

Рис. 2. Фрагмент фокусировки полученных вершин в вершину, определяющую текущую для данного шага вывода ситуацию проблемной среды.

Таким образом, согласно предложенному алгоритму вывода в формируемом плане исключается рост неперспективных ветвей пространства вывода, т.е. формируемый алан не содержит избыточной информации не связанной с решением поставленной задачи.

Библиографический список

1. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Структура процедурного представления знаний интегрального робота. 1. Расплывчатые семантические сети// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1988.- № 6.
2. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Планирование поведения интеллектуального робота.- М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Структура процедурного представления знаний интегрального робота. 2. Фрейм-микропрограммы поведения // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. -1988. -№5.

УДК 550.348.436

А.А. Гаджиев, Н.Ш.Газанова

К ВОПРОСУ О ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ V_p/V_s СОБЫТИЙ ФОРШОКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЛОКАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ)

A.A. Gadjiiev, N.Sh.Gazanova

TO THE QUESTION ABOUT PROGNOSTIC INFORMATION CONTENT A CHANGE OF ATTITUDE V_p/V_s EVENTS ACTIVITIES IN THE LOCAL DIVISION OF THE EARTH'S CRUST (ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN CISCAUCASIA)

В статье рассматривается возможность использования изменения отношения скорости продольной волны к скорости поперечной волны (V_p/V_s) форшоковых событий в качестве предвестника для прогноза времени совершения сильного землетрясения.

Изучены особенности изменения отношения V_p/V_p для района Восточного Предкавказья.

Ключевые слова: *землетрясения, предвестники, скорость продольной волны, скорость поперечной волны, отношения скоростей, дилатантная модель.*

In article possibility of use of change of the relation of speed of a longitudinal wave to speed of a cross-section wave (V_p/V_s) foreshock events as a harbinger for the forecast of time of fulfillment of strong earthquake is considered.

Features of change of relation V_p/V_p for area of East Ciscaucasia are studied.

Keywords: *earthquakes, harbingers, speed longitudinal are full, speed of a cross-section wave, the relation of speeds.*

1. Постановка задачи

Как известно, характер изменения отношения V_p/V_s сейсмических сигналов по наблюдениям событий за длительное время может указывать на время совершения ожидаемого сильного землетрясения (ЗТ) и его силу.

Анализ наблюдений ученых в разных странах позволил установить, что характер изменения отношения V_p/V_s проявляется различным образом в зависимости от геологических и тектонических особенностей сейсмоактивного района Земли. Поскольку ФШ деятельность в локальном участке ЗК представляет собой промежуток времени, в течение которого геофизические процессы приурочены непосредственно к подготовке и совершению ГТ нас будет интересовать вопрос о возможности использования изменения отношения V_p/V_s событий форшоковой (ФШ) деятельности в качестве предвестника краткосрочного прогноза времени совершения ЗТ.

2. О характере изменения отношения V_p/V_s в различных регионах

В 60-е годы прошлого века в Советском Союзе проводились активные исследования по прогнозу землетрясения, в частности на Гармском (Таджикистан) полигоне АН СССР. Результаты этих исследований были доложены на симпозиуме по предсказанию землетрясений в Цюрихе в 1967 г и Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза в Москве в 1971 г, а также опубликованы в научной периодике [1,2,3]. Основным результатом этих исследований был вывод о том, что перед сильным или умеренным ЗТ скорость сейсмических волн, проходящих через очаговую область готовящегося ЗТ, заметно меняется – отношения скорости продольных волн V_p к скорости поперечных волн V_s уменьшается на 10-15% от его нормального значения, равного 1,75, сильное ЗТ происходит, когда это отношение возвращается к своему нормальному значению. При этом пониженное значение отношения V_p/V_s сохраняется постоянным в течение некоторого промежутка времени, от которого, как было установлено, зависит сила ожидаемого сильного ЗТ.

Эти результаты были с интересом восприняты сейсмологами других стран, которые активно стали разрабатывать теорию, объясняющую физические механизмы этого явления. Так, в 1973 г Шольц и др. опубликовали статью под названием «Прогноз землетрясений: физические основы» [4], в которой авторы попытались объяснить изменения величины V_p/V_s перед ЗТ раскрытием микротрещин и притоком подземных вод в эти трещины. Так появилась влажная дилатантно - диффузионная модель, объясняющая изменения отношения V_p/V_s . Позже была сформулирована сухая дилатантная модель этого явления.

Однако, более поздние исследования советских ученых, проведенные на Камчатском полигоне АН СССР [5,6], показали, что убывание отношения V_p/V_s от нормального значения до момента совершения главного толчка (ГТ) происходит постепенно. Следовательно, характер изменения отношения V_p/V_s зависит от геологических и тектонических особенностей локального участка земной коры (ЗК): Гармский полигон располагается в континентальной части ЗК – между хребтами Тянь-Шань на севере и Памирским высокогорным плато на юге, а Камчатский полигон - в зоне субдукции Тихоокеанского желоба на западном побережье океана.

Анализ этого явления на примере района Восточного Предкавказья, характеризующегося уникальными геологическими и тектоническими особенностями так называемого Дагестанского клина [7,8,9], показал, что в этом районе изменение отношения V_p/V_s совершенно иное – носит колебательный характер. Анализ сейсмических статистических данных наблюдений изменения отношения V_p/V_s за период с 1980 по 1999 годы, выполненный с применением математического аппарата вейвлет-преобразования, показал, что колебательный характер изменения отношения V_p/V_s обусловлен влиянием феномена колебаний уровня Каспийского моря и субдукцией в геологическом строении Восточного Предкавказья.

Подробный анализ этого явления – изменения отношения V_p/V_s – для различных по геологии и тектонофизике сейсмоактивных районов Земли, проведенный учеными Дагестанского научного центра РАН, Дагестанского государственного технического университета и сейсмостанции г. Махачкала, приведены в работе [10]. В данной работе

мы попытаемся показать, что параметры изменения отношения V_p/V_s сейсмических событий ФШ деятельности могут быть использованы в качестве одного из предвестников готовящегося сильного ЗТ в районе ВПК, где эти изменения носят случайный и колебательный характер.

3. О характере изменения отношения V_p/V_s событий ФШ деятельности Дагестанского ЗТ 1999г

Относительно момента совершения ГТ Дагестанского ЗТ 1999г мы будем рассматривать следующие временные интервалы ФШ деятельности:

T1 – с 01.12.1998г по 31.01.1999г 05ч 07мин 10,7сек (ГТ1) – время ФШ деятельности, относящееся к ГТ1;

T2 – с 31.01.1999г 05ч 30мин по 31.03.1999г – время АШ процесса ГТ1. Заметим, что АШ процесс ГТ1 продолжался и после 31.03.1999г вплоть до сентября 1999г, когда сейсмический режим ВПК пришел в нормальное («спокойное») состояние.

Для анализа динамики сейсмической активизации зоны Дагестанского клина перед ГТ1 в указанных выше интервалах времени использовались статистические данные ГС РАН о наблюдениях сейсмических событий и значения отношения V_p/V_s этих событий.

В качестве случайной величины x_i рассматривается отношение V_p/V_s сейсмических событий. Для количественной оценки случайной величины и анализа ее вариаций, приуроченных к ГТ1 (31.01.99г) и АШ ГТ2 (21.02.99г) были вычислены следующие числовые характеристики [11]:

- математическое ожидание случайной величины m_x ;
- дисперсия случайной величины D_x ;
- среднее квадратическое отклонение случайной величины δ_x ;
- асимметрия (скошенность) распределения вероятностей случайной величины $\gamma_1 = \mu_3/\delta_x^3$;
- эксцесс (крутость) распределения вероятностей случайной величины $\gamma_2 = (\mu_4/\delta_x^4)-3$;
- центральные моменты μ_3 и μ_4 .

В табл.1 приведены значения указанных характеристик случайной величины.

Таблица 1.
Значения количественных характеристик случайной величины V_p/V_s

Интервал Т	Продолжительность интервала	m_x	D_x	δ_x	μ_3	μ_4	γ_1	γ_2
T1 (ФШ ГТ1)	01.12.98г – 31.01.99г	1,646 - 1,749	0,055	0,235	0,087	2,15 10^{-3}	-6,69	-2,28
T2 (ФШ ГТ2)	31.01 – 21.02	1,68	0,014	0,116	0,001	0,077 10^{-3}	0,64	0,41
T3 (АШ ГТ1, ГТ2)	31.01 - 28.02	1,67	0,059	0,243	- 0,111	0,7 10^{-3}	-7,86	-2,80

Уменьшение математического ожидания (наиболее вероятного значения) m_x с 1,75 на интервале T1 до 1,67 на T3 свидетельствует о геофизических процессах ФШ перед ГТ1 и АШ после ГТ1, которые приводят к разуплотнению геологических блоков в аномальной зоне, что в свою очередь, обуславливает, как известно, понижение скорости продольных волн V_p и уменьшение значения отношения V_p/V_s . Другими словами, дилатантная модель подготовки очага ЗТ находит свое подтверждение, но выраженное при ином, колебательном характере процесса изменения отношения V_p/V_s .

Дисперсия (рассеяние случайной величины около математического ожидания) на интервале T2 в три раза выше, чем на T1. Это увеличение дисперсии связано с тем, что интервал T2 характеризуется активными дислокациями в аномальной (и очаговой) зоне,

связанными с неустойчивым в динамике самоорганизации среды АШ процессом после ГТ1, который, как правило, обуславливает второй сильный толчок, но меньшей силы (здесь ГТ2) [10].

Третий центральный момент μ_3 служит для характеристики асимметрии (скошенности) распределения вероятностей случайной величины $f(x)$ относительно математического ожидания m_x . Но для этого используется не μ_3 , а безразмерный коэффициент асимметрии $\gamma_1 = \mu_3/\delta_x^3$. При $\gamma_1 > 0$ – имеет место положительная асимметрия, т.е. в выборке случайной величины ее значения, меньшие m_x , встречаются чаще (с большей вероятностью), а при $\gamma_1 < 0$ – отрицательная асимметрия, т.е. значения случайной величины, большие m_x , встречаются с большей вероятностью. Как видно по данным табл. 1, коэффициент асимметрии на интервалах Т1 и Т3 имеет отрицательные значения, значительно большие по абсолютному значению, чем положительный коэффициент асимметрии для интервала Т2.

Экссесс γ_2 характеризует степень крутости распределения вероятностей случайной величины $f(x)$ относительно нормального распределения, для которого $\gamma_{2н} = 3$, поэтому $\gamma_2 = 0$.

При положительном эксцессе ($\gamma_2 > 0$) график распределения вероятностей случайной величины имеет более крутой характер (островершинный), чем нормальное распределение. При отрицательном эксцессе ($\gamma_2 < 0$) график распределения вероятностей случайной величины имеет более пологий характер (плосковершинный), чем нормальное распределение, т.е. распределение вероятностей случайной величины ближе к равномерному распределению вероятностей. Другими словами, значения случайной величины встречаются почти с одинаковой вероятностью, т.е. имеют «почти» равные значения.

На рис.1 и 2 изображены графики изменения ФШ (декабрь 98 – январь 99г) и АШ (февраль – март 99г) процессов соответственно Дагестанского ЗТ 31.01.99г. Эти графики свидетельствуют о заметном изменении характера вариации отношения V_p/V_s событий, происшедших до и после ГТ 31.01.99г, т.е. заметно качественное различие этих графиков. Однако, без критериев для количественной оценки различия невозможно использовать для решения задачи прогноза ЗТ.

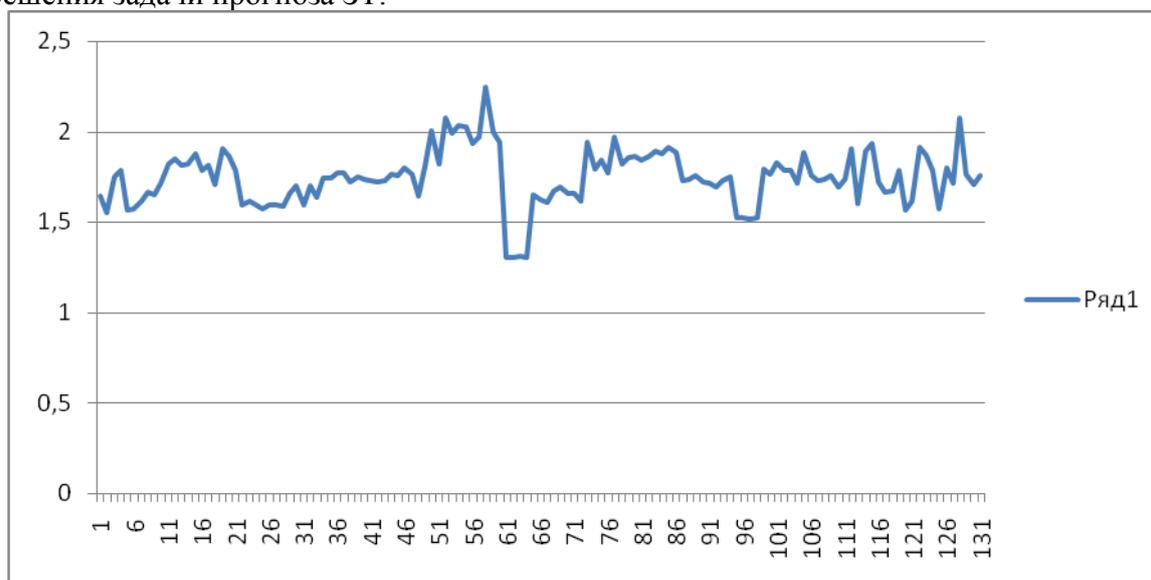


Рис. 1. Изменения отношения V_p/V_s ФШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.1999г (декабрь 98г – январь 99г)

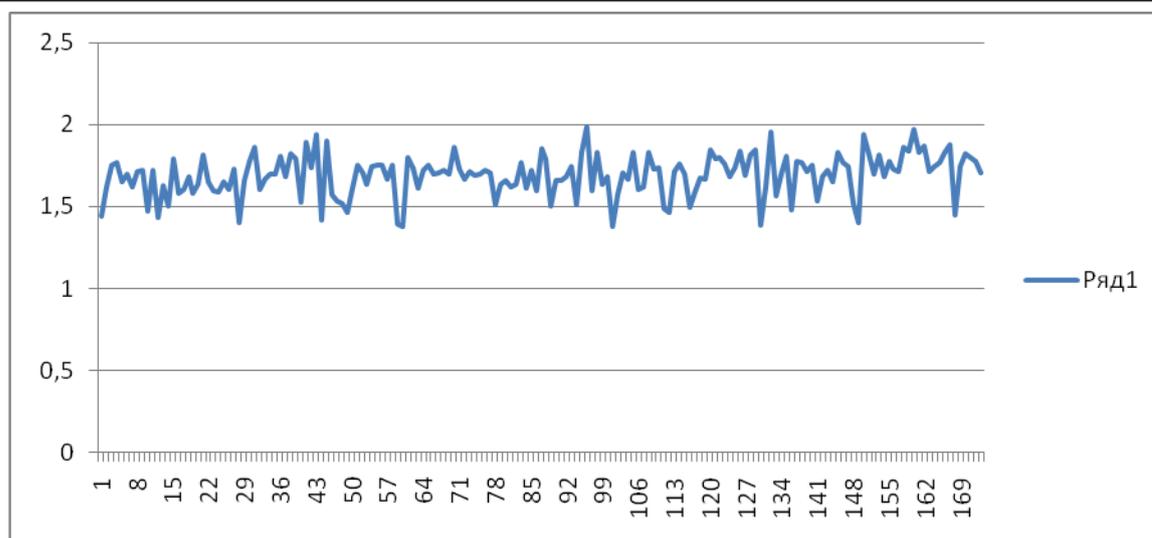


Рис. 2. Изменения отношения V_p/V_s АШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.1999г (февраль – март 99г)

Для построения критериев количественной оценки различия ФШ и АШ процессов при анализе всех событий ФШ и АШ процессов ($N(\text{ФШ}+\text{АШ})=304$) изменения отношения V_p/V_s мы разделили на три диапазона: 1) события с повышенными значениями отношения V_p/V_s ($N_1, V_p/V_s=1,8 \div 2,243$), 2) события с пониженными значениями отношения V_p/V_s ($N_2, V_p/V_s=1,307 \div 1,59$) и 3) события с значениями отношения V_p/V_s между первым и вторым диапазонами ($N_3, 1,59 < V_p/V_s < 1,8$).

В табл.2 приведены данные о распределении всех событий ФШ и АШ процессов по диапазонам и по временным (месячным) интервалам.

Таблица 2.
Распределения событий ФШ и АШ процессов Дагестанского ЗТ 31.01.1999г.

Месяц, год	N1	N2	N3	N0	Общее кол-во событий	
					ФШ	АШ
Декабрь 98г	36	11	64	111	152	
Январь 99г	8	8	25	41		
Февраль 99г	22	21	73	116		152
Март 99г	13	4	19	36		
Σ	79	44	181	304	152	152

Данные табл. 2 позволяют оценить количественное различие ФШ и АШ процессов:

а) общее количество ФШ и АШ процессов ($N_{\text{ФШ}}=N_{\text{АШ}}=152$) равны, при этом в декабре 98г ФШ событий было в 3 раза больше, чем в январе 99г, соотношение АШ событий в феврале и марте было такое же;

б) количество событий в первой группе (N_1) в АШ процессе уменьшилось по сравнению с количеством событий этой группы в декабре-январе (44), количество событий второй группы (N_2) в АШ процессе (25), наоборот, увеличилось по сравнению с количеством событий этой же группы в декабре-январе (19), эти изменения соотношения N_1 и N_2 в ФШ и АШ процессах свидетельствуют о дилатантно-диффузионной модели объяснения изменения отношения V_p/V_s . Однако, в геологических условиях Дагестанского клина (в ВПК), эта модель выражена не столь однозначно, как это наблюдалось в Гармском и Камчатском полигонах ГС РАН.

На рис. 3а,б изображены графики изменения отношения V_p/V_s по месяцам – январь-декабрь 98, январь 99 (ФШ), на рис. 4а,б – февраль-март 99г (АШ).

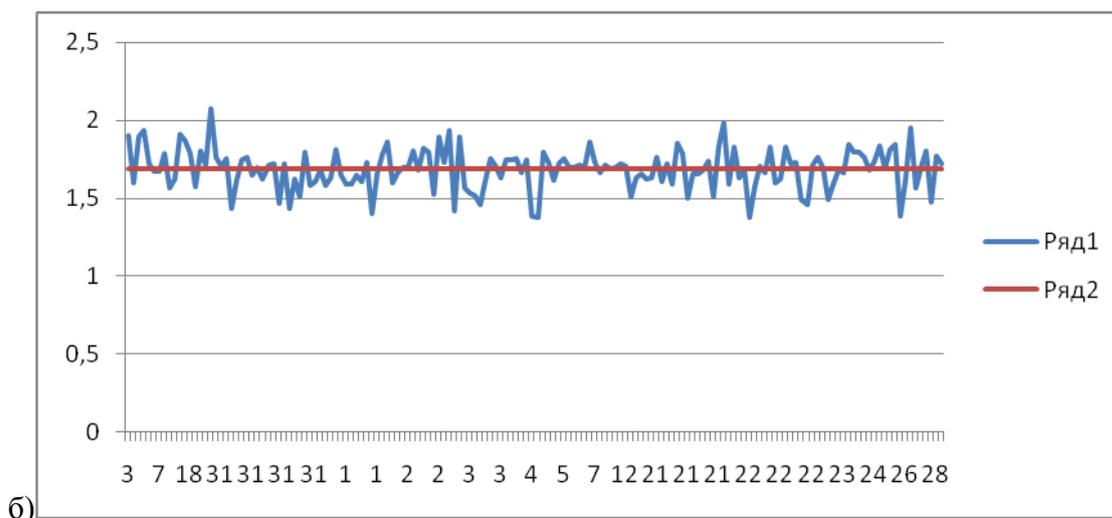
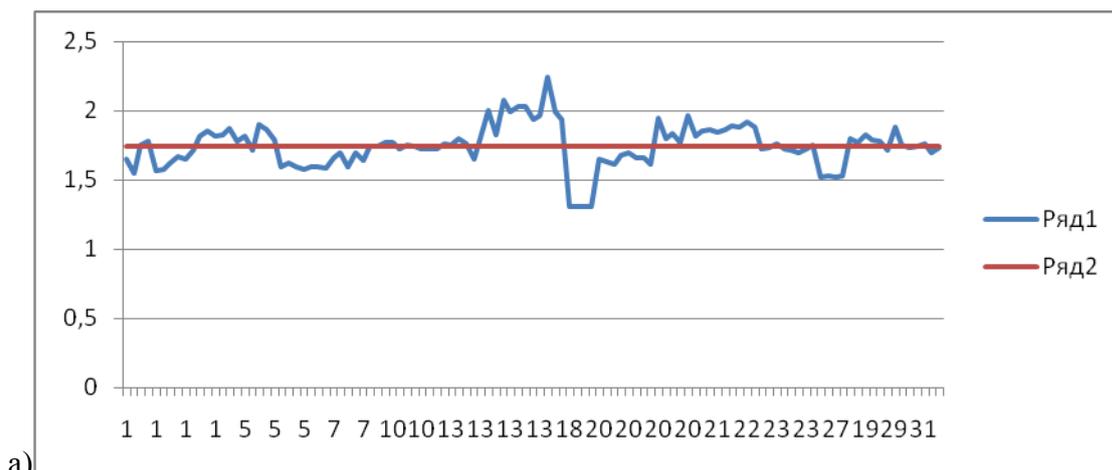
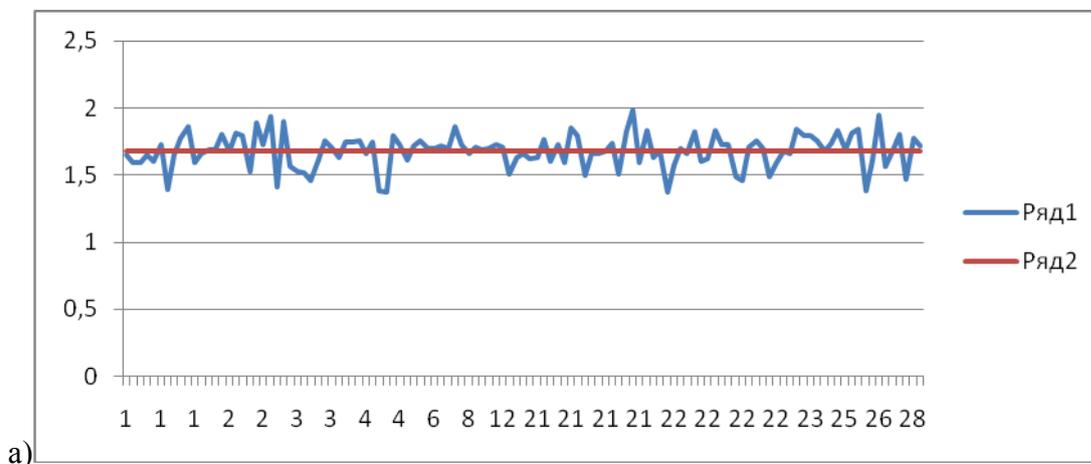


Рис. 3. Изменения отношения V_p/V_s событий ФШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.99г: а) в декабре 98г, б) в январе 99г



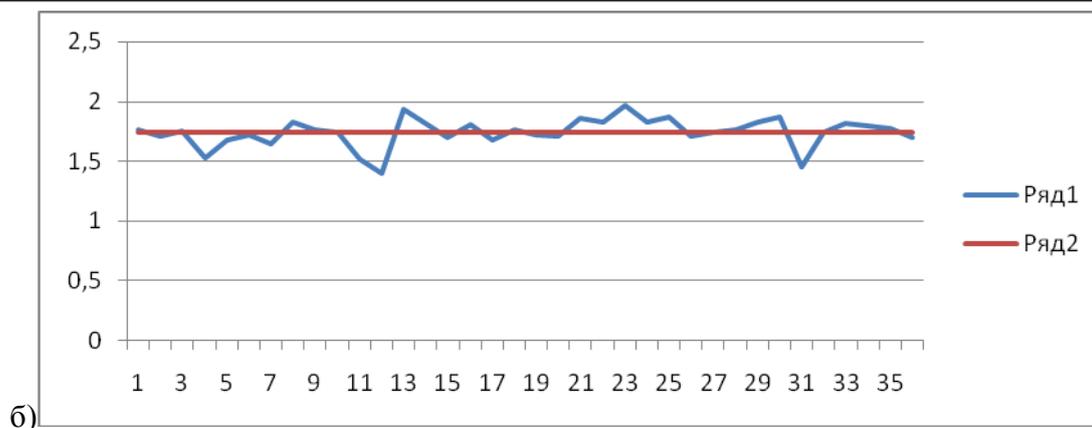


Рис. 4. Изменения отношения V_p/V_s событий АШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.99г: а) в феврале 98г, б) в январе 99г.

В табл. 3 приведены данные об изменениях математического ожидания по месяцам ФШ и АШ процессов.

Таблица 3.

Изменение математического ожидания отношения V_p/V_s по месяцам ФШ и АШ процессов

месяцы	ФШ		АШ	
	декабрь-98	январь-99	февраль-99	март-99
$M[V_p/V_s]$	1,74	1,7	1,68	1,7

И качество изменения графиков рис. 3 и 4, и данные табл. 3 подтверждают дилатантно-диффузионную модель изменения отношения V_p/V_s . Мы хотим обратить внимание еще на одно обстоятельство, отраженное в данных табл. 3 – это снижение значения математического ожидания до минимума в АШ процессе в феврале (1,68) и восстановления к «норме» (1,7) при дальнейшем развитии АШ процесса в марте. В работе [10] показано, что АШ процесс затухает по экспоненциальному закону в течение времени, определяем коэффицентом затухания, зависящего от силы ГТ.

На рис. 5 приведен график изменения в реальном времени математического ожидания отношения V_p/V_s событий ФШ-АШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.1999г.

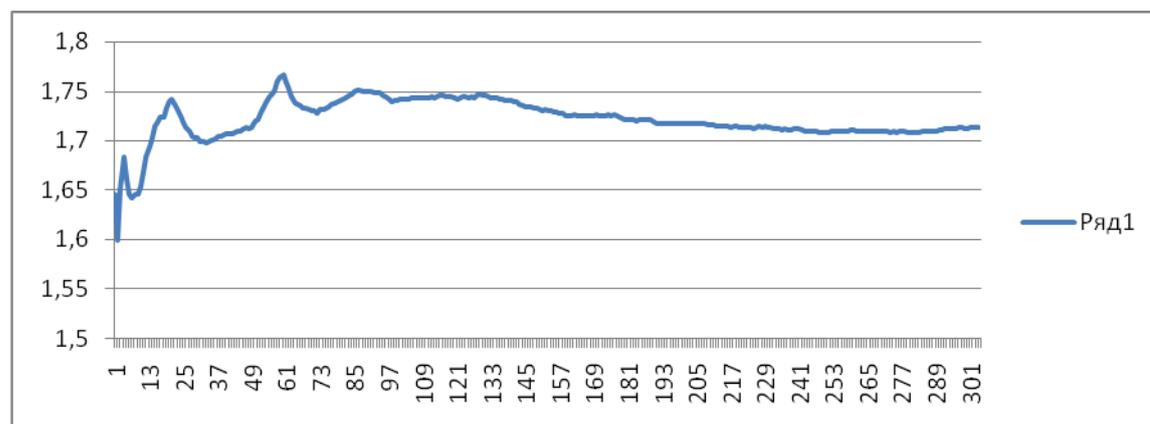


Рис. 5. Изменения математического ожидания отношения V_p/V_s событий ФШ-АШ событий Дагестанского ЗТ 31.01.1999г (за период с 01.12.98г по 31.03.99г)

На рис. 6 и 7 приведены графики изменения в реальном времени математического ожидания отношения V_p/V_s Дагестанского ЗТ 31.01.1999г для промежутков времени ФШ и АШ процессов соответственно.

Общий график ФШ-АШ процесса (рис.5) и график ФШ процесса (рис. 6) свидетельствуют о том, что определение отношения V_p/V_s событий произошедших событий в реальном времени, могут быть использованы в качестве предвестников ожидаемого ЗТ в комплексе с другими предвестниками.

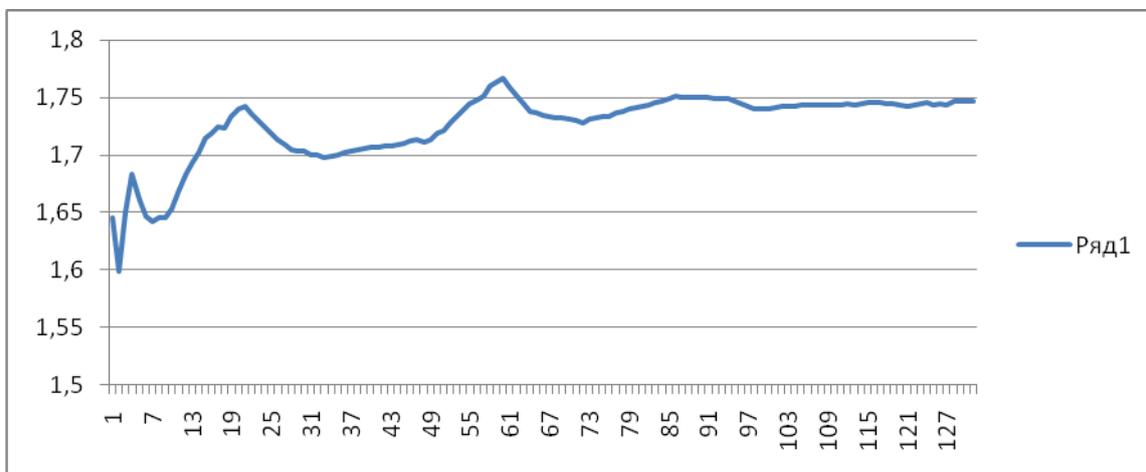


Рис. 6. Изменения математического ожидания отношения V_p/V_s событий ФШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.1999г (за период с 01.12.98г по 31.01.99г)

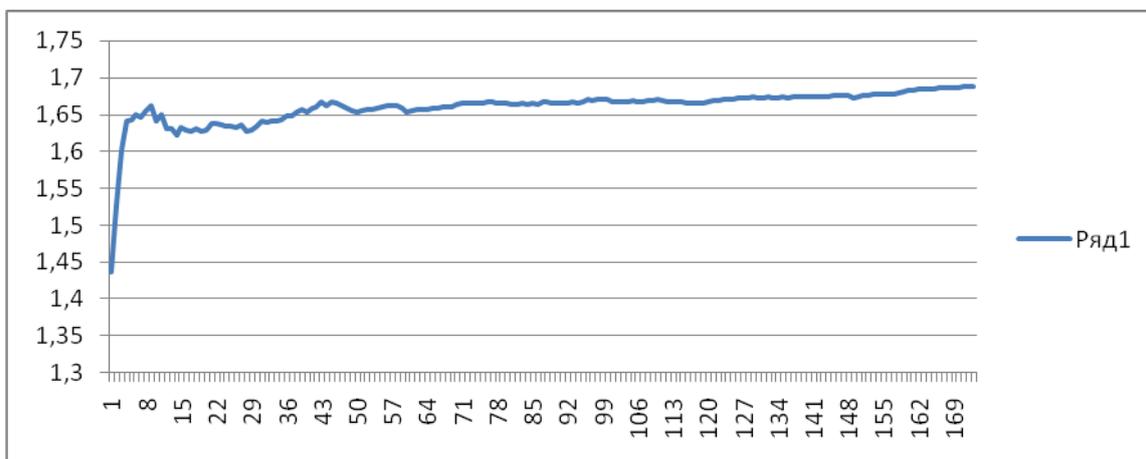


Рис. 7. Изменения математического ожидания отношения V_p/V_s событий АШ процесса Дагестанского ЗТ 31.01.1999г (за период с 31.01 по 31.03.99г)

Выводы:

1. Выполнен анализ изменения отношения V_p/V_s ФШ событий Дагестанского ЗТ 31.01.1999г как характерного для района Восточного Предкавказья.
2. Установлено, что изменения отношения V_p/V_s событий ФШ деятельности связаны с временем совершения сильного ЗТ.
3. В качестве количественной меры связи отношения V_p/V_s с ожидаемым сильным ЗТ может служить либо изменения среднего арифметического значения случайной величины, либо изменение значения среднеквадратичного отклонения, вычисленные на ряде временных интервалов.
4. В течение ФШ процесса значение отношения V_p/V_s повышается, и непосредственно перед совершением ГТ его значение понижается вследствие

флюидизации межблочного пространства очаговой зоны ГЦ. После ГТ значение отношения V_p/V_s восстанавливается до прежнего уровня - «нормы» его значения.

5. Изменения отношения V_p/V_s ФШ событий несут определенную информацию о приближении момента совершения ГТ.

Библиографический список

1. Кондратенко А.М., Нерсесов И.Л. Некоторые результаты изучения изменения скорости продольных волн и отношения скоростей продольных и поперечных волн в очаговой зоне. //Сб. «Физика землетрясений и сейсмика взрывов». – М.: Изд. АН СССР, 1962.
2. Семенов А.Н. Изменения отношения пробега поперечных и продольных волн перед сильным землетрясением //Изв. АН СССР Физика Земли, 1969, №4. – С.72-77.
3. Нерсесов И.Л. Семенов А.Н. Симбирева И.Г. Пространственно-временное распределение времени пробега поперечных и продольных волн в Гармском районе. //В сб. «Экспериментальная сейсмология». – М.: «Наука», 1971.
4. Scholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake prediction: physical basic, Science, 181,803-809,1973.
5. Славина Л.Б. Методика и результаты изучения V_p/V_s в фокальной зоне Камчатки. // В сб. «Исследования по физике землетрясений». – М.: «Наука», 1976. – С.217-236.
6. Соболев Г.А., Славина Л.Б. Пространственные и временные изменения V_p/V_s перед сильными землетрясениями Камчатки. //Изв. АН СССР Физика Земли, 1977. №7. – С.91-98.
7. Гаджиев А.А., Гаджиев Р.А., Казарьянц Г.С., Каспаров С.А. О прогностической информации дилатантной модели очага землетрясения. //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические Науки. Выпуск 2. – Махачкала: 1998. – С. 161-166.
8. Гаджиев А.А., Казарьянц Г.С., Каспаров С.А., Пономарева Н.Л., Романов Н.Т. Об изменениях отношения V_p/V_s в сейсмоактивной зоне Дагестанского клина. //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Выпуск 3. – Махачкала: 1999. – С.225 -230.
9. Гаджиев А.А., Гаджиев Р.А., Кобзаренко Д.Н. Вейвлет анализ колебаний уровня Каспийского моря и влияние на сейсмический режим Дагестанского клина. //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Выпуск 3. – Махачкала: 1999. – С.230-236.
10. Гаджиев А.А. Предсказание ЗТ. Нетрадиционный подход к решению. – Махачкала: изд. дом «Эпоха», 2005. – 405с.
11. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: «Воениздат», 1970. – 536с.