

УДК 550.348.436

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АНАЛИЗУ ФОРШОКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гаджиев Аюб Акбашович

канд. тех. наук

Ахмедулаева Месей Магомедхабибовна

аспирант

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В статье предложен общий алгоритм анализа форшоковой деятельности сильного землетрясения по схеме, включающей четыре этапа: сбор первичной информации о геофизическом процессе; генерация многосторонней информации о развитии геофизических процессов в период форшоковой деятельности; общий анализ и выводы по результатам второго этапа; моделирование геофизических процессов форшоковой деятельности, позволяющее получить информацию о пространственной динамике форшокового процесса в реальном времени, на основе которого решается задача краткосрочного прогноза времени, места и даже силы землетрясения.

Ключевые слова: землетрясение; форшоки; прогноз; очаговая зона.

ABOUT ONE APPROACH TO THE ANALYSIS OF FORSHOKS ACTIVITY OF A STRONG EARTHQUAKE

Gadjiev Ajub Akbashovich

candidate of technical sciences

Ahmedulaeva Mesej Magomedhabibovna

post-graduate student

Dagestan state technical university, Makhachkala

Abstract. The authors propose a general algorithm for the analysis of earthquake foreshock of the scheme, which includes four steps: collection of primary information about the geophysical processes, the generation of the multilateral development information geophysical processes during foreshock activity, an overall analysis and findings of the second stage, modeling of geophysical processes of the foreshock which allows to obtain information about the spatial dynamics of foreshock process in real time, on the basis of which solves the problem of short-term forecasting of time, place, and even by the earthquake.

Key words: earthquake; foreshock; forecast; focal zone.

1. Постановка задачи

Форшоковая (ФШ) деятельность, как известно, является одним из главных источников информации о геофизических процессах, происходящих в локальном участке земной коры (ЗК) перед главным толчком (ГТ).

ФШ деятельность, как краткосрочный предвестник ГТ, активно начали изучать советские и японские сейсмологи в 60-е и 70-е годы [1-5]. Однако

единого мнения о тесной связи ФШ с ГТ не удалось выработать. Так, К. Моги после анализа 1500 землетрясений с магнитудой М4 и выше, которые произошли в Японии и вблизи неё за период с 1926 по 1961 годы, установил, что только в 60 случаях ГТ предшествовали ФШ события. Но при изучении этого вопроса позже им же, с использованием более точной сейсмологической аппаратуры, это соотношение оказалось более значительным, т.е. связь ФШ событий с ГТ существует. Было установлено также, что если время предвестника (ФШ событий) $T_{фш}$ определяется как интервал времени между первым наблюденным толчком и ГТ, то $T_{фш}$ колеблется в пределах от нескольких минут до нескольких сотен суток. Но до настоящего времени остаётся неясным, какое событие считать началом ФШ деятельности. Тем не менее, косвенным признаком начала ФШ процесса может служить тот факт, что ЗТ, предваряемые форшоками, как правило, происходят в довольно ограниченных зонах. Другими словами, допуская выбор начала ФШ деятельности в некоторой степени произвольно, по крайней мере, по изменению интенсивности событий можно указать начало ФШ деятельности.

К. Моги установил два типа ФШ деятельности [5]: тип 1 (непрерывный, Н-тип) – число ФШ непрерывно нарастает вплоть до момента ГТ; этот тип характерен для многих неоднородных хрупких горных пород; тип 2 (прерывный, П-тип): ФШ происходят менее регулярно и уменьшаются перед ГТ; этот тип, по-видимому, встречается чаще в случае более однородных образцов горных пород.

Указанные два типа последовательностей ФШ, установленные при лабораторных испытаниях горных пород, характерны также и для естественных ЗТ.

Исследование вопросов форшоково – афтершоковых процессов, связанных с ЗТ в Восточном Предкавказье, и анализ ФШ деятельности некоторых сильных ЗТ в различных сейсмоактивных регионах Земли за

период с 1999 по 2011 годы [6-10], показали, что ФШ деятельность представляет собой важный информативный предвестник. Он (возможно, в комплексе с другими предвестниками), по-видимому, позволит найти решение задачи краткосрочного прогноза сильного ЗТ.

Особенно эту нашу убежденность подтвердил анализ ФШ деятельности катастрофического ЗТ в Японии 11.03.2011 г. [10].

Мы поставили перед собой задачу определить и сформулировать основные положения метода, математического аппарата и общей схемы анализа ФШ деятельности сильного ЗТ.

2. О методе и математическом аппарате анализа ФШ деятельности сильного ЗТ

В конкретной описательной и *недостаточно формализованной области науки* всегда можно с той или иной точностью определить множество изучаемых объектов. Изучая это множество, можно попытаться разными способами выделить простейшие, легко исследуемые, обладающие нужными свойствами, объекты. При этом следует также выяснить, как более сложные объекты *конструируются* из более простых (или простейших), т.е. *найти некоторые операции*. Другими словами, исходное множество объектов и множество операций не задаются априори, но появляются в результате исследования конкретной области – программирования, лингвистики, биологии, сейсмологии и т.п. Эти положения определяют суть дескриптивного метода исследования. Далее можно использовать схему, которая хорошо разработана в дескриптивной теории множеств Ляпунова А.А. [11].

В работе [10], и предшествовавших ей исследованиях автора, был использован дескриптивный метод изучения потока сейсмических событий, являющихся результатом геофизических процессов в ЗК, как исходное (универсальное) множество простейших объектов – сейсмических событий.

Заметим, что, в отличие от экспериментального метода, когда исследователь активно вмешивается в процессы развития предметов и явлений, дескриптивный метод предполагает невозможность вмешательства исследователя в ход «эксперимента», в данном случае – геофизических процессов.

Математический аппарат дескриптивной теории множеств Ляпунова А.А. позволяет построить схему анализа потока сейсмических событий в следующей форме:

1. Дано исходное множество простейших объектов – статистические данные наблюдений сейсмических событий.
2. Разбиение исходного множества объектов на подмножества по некоторому признаку – выборка из исходного множества подмножества событий, относящихся к ФШ деятельности, по признаку, по крайней мере, заметного увеличения интенсивности потока событий. Множество ФШ событий – это новый (основной) объект изучения.
3. Разбиение множества событий ФШ деятельности на подмножества путём применения некоторых заданных операций.
4. Полученные подмножества (классы) объектов обладают новыми свойствами. Анализ этих свойств – получение новой информации об объекте исследования – ФШ деятельности сильного ЗТ.

Следует отметить, что приведённая схема анализа ФШ деятельности по Ляпунову А.А. полностью вписывается в активно развивающуюся в настоящее время теорию формальных технологий, в основе которой лежат три базовые операции – *декомпозиция* задачи, *анализ* (решение) подзадач и *синтез* общего решения задачи. Каждая из базовых операций реализуется более простыми операциями, выбор которых зависит от конкретной области применения.

В соответствии с п. 3 этой схемы для преобразования исходного (универсального) множества событий ФШ деятельности мы предлагаем использовать следующие операции:

1) *операция выборки* (разбиения исходного множества событий N на два подмножества – подмножество ФШ событий и подмножество других событий):

- универсальное подмножество событий, заданных в стандартном формате

$$N = F_1[\varphi, \lambda, h, M(K, E), t], \quad (1)$$

где φ – широта эпицентра в градусах, λ – долгота эпицентра в градусах, h – глубина гипоцентра в км, M – магнитуда (или энергетический класс K , или эквивалент энергии в Дж), t – время совершения события (год, месяц, дата, час, мин, сек);

- подмножество событий ФШ деятельности

$$N_{фш} = F_2[\varphi, \lambda, h, M(K, E), T_{фш}, t], \quad (2)$$

где $T_{фш}$ – продолжительность ФШ деятельности (месяцы, сутки, часы);

2) *операция временного распределения* ФШ событий:

$$f_1 = N_{фш}(t), f_2 = E_{фш}(t), \quad (3)$$

где $E_{фш}$ – энергия, эквивалентная значению магнитуды события; построение функций (3) позволяет анализировать характер ФШ деятельности – его тип (Н-тип или П-тип по К. Моги), продолжительность ФШ деятельности, интенсивность потоков событий и диссипации сейсмической энергии, а также выяснить закономерности развития ФШ деятельности в районах с различной сеймотектоникой;

3) *операция пространственного распределения эпицентров ФШ событий* - построение и анализ функционала:

$$\Phi_1 = F_1[N_{фш}, T_{фш}, \varphi, \lambda, M, t]. \quad (4)$$

Функционал (4) представляет собой 2D модель пространственно-временной количественной и энергетической эволюции ФШ деятельности;

4) операция пространственно-временного распределения гипоцентров ФШ событий – построение и анализ функционалов:

$$\Phi_2 = F_2[N_{фш}, T_{фш}, \varphi, \lambda, h, t], \quad (5)$$

представляющего собой 3D модель пространственно-временного формирования и простираения очаговой зоны ожидаемого сильного ЗТ, геометрической формы очаговой зоны, позволяющая вычислить её размеры, глубину расположения и направленность очаговой зоны ЗТ;

$$\Phi_3 = F_3[N_{фш}, T_{фш}, \varphi, \lambda, h, M, t], \quad (6)$$

$$\Phi_4 = F_4[N_{фш}, T_{фш}, \varphi, \lambda, h, E(Q), t]. \quad (7)$$

Функционалы (6) и (7) представляют собой 3D модель пространственно-временного распределения магнитуд, определяющего характер и интенсивность диссипации энергии (E, Дж) и теплоты (Q, кал) ФШ событий в пространстве очаговой зоны.

Функционалы (5), (6) и (7) позволяют визуализировать динамику процесса формирования очаговой зоны ожидаемого ЗТ и идентифицировать модель формирования очаговой зоны – влажная (флюидная, fluid-model) – как термодинамической системы, или сухая (безводная, dry-model) механических дислокаций геологической среды. В конечном счёте, знание динамики формирования очаговой зоны ЗТ является главной составляющей (основой) для решения задачи краткосрочного прогноза триады ЗТ – времени, места и силы ЗТ.

Таким образом, в соответствии с теорией формальных технологий, третья базовая операция (синтез) при исследовании ФШ деятельности для прогноза триады ЗТ (времени, места и силы ЗТ) реализуется на основе результатов анализа формулами:

$$\text{синтез решения о прогнозе времени ЗТ} = A_1 \cup A_4, \quad (8)$$

где A_1 – результат применения операции 2 - анализа функций (3),
 A_4 – результат применения операции 4 – анализа функционала (7);

синтез решения о прогнозе места совершения

$$3T = A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup A_5, \quad (9)$$

где A_3 – результат применения операции 4 – анализа функционала (5),
 A_4 – результат применения операции 4 – анализа функционала (6),
 A_5 – применения операции 4 и анализа функционала (7);

синтез решения о прогнозе силы $3T = A_3 \cup A_4 \cup A_5. \quad (10)$

Из формул (8), (9) и (10) следует общая формула процесса получения новой информации в результате применения предлагаемой методики анализа ФШ деятельности сильного ЗТ (как совершившегося, так ожидаемого в реальном времени):

*получение новой информации = описание + сравнение + анализ +
синтез + обобщение.*

В этой формуле первые две слагаемые в правой части составляют сущность дескриптивного метода.

3. Общая схема и задачи анализа ФШ деятельности сильного ЗТ

К основным задачам построения методики анализа ФШ деятельности мы относим: 1) выяснение некоторых общих закономерностей развития геофизических процессов, обуславливающих формирование очаговой зоны и гипоцентра сильного ЗТ; 2) построение инвариантного (на основе только реальных статистических данных сейсмологических наблюдений) алгоритма прогноза времени и места ЗТ.

Общая схема анализа ФШ деятельности для прогнозирования времени и места (возможно и силы) ЗТ включает, как указано выше (п. 2), по крайней мере, четыре направления:

- 1) анализ временного распределения ФШ событий;
- 2) анализ пространственного распределения эпицентров и гипоцентров ФШ событий;
- 3) анализ энергетической диссипации ФШ деятельности;

4) анализ вариаций различных сопутствующих геофизическим процессам ФШ деятельности аномальных явлений на дневной поверхности (предвестников ЗТ).

Первые два направления общей схемы реализуются путём визуализации процессов в статике и динамике, третье и четвёртое – путём вычисления величин, связанных с параметрами событий по исходным статистическим данным, и измерения аномальных вариаций физических величин, связанных с геофизическими процессами формирования очаговой зоны ЗТ и совершением ГТ.

В связи с этим предлагаемая нами схема анализа ФШ деятельности включает следующие задачи:

- 1) разработка общей схемы методики *разностороннего* анализа ФШ деятельности ЗТ, которые произошли в сейсмоактивных районах Земли с различными геологическими и тектоническими особенностями ЗК;
- 2) выяснить общие закономерности, характерные для ФШ деятельности в разных по геологическому строению и тектоническому режиму локальных участках ЗК;
- 3) вынести суждения о гипотетическом прогнозе каждого изучаемого сильного ЗТ на основе анализа статистических данных ФШ деятельности;
- 4) сформулировать основные положения (общий алгоритм) решения задачи прогноза ЗТ в реальном масштабе времени;
- 5) сформулировать принципы компьютерного моделирования ФШ деятельности, позволяющего проверить непротиворечивость суждений о возможности прогноза ЗТ на основе статистических данных наблюдений ФШ событий, т.е. развития геофизических процессов в реальном времени.

4. Две модели механизма формирования очаговой зоны ЗТ в результате ФШ деятельности

Анализ ФШ деятельности ряда сильных ЗТ, приуроченных районам с разной сейсмотектоникой, в частности, происшедших:

а) в коллизии Эгейско-Адриатической плиты – ЗТ в Италии – 2009 г., Греции – 2010-2012 гг., Турции – 2010-2012 гг.;

б) Иранской плиты – ЗТ в Иране – 2010, 2011 гг.;

в) в коллизии Евразийской и Тихоокеанской платформ – ЗТ на п-ове Камчатка (Корякское ЗТ – 2006 г.), Японское ЗТ – 11.03.2011 г.;

г) в коллизии Тихоокеанской и Индо-Австралийской платформ – Новозеландское ЗТ – 02.2011 г.,

показал, что подготовка геологической среды к совершению главного толчка происходит по разным сценариям развития физических процессов.

Нам удалось установить, по крайней мере, два типа развития геофизических процессов ФШ деятельности – в сущности два различных физических механизма, которых мы назвали *моделями формирования очаговой зоны ЗТ*.

Первая модель – *влажная (флюидная, fluid-model)*, вторая – *сухая (безводная) модель (dry-model)*.

Сущность механизма флюидной модели состоит в следующем. На непродолжительном заключительном промежутке времени ФШ деятельности, как правило, происходит значительное увеличение интенсивности потока ФШ событий в ограниченном объёмном пространстве с высвобождением большого количества сейсмической энергии – следствием этого является формирование очаговой зоны некоторой геометрической формы как термодинамической системы с пониженным давлением, повышенной температурой, следовательно, с пониженной вязкостью вещества этой зоны. Жидкая фаза в очаговой зоне под действием высокого давления начинает проникать в трещины

или разрывы между блоками окружающей эту зону геологической среды, что, в свою очередь, приводит в некоторый момент к перемещению вещества в очаговую зону и лавинообразному развитию дислокаций в этой зоне.

Механизм такой модели формирования очаговой зоны наблюдался на 2D и 3D моделях ФШ процессов Итальянского ЗТ 6.04.2009 г., Японского ЗТ 11.03.2011 г., Новозеландского ЗТ 21.02.2011 г. и в некоторых других районах.

Сущность второй (сухой, безводной) модели механизма формирования очаговой зоны, которую мы наблюдали в Турции и на полуострове Камчатка (Корякское ЗТ 20.04.2006 г.) отличается от первой.

Временное развитие ФШ процесса аналогично развитию процесса в первой модели – в начальной и в срединной части развитие процесса носит Н-тип или П-тип (по К. Моги), в непродолжительной заключительной части, как правило, наблюдается некоторое «затишье», затем значительное повышение интенсивности потока событий и высвобождения сейсмической энергии. Однако распределение гипоцентров событий происходит в огромном пространстве, т.е. расстояния между гипоцентрами большие, и это сохраняется почти вплоть до главного толчка. Это обстоятельство приводит к рассеянию энергии каждого события, и исключает возможность накопления энергии в ограниченном пространстве, и формированию очаговой зоны по флюидной модели.

Вместе с тем, высокая интенсивность потока событий («взрывов») на глубинах, как правило, 15-25 км приводит к механическому разрушению (или «упаковке») блоков геологической среды. При этом место дислокаций создающих условия для совершения главного толчка, указать (или обнаружить) практически невозможно.

Подобный механизм, например, мы наблюдали в форшоковой деятельности Корякского ЗТ 20.04.2006 г. Как показали 2D и 3D модели развития геофизических процессов, ФШ деятельность (пространственно-временное развитие её продолжалось 110 суток – с 1.01.2006 г. по 20.04.2006 г. с интенсивностью 7-29 событий в сутки первые три месяца, и 10-44 события в сутки в течение первых двадцати суток апреля), оказалась распределённой во всём пространстве п-ва Камчатка, и на глубинах в среднем до 30 км. Главный толчок произошёл на расстоянии около 350 км к северу от основной зоны ФШ деятельности в районе пос. Тиличики.

Изменения температурного поля на дневной поверхности свидетельствовало о высвобождении большого количества энергии в эпицентральной зоне главного толчка.

Таким образом, для решения задачи краткосрочного прогноза времени и места (возможно и силы) ЗТ в оперативном режиме (в реальном времени) необходимо использовать компьютерные технологии и соответствующие методы, позволяющие выполнить комплекс операций, включающий вычислительные, логические и графические (визуализация процессов) процедуры.

Ниже предлагаются подходы к построению алгоритмов определения завершения ФШ деятельности с формированием очаговой зоны ГТ, её формы, размеров и объёма, а также глубины расположения очаговой зоны и вероятной глубины гипоцентра ожидаемого ЗТ.

5. Количественная мера, характеризующая завершение ФШ деятельности и формирование очаговой зоны

В работах [8,9] авторами предложена топологическая модель миграции сейсмического поля и локализации эпицентров (ЭЦ) и ГЦ событий в локальном участке ЗК. Эта модель построена на представлении пространства ЭЦ и объёмного пространства ГЦ ФШ событий в виде метрического топологического пространства и

вычислении расстояний между ЭЦ (и/или ГЦ) событий с последующим ранжированием их по суммарному расстоянию для каждого события.

В работе [10] предлагается методика анализа ФШ деятельности сильного ЗТ, позволяющая решить задачу прогноза времени совершения сильного ЗТ.

Таким образом, очевидным представляется вывод, что численное значение расстояния между ЭЦ (и ГЦ) двух последовательных ФШ событий может служить признаком формирования и локализации очаговой зоны грядущего ЗТ.

а. Алгоритм локализации очаговой зоны сильного ЗТ

Действительно, как указано выше, по мере приближения момента совершения ожидаемого сильного ЗТ происходит сосредоточение ЭЦ (и ГЦ) событий в очень ограниченном пространстве, т.е. расстояние между ЭЦ двух последовательных i -го и $i+1$ -го событий $x_i(\varphi_i, \lambda_i)$ и $x_{i+1}(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1})$

$$d_{i,i+1}(x, y) = \sqrt{[(\varphi_i - \varphi_{i+1}) \cdot \Delta\varphi]^2 + [(\lambda_i - \lambda_{i+1}) \cdot \Delta\lambda]^2} \quad (11)$$

и расстояние между ГЦ двух последовательных i -го и $i+1$ -го событий

$$x_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \text{ и } x_{i+1}(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1}, h_{i+1})$$

$$d_{i,i+1}(x, y, h) = \sqrt{[(\varphi_i - \varphi_{i+1}) \cdot \Delta\varphi]^2 + [(\lambda_i - \lambda_{i+1}) \cdot \Delta\lambda]^2 + (h_i - h_{i+1})^2}. \quad (12)$$

Эти расстояния изменчивы и уменьшаются к завершению ФШ процесса.

Поскольку пара последовательных событий происходят в случайные моменты времени с промежутками, равными от единиц секунд, минут, часов и даже суток, то возможны два подхода к вычислению расстояний по формулам (11) и (12):

- 1) вычисление без учёта промежутка времени между двумя событиями;
- 2) вычисление среднего расстояния по (11) и (12) между множеством событий, происшедших в течение заданного

промежутка времени – 0.5 часа, 1 часа или 1 суток в зависимости от интенсивности потока событий на заключительном участке ФШ процесса.

Очевидно, что, если построить график изменения значения расстояния $d_{i,i+1}$ по мере развития ФШ процесса, то можно получить наглядную картину формирования очага.

На графике изменения расстояния $d_{i,i+1}$ были отмечены три участка: Δt_1 – участок, соответствующий формированию аномальной зоны, когда ЭЦ (и ГЦ) распределены в пространстве на большие расстояния, ($\Delta t \approx \text{const}$);

Δt_2 – участок, свидетельствующий о начале формирования очаговой зоны – локализации ЭЦ (и ГЦ) событий в некотором ограниченном пространстве, ($\Delta t = \text{var}$);

Δt_3 – участок с малыми значениями расстояний, свидетельствующий о завершении формирования очаговой зоны и наступлении момента возможного ГТ.

Естественно, что наиболее ответственным с точки зрения прогноза момента и места совершения ЗТ является начало участка Δt_3 .

Подобный подход был использован нами при анализе ФШ деятельности Итальянского ЗТ – 6.04.2009 г., Японского ЗТ – 11.03.2011 г. и Новозеландского ЗТ – 21.02.2011 г. и получен ожидаемый результат [10; 12; 13].

Некоторые выводы:

1. В графике временного развития ФШ процессов как общие признаки определены:

а) наличие сейсмического «затишья» различной продолжительности перед ГТ,

б) понижение до нулевого уровня интенсивности высвобождения сейсмической энергии, связанное с «затишьем», и затем резкое

повышение интенсивности потока событий и высвобождения энергии перед ГТ.

2. Формирование очаговой зоны, как термодинамической системы, характеризуется разностью температур и давлений в очаговой зоне и окружающей её среде, с достаточно чётко обозначенной формой, простираемым в объёмном пространстве, размерами и глубиной расположения в локальном участке ЗК.

3. Сформулированы механизмы двух моделей процесса формирования очаговой зоны ЗТ – флюидной и сухой моделей, дано физическое объяснение механизмов этих моделей.

4. Анализ полученной информации о пространственной динамике ФШ процесса в реальном времени, по-видимому, позволит найти подход к решению задачи краткосрочного прогноза времени и места в реальном времени.

Список использованных источников

1. Федотов С.А. Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и Северо-Восточной Японии // Сейсмическое микрорайонирование. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 10 (Труды ИФЗ АН СССР, № 36 (203)). М.: Наука, 1965. С. 66-93.
2. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР / ред. С.В. Медведев. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
3. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясения. М.: Мир, 1979. 390 с.
4. Такаги А. Оценка краткосрочных предвестников землетрясений // Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. М.: Недра, 1984. С. 275-286.
5. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.

6. Гаджиев А.А. Предсказание землетрясений. Нетрадиционный подход к решению. Махачкала: Эпоха, 2005. 406 с.
7. Гаджиев А.А., Казарьянц Г.С., Пономарёва Н.Л. К вопросу о механизме форшоково-афтершокового процесса в локальном участке земной коры // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2009. № 33. С. 5-8.
8. Гаджиев А.А., Газанова Н.Ш., Ахмедова Ф.М. Топологическая модель сейсмического режима локального участка земной коры. // Вестник Дагестанского технического университета. Технические науки. Выпуск № 12. 2009. С. 113-117.
9. Гаджиев А.А., Ахмедова Ф.М., Газанова Н.Ш. 2D модель пространственно-временного распределения сейсмических событий в зоне Восточного Предкавказья за период 2001-2007 годы и задача прогноза места землетрясения // Матер. Всерос. науч.-тех. конф. Computer-Based Conferenses. 2009. Декабрь. С. 7-9.
10. Гаджиев А.А. О возможности прогноза сильного землетрясения: на примере анализа форшоковой деятельности Японского землетрясения 11.03.2011 г. // Вестник Дагестан. гос. тех. ун-та. Технические науки. 2011. Вып. № 2. Т. 21. С. 71-76.
11. Ляпунов А.А. Вопросы теории множеств и теории функций. М.: Наука, 1979. 265 с.
12. Gadjev A.A., Gazanova N.Sh., Ahmedulaeva M.M. On the possibility prediction of the Italian earthquake on 04.06/2009, based on analysis of foreshock activity (Part 1) // Book of abstracts. The 33rd General Assembly of the European Seismological Commission (GAESC2012). 19-24 August 2012 and Joang Seismologist Training Course (JSTC 2012), 25-30 August 2012. Moscow-Obninsk, Russia. P. 176-177.
13. Gadjev A.A., Gazanova N.Sh., Ahmedulaeva M.M. On the possibility prediction of the Italian earthquake on 04.06/2009, based on analysis of foreshock activity (Part 2) // Book of abstracts. The 33rd General Assembly of the European Seismological Commission (GAESC2012), 19-24 August 2012 and Joang Seismologist Training Course (JSTC 2012), 25-30 August 2012. Moscow-Obninsk, Russia. P. 177-179.