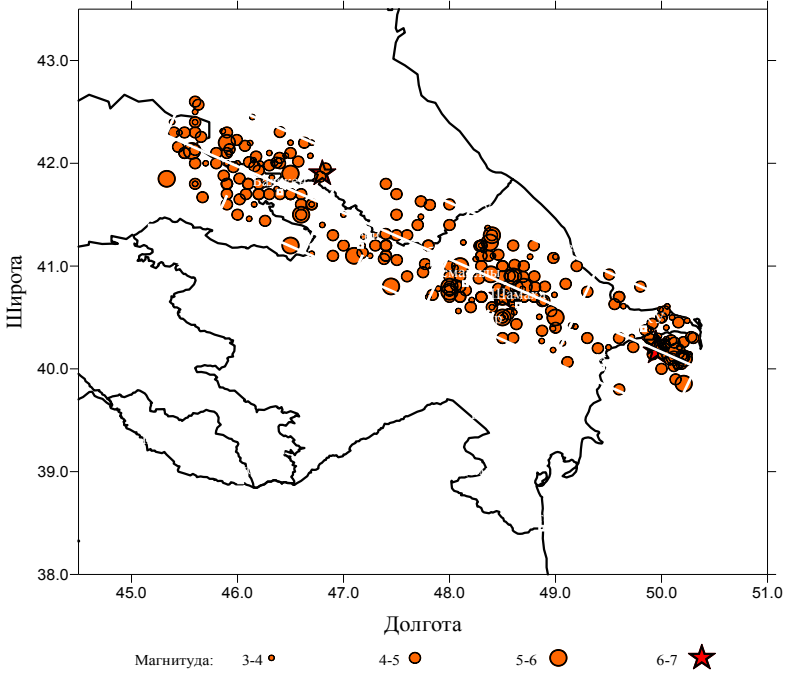


Рис.5. Зональное распределение эпицентров землетрясений на южном склоне Большого Кавказа в полосе шириной 1° вдоль ГКН

Получено статистически-математическое подтверждение схожести эпицентрального распределения землетрясений первой и третьей зон, для которых характерна относительно высокая плотность эпицентрального распределения (значение D_e для этих зон составляет 1.30). В свою очередь, аналогичные фрактальные размерности для второй и четвертой зон также достаточно близки (1.03 и 1.16). Данные сейсмоактивные участки характеризуются менее густым распределением эпицентров землетрясений.

Также изучались фрактальные показатели энергетического распределения землетрясений сейсмических зон южного склона Большого Кавказа. Получены следующие фрактальные показатели энергетического распределения d_E : для I-ой зоны - $d_E=0.83/1.5=0.55$; для II-ой зоны - $d_E=0.88/1.5=0.59$; для III-ей зоны - $d_E=0.70/1.5=0.47$; для IV-ой зоны - $d_E=0.58/1.5=0.39$. Наибольшее значение фрактальной размерности энергетического распределения демонстрирует зона Шеки-Габала, наименьшее значение фрактальной размерности получено для четвертой зоны (Гобустан-Абшерон).

Обобщение количественных характеристик самоподобия сейсмического процесса позволило нам выделить на исследуемом участке четыре обособленные сейсмические зоны, которые характеризуются различными сейсмическими режимами и отличаются уровнями сейсмической активности и накопленного тектонического напряжения. Данная регионализация подтверждается также изучением горизонтальных компонентов GPS-скоростей, механизмов очагов и количества выделенной энергии землетрясений южного склона Большого Кавказа, а также пространственным распределением эпицентров.

На рис.6 приводится карта распределения эпицентров землетрясений четырех участков Абшерон-Прибалханской зоны. Было проведено сейсмическое районирование сейсмоактивной Абшерон-Прибалханской зоны. На основе визуализации распределения эпицентров Абшерон-Прибалханской сейсмической зоны проводилась регионализация. Границы зон по сейсмическим данным проводились по тем местам, где наблюдалось уменьшение плотности распределения эпицентров землетрясений. Так, в регионе исследования было выделено четыре сейсмогенных участка, различающихся по плотности распределения эпицентров.

Для выделенных в пределах Абшерон-Прибалханской зоны четырех участков были рассчитаны фрактальные размерности эпицентрального распределения землетрясений, а также фрактальные показатели энергетического распределения землетрясений.

Полученные значения фрактальных размерностей распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (D_e) варьируются в пределах от 0.70 до 0.92 (третий участок).

Значения фрактальных показателей распределения землетрясений четырех участков Абшерон-Прибалханской зоны по энергиям (d_E) варьируются в пределах от 0.34 до 0.42.

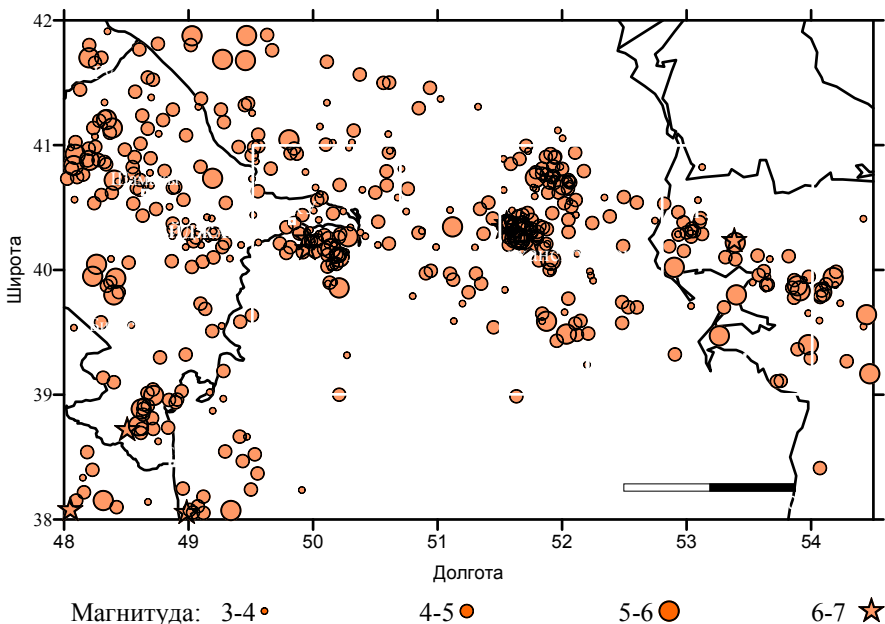


Рис.6 Пространственное распределение эпицентров землетрясений четырех участков Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2014 гг.)

В работе проведен мультифрактальный анализ землетрясений. Принимая во внимание согласованность процессов разломообразования и распределения сейсмических событий, представляется целесообразным комплексное исследование фрактальных характеристик, которые описывают данные процессы. Выражением зависимости параметров разломообразования и сейсмичности является известное фрактальное теоретическое соотношение $D = 2b$, которое связывает параметр b из закона Гутенберга-Рихтера и фрактальные размерности (разломов и эпицентров).

Так как, фрактальная размерность распределения по энергиям связана с параметром b формулой $d_E = b/\beta$, где в среднем β составляет 1.5, то можно записать фрактальную зависимость разломов и эпицентров от фрактальной размерности распределения по энергиям в следующем виде: $D = 3 * d_E$.

Выявлено, что для всего Азербайджана теоретическое мультиф-

рактальное соотношение $D = 3 * d_E$ выполняется достаточно близко, что повышает достоверность проведенного фрактального анализа.

Для зон южного склона Большого Кавказ, расположенных вдоль Главного Кавказского Надвига, наиболее достоверными являются рассчитанные значения для зон Гобустан-Абшерон (2.97), Шамаха-Исмаиллы (2.77) и Балакен-Загатала (2.36), а наименее достоверным является значение 1.75, рассчитанное для зоны Шеки-Габала. Для Абшерон-Прибалханской зоны в целом коэффициент соотношения D_e/d_E , хотя и ниже теоретического, но, всё же, может быть принят как достоверный (2.44).

Выводы:

Для территории Азербайджана определены показатели фрактальных размерностей (количественные характеристики самоподобия) распределения землетрясений по энергиям ($d_E=0.57$) и эпицентрам ($D_e=1.66$), а также фрактальный индикатор распределения разломной сети ($D_f=1.64$).

1. Сравнительный анализ показывает, что фрактальные размерности D_e и D_f имеют близкое значение с аналогичными показателями, рассчитанными для Кавказа, которые составляют, соответственно: $D_e=1.67$ и $D_f=1.63$.

2. На основе визуализации и с учётом изменения плотности распределения эпицентров, характера распределения GPS скоростей и напряженного состояния земной коры на южном склоне Большого Кавказа были выделены четыре сейсмогенные зоны: Балакен-Загатальская, Шеки-Габалинская, Шамахи-Исмаиллинская и Гобустан-Абшеронская.

3. Фрактальная размерность эпицентрального распределения землетрясений всего южного склона Большого Кавказа составляет $D_e = 1.33$, а фрактальная размерность энергетического распределения землетрясений данной области равна $d_E = 0.53$.

4. Изучение фрактальных свойств землетрясений по пространственному распределению эпицентров показывает, что для Балакен-Загатальской сейсмогенной зоны $D_e=1.30$, для Шеки-Габалинской зоны $D_e=1.03$, для Шамахи-Исмаиллинской зоны $D_e=1.30$ и для Гобустан-Абшеронской зоны $D_e=1.16$.

5. Вычисленная фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского

моря составляет $D_e=1.10$, а фрактальная размерность распределения энергии землетрясений $d_E=0.45$. На основе рассчитанных фрактальных характеристик, а также пространственного распределения эпицентров землетрясений, Абшерон-Прибалханская зона разбивалась на четыре отдельных сейсмических участка. Для этих участков были получены следующие значения фрактальных размерностей распределения эпицентров и энергии землетрясений: для I зоны $D_e=0.79$, $d_E=0.34$; для II зоны – $D_e=0.70$, $d_E=0.42$; для III зоны – $D_e=0.92$, $d_E=0.41$; для IV зоны – $D_e=0.82$, $d_E=0.41$.

6. Принимая во внимание связь между показателем b и накопленным тектоническим напряжением, которая носит обратный характер, можно сделать вывод о том, что более высокие показатели фрактальной размерности распределения землетрясений по энергиям указывают на меньшую сейсмическую активность изучаемого региона (выделение меньшего количества сейсмической энергии). Иными словами, сравнительно маленькие значения фрактальной размерности распределения землетрясений по энергиям могут свидетельствовать о большом накоплении напряжения и, следовательно, высоких сейсмических рисках, которые представляет изучаемая территория.

7. В общем случае, фрактальная размерность совокупности разломов характеризует геометрию разломной системы. Значение фрактальной размерности разломных сетей и их сегментов, определяемое на основе карты разломов, связано с густотой покрытия изучаемой территории разломами. Чем выше густота покрытия изучаемой территории разломами, тем выше показатель фрактальной размерности.

8. Выявлено, что для всего Азербайджана теоретическое мультифрактальное соотношение $D = 3 * d_E$ выполняется достаточно близко, что повышает достоверность проведенного фрактального анализа. Коэффициент мультифрактального соотношения (D_e/d_E) для землетрясений южного склона Большого Кавказа составляет 2.51. Фрактальное соотношение для всей Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря, хотя и ниже теоретического, тем не менее, может быть принято как относительно надёжное (2.44).

9. Для интегрированного исследования сейсмической опасности строились карта сейсмической активности, карта максимально возможных магнитуд землетрясений, карта сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана. Также составлялись карта максимальной интенсивности землетрясений MSK-64 и карта сейсмической опасности в тер-

минах максимальных ускорений грунта PGA для Азербайджана.

10. На основе карты сейсмической активности (A_{10}) проводилось предварительное сейсмическое районирование территории Азербайджана. Выявлены четыре обособленные зоны с относительно большой сейсмической активностью ($A_{10} = 2,4-2,8$) - Балакен-Загатала, Шамаха-Исмаиллы, прибрежная зона Каспийского моря, а также Абшеронский полуостров. Со значениями $A_{10} = 1,8-2$ выделяется зона Талыша. Относительно невысокие показатели сейсмической активности $A_{10} = 1,2-1,4$ демонстрируют Гянджа, Шеки-Габала, Хачмаз.

11. Построенная карта сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана для $I \geq VII$ баллов показывает, что минимальный период повторяемости сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений составляет $T_{\min} = 50$ лет.

12. Наибольшие значения PGA на территории Азербайджана за исторический период наблюдаются в Шамаха-Исмаиллинской зоне, на севере и юге Абшеронского полуострова, вблизи городов Гянджа, Билясувар и Шеки. За исторический период на территории Азербайджана выделяются следующие зоны с наибольшей интенсивностью: Шамаха-Исмаиллинский район, участок севернее Абшеронского полуострова, вблизи г. Гянджа, г. Билясувар, г. Шеки, участок южнее Абшеронского полуострова.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Azərbaycan ərazisində baş vermiş zəlzələlərin fractal statistikasi // Gəncəlimvətəlbələrinüçüncübeynəlxalqelmikonfransı. Bakı, 2009. s. 85
2. Фрактальные свойства землетрясений Азербайджана по энергиям и пространственному распределению эпицентров // VII Azerbaijan International geophysical conference. Baku, 11-13 May 2010. AbstractBooks, p. 26 (соавторы Кадиров Ф.А., Кадыров А.Г.)
3. Фрактальные свойства землетрясений Азербайджана // Труды молодых ученых. Владикавказский научный центр, РАН. Выпуск №3, 2010. I Региональная междисциплинарная конференция молодых ученых «Наука-Обществу»
4. Фрактальные свойства землетрясений Азербайджана по энергиям и пространственному распределению эпицентров // Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана, РЦСС НАНА. 2010, с.90-97 (соавторы Кадиров Ф.А., Кадыров А.Г.)

5. Фрактальный характер пространственного распределения эпицентров землетрясений Азербайджана // Материалы научной конференции аспирантов НАНА. Ваки - "Elm", 2010. с. 289 – 292
6. Фрактальные характеристики сейсмичности территории Азербайджана // НАН Азербайджана Известия. Науки о Земле. № 1, 2011, с.57-64 (соавторы Кадилов Ф.А., Кадыров А.Г.)
7. Фрактальная размерность разломной тектонической сети Азербайджана // Материалы научной конференции докторантов НАНА. Ваки - "Elm", 2011. с. 165 – 167
8. Fractal characteristics of Azerbaijan territory seismicity // The 4th international scientific conference of young scientists and students "Earth sciences new approaches and achievements". 2011. p. 76
9. Карты сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана для значений интенсивности $I \geq VII$ // Хəбərləg, 2012, №3, с. 23 – 28 (соавторы Кадилов Ф.А., Кадыров А.Г.)
10. Сейсмическое районирование южного склона Большого Кавказа по фрактальным особенностям землетрясений, напряженному состоянию и по данным GPS скоростей // Физика Земли, 2013, № 4, с.111–119 (соавторы Кадилов Ф.А., Кадыров А.Г., Бабаев Г.Р., Агаева С.Т., Мамедов С.К., Сафаров Р.Т.)
11. F.A.Kadirov, A.G.Gadirov, G.R.Babayev, S.T.Agayeva, S.K.Mammadov, N.R.Garagezova, R.T.Safarov. Seismic zoning of the southern slope of Greater Caucasus from the fractal parameters of the earthquakes, stress state, and GPS velocities. Izvestiya, Physics of the Solid Earth July 2013, Volume 49, Issue 4, pp 554-562
12. Фрактальные свойства землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны по энергетическому и эпицентральному распределению. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы Азербайджан, 14-18 сентября, 2015, стр.172-175 (соавторы А.Г.Кадыров, Ф.А. Кадилов).



AZƏRBAYCAN ƏRAZISİNDƏ SEYSMİK TƏHLÜKƏNİN
İNTEQRƏ TƏHLİLİ

XÜLASƏ

Dissertasiya işi Azərbaycan ərazisinin seysmik rejiminin tektonika ilə əlaqəsinə əsaslanan fraktal təhlilinə, seysmikliyin özünəbənzər (özünəbənzərliyin) xüsusiyyətlərinin aşkar edilməsinə həsr edilmişdir. Həmçinin, dissertasiya işində Azərbaycan ərazisinin seysmik təhlükəsinin inteqral təhlili verilir.

Aparılan tədqiqat nəticəsində bəzi məsələlər həll edilib, beləki Azərbaycan ərazisində seysmik prosesin və qırılma sisteminin özünəbənzər (özünəbənzərliyin) kəmiyyət xüsusiyyətləri müəyyən edilmiş; Böyük Qafqazın cənub yamacının və Xəzər dənizinin Abşeron-Pribalxan zonasının seysmik xüsusiyyətlərinin fraktal tədqiqi aparılmışdır. Fraktal göstəricilərin etibarlıq dərəcəsinin yoxlanılması məqsədilə zəlzələlərin multifraktal təhlili aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bütün Azərbaycan ərazisi üçün nəzəri multifraktal etibarlılıq $D = 3 * d_E$ kəmiyyətinə kifayət qədər yaxındır, bu isə aparılan fraktal təhlilin etibarlılığını artırır. Öyrənilən regionun seysmik xüsusiyyətləri və problemin tədqiqat metodlarının təkamül prosesi hərtərəfli təhlil olunur.

İşdə fraktal təhlilinə əsas anlayışları əks edilir. Öyrənilən çoxluğun, obyektin ya da prosesin fraktal ölçüsü, həmçinin fraktal strukturlar tabe olan dərəcə qanuna uyğunluqlar, fraktal təhlilin açar anlayışlarıdır.

Azərbaycan ərazisi üçün enerjiyə və episentrlərə görə zəlzələlərin paylanması fraktal kəmiyyət xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir. Beləki, Azərbaycan ərazisində zəlzələlərin episentral paylanması fraktal ölçüsünün $D_e=1.66$, enerjiyə görə paylanması fraktal ölçüsünün isə $d_e=0.57$ olduğu müəyyən edilmişdir.

Böyük Qafqazın cənub yamacı və burada ayrılan dörd seysmoaktiv zonanın, həmçinin, Abşeron-Pribalxan zonasının və burada ayrılan dörd sahənin zəlzələ episentrlərinin analoji fraktal ölçüləri müəyyən edilmişdir.

Dissertasiya işində həmçinin, Azərbaycanın qırılma sisteminin paylanması fraktal indikatorları əldə edilmişdir ($D_f=1.64$).

Seysmik təhlükənin inteqrə tədqiqi üçün seysmik aktivlik xəritəsi, zəlzələlərin maksimal mümkün olan maqnitudaların xəritəsi, Azərbaycan ərazisinin seysmik titrəyiş xəritəsi qurulur. Bununla yanaşı, zəlzələlərin maksimal intensivlik xəritəsi MSK-64 və Azərbaycanın ərazisində qruntun maksimal təcili PGA terminlərində seysmik təhlükə xəritəsi tərtib edilmişdir.

NIGAR RAUF GARAGOZOVA

**THE INTEGRATED ANALYSES OF THE SEISMIC HAZARD
OF AZERBAIJAN TERRITORY**

SUMMARY

This dissertation work is dedicated to the detection of the seismicity self-similar properties by the means of the fractal analyses of the seismic regime characteristics and its connection with the tectonics. The integrated analysis of Azerbaijan territory seismic hazard has been also conducted. As a result of the investigations the following tasks have been resolved: the detection of the seismic process' and the fault system's self-similarity quantitative characteristics for the territory of Azerbaijan; the investigation of the seismicity fractal properties for the region of the southern slope of Greater Caucasus and for the Absheron-Prebalkhan seismic zone of the Caspian Sea. In order to coordinate all of the obtained fractal indicators the multifractal analyses of earthquakes has been conducted. The obtained relation for the fractal dimensions calculated for the whole Azerbaijan is quite close to the theoretical multifractal relation of $D = 3 * d_E$. This «proximity» could be considered as the additional proof of the credibility of the seismicity fractal characteristics which has been investigated.

The seismic hazard problem for Azerbaijan territory, the evolution of this problem research methods and the characteristics of the seismicity of the region under study have been analyzed.

The main concepts for the fractal analyses have been described in this work. The key notions for the fractal analyses are the fractal dimension of the investigated set, object or process and power laws which describe different fractal structures.

The quantitative characteristics of the energy and epicenter earthquake fractal distribution have been determined for Azerbaijan. Particularly, the value of the epicenter earthquake distribution's fractal dimension for Azerbaijan is equal to $D_e=1.66$. The fractal dimension of earthquake energy distribution for Azerbaijan is equal to $d_E=0.57$.

The similar fractal indicators have been determined for the southern slope of Greater Caucasus and for the four separate seismic active zones located within it, as well as for the Absheron-Prebalkhan region and for the four separate zones within this region.

The fractal geometry of Azerbaijan fault system has been also investigated. The fractal dimension of the fault network distribution has been obtained which is equal to $D_f=1.64$.

Within the framework of the seismic hazard integrated investigation the seismic activity map, the map of the maximum possible magnitude earthquakes, as well as the seismic shake map for the territory of Azerbaijan have been compiled. The map of earthquakes maximal intensity MSK-64 and the map of the seismic hazard in the terms of peak ground acceleration for Azerbaijan have been also compiled.

Сифариш № 28. Тиражы 100 нцсхя

Азярбайъан МЕА Эеолоэийа вә Geofizika Институ-

ту

«Нафта-Пресс» няшриййаты,

Бакы, Ц. Бавид пр. 119, Тел.: 539-39-72

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
GEOLOGİYA VƏ GEOFİZİKA İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

NİGARRAUF QIZI QARAGÖZOVA

**AZƏRBAYCAN ƏRAZİSİNDƏ
SEYSMİK TƏHLÜKƏNİN İNTEQRƏ TƏHLİLİ**

2507.01 – “Geofizika, faydalı qazıntıların
geofiziki axtarış üsulları”

Yer elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ – 2015