

The background of the cover is a sepia-toned photograph of a multi-story building that has been severely damaged, likely by an earthquake. Debris is visible at the base, and the structure appears unstable.

ГРАЧЬЯ ПЕТРОСЯН

ПРЕДВЕСТНИКИ И ПРОГНОЗ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

ЕРЕВАН - 2009

Дорогому
Аркадию Караханяну
в знак дружбы и
уважаемости

от автора

25.11.2009

Григор

ГРАЧЬЯ ПЕТРОСЯН

**ПРЕДВЕСТНИКИ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

Ереван - 2009

ՀՐԱԶՅԱ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՆԱԽԱՆՇԱՆՆԵՐԸ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ

Երևան - 2009

HRACHYA PETROSYAN

**PREDICTORS AND FORECASTING OF EARTHQUAKES
ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF ARMENIA**

Yerevan - 2009



19561

УДК 550.34

ББК 26.21

П 311

Работа выполнена в Национальной службе сейсмической защиты Армении.

Монография рекомендована к печати Научно-техническим советом Национальной службы сейсмической защиты Армении.

Рецензенты — доктор геологических наук С.Н.Назаретян,
доктор геологических наук А.С.Караханян.

Редактор — кандидат геологических наук Р.Т.Мириджанян.

ПЕТРОСЯН ГРАЧЬЯ МАНУКОВИЧ

П 311 **ПРЕДВЕСТНИКИ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ.- Ер.: Издательский дом “ФЕНОМЕН”, 2009.- 134 стр.**

Монография посвящена выявлению особенностей проявления на территории Армении широкого комплекса предвестников землетрясений и комплексной оценке текущей сейсмической опасности. С этой целью показана информативность пунктов мониторинга в различных геолого-тектонических условиях Армении. Определены пространственно-временные особенности проявления на территории Армении предвестников 18-и протестированных сильных и ощутимых местных землетрясений. Для всех сейсмических событий построены диаграммы с временами проявления аномалий различных параметров и карты реагируемости наблюдательных пунктов на подготовку и реализацию землетрясений. Построены поля проявления всех 167-и тестовых предвестников, отражающих свойства 656-и аномалий, и выявлены изменения интенсивности проявления предвестников по мере приближения к моменту землетрясения. Построены матрицы коэффициентов корреляции между станциями и параметрами, кросс-корреляционные графики, обнаружены корреляционные связи между предвестниками различных параметров. Предложена методология комплексной оценки текущей сейсмической опасности и показано ее практическое применение. Представлена новая система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс” на примере ряда землетрясений.

Книга может быть полезна для читателей, интересующихся проблемой прогноза землетрясений.

УДК 550.34

ББК 26.21

ISBN 978-9936-9006-1-2

© Петросян Грачья, 2009г.

Содержание

Предисловие.....	4
Введение.....	4
Глава 1 Предвестники и прогноз землетрясений.....	6
1.1 Сейсмопрогностические исследования в Армении.....	6
1.2 Возможен ли прогноз землетрясений ?.....	11
1.3 Тестовые предвестники землетрясений.....	14
1.4 Реагируемость пунктов мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений.....	15
1.5 Информативность пунктов мониторинга и геолого-тектонические условия.....	18
Глава 2 Проявления предвестников землетрясений.....	22
2.1 Особенности проявления предвестников сильных региональных землетрясений с $M \geq 6.0$	22
2.2 Особенности проявления предвестников ощутимых местных землетрясений с $3.7 \leq M \leq 5.0$	27
2.3 Общие особенности проявления предвестников землетрясений.....	34
2.4 Изменение интенсивности проявления предвестников по мере приближения к моменту землетрясения.....	74
2.5 Зависимость площади предвестника от магнитуды землетрясения.....	80
2.6 Корреляционные связи между предвестниками различных параметров.....	84
Глава 3 Комплексная оценка текущей сейсмической опасности.....	94
3.1 Методология комплексной оценки текущей сейсмической опасности.....	94
3.2 Комплексная оценка текущей сейсмической опасности на примере Гаварского (Армения, 2007, $M=3.7$) землетрясения.....	94
3.3 Новая система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс”.....	110
Заключение.....	120
Список использованной литературы.....	123
Приложение 1. Сводная таблица каталога аномалий-предвестников протестированных землетрясений.....	128

Предисловие

Армения – одна из стран, территория которых полностью находится в зоне высокой сейсмической опасности. Территория Республики Армения с исторических времен известна своей сейсмической активностью. Разрушительные землетрясения с магнитудой $M \geq 5.5$ издавна происходили в пределах современной Армении: Вайке, Двине, Воротане, Гарни, Цахкадзоре, Гюмри, Зангезуре. Спитакское катастрофическое землетрясение 1988г. ($M=7.0$) унесло жизни 25 тысяч человек, 20 тысяч получили ранения, 515 тысяч человек осталось без крова, были разрушения практически на всей территории северной Армении.

Постановлениями Правительства РА N392 от 07.06.1999г. и N429 от 10.06.1999г. были приняты две Комплексные программы снижения сейсмического риска - на территории города Еревана и Республики Армения, а 12.06.2002г. вступил в действие первый в странах СНГ Закон РА “О сейсмической защите”.

Представляемая работа выполнена в Национальной службе сейсмической защиты Армении (НССЗ) на базе богатого фактического материала. Результаты наших исследований применяются в НССЗ при оценке текущей сейсмической опасности (ОТСО) на территории Армении. Для ОТСО предназначена и новая система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс” (Надежда).

При выполнении исследований использованы многолетние временные ряды, полученные за последние десятилетия на мониторинговых станциях ИГИС АН Арм. ССР, ВСЕГИНГЕО АН СССР, Управления геологии Арм. ССР, АрмГЕОХИ и Национальной сети наблюдений НССЗ РА за последние годы вплоть до 2008г. Мы опирались также на составленный нами ранее Каталог аномалий-предвестников протестированных землетрясений, который включает 167 тестовых аномалий-предвестников 18-и региональных и местных землетрясений с магнитудой M от 3.7 до 7.7, произошедших с 1983г. по 2002г. на территории Армении и сопредельных стран. Тесты выделены в результате анализа изученных нами 656-и аномалий по 15-и параметрам мониторинга. Каталог также ежедневно используется при оценке текущей сейсмической опасности в НССЗ. Полностью он представлен в [40]. Для обработки материала использовано множество компьютерных программ, в том числе созданные в НССЗ программы SeisHelp, Dynamic Fields, Expert и “Уйс”.

Считаю своим приятным долгом выразить благодарность моим коллегам по НССЗ кандидату техн. наук А.Антоняну, А.Джавадяну, М.Енанову за всяческую помощь и поддержку. С благодарностью принял ряд ценных советов и замечаний, которые высказали кандидат геол. наук Р.Мириджанян, доктор геол. наук А.Караханян, доктор геол. наук С.Назаретян, член-корр. НАН РА С.Оганесян, кандидат физ.-мат. наук Э.Геодакян, доктор геол. наук С.Оганесян. Благодарен сотрудникам НССЗ Г.Варданян, М.Адибекяну, Л.Саркисян, А.Абраамян, А.Хангалдян, С.Казарян, Э.Маркосян за помощь при подготовке отдельных графических материалов. Благодарен моей жене Элеоноре, создавшей необходимые условия для выполнения представленной работы, и моим детям, которые финансировали издание данной монографии.

Введение

Прогноз землетрясений - это вероятностная характеристика места, времени и силы сильного сейсмического события с $M \geq 5.5$. В мировой практике различают следующие виды прогноза - долгосрочный (с вероятностью реализации до 90%), среднесрочный (с вероятностью реализации 70-80%), краткосрочный и оперативный (с небольшой вероятностью реализации). По нашим данным [40], средняя вероятность сейсмической реализации среднесрочных предвестников равна 80%, краткосрочных – 38%, оперативных – 25%, то есть вероятность убывает по мере приближения сейсмического события.

Оценка сейсмической опасности является промежуточным решением сложнейшей научной проблемы, каковой является прогноз сильных землетрясений.

Оценка текущей сейсмической опасности (ОТСО), по определению проф. С.Ю.Баласаняна, - это прогноз резкого изменения сейсмического режима, отраженного в аномальных изменениях различных параметров атмосферы, литосферы, гидросферы, которое с определенной вероятностью способно привести к сильному сейсмическому событию в исследуемой зоне многопараметрового мониторинга. Отличие ОТСО от прогноза землетрясения состоит в том, что при ОТСО предполагается вероятностный прогноз не отдельного сейсмического события, а прогноз изменения сейсмического режима, которое может с определенной вероятностью привести к сильному сейсмическому событию [57].

Знание закономерностей проявления предвестников землетрясений на основе анализа комплекса физических полей значительно повышает однозначность и надежность выявления прогностических признаков [48]. Об этом говорят и результаты многочисленных исследований комплекса предвестников, и опыт оперативных действий НССЗ во время Мартунинского (10.12.1992г., $M=5.0$), Ашотского (09.06.1996г., $M=4.1$), Паракарского (01.03.1997г., $M=3.7$), Ноемберянского (18.07.1997г., $M=4.4$) и других ощутимых землетрясений, произошедших в Армении. Местные ощутимые землетрясения ($3.7 \leq M \leq 5.0$), будучи несильными, тем не менее остаются в поле зрения армянских сейсмологов. Например, Паракарские (Ереванские) землетрясения, будучи относительно слабыми, каждый раз вызывали панику в окрестных населенных пунктах и в столице Армении г. Ереване, где проживает более миллиона человек.

Проблема “поиска предвестников - *оценки текущей сейсмической опасности* – прогноза землетрясений” и практические шаги к ее решению освещены С.Ю.Баласаняном в работе [62]. В ней приводятся основные условия для успешной оценки текущей сейсмической опасности. Это:

- необходимые геолого-геофизические данные о геологической среде (база данных) и длинная статистика сейсмических событий (представительный и однородный каталог) землетрясений;
- благоприятная геологическая, геофизическая среда исследований, где сеймотектонические признаки сильных сейсмических событий хорошо выражены, а также ясно отражены текущие сейсмические процессы;
- хорошо организованные, унифицированные многопараметровые наблюдательные сети, позволяющие осуществлять мониторинг геологических сред в реальном времени с передачей данных в Единый центр сбора, обработки и анализа данных;
- эффективные методы обработки и анализа данных;
- высококвалифицированные эксперты в различных областях науки, которые способны выполнить комплексный анализ данных совместно;
- международное сотрудничество ученых.

Для правильной и своевременной оценки текущей сейсмической опасности необходимо: контролировать качество поступающей с наблюдательной сети текущей информации; определить информативность наблюдательных сетей и реагируемость на подготовку сейсмических событий пунктов наблюдений (что является методической основой развития и оптимизации Национальной наблюдательной сети); знать пространственно-временные закономерности проявления на территории Армении предвестников разных по силе землетрясений; выявить степень корреляционных связей различных параметров мониторинга; определить статистические зависимости параметров аномалий и землетрясений.

Представленные исследования посвящены выявлению особенностей проявления на территории Армении широкого комплекса предвестников землетрясений и комплексной оценке текущей сейсмической опасности.

Глава 1. Предвестники и прогноз землетрясений

1.1 Сейсмопрогностические исследования в Армении

В Армении предвестники землетрясений изучались в течение последних десятилетий многими исследователями. Сейсмопрогностические исследования в республике можно разделить на два этапа: до Спитакского 1988 года разрушительного землетрясения, и после создания Национальной службы сейсмической защиты (НССЗ) при Правительстве РА.

На **первом этапе** (до 1988 г.) были созданы первые пункты регулярного сейсмического мониторинга. Были проведены первые, одиночные, наблюдения. Исследования велись в различных НИИ и учреждениях, принадлежащих разным ведомствам. Так, институтом “АрмГеохи” были начаты определения химического состава подземных минерализованных вод в скважинах Арарат (с 1978 г.) и Суренаван (с 1979). Институт геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) АН Арм. ССР начал измерения концентрации подпочвенного радона на станциях Джермук (с 1981) и Кумайри (с 1986), геомагнитных параметров на МВС-станциях Гюлагарак, Джанфида и Джермук (все - с 1980). В составе ИГИС АН Арм. ССР успешно действовала Опытно-методическая сейсмопрогностическая экспедиция (ОМСЭ); была создана сеть станций сейсмических наблюдений (“Ереван” – 1931г., “Гюмри” – 1946г., “Степанаван” и “Горис” – 1951г., “Варденис” – 1968г., “Каджаран” – 1973г., “Бавра” – 1977г., “Арарат” – 1982г., другие станции). Институтом “ВСЕГИНГЕО” и Управлением геологии СМ Арм. ССР были начаты измерения уровня подземных напорных вод в скважинах Ноемберян, Мецамор и Бавра (все - с 1986). Впоследствии, естественно, начали действовать и другие пункты мониторинга.

Второй этап начался после создания в 1991 г. единого государственного органа управления - НССЗ. Была спроектирована и сформирована Многопараметровая наблюдательная сеть, то есть организована широкая сеть круглосуточных синхронных наблюдений по всей территории РА и позже в НКР, оснащенная однотипной аппаратурой, с передачей данных в единый Центр свора, обработки и анализа данных. На некоторых станциях была установлена новейшая аппаратура с автоматической регистрацией и спутниковой передачей данных в реальном масштабе времени.

Ниже приводим краткий обзор сейсмопрогностических исследований, проведенных в Армении отечественными и зарубежными авторами.

Сейсмические предвестники изучались многими исследователями. В последние годы интересные работы представили Т.О.Бабаян [10, 4], С.С.Карапетян с соавторами [54, 6], Э.Г.Геодакян [46], С.М.Оганесян с соавторами [37], Э.Г.Геодакян с соавторами [21, 22], Мкртчян М.Б. [35], С.С.Маргарян [34], Р.Р.Дургарян [28], С.Ч.Мавродиев с соавторами, при нашем участии (фонды НССЗ, 2005г.), и другие.

Э.Е.Хачияном издана первая на армянском языке монография по прикладной сейсмологии [5]. Позже эта монография с дополнениями была издана и на русском языке.

Т.О.Бабаян [10] дает геолого-тектоническое истолкование проявлений Ленинанканского землетрясения 1926г. ($M=5.7$) в зоне Ахурянского разлома, а также характер перераспределения сейсмических напряжений в этой зоне. Т.О.Бабаян издала Атлас сильных землетрясений [4], произошедших с древнейших времен до 2003г. на территориях Республики Армении, Арцаха и прилегающих территориях. Прекрасно изданный Атлас включает впервые составленные карты изосейст сильных землетрясений, описания последствий, методические основы работы и список литературы по тематике работ. В Атлас включены уточненный и однородный каталог 86-и землетрясений, карты изосейст масштаба 1:1 000 000 и их описания.

С.С.Карапетян с соавторами [54] изучили вариации амплитудно-частотных характеристик микросейсм в эпицентральных зонах исследуемых сейсмических событий с целью решения проблемы краткосрочного прогноза землетрясений.

Э.Г.Геодакян и Н.Э.Геодакян [46] оценили деформационные процессы, возникающие в крупных блоках земной коры, в районе южной Армении и северо-запада Ирана. В основу анализа положены представления о так называемом сейсмическом течении горных масс. Количественная оценка сеймотектонических деформаций в виде компонентов тензора скоростей деформаций представляет собой, по мнению авторов, не только отдельный научный интерес, как параметр, характеризующий сейсмический режим региона, но и может быть исследован для выяснения различных аспектов сейсмической опасности, выявления зон подготовки сильных землетрясений.

С.С.Маргаряном [34] получены новые закономерности о пространственно-временных особенностях сейсмического режима на территории Армении. На основе количественного распределения землетрясений получена карта сейсмической активности Армении и сопредельных территорий и определены основные характерные параметры для каждой из выделенных зон со сходным сейсмическим режимом. Откартированы и сопоставлены различные варианты вероятностной сейсмической опасности территории Армении.

Р.Р.Дургаряном [28] изучены особенности слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями с $M \geq 6$ Кавказа. Установлены параметры проявления сейсмического затишья для пяти землетрясений на Кавказе с $M \geq 6$ и составлена карта вероятных зон сейсмического затишья Кавказа с количественной оценкой параметров этих зон. Определено, что проявление сейсмического затишья для землетрясений Кавказа с $M \geq 6$ является эффективным среднесрочным предвестником, а период проявления сейсмического затишья составляет 3-4 года и охватывает территорию площадью порядка 30-40 км².

С.Ч.Мавродиевым с соавторами предлагается новая систематизация землетрясений, используя параметры землетрясения: магнитуду, интенсивность, глубину очага, удаленность и "жесткость". Систематизация тестируется для землетрясений Македонии, Армении (1972-2005) и Балкан (1902-1996) с магнитудой $M > 4$. Систематизация может быть полезна для детализации карт сейсмической опасности и для выбора сети комплексного мониторинга. Возможные новые знания для механизма землетрясения на кванто-механическом уровне могут быть использованы для решения обратной задачи прогнозирования эпицентра, глубины очага, магнитуды и интенсивности землетрясения.

Деформационные предвестники изучались группой ученых из разных стран. С.Ю.Баласанян, А.С.Аванесян, Г.С.Акопян, Р.Рейлинджер [14] в результате проведенных измерений пришли к выводу, что территория Большого и Малого Кавказа сокращается со скоростью 10 ± 2 мм в год в направлении, перпендикулярном простиранию Кавказского хребта. Указанная скорость сокращения Кавказа является 30-40% выражением конвергенции Евразийской и Аравийской плит. Оставшееся значение относительного движения Аравийской и Евразийской плит (19 ± 3 мм в год) в направлении ССЗ-ЮЮВ происходит под воздействием правосдвигового разлома С-З простирания, в регионе Восточной Турции и Южного Кавказа, между Битлис-Загросским швом и Малым Кавказом.

Полученные данные GPS-измерений и их анализ, проведенный совместно с Массачусетским технологическим институтом, выявили:

- относительное движение Аравийской и Евразийской плит со скоростью 19 ± 3 мм в год в направлении ССЗ-ЮЮВ друг к другу;
- суммарное С-Ю укорачивание территории Кавказа со скоростью 10 ± 2 мм в год;
- ротацию Турецкой микроплиты против часовой стрелки;
- горизонтальные деформации земной коры на территории Армении со скоростью 10 ± 2 мм в год, что свидетельствует о возможно более высокой их вертикальной составляющей.

Геомагнитные предвестники и закономерности их проявления на территории республики выявлены Ц.Г.Акопяном и Т.А.Сируняном [43], Л.А.Ахвердяном и В.В.Нагапетяном [8], С.Р.Оганесяном [38, 39, 77], М.С.Бадаляном и др. [55, 56], А.Г.Григорян [24, 46].

В работе М.С.Бадаляна и др. [55] представлены результаты изучения краткосрочных аномальных вариаций геомагнитного поля, проявленных на финальной стадии подготовки ощутимых землетрясений с $M > 3.5$. Ряд событий с $M > 3.5$ предварялись трендом с амплитудой

15-20 нТл на графике T ; тренд начинался за 2 недели до сейсмического события и резко прерывался скачкообразным уменьшением величины T перед событием. Локальные аномалии с амплитудой 10-60 нТл и продолжительностью 1-5 дней наблюдались за 3-40 дней до толчка.

В статье М.С.Бадаляна и др. [56] говорится об обнаружении интересного явления: непосредственно перед землетрясением почти регулярно наблюдаются кратковременные свои в работе протонных магнитометров ГПМ. Такие свои могут происходить, если локальное магнитное поле по какой-либо причине становится существенно неоднородным. Исходя из этого, авторы выдвинули гипотезу о том, что непосредственно перед землетрясением в геологической среде возникают какие-то, ранее не описанные, мощные локальные, разнонаправленные и кратковременные циркулирующие токи. Индуцированные такими токами магнитные "всплески" сильно нарушают однородность локального магнитного поля, при этом существенно не изменив его суммарную величину.

С.Р.Оганесяном в работе [39], в частности, предложен новый нормирующий параметр воздействия высвобожденной сейсмической энергии на магнитоупругую среду, позволяющий однозначно интерпретировать локальные аномалии тектономагнитной природы. Обнаружены взаимные связи между сейсмическими параметрами и динамикой геомагнитного поля. Обнаружены тектономагнитные временные волны и построена тектономагнитная модель земной коры территории Армении.

А.Г.Григорян [46] исследовала вариации локального геомагнитного поля с целью изучения геодинамических процессов на территории Армении. Ею сделано предположение, что в земной коре исследуемого региона происходит интенсивное перемещение подземных вод (флюидов), и локальные изменения изученных параметров обусловлены главным образом геодинамическими процессами, происходящими в зонах активных глубинных разломов.

Электрические предвестники Спитакского (07.12.1988г., $M=7.0$) землетрясения, аналогичные тем, которые были наблюдаемы группой ВАН из Греции, выделены Х.В. Киракосяном [71]. Электроды, установленные в тоннеле Гарнийской геофизической обсерватории, находились на расстоянии 60-70 км от эпицентра Спитакского землетрясения. 16 ноября 1988 г., то есть за 21 день до землетрясения, появились быстротечные аномалии электрического поля с амплитудой от 1,5 до 8 мВ на 100 м; продолжительность этих сигналов варьировала от нескольких минут до нескольких часов; аномальные всплески завершились 23 ноября 1988г.

Электромагнитные аномалии сейсмогенной природы обнаружили В.В.Воинов, И.Л.Гуфельд, Ф.П.Миранян, В.Г.Панаджян и др. [18]; Л.А.Ахвердян [9]; Х.Манаселян, А.Асланян и др. [73, 79]; Ю.А.Копытенко, О.А.Молчанов, М.Хаякава и др. [79]. Предвестники землетрясений, выделенные методом необратимости нестационарных процессов (ННП), представлены в работах С.Ю.Баласаняна и др. [11, 76]. Исследования по вертикальному зондированию ионосферы, представленные Х.Манаселяном, А.Гуляном и др., [78], позволили выделить ионосферные предвестники сильных землетрясений регионального значения.

В.В.Воинов, И.Л.Гуфельд, Ф.П.Миранян, В.Г.Панаджян и др. [18] отметили, что благоприятная ситуация с использованием радиофизических методов оказалась в период Спитакского землетрясения 7 декабря 1988г. В этот период зона землетрясения контролировалась длительное время радиофизическими методами контроля ионосферы и атмосферы. Авторы приводят данные исследований зоны Спитакского землетрясения следующими методами контроля ионосферы и атмосферы: 1) радиопросвечивание волновода Земля-ионосфера на СДВ; 2) регистрация ионосферных мерцаний космического радиоисточника; 3) радиолокационный контроль атмосферы. Особенности наблюдений с использованием РЛС показывают наличие в эпицентральной зоне готовящегося Спитакского события активной помеховой обстановки в метровом диапазоне радиоволн, которую нельзя отождествлять с грозовой деятельностью. В измерениях ионосферных мерцаний были зарегистрированы активные источники радиоизлучений в контролируемой зоне. Хода 1 и 14 декабря относятся к спокойным, а 8 декабря наблюдалась типичная картина ионосферных мерцаний радиоисточника, связанная с вариациями электронной плотности ионосферы в

основном вблизи F-слоя. Активные источники излучения регистрировались также несколько суток после землетрясения. В целом, анализ комплексных наблюдений с учетом влияния факторов гелиогеофизической и метеорологической природы показывает на объективность связи выделенных возмущений с сеймотектоническим процессом.

Автором работы [76] проведены исследования особенностей вариаций на территории Армении параметра необратимости $\Delta(+)$ метода ННП в период подготовки и реализации роев землетрясений, произошедших на юге Грузии (майншок – 15.01.1999, $M=4,3$) и северо-западе Ирана (майншок – 23.11.1998, $M=4,7$). Подтвердился сделанный ранее [11] вывод о том, что чувствительность пункта наблюдений методом ННП напрямую зависит от сеймотектонической позиции пункта, поскольку разные пункты совершенно по-разному реагируют на одни и те же сейсмические события.

Л.А.Ахвердяном [9] изучены магнитоупругие, электромагнитные и электроупругие эффекты, предшествующие сильным землетрясениям. Им на основе изучения магнитного, электрического, электромагнитного полей и физических свойств горных пород проведен теоретический расчет величины магнитоупругого, электромагнитного и электроупругого эффектов в пределах Арабатского сейсмополигона. Установлена взаимная связь между сейсмическими событиями и локальными вариациями магнитных, деформационных, электрических и электромагнитных параметров. Предложено проведение магнитоупругих, электроупругих высокоточных измерений в зонах максимальных градиентов гравитационного и теплового поля.

Х.Манаселяном, А.Асланяном и др. [79], СВЧ электромагнитные предвестники обнаружены в приповерхностном атмосферном слое Земли и в различных слоях ионосферы. Среди существующих радиофизических методов наблюдения радиоастрономический метод является самым информативным, ввиду того, что сигнал из космических источников, проходя через все атмосферные слои, несет информацию о всех сейсмогенных и несейсмогенных аномальных процессах. Был установлен радиоинтерферометр на территории Каджарана и начались наблюдения во время сейсмической активности в Иранском плато (ноябрь, 2003). Результаты наблюдений отрицают предположение авторов о том, что наблюдаемые предвестники имеют универсальный характер. Они выявляются довольно часто на записях радиоастрономических сигналов, когда сеймотектонические процессы активизируются в некоторых местах этого региона. Х.А.Манаселяном [46] также дана оценка сейсмогенности ионосферных аномалий радиоастрономическим методом. Обнаружено, что за несколько дней до сильных землетрясений проявляются следующие основные типы аномалий: 1) мерцание радиоисточника, 2) вариации мощности радиоизлучения галактического фона относительно среднемесячных значений, 3) активные ионосферные источники, пересекающие луч зрения радиотелескопа на высотах ионосферы, 4) аномальные импульсные помехи с различными амплитудами, 5) увеличение дисперсии сигнала на выходе приемника под влиянием аномальных внешних шумов.

Ю.А.Копытенко, О.А.Молчанов, М.Хаякава и др. [79] пишут: “Впервые аномальные СНЧ электромагнитные аномалии перед Спитакским землетрясением 1988г. были замечены российскими учеными из Санкт-Петербургского филиала ИЗМИРАН. Было обнаружено, что до начала сильного землетрясения интенсивность СНЧ магнитных нарушений ($F<1\text{Hz}$) резко возрастает. Этот эффект был обнаружен в обсерватории Душети (Грузия) на расстоянии ~140км от эпицентра спитакского землетрясения. Годом позже аномальные СНЧ эффекты были обнаружены перед землетрясением Лома-Приетта (США). Подобные СНЧ электромагнитные аномальные нарушения позже были замечены в Японии и в районе Тайваня”.

Геохимические предвестники изучены Р.К.Гаспаряном [20, 65], М.М.Басенцяном и В.П.Рудаковым [16], В.Л. Барсуковым и др. [15], С.Ю.Баласаняном, В.А.Игумновым и др. [12, 59, 68, 69], А.А.Беляевым и В.А.Игумновым [63], а также другими исследователями [66, 72, 80, 81].

Р.К.Гаспарян [20] одним из первых представил интересную работу, посвященную механизму образования эманационных аномалий в геодинамических зонах. Им же получены интересные результаты [65] по исследованию стресс-деформационного состояния оползневых явлений с применением электрических и радиометрических методов.

М.М.Басенцян и В.П.Рудаков [16] выделили радоновые амплитудные предвестники Спитакского землетрясения на ст. Джермук, находящейся в 150 км юго-восточнее от эпицентральной зоны события, и на ст. Ленинакан.

А.А.Беляев и В.А.Игумнов [63] исследовали разные геохимические системы, динамика которых зависит от естественных факторов, влияющих на колебания давления. Полученные результаты показывают, что сложные многокомпонентные системы, так же как и однокомпонентные, подчиняются одному общему правилу: регулярно повторяющиеся изменения структуры временной корреляции этих временных рядов в течение длительного времени подготовки землетрясения. Корреляционная матрица (модель факторов) многокомпонентной системы может быть использована как прогностическая характеристика.

ГГД-наблюдения проведены С.Г.Мурадяном и др. [74], а также рядом других исследователей. В работе [74] изучены многолетние вариации уровня подземных вод в 18 специально пробуренных скважинах, расположенных в основном в зонах активных разломов на территории Армении. В некоторых скважинах колебания уровня подземных вод перед землетрясениями Барисахо ($M=6,4$), Мартуни ($M=5,0$) и Цовагюх ($M=3,8$) могут быть представлены в форме аномалий трех типов, которые последовательно сменяют друг друга по мере приближения сейсмического события, отражая разные этапы его подготовки. Аналогичные вариации уровня подземных вод наблюдались, в частности, перед Таншанским землетрясением (1976 г., $M=7,8$) в Китае [29].

Сейсмобиологические исследования проводили Г.О.Игнатосян и др. [67], Л.Хажакян и др. [70], К.Б.Авакян и др. [75], а также другие исследователи [17].

В работе [67] приводят множество свидетельств местных жителей о том, что от двух дней до нескольких минут до Спитакского землетрясения домашние животные и птицы проявляли все усиливающуюся двигательную и голосовую активность; многие разновидности животных пребывали в возбужденном или депрессированном состоянии; на некоторых фермах домашние животные отвергали пищу, и т. п.

В работе [70] установили хорошую коррелируемость между краткосрочными изменениями активности аквариумных донных сомов, используемых в НССЗ Армении для сейсмобиологического мониторинга, вариациями параметра необратимости нестационарных процессов, измеренных на ст. Давидашен, и сейсмическим режимом в регионе. Повышение активности рыб на 7-15 дней опережало увеличение вариаций электрического параметра и активизацию сейсмического режима.

В работе [75] были продолжены исследования поведения аквариумных донных сомов. Эти рыбки имеют развитые электрочувствительные органы и отличаются реактивным поведением, поэтому они используются в НССЗ для сейсмобиологического мониторинга. В результате исследований, в частности, получен графический образ поведения рыбок в период подготовки и реализации Ноемберянского (1997г., $M=4,4$) и Джрашенского (1997г., $M=3,4$) землетрясений. Нормальная (фоновая) активность рыбок заметно уменьшается за 1-2 недели до сейсмического события, а затем резко возрастает за 1-7 дней до события, оставаясь выше нормального уровня и после него. Аномальных изменений атмосферного давления на ст. Давидашен в обоих случаях не наблюдается. Эпицентры этих землетрясений находятся в 120 и 125 км от ст. Давидашен.

Вероятностно-статистические методы обработки геофизической информации К.А.Карапетян [30] считает наиболее перспективными и надежными среди методов обработки непрерывно увеличивающегося объема геофизической информации. Ею предложена методика статистической обработки долговременных наблюдений геофизических параметров для условий Армении, установлены типы регрессионных зависимостей между различными геофизическими параметрами.

В работе [61] приводятся результаты *ретроспективной оценки текущей сейсмической опасности* на территории Армении перед Джавахетским (19.01.1999г., $M=4,3$) землетрясением. В период его подготовки и реализации на многих станциях НССЗ Армении наблюдались аномальные вариации различных параметров, с характерными для каждого параметра графическими образами, амплитудно-частотной картиной и временем проявления аномалий. Наиболее беспокойными в сейсмическом отношении районами территории Армении в период подготовки и реализации Джавахетского землетрясения были северо-западный и западный районы республики, недалеко от Джавахетской очаговой зоны.

С.Н.Назаретяном в работе [36] предложена *модель очага сильных землетрясений ($M \geq 5.0$) территории Армении*. Она состоит из четырех стадий и “более или менее согласуется с отдельными элементами известных моделей Ю.Ризниченко, ИФЗ АН СССР, Б.Брейди и И.Добровольского [31]”. Автор пишет: “Вероятность краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений очень высока. Этому способствуют неглубокое расположение очагов, вероятность появления предвестников. Ныне действующая многопараметровая сеть наблюдений, состоящая из 150 станций, система сбора и анализа информации НССЗ Армении позволяют при наличии благоприятных условий второй стадии модели очага (стадия разуплотнения, то есть дилатансии и диффузии, трещинообразования, разрушения пород очага перед образованием магистрального разлома) успешно решить проблему”.

1.2 Возможен ли прогноз землетрясений ?

Не считаем излишним привести краткий обзор научных публикаций, в которых представлены разные подходы к проблеме и возможности прогнозирования землетрясений.

Уже в 1880г. известный британский инженер и изобретатель сейсмометра Джон Милн определяет прогноз землетрясений как одну из наиглавнейших задач молодой науки сейсмологии и обсуждает возможные предвестники сильных землетрясений. Исследования по прогнозу землетрясений за более чем вековую историю, как пишет В.Г.Косообоков [42], не раз переживали периоды высокого энтузиазма, сменявшиеся холодным критическим отношением научного сообщества.

Бытует однозначное мнение, что прогноз землетрясений невозможен. При этом, как правило, делаются ссылки на мнения авторитетных ученых, скажем, Ч.Рихтера. Он действительно в середине 20-го века писал, что “возможность вполне определенных предсказаний является в лучшем случае лишь надеждой на отдаленное будущее, любое исследование опасности землетрясений должно быть в большей мере статистическим”. Итак, во-первых, он не исключал возможность прогноза в “отдаленном будущем”; во-вторых, мы сегодня находимся в отдаленном будущем по отношению к тому времени, когда эти слова были произнесены Ч.Рихтером; в-третьих, прогноз сегодня основывается на статистике, как и считал Ч.Рихтер; в-четвертых, из мировой истории известно, что до многих фундаментальных достижений некоторые крупнейшие ученые и мыслители высказывали мнение об их невозможности: так было со строением и формой Земли, изобретением летательных аппаратов, передачей звука и изображения на большие расстояния, полетами в космос и многими, многими другими выдающимися открытиями [13].

По мнению К.Моги [33], если предвестники наблюдаются и эффективно используются, то возможность прогноза землетрясений действительно существует. Он считает, что крупные землетрясения возникают неоднократно на одном и том же разломе; явления-предвестники также обладают хорошими свойствами повторяемости. В высшей степени вероятно, что при землетрясениях на одном и том же разломе определенные предвестники будут повторяться.

Один из аргументов против предсказуемости землетрясений, по мнению английского ученого Старка (Stark, 1997), связан со статистическими аспектами прогноза [64]. Он считает, что “Существующие методы главным образом направлены на получение оптимального ретроспективного прогноза и на надежность указаний для предсказаний в будущем. Постфактумное исследование не имеет большую прогнозирующую ценность, поскольку для

небольшой статистики сильных землетрясений возможно вполне удовлетворительно оптимизировать схему прогноза для имеющихся данных. В то же время, может оказаться, что это оптимизированное достижение не подходит для прогноза следующих событий или для других регионов. Это можно назвать эффектом “чехла горбуна”; вы можете разработать чехол, идеально сглаживающий данный горб, но он может быть совершенно бесполезным для другого, так как каждый горб индивидуален.”

Полемизируя с ним, Т.Л.Челидзе пишет [64]: “Как правило, сторонниками невозможности прогнозирования все предвестники считаются ненадежными, что обусловлено небольшой статистикой таких событий и возможностью несейсмического происхождения аномалий. В то же время, они не учитывают такие события, как появление трех, четырех или более аномалий-предвестников перед сильным землетрясением. Игнорирование последовательного появления нескольких предвестников напоминает одну смешную историю. Недисциплинированный водитель переехал дорогу на красный свет. Когда полицейский остановил его, он отказался от своей ошибки, говоря, что не было красного света. “Итак, сэр, вы думаете, - сказал полицейский, - что во всех этих автомобилях одновременно закончился бензин?” Действительно, считает Т.Л.Челидзе, когда есть большая возможность ошибиться в опознании некоторых событий из-за высокого уровня шума, физик использует метод совпадения. В физике космических лучей, например, определяется частица космического происхождения, когда некоторые слои датчиков регистрируют частицу одновременно. Таким образом, статистическому обоснованию некоторых последовательных аномалий в различных областях должно быть уделено особое внимание для того, чтобы корректировать статистические оценки.”

Примеры успешного краткосрочного прогноза землетрясений в Китае, а также успешные прогнозы в ряде других стран (СССР, США, Японии, Исландии, Армении) показали, что существует реальная возможность прогноза землетрясений в случае благоприятных условий [13]. Следовательно, вопрос о том, можно ли прогнозировать землетрясения или нет, по мнению известного японского сейсмолога Касахары, следует отныне ставить в более точные формулировки. Например: землетрясения какого типа прогнозируемы?, или какой тип землетрясений, требующих предварительного прогноза, можно предсказать при современных прогностических возможностях?, или за какой отрезок времени можно предсказать землетрясение?

По мнению Л.Н.Солодилова [50], в последние 20 лет имелись случаи удачного прогноза. Но в целом прогноз землетрясений пока не является технологией, что не случайно, поскольку нет достоверных сведений о механизме землетрясений и соответствующей градуированной и однородной аппаратуры.

Несмотря на очевидные успехи в изучении землетрясений, их прогноз и сегодня остается одной из наиболее острых дискуссионных проблем наук о Земле. Сейсмические события последнего времени – в частности, ожидавшееся в конце 1980-х годов землетрясение 28 сентября 2004г. в Паркфилде (Калифорния) и, безусловно, мега-землетрясение 26 декабря 2004г. в Индийском океане, катастрофические последствия которого потрясли буквально весь цивилизованный мир, - продемонстрировали недостатки и ограниченность общепринятых рутинных методов регистрации и оценки величины сейсмических событий, а также несостоятельность многих теорий подготовки и возникновения землетрясения [42].

Опыт развития цивилизаций показывает, что практический совет - не располагать жилые и хозяйственные строения в опасных районах – не выполняется. Даже оставив разрушенную землетрясением территорию, либо сами люди, пережившие землетрясение, либо их потомки, как правило, вновь туда возвращаются [50]. Другой практический совет - строить так, чтобы здания выдерживали воздействия землетрясений с максимальной для данного региона магнитудой (сейсмостойкое строительство) - в последней четверти 20-го столетия лежал в основе идеологии прогноза землетрясения во многих странах, прежде всего, в Японии. Однако землетрясение 1995г. в городе Кобе, когда были разрушены строения, возведенные с учетом достижений сейсмостойкого строительства, перечеркнуло возлагаемые на это направление

надежды. Безусловно, в будущем появятся строительные конструкции, которые смогут выдерживать максимальные нагрузки $M_{\max}$. В этом случае, как в свое время остроумно заметил академик Садовский М.А., не будет нужна наука сейсмология, поскольку мы научимся строить здания, которые не разрушаются. Но это, видимо, все же далекая, весьма далекая перспектива" [50].

Известными сейсмологами А.Я.Сидориным и А.А.Лукком анализируется комплекс реализаций различных геофизических параметров, мониторинг которых осуществлялся на протяжении многих лет на Гармском прогностическом полигоне ИФЗ РАН в Таджикистане [47]. На примере вариаций значений этих параметров перед разрушительным Джиргатальским землетрясением 26.10.1984г. с $M=6.4$ обсуждаются принципиальная возможность и проблемы прогнозирования сейсмических катастроф. Землетрясение предвлялось появлением значительных изменений величин целого ряда геофизических параметров на протяжении 1982-84гг. Тем не менее, нельзя с уверенностью утверждать существование причинно-следственной связи между этими изменениями и возникновением сильного землетрясения, поскольку остается неоднозначность в интерпретации причины целого ряда наблюдаемых длиннопериодных вариаций этих параметров. Высказывается соображение о возможном присутствии регулярной 3-3,5-летней квазипериодической составляющей в вариациях анализируемых величин, не имеющей причинно-следственной связи с возникновением Джиргатальского землетрясения.

Говоря о значении гидрогеохимических методов для краткосрочного прогноза землетрясений, В.Л.Барсуков и соавторы [23] пишут: "связь вариаций химического состава подземных вод с сейсмическими полями очевидна. Характер проявления гидрогеохимических аномалий связан с природой предвестника и особенностями готовящегося сейсмического события. В широком комплексе методов, используемых для пргноза землетрясений, роль гидрогеохимических методов представляется наиболее эффективной на стадии краткосрочного прогноза. Именно эти методы, наряду с прогнозом места и силы землетрясения, могут оказаться более информативными при решении самой сложной задачи прогноза – определении времени землетрясения".

Разнообразие подходов к проблеме прогноза землетрясений, пишет Л.Л.Ромашкова [44], с одной стороны, способствует глубокому и всестороннему анализу процессов подготовки сильных землетрясений, а с другой - порождает сложности, связанные с множеством допускаемых определений и не вполне устоявшейся терминологией. Так, например, под прогнозом землетрясения разные авторы понимают как непосредственное утверждение о возможности его возникновения, так и различные оценки условной вероятности, оценки сейсмического риска и так далее. Каждый из этих подходов имеет право на существование, может применяться в соответствии со стоящими конкретными задачами и предполагает как различные защитные и предупредительные мероприятия, так и различные способы оценки эффективности прогнозов.

Анализ междисциплинарных исследований по прогнозу землетрясений с точки зрения оптимистического, пессимистического и реалистического подходов проведен С.Ю.Баласаняном [78]. После рассмотрения всех аргументов за и против, автор приходит к выводу, что существуют реальные предпосылки для дальнейшего развития междисциплинарных исследований по прогнозу землетрясений.

Известный сейсмолог В.Г.Косовоков, анализируя перспективы прогноза землетрясений, выражает надежду, что "наметившийся в сознании геофизического сообщества "сейсмический сдвиг" в направлении строгих формулировок и систематических экспериментов в области непосредственно прогноза землетрясений позволит в ближайшее время утвердить фундаментальные принципы науки в этой, во многом еще противоречивой, области естествознания" [42].

Мы считаем, что необходимо продолжить всесторонние исследования по прогнозу землетрясений в Армении, где сейсмический риск сохраняется на очень высоком уровне.

1.3 Тестовые предвестники землетрясений

В книге "Сейсмическая защита и ее организация" [13] авторы пишут: "Многолетний, многопараметровый, плотный мониторинг литосферы с круглосуточной передачей информации в реальном масштабе времени в единый центр сбора, обработки и анализа данных необходим для обнаружения долгосрочных, среднесрочных, краткосрочных и оперативных предвестников землетрясений. Интересно отметить, что только в Китае и Армении удалось добиться создания сети наблюдений, удовлетворяющих вышеприведенным требованиям. Во всех же остальных странах, даже таких, как США и Япония, сети наблюдений разрознены, неоднородны, с различными центрами обработки информации, так как подчинены разным ведомствам и частным организациям. Это, по мнению самих американских и японских сейсмологов, заметно ухудшает эффективность прогностического мониторинга". И далее: "Многолетний ретроспективный анализ многопараметрового мониторинга литосферы с изучением пред-, ко-, пост-сейсмических изменений геологической среды при каждом сейсмическом событии позволяет создать тесты известных землетрясений, с целью разработки распознающей экспертной системы, в основу которой положен ретроспективный анализ и база знаний. В связи с отсутствием единых многопараметровых сетей мониторинга литосферы во многих странах нет полных тестов прошедших землетрясений. Такие тесты сегодня имеются только в Китае и Армении. На них и основаны распознающие экспертные системы, созданные и эффективно действующие в государственных сейсмологических службах этих стран".

Впервые построенные нами тесты землетрясений созданы с целью поисков надежной эмпирической связи между предсейсмическими изменениями физических, химических и физико-химических характеристик литосферы и атмосферы, то есть предвестниками землетрясений, и подготовкой сейсмического события. Нами обработаны многолетние временные ряды по 15-и разным по своей природе параметрам с более чем 40 комплексных и однопараметровых пунктов наблюдений, на которых действуют более 80 станций. Выделены среднесрочные, краткосрочные и оперативные аномалии, предвещающие протестированные сейсмические события, а также косейсмические и постсейсмические эффекты. Проведена *типизация аномалий*, наблюдаемых на каждой станции по каждому параметру. Выделены *графические образы* аномалий. Определена *вероятность сейсмической реализации предвестников*, которая выражена отношением $P = m/n$, где m – количество реализовавшихся аномалий, то есть тех аномалий, после которых произошли сейсмические события; n – общее количество подобных аномалий на данной станции и по данному параметру. Вертикальные масштабы графиков определялись таким образом, чтобы в 1 мм помещалось 2σ и более, где σ – погрешность измерений.

При типизации предвестниковых аномалий, следуя принятой сегодня в международной практике классификации предвестников по временам их проявления и исходя из задач оценки текущей сейсмической опасности, мы приняли следующую классификацию предсейсмических явлений, то есть предвестников землетрясений: а) долгосрочные, если интервал времени от начала проявления (возникновения) предвестника до сейсмического толчка равен 10 годам и более; б) среднесрочные – от года до 10 лет; в) краткосрочные – от трех дней до года; г) оперативные – три дня и менее.

Количество предвестников разных типов неодинаковое. Ни одно из протестированных землетрясений не имеет долгосрочных предвестников, несмотря на то, что некоторые параметры имеют более чем 30-летние временные ряды. Выделено несколько среднесрочных предвестников, которые проявлены как долгопериодные нарушения сезонного хода (ГГД-поле), а также как знакопеременные и трендообразные аномалии ΔT (геомагнитное поле). Подавляющее большинство предвестников являются краткосрочными. Они имеют, соответственно, самые разнообразные формы проявления. Оперативных предвестников достаточно много. Они проявляются непосредственно перед сейсмическим событием (главным толчком) и имеют, в основном, форму резких амплитудных скачков. Выделены также косейсмические и постсейсмические эффекты. Косейсмические эффекты, являясь

непосредственной реакцией среды на уже произошедший сейсмический толчок, выражаются в виде резкого уменьшения (иногда увеличения) величины измеряемого параметра и служат прямым подтверждением чувствительности данного наблюдательного пункта к процессу подготовки и реализации сейсмического события. Постсейсмические эффекты, как правило, отражают обратимые (реже - необратимые) процессы постепенного перехода среды в "нормальное" состояние и выражаются в виде завершения аномалии.

Как сказано выше, оценка текущей сейсмической опасности (прогноз будущего землетрясения) носит вероятностный характер. Сейсмогенными являются те аномалии, которые обусловлены сейсмическими процессами. Исходя из практики ретроспективного анализа сейсмических событий, можно выделить критерии сейсмогенности аномалий. Такими критериями являются: а) наличие предсейсмических, косейсмических и (или) постсейсмических периодов в наблюдаемых аномалиях; б) наличие аномалий в разных по своей природе полях; в) наличие аномалий на относительно большой территории; г) соответствие аномалий определенной физической модели подготовки землетрясений.

Построен Каталог аномалий-предвестников, который включает 167 тестовых предвестников 18 региональных и местных землетрясений с M от 3.7 до 7.7, произошедших с 1983г. по 2002г. на территории Армении и сопредельных стран. Тесты выделены в результате анализа изученных нами 656-и аномалий по всем 15-и параметрам. Тесты составлялись в течение нескольких лет, с включением вновь произошедших сейсмических событий и по мере получения новых данных с пунктов наблюдений. Каталог несколько раз дополнялся, а включенные в него аномалии-предвестники критически переоценивались нами и нередко отбраковывались. Каталог ежедневно используется при оценке текущей сейсмической опасности в НССЗ. Он представлен в [40].

1.4 Реагируемость пунктов мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений

Реагируемость на подготовку и реализацию сейсмических событий наблюдательных пунктов НССЗ приведена в сводной таблице 1.1. Реагируемость пунктов определена по результатам тестирования 18 землетрясений, тесты которых приведены в Каталоге предвестников землетрясений. Из табл. 1.1 видно, в частности, что различные пункты наблюдательной сети НССЗ неодинаково реагируют на подготовку и реализацию региональных и местных сейсмических событий. Объяснение этому кроется в целом ряде причин, начиная от сложного геолого-тектонического строения территории Армении и сопредельных областей, неповторяемости процессов подготовки сейсмических событий даже в пределах одних и тех же очаговых зон, и заканчивая различными физико-геологическими и гидрогеологическими условиями мест заложения пунктов наблюдений.

Так, группа пунктов более чувствительна к подготовке региональных сильных землетрясений, нежели местных ощутимых. Соотношение количества выделенных предвестников, косейсмических и постсейсмических эффектов по всем параметрам для региональных и местных землетрясений для пунктов этой группы таково: Каджаран - 19/2, Ширакамут и Артик - 5/0, Суренаван - 4/0, Горис - 6/2, Степанаван - 5/1, Ашоцк - 4/1, Ахурик - 5/2, и др. Следовательно, при оценке текущей сейсмической опасности выделение аномалий возможно сейсмогенной природы на этих пунктах с большей вероятностью означает приближение именно сильного события регионального значения. Другая, небольшая группа пунктов реагирует скорее на подготовку местных ощутимых землетрясений. Это Азатан - 1/3, Арташат и Паракар - 0/2. Соответственно, выделение аномалий-предвестников на названных пунктах с большей вероятностью говорит о готовящемся возможном землетрясении местного значения. Остальные пункты практически одинаково отреагировали (а некоторые не отреагировали) как на сильные региональные, так и на местные ощутимые сейсмические события.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ РЕАЛИЗАЦИЮ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Таблица 1.1

[illegible]

1.5 Информативность пунктов мониторинга и геолого-тектонические условия

Различные части неоднородной геологической среды по разному деформируются в поле внешних региональных тектонических сил в период подготовки сейсмического события. Неодинаковая деформируемость среды приводит к неодинаковому изменению ее характеристик. Это означает, что в зависимости от местонахождения пункта наблюдений можно либо зарегистрировать предвестник землетрясений, либо нет.

Рассмотрим информативность наблюдательных пунктов в зависимости от геолого-тектонических условий на примере данных метода необратимости нестационарных процессов (ННП) и вариаций подпочвенного газа радона.

1) Методом ННП наблюдения ведутся в настоящее время на 7 станциях НССЗ, которые равномерно установлены на территории Армении, в основном на известных активных разломах [11, 40, 58]. В результате изучаются вторичные электрические или магнитные поля нестационарных процессов. Основным параметром необратимости нестационарных процессов, отражающим отличие формы кривой становления нестационарного процесса от формы кривой его спада, как для электрической, так и для магнитной составляющей ННП является эквивалент интегральных энергетических изменений $\Xi(+)$. Визуализация и предварительный анализ графиков $\Xi(+)$ носит качественный характер, а именно: выделяются аномалии $\Xi(+)$, определяются их параметры, проводится сравнительный анализ данных из различных пунктов наблюдений сети ННП с учетом сейсмотектонической позиции каждого пункта наблюдений и мощности осадочного чехла, повышения или понижения фоновых значений параметра $\Xi(+)$, расстояния от пункта до эпицентра исследуемого сейсмического события и других факторов.

На рис. 1.1 и 1.3 приведены примеры графиков $\Xi(+)$ и $\Xi(-)$ по некоторым станциям Национальной сети, установленным в различных сейсмотектонических условиях, полученные в период, предшествующий Ноемберянскому землетрясению. Результаты показывают, что:

1. Информативность пунктов наблюдений методом ННП зависит от местоположения пункта. Наиболее интенсивная аномалия до Ноемберянского землетрясения зарегистрирована на ст. Каджаран ($\Xi(+)>1000$ усл. ед.), расположенной в зоне узла стыковки активных разломов (рис. 1.3г), наименее интенсивные - на ст. Артик ($\Xi(+)=120-130$ усл. ед.), расположенной внутри блока, ограниченного активными разломами (рис. 1.1). Остальные станции, установленные на активных разломах (Гюмри, Ехегнадзор и Джермук), имеют промежуточные значения аномалии параметра $\Xi(+)$ от 240 до 720 усл. ед. (рис. 1.3а,б,в).

2. Чувствительность станций на подготовку сейсмического события зависит не столько от расстояния (Δ) от эпицентра землетрясения до станции (для ст. Каджаран $\Delta=242$ км, а для ст. Артик $\Delta=101$ км), сколько от сейсмотектонической позиции пункта. Последней обусловлен также уровень фона $\Xi(+)$: для Артика (внутри блока) фон не превышает 10 усл. ед., а для остальных пунктов (на активных разломах и узле стыковки активных разломов) фон значительно выше - от 50 до 150 усл. ед. На чувствительность станций мощность осадочного чехла напрямую не влияет.

3. Аномалии $\Xi(+)$ обычно имеют форму пиков; появляются за 4-45 дней до сейсмического события и продолжаются 1-3 дня, реже до 26 дней, и прекращаются до сейсмического события; амплитуда аномалий превосходит фоновые значения в 3-13 раз.

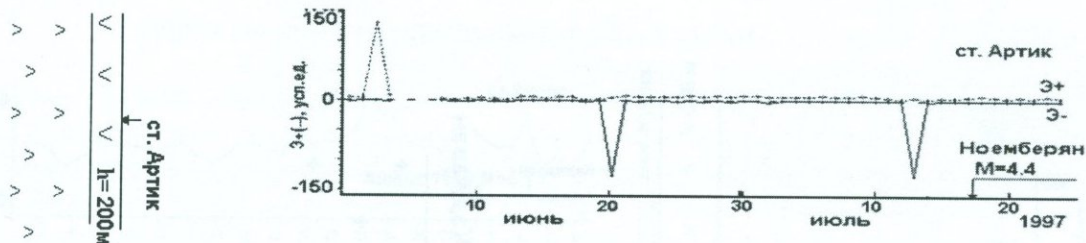


Рис. 1.1. График $\Delta(-)$ метода ННП (осреднение по 1 дню) на ст.Артик в период подготовки и реализации Ноябрьского землетрясения. Условные обозначения по разрезу - см. на рис. 1.3.

2) Мониторинг подпочвенного радона (R_n) на территории Армении имеет многолетнюю историю [12, 16, 20, 40, 59, 65, 72]. В отдельных пунктах наблюдений измерения R_n проводятся более 30 лет. В квазиреальном масштабе времени регистрируются, обрабатываются и анализируются данные радонометрических наблюдений с 28 станций, расположенных по всей территории Армении. Наблюдения осуществляются путем непрерывной пассивной регистрации концентрации подпочвенного радона в естественных условиях, которая обеспечивает измерение без нарушения миграции газа в среде и исключает влияние субъективных факторов, связанных с принудительным пробоотбором. Измерения на станциях R_n -мониторинга в НССЗ ведутся с помощью установки, предложенной В.П.Рудаковым (рис. 1.2) [45]. Используется серийный радиометр СРП-88Н1. Измерения гамма-активности продуктов распада радона выполняются в автоматическом режиме каждые 15 мин. с временем накопления импульсов 11 мин.

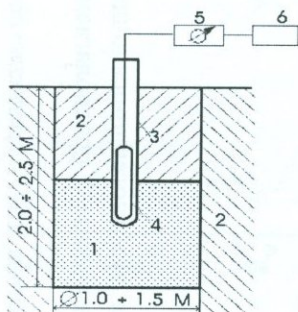


Рис. 1.2. Схема установки для измерения вариаций концентрации подпочвенного радона в "насыщенном по гамма-излучению слое":

- 1 - искусственный "слой"(кварцевый песок);
- 2 - грунт;
- 3 - обсадная труба;
- 4 - датчик;
- 5 - панель радиометра;
- 6 - печатающее устройство.

Многолетний опыт исследований данных мониторинга R_n , накопленный в НССЗ и других организациях, показывает, что для выявления радоновых предвестников землетрясений необходимо, прежде всего, убедиться в информативности радонометрических наблюдений на исследуемой территории, что должно выразиться в хорошей коррелируемости аномальных вариаций содержания радона с подготовкой и реализацией сейсмических событий.

Из проведенного анализа данных многолетних наблюдений по 28 станциям, расположенным в разных физико-геологических условиях, можно сделать следующие основные выводы:

1. Информативность радонометрических пунктов на территории Армении сильно зависит от местоположения пункта наблюдений.
2. Наиболее чувствительными к процессу подготовки землетрясения являются те станции, которые расположены в непосредственной близости от высокопроницаемых (для газов) глубинных разломов (рис. 1.4б) или зон их пересечения (рис. 1.4а), перекрытых слоем осадочных отложений; при этом глубинность и проницаемость (для газов) активных разломов должна быть подтверждена высокими содержаниями гелия (рис. 1.4а, 1.4б).
3. Над неглубинными разломами (рис. 1.4в) или вдали от них (рис. 1.4г) чувствительность радонометрических станций к процессу подготовки землетрясений падает.

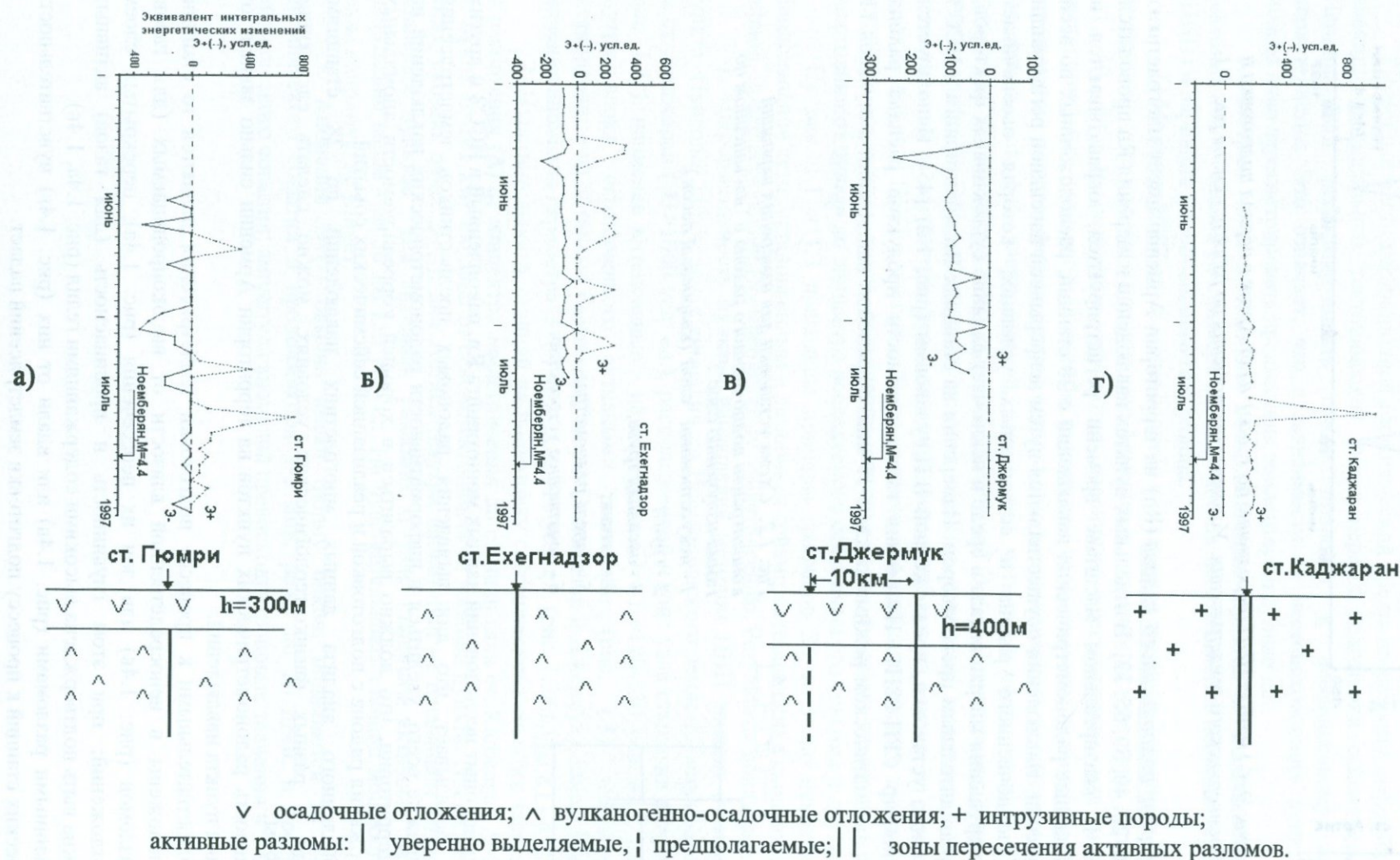


Рис. 1.3. Графики Э+(-) метода ННП (осреднение по 1 дню) в период подготовки и реализации
Ноябрьского землетрясения для моделей различных геолого-тектонических условий.

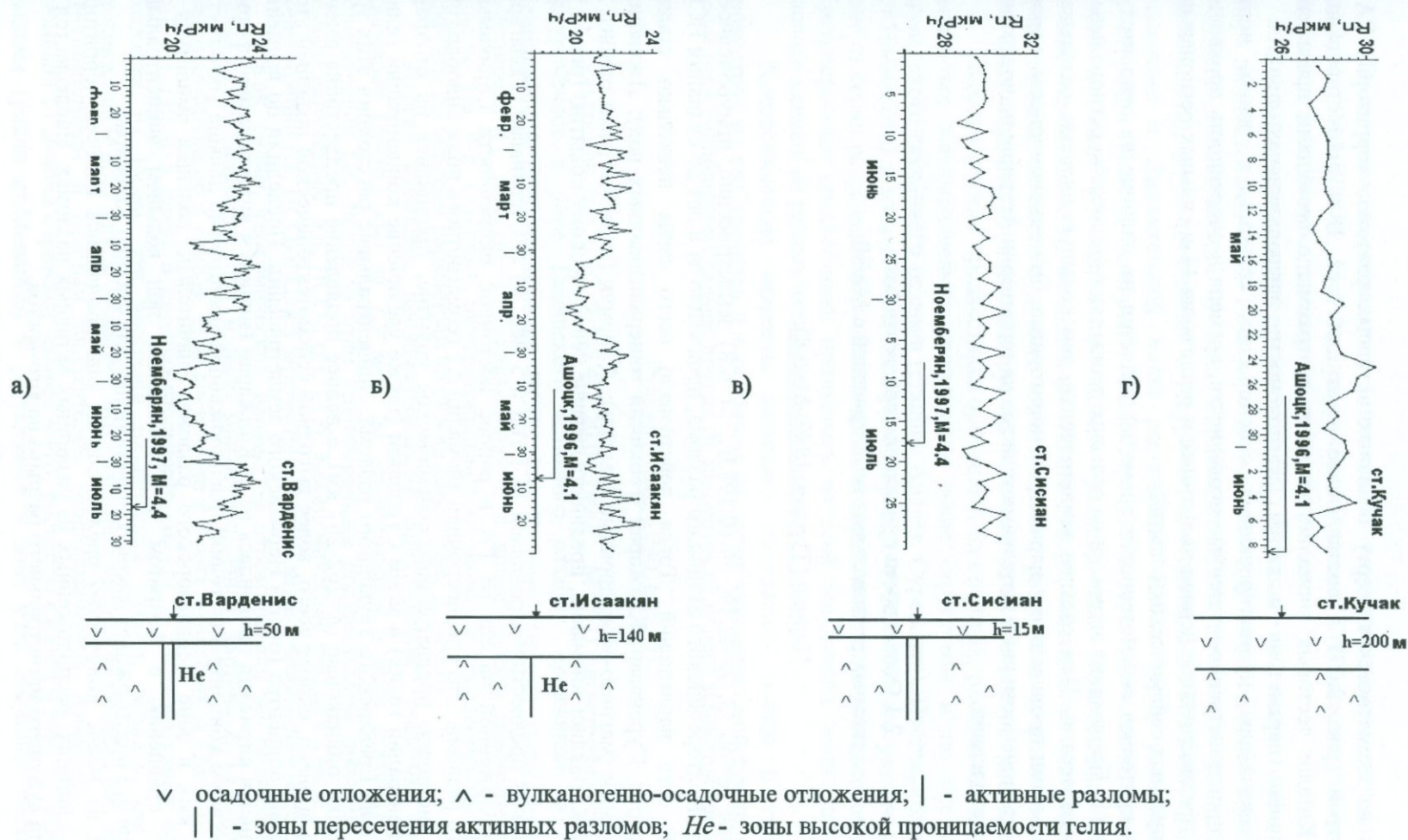


Рис. 1.4. Графики содержаний почвенного радона (осреднение по 1 дню) в период Ашоцкого (Армения, 1996) и Ноемберянского (Армения, 1997) землетрясений для моделей различных геолого-тектонических условий.

Глава 2. Проявления предвестников землетрясений

Опираясь на схематическую карту основных активных разломов территории РА и сопредельных стран (рис. 2.37) и составленные нами для всех 18-и протестированных землетрясений: Каталог тестовых аномалий, сводные диаграммы с временами проявления аномалий различных параметров и карты реагируемости наблюдательных пунктов на подготовку и реализацию протестированных сейсмических событий, в общих чертах проанализируем пространственно-временные особенности, времена и очередность проявления (возникновения) предвестников в период подготовки и реализации 11-и сильных региональных и 7-и местных ощутимых сейсмических событий.

Одним из критериев сейсмогенности аномалий является их наличие на относительно большой территории. Проявление аномалий на больших площадях обусловлено региональными сейсмическими процессами. Чем сильнее землетрясение, тем большую площадь охватывают станции с аномальными проявлениями параметров мониторинга. Эта закономерность хорошо видна на картах реагируемости наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию землетрясений.

2.1 Особенности проявления предвестников сильных региональных землетрясений с $M \geq 6.0$

Нарман (Турция, 1983, $M=6.8$)

Нарманское ($\varphi=40,33$, $\lambda=42,19$, 30.10.1983г., $M=6.8$) землетрясение, приуроченное к зоне Сарикамыш-Желтореченского активного разлома, произошло за 8 лет до создания НССЗ и Национальной сети наблюдений. Тогда действовало всего лишь несколько станций мониторинга: Арарат, Суренаван, Каджаран (геохимия минерализованных вод); Джанфида, Джермук, Степанаван (магнито-вариационные станции); Джермук (подпочвенный радон). На четырех из них наблюдались аномалии, предшествовавшие сейсмическому событию (рис. 2.1 и 2.2).

Самый ранний предвестник проявился за 1 год и 5 мес. на ст.Степанаван (Гюлагарак, $\Delta=262$ км), расположенной на севере РА в районе восточной оконечности Сарикамыш-Желтореченского разлома. Это среднесрочная аномалия ΔT геомагнитного поля пилообразной формы. Позже аномалии, предвещающие сейсмическое событие, проявились на ст.Арарат (увеличение концентрации гелия) и затем Суренаван (также увеличение концентрации гелия), находящихся в зоне Ереванского глубинного разлома. Эпицентральные расстояния этих трех станций практически одинаковые ($\Delta=262-267$ км), а раннее проявление предвестника именно на ст.Степанаван вызвано, скорее всего, более выгодной сейсмотектонической позицией этого пункта относительно эпицентра (очага) Нарманского землетрясения. Последняя по времени и наиболее интенсивная аномалия проявилась на ст.Каджаран (минимум бухтообразной формы, затем резкий максимум концентрации гелия), расположенной значительно дальше упомянутых станций ($\Delta=397$ км), в зоне Лернадзорского разлома. Значительно большая амплитуда на ст.Каджаран по сравнению с Араратом и Суренаваном, при большем эпицентральном расстоянии Δ , еще раз подтверждает высокую чувствительность станции Каджаран.

Несмотря на малое количество предвестников, они проявились по всей территории республики и на станциях, расположенных на различных активных разломах. Наблюдается их миграция от места будущего магистрального разрыва на юго-восток.

Спитак (Армения, 1988, M=7.0)

Подготовка и реализация Спитакского разрушительного землетрясения ($\varphi=40,99$, $\lambda=44,19$, 07.12.1988 г., $M=7.0$), приуроченного к зоне Спитакского сейсмогенного разлома, отразилась в большом количестве предвестников.

Первый среднесрочный предвестник (ΔT) проявился за 2 года и 10 мес. до сейсмического удара на ст.Степанаван ($\Delta=19$ км), расположенной в непосредственной близости от эпицентра будущего землетрясения в зоне Сарикамыш-Желтореченского разлома (восточная ее оконечность), сочленяющегося с Ахурянским, Спитакским, Памбак-Севанским активными разломами и Джавахетской зоной растяжения. Вдоль серии разломов юго-восточного простирания (Памбак-Севанский, Хонарасарский, Хуступ-Гиратахский) расположены станции Горис и Севан, где также проявились среднесрочные предвестники, но уже ГГД-поля (исключением является ст.Мецамор). Иначе говоря, наблюдается миграция среднесрочных предвестников от места будущего магистрального разрыва и их расположение вдоль серии активных сейсмотектонических структур от эпицентра на юго-восток (рис. 2.3а,б и 2.4).

Краткосрочные предвестники проявились на станциях, расположенных в зоне структур, вытянутых близпараллельно упомянутым выше структурам и по обе стороны от них: Ереванского глубинного разлома (станции Арарат, Суренаван), Предмалокавказского разлома (ст.Ноемберян) и узла сочленения Лернадзорского и Вохчинского разломов, т.е. во внешней зоне от серии разрывных нарушений, вдоль которых наблюдаются среднесрочные предвестники. Краткосрочные предвестники проявились по всей территории республики и на станциях, расположенных на разных активных разломах.

Косейсмические эффекты (реакции) проявились только в гидрогеохимических параметрах на ст.Суренаван и в основном на особо чувствительной станции Каджаран, хотя последняя расположена дальше других от эпицентра будущего землетрясения.

Рудбар (Иран, 1990, M=7.7)

Рудбарское ($\varphi=36,96$, $\lambda=49,41$, 20.06.1990г., $M=7.7$) катастрофическое землетрясение, приуроченное к зоне Талешского активного разлома, произошло за год до создания Национальной сети наблюдений НССЗ РА. К тому времени были пробурены и начали действовать 11 скважин ГГД-наблюдений и 4 новых пункта мониторинга подпочвенного радона. На 4-х станциях зарегистрированы 6 аномалий-предвестников и косейсмические эффекты по четырем параметрам на ст.Каджаран (рис. 2.5 и 2.6).

Первая аномалия, предшествовавшая сейсмическому событию, проявилась на ст. Каджаран ($\Delta=363$ км) за 7,5 мес. до землетрясения в виде бухтообразного понижения концентрации He . Вслед за этим краткосрочным предвестником проявился ряд других по разным параметрам: R_n , HCO_3 , pH , ГГД. Косейсмические реакции в виде резкого понижения концентрации He , HCO_3 и хлора зарегистрированы в минерализованной воде скв. Каджаран.

Как видим, геохимические параметры отреагировали на подготовку и реализацию Рудбарского землетрясения в виде минимумов. Иная картина с ГГД-предвестниками на станциях Мецамор и Ашоцк. При достаточно близких значениях A (26 и 29 см), Δ (567 и 648 км), ΔT (30 и 5 дней) и продолжительности Δt_a (21 и 25 дней) самих аномалий, а также схожести их форм, эти аномалии различаются знаком, являясь как бы зеркальным отображением друг друга. Известно, что колебания уровня подземных вод являются наиболее чувствительным и прямым индикатором геодинамических процессов. Описанные выше аномалии ГГД-поля отражают, скорее всего, процессы сжатия в зоне Ереванского глубинного разлома (район ст.Мецамор) и растяжения в зоне узла стыковки нескольких активных разломов на северо-западе республики (район ст.Ашоцк) на заключительной стадии подготовки и после реализации Рудбарского землетрясения.

Ст.Каджаран явилась наиболее “продуктивной”, будучи расположенной ближе других к эпицентру землетрясения и являясь особо чувствительной станцией. Здесь проявились и первый предвестник, и другие предвестники, и косейсмические реакции по нескольким гидрогеохимическим параметрам.

В целом, подготовка Рудбарского разрушительного землетрясения отразилась в аномалиях нескольких, в основном геохимических, параметров, а аномальные станции расположены по всей территории республики - от Каджарана до Ашотка - и в зонах различных сейсмотектонических структур. Первый предвестник проявился на ближайшей от эпицентра станции, а последний - на самой дальней, т.е. наблюдается миграция предвестников от места будущего магистрального разрыва на северо-запад.

Рача (Грузия, 1991, М=7.1)

В период подготовки Рачинского ($\varphi=42,45$, $\lambda=43,67$, 29.04.1991г., М=7.1) землетрясения, приуроченного к зоне Гагра-Джавского активного разлома, действовало уже 26 станций мониторинга, из них на трех наблюдались аномалии, предшествовавшие сейсмическому событию (рис. 2.7 и 2.8).

Первый предвестник проявился на самой дальней от эпицентра землетрясения ст.Каджаран ($\Delta=323$ км) за 2,5 мес. до землетрясения в виде бухтообразной яркой и продолжительной аномалии концентрации Не. Затем появилась локальная интенсивная аномалия ΔT геомагнитного поля на ст.Степанаван. Наконец, было наблюено небольшое по амплитуде, но четко выраженное понижение содержания подпочвенного радона на ст.Джермук. Немногочисленные краткосрочные предвестники проявились на заключительной стадии подготовки сейсмического события. Аномальные станции расположены по всей территории РА – от Каджарана на юго-востоке до Степанавана на северо-западе, вдоль зоны влияния серии стыкующихся разломов СЗ-ЮВ простираения.

Эрзинджан (Турция, 1992, М=6.9)

Подготовка Эрзинджанского ($\varphi=39,71$, $\lambda=39,60$, 13.03.1992г., М=6.9) землетрясения, приуроченного к зоне Северо-Анатолийского активного разлома, отразилась в виде аномальных вариаций на двух станциях Национальной сети НССЗ РА. Первая аномалия вновь проявилась на ст.Каджаран ($\Delta=572$ км) за 3 мес. до землетрясения в форме глубокого минимума концентрации Не. Серия аномалий разности фаз по всем четырем трассам (ионосфера) в виде скачкообразных изменений наблюдаена на ст.Давидашен (рис. 2.9 и 2.10).

Говорить о пространственно-временных особенностях проявления предвестников затруднительно ввиду незначительного количества аномальных станций.

Барисахо (Грузия, 1992, М=6.4)

В период подготовки Барисахского ($\varphi=42,59$, $\lambda=45,10$, 24.10.1992г., М=6.4) землетрясения, приуроченного к зоне Главного надвига Большого Кавказского активного разлома, выделены краткосрочные предвестники по пяти параметрам на 8-и станциях Национальной сети НССЗ (рис. 2.11 и 2.12).

Первая аномалия вновь проявилась на ст.Каджаран ($\Delta=355$ км) за 5 мес. до землетрясения. Станции с аномалиями различных параметров расположены в зонах различных сейсмотектонических структур, по всей территории республики, что является подтверждением региональных масштабов подготовки сильного землетрясения по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры. Об этом же свидетельствует и отсутствие корреляции между временами проявления предвестников ΔT и эпицентрными расстояниями Δ : при близких Δ (230-355 км) времена ΔT варьируют от 144 до 7 дней.

Ардебиль (Иран, 1997, M=6.7)

Подготовка Ардебильского ($\varphi=38,08$, $\lambda=48,05$, 28.02.1997г., M=6.7) землетрясения, приуроченного к зоне Нурского активного разлома, отразилась в виде предшествующих событию четырех краткосрочных и одной оперативной аномалий на трех станциях НССЗ, по 4-м параметрам (рис. 2.13 и 2.14).

Первой на подготовку сейсмического события отреагировала особо чувствительная к подготовке землетрясений на севере и северо-западе Ирана ст.Ехегнадзор (ГГД, $\Delta=328$ км) за месяц до сейсмического события, затем - находящаяся ближе к эпицентру события ст.Горис (Rn). За несколько дней до толчка отреагировала ст.Давидашен (резкий минимум атмосферного давления, послуживший скорее триггером для главного сейсмического толчка, и возмущения ионосферы). Все предвестники проявились в течение последних 39 дней до толчка, уже в заключительной фазе подготовки сейсмического события - фазе разрушения и появления пластических подвижек и форшоков.

Таким образом, предвестники проявились на последней стадии подготовки землетрясения, по различным параметрам и на станциях, установленных в разных сеймотектонических условиях, на юге и востоке территории РА.

Измит (Турция, 1999, M=7.4)

Эпицентр Измитского землетрясения ($\varphi=41,30$, $\lambda=30,30$, 17.08.1999г., M=7.4) находился в зоне Северо-Анатолийского близширотного активного разлома, на западе Турции. Измитское землетрясение имело более двух десятков предвестников по различным параметрам, зарегистрированным на территории РА, удаленной от эпицентра сейсмического события более чем на 1100 км (рис. 2.15 и 2.16).

Первые предвестники проявились на станциях Кучак (за 5,5 мес. до главного удара, $\Delta=1215$ км), Мецамор и Артик, расположенных в западной части территории республики, т.е. ближе к эпицентру землетрясения; исключением является очень чувствительный пункт Каджаран. Предвестники "разбросаны" по всей территории республики от ст.Бавра на северо-западе до ст.Каджаран на юго-востоке; высокая чувствительность последней к подготовке сильных землетрясений регионального масштаба (даже в случае Измитского землетрясения, эпицентр которого удален более чем на 1300 км от Каджарана) подтверждается комплексом разнообразных по своей природе аномалий-предвестников и косейсмическими эффектами дебита и электропроводимости минерализованных вод.

Оперативный предвестник проявился на ст.Бавра (геомагнитное поле), а реакции на землетрясение – по методу ННП на станциях Артик и Давидашен.

Следует подчеркнуть, что аномалии-предвестники проявились за 1300 и более км от эпицентра по всей территории республики и по большому комплексу разнообразных по своей природе параметров, что свидетельствует о региональных масштабах подготовки Измитского и других сильных землетрясений по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры.

Болу (Турция, 1999, M=6.2)

Болуйское ($\varphi=40,76$, $\lambda=31,16$, 12.11.1999г., M=6.2) землетрясение произошло спустя почти 3 месяца после Измитского и также приурочено к зоне Северо-Анатолийского близширотного активного разлома. Его эпицентр находился ближе к территории Армении на 130 км, а магнитуда по шкале Рихтера была значительно меньше. В период подготовки Болуйского землетрясения выделены краткосрочные и один оперативный предвестники на 4-х станциях, по 3-м параметрам (рис. 2.17 и 2.18).

Первая аномалия наблюдается за 2 месяца до сейсмического события на ст.Джермук (ННП, $\Delta=1193$ км). Другая аномалия ННП выделена на ст.Давидашен. За 1,5 недели до толчка

зафиксирован четкий локальный минимум концентрации подпочвенного радона на ст.Варденис. Четкая аномалия ГГД-поля отмечена на ст.Ширакамут. Наконец, непосредственно перед событием наблюдаются синхронные оперативные аномалии Э+ и Э- метода ННП на упомянутой ст.Давидашен.

Предвестники проявились на заключительной стадии подготовки землетрясения. Аномальные станции расположены на значительной части территории республики, а последовательность проявления аномалий не обусловлена удаленностью станций от эпицентра события. Примечателен сам факт появления предвестников по комплексу разнообразных по своей природе параметров на расстоянии более 1.000 км от эпицентра события. В сеймотектоническом отношении аномальные станции находятся в зонах разных активных разломов.

Баку (Азербайджан, 2000, М=6.5)

Подготовка Бакинского ($\varphi=40,24$, $\lambda=49,95$, 25.11.2000г., М=6.5) землетрясения, произошедшего в акватории Каспийского моря, недалеко от Апшеронского полуострова, отразилась на территории РА в виде предшествующих событию аномалий на 13-и станциях НС НССЗ, по четырем различным по своей природе параметрам. Выделено большое количество аномалий подпочвенного радона (7); по 3 аномалии выделены по другому геохимическому параметру - гелию, а также по ГГД и ННП. Радоновые предвестники наблюдаются в основном на северо-западе республики. Гелиевый предвестник проявился на станциях: Карцахпюр, Арарат и Цовагюх. ГГД предвестник проявился на станциях Карцахпюр, Ноемберян и Иджеван. Электромагнитный мониторинг методом ННП также оказался результативным (станции Каджаран, Джермук и Степанакерт). Все предвестники краткосрочные (рис. 2.19 и 2.20).

Первым проявился гелиевый предвестник на ст.Карцахпюр ($\Delta=368$ км) за 7 месяцев до главного толчка. Большое количество аномальных станций находится на всей территории РА и в НКР, в зонах большинства активных разломов РА. Последовательность проявления предшествующих событию аномалий не обусловлена эпицентрными расстояниями, однако последняя по времени проявления аномалия была отмечена на ближайшей от эпицентра ст.Степанакерт.

Болвадин (Турция, 2002, М=6.2)

Эпицентр Болвадинского землетрясения ($\varphi=38,57$, $\lambda=31,27$, 03.02.2002г., М=6.2) находился в зоне Северо-Анатолийского близширотного активного разлома, на западе Турции. Землетрясение имело два десятка предвестников (среднесрочный, краткосрочные и оперативные) по семи различным параметрам, на 13-и станциях мониторинга, удаленных от эпицентра сейсмического события более чем на 1000 км (рис. 2.21 и 2.22).

Первые предвестники проявились на станциях Ашоцк (среднесрочный предвестник, за 1 год и 9 мес. до главного удара, $\Delta=1093$ км), Ахурик (два краткосрочных предвестника, за 3,5-4 мес. до главного удара), затем Севан, Ширакамут, Кучак, Артик и др. Эти станции расположены преимущественно в западной части территории республики, т.е. ближе к эпицентру землетрясения. Исключением является очень чувствительный пункт Каджаран. Позже фронт аномалий переместился в сторону от эпицентра на юго-восток (станции Карцахпюр, Сисиан и Джермук). Последние аномалии вновь проявились в основном в северо-западной части территории РА, т.е. ближе к эпицентру землетрясения.

Как и при Измитском землетрясении, предвестники "разбросаны" по всей территории Армении от ст.Бавра на северо-западе до ст.Каджаран на юго-востоке. Они проявились по большому комплексу разнообразных по своей природе параметров, что свидетельствует о региональных масштабах подготовки Болвадинского землетрясения по всему фронту противостояния крупных тектонических блоков.

2.2 Особенности проявления предвестников ощутимых местных землетрясений с $3.7 \leq M \leq 5.0$

Мартуни (Армения, 1992, $M=5.0$)

Мартунинское ($\varphi = 40,10$, $\lambda = 45,19$, 10.12.1992г., $M=5.0$) землетрясение явилось самым сильным сейсмическим событием, произошедшим на территории РА после Спитака, и приурочено к системе Гаварагетских разломов. Оно вызвало некоторую панику среди местного населения, повредило старые постройки, еще раз напомнило об уроках Спитакской трагедии. Подготовка этого события отразилась в аномальных вариациях трех параметров на шести станциях Национальной сети НССЗ (рис. 2.23 и 2.24).

Первой, почти за 4 месяца до события, отреагировала ст.Гарни ($\Delta=49$ км) в виде аномалии ННП. Это наблюдается нечасто, поскольку аномалии ННП обычно проявляются не раньше чем за 60 дней до главного толчка. Интересная и редкая по своему графическому образу аномалия ГГД-поля выделена на ст.Дзорахпюр. Четкая амплитудная аномалия ННП наблюдается на ст.Джермук. Аномалия ГГД-поля в виде кратковременного нарушения обычного хода вариаций и локального максимума непосредственно перед толчком выделена на ст.Карчахпюр. Выделены и другие предвестники, в том числе и оперативные. Одна из них, незначительная по амплитуде (6 см) и продолжительности (1,5 дня) аномалия ГГД-поля на ст.Горис, включена в Каталог, поскольку динамика колебаний уровня подземных вод в этой скважине наименьшая среди ГГД-скважин, пробуренных на территории республики, и поэтому каждая нетехногенная аномалия на этой скважине заслуживает внимания.

Предвестники проявились в радиусе до 60 км от эпицентра сейсмического события (кроме аномалии ГГД-поля на ст. Горис), и не охватывают всю территорию РА, а только ее центральную часть. Миграция предвестников от эпицентра или к эпицентру не наблюдается.

Цовагюх (Армения, 1993, $M=3.8$)

Цовагюхское ($\varphi=40,61$, $\lambda=44,98$, 19.02.1993г., $M=3.8$) землетрясение приурочено к Памбак-Севанскому активному разлому. В период его подготовки проявилось 8 аномалий по четырем параметрам (рис. 2.25 и 2.26).

Первой проявилась одна из четырех аномалий ГГД-поля – на ст.Азатан ($\Delta=97$ км) за 5 месяцев до сейсмического события, наиболее яркая и интенсивная из ГГД аномалий. Самая интенсивная аномалия в виде резкого понижения концентрации гелия наблюдается в скв. Цовагюх, в непосредственной близости от эпицентра землетрясения. Яркая аномалия параметра Э- необратимости нестационарных процессов (ННП) выделена на ст.Давидашен. Заключительная стадия подготовки сейсмического события отмечена локальными, слабоамплитудными, непродолжительными аномалиями ГГД-поля на скважинах Дзорахпюр, Ноемберян и Карчахпюр (последний предвестник - оперативный). Обращает на себя внимание довольно большое для местного ощутимого, но несильного землетрясения количество предвестников.

Первый предвестник проявился на удаленной от эпицентра станции, т.е во внешней зоне. Затем проявился предвестник на ст.Паракар, расположенной ближе к эпицентру события, после чего была отмечена наиболее интенсивная аномалия на ст.Цовагюх, в непосредственной близости от эпицентра толчка; произошла миграция предвестников от внешней зоны в направлении к очагу будущего события, от разных активных разломов к Памбак-Севанскому разлому, контролирующему очаг.

Последние по времени предвестники проявились на станциях, почти равноудаленных от эпицентра и “треугольником” окружающих его (Дзорахпюр, Давидашен, Ноемберян и Карчахпюр); произошла миграция предвестников от ближней зоны к внешней, от близкой к очагу области к разным сеймотектоническим позициям. Оперативный предвестник проявился

за 2 дня до толчка на очень чувствительной ст.Карчахпюр (ГГД), расположенной в узле сочленения Соткского разлома с Хонарасарским, который стыкуется с Памбак-Севанским активным разломом.

Предвестники проявились в радиусе до 103 км от эпицентра сейсмического события и не охватывают всю территорию РА, а только ее центральную и, частично, северо-западную зоны.

Бавра (Армения, 1994, М=4.2)

Бавринское ($\varphi=40,88$, $\lambda=43,97$, 18.05.1994г., М=4.2) землетрясение приурочено к Джавахетской зоне растяжения. В период его подготовки было выделено 7 краткосрочных аномалий по 4-м параметрам (рис. 2.27 и 2.28).

Первый предвестник проявился по подпочвенному радону на ст.Ехегнадзор в виде продолжительного минимума, осложненного вариациями с месячным периодом колебаний. Затем проявилась другая, плавная положительная аномалия радона на ст.Паракар. Вариации уровня подземных вод на ст.Амасия до, во время и после главного толчка проявились в виде серии знакопеременных аномалий, а на ст.Азатан – в виде аномального повышения уровня воды до главного толчка и также аномального сохранения уровня воды практически на одной и той же отметке после главного толчка. Гелиевый предвестник проявился, как обычно, в виде резкого понижения концентрации He. Серией чередующихся локальных и непродолжительных повышений и понижений содержания радона отмечены аномальные вариации на ст.Горис. Наконец, последним проявился геомагнитный предвестник на ст.Гарни в виде серии знакопеременных аномалий.

Первый предвестник проявился за 7 месяцев до главного толчка на дальней ст.Ехегнадзор (Rn) ($\Delta=157$ км), затем аномалия (также радоновая) проявилась на ст.Паракар, расположенной вдвое ближе к эпицентру, а третий предвестник был выделен уже в непосредственной близости от эпицентра на ст.Амасия (ГГД). Наблюдаем такую картину: произошла миграция предвестников от внешней зоны в направлении к очагу будущего события, от разных активных разломов к Джавахетской зоне растяжения, контролирующей очаг.

Дальнейшее проявление предвестников на станциях Азатан (ГГД), Карчахпюр (He) и Горис (Rn) показывает обратную картину: происходит миграция аномалий-предвестников от ближней зоны к внешней, от близкой к очагу области к разным сейсмотектоническим позициям. Последняя аномалия, выпадающая из этой закономерности, выделена по геомагнитному полю на ст.Гарни в центральной части республики.

Предвестники проявились на западе и в центральной части территории РА, а картина их миграции схожа с Цовагюхским землетрясением.

Ашоцк (Армения, 1996, М=4.1)

Ашоцкий рой землетрясений ($\varphi=40,82$, $\lambda=43,62$, майншок - 09.06.1996г., М=4.1) произошел на севере Армении и приурочен к Джавахетской зоне растяжения. На наблюдательных пунктах НССЗ выделено около десятка аномалий-предвестников (рис. 2.29 и 2.30).

Первые предвестники проявились в непосредственной близости от эпицентра землетрясения на станциях Ахурик (за 7 мес. до майншока, $\Delta=45$ км) и Азатан, затем – на станциях Ехегнадзор и Джермук. Очевидна миграция первых предвестников в направлении от очага будущего события во внешнюю зону. Затем предвестник вновь проявился недалеко от эпицентра землетрясения (ст.Джаджур), и вновь мигрировал во внешнюю зону (Джаджур - Мецамор - Арташат - Карчахпюр).

Последний предвестник - аномалия концентрации He - проявился на ст.Карчахпюр. Она расположена в узле сочленения Соткского разлома с Хонарасарским, который через Памбак-

Севанский разлом стыкуется с южной оконечностью Джавахетской зоны растяжения, контролирующей очаг землетрясения. Между эпицентром и ст.Карчахпюр образована система активных линейных структур-волноводов, благодаря чему Δ эффективное оказывается гораздо меньше действительного Δ . Об этом, а также о высокой чувствительности наблюдательного пункта Карчахпюр говорит реакция на землетрясение (аномалия рН) через несколько дней после главного толчка.

Предвестники проявились на западе и в центральной части территории РА, а ареал их распространения схож с Бавринским землетрясением, также приуроченным к Джавахетской зоне растяжения.

Паракар (Армения, 1997, М=3.7)

Паракарское ($\varphi=40,12$, $\lambda=44,47$, 01.03.1997г., М=3.7) сейсмическое событие было приурочено, как и предыдущие события в этом очаге, к Ереванскому активному глубинному разлому. Оно имело 4 предвестника (рис. 2.31 и 2.32).

Первая аномалия проявилась на ст.Мецамор ($\Delta=29$ км) за 5,5 мес. до события, расположенной достаточно близко к эпицентру и в пределах одной и той же структуры - зоны Ереванского глубинного разлома, контролирующей Паракарский (Ереванский) очаг землетрясений. Другие краткосрочные предвестники появились на ст.Степанаван (зона Сарикамыш-Желтореченского разлома) и ст.Ахурик (зона Ахурянского разлома), относительно далеко от эпицентра. Последний предвестник проявился на ст.Давидашен, в непосредственной близости от эпицентра сейсмического события.

Получается, что предвестник вначале проявился в ближней зоне, затем мигрировал во внешнюю зону, а после вновь проявился в ближней зоне, совсем близко от эпицентра. Ареал расположения аномальных станций небольшой, лишь в западной части территории РА, в радиусе до 100 км от эпицентра, но в пределах разных активных разломов.

Ноемберян (Армения, 1997, М=4.4)

Ноемберянское ощутимое землетрясение ($\varphi=41,12$, $\lambda=44,95$, 18.07.1997г., М=4.4) произошло на севере Армении и приурочено к зоне Предмалокавказского активного разлома. Оно имело большое количество предвестников (рис. 2.33 и 2.34).

Первый предвестник проявился на станции Арарат ($\Delta=138$ км) за 5 мес. до толчка, затем – на станциях Арташат, Аруч, Варденис и снова Арарат. Они расположены в центральной полосе территории Армении, во внешней зоне, достаточно далеко от эпицентра сейсмического события и в разных сеймотектонических условиях. После проявилась аномалия ГГД-поля почти в эпицентре события на ст.Ноемберян.

Новая группа краткосрочных предвестников проявилась на станциях, полукругом окружающих эпицентр события, находящихся во внешней зоне и расположенных также в зонах разных сеймотектонических линейных структур.

Два оперативных предвестника проявились на ст.Давидашен, находящейся далеко от эпицентра (104 км) и в зоне, не имеющей какой-либо видимой тектонической связи с Предмалокавказским разломом, к которому приурочен очаг сейсмического события. Последним проявился косейсмический эффект на ст.Ноемберян почти в эпицентре события (вновь по ГГД параметру).

Итак, предвестник вначале проявился во внешней зоне, затем - почти в эпицентре события; после вновь проявился во внешней зоне, а потом был косейсмический эффект почти в эпицентре события. Аномальные станции расположены по всей территории РА, в пределах разных активных разломов.

Джавахетское ($\varphi=41,31$, $\lambda=44,03$, 15.01.1999г., М=4.3) землетрясение приурочено к Джавахетской зоне растяжения. В период его подготовки проявились 7 краткосрочных аномалий по 5-и параметрам на 6-и станциях (рис. 2.35 и 2.36).

Первый предвестник был выделен за 4,5 мес. до главного толчка на ст.Степанакерт ($\Delta=284$ км) в виде серии локальных амплитудных аномалий Э+ метода ННП. Радоновая аномалия в виде серии четких минимумов выделена на ст.Двин. Другая радоновая аномалия, уже в форме серии положительных аномалий, проявлена на ст.Мецамор. В скважинах А и Б станции Каджаран наблюдаются аномалии специальной электрической проводимости минерализованной воды в виде минимумов разных форм. На единственной пока станции сейсмобиологического мониторинга Давидашен зафиксировано аномальное изменение активности аквариумных рыб (донных сомов) - сначала в виде понижения активности ("затишья"), а после - резкого ее увеличения. Описанные предвестники проявились во внешней зоне, а сами станции охватывают довольно большую территорию и расположены в разных сеймотектонических условиях.

Последняя перед главным толчком аномалия проявилась в ГГД-поле в форме локального повышения уровня воды на ст.Иджеван, которая расположена ближе других аномальных станций к очагу сейсмического события.

Итак, предвестник вначале проявился во внешней зоне, затем мигрировал в направлении к эпицентру события (Каджаран - Давидашен - Иджеван). Аномальные станции охватывают довольно большую территорию, в зонах разных активных разломов.

* * *

Таким образом, пространственно-временные особенности проявления предвестников в период подготовки и реализации 18-и протестированных сейсмических событий вкратце таковы:

Нарман (Турция, 1983, М=6.8)

- первый из немногочисленных предвестников проявился за 17 мес. на ст.Степанаван, расположенной в районе восточной оконечности Сарикамыш-Желтореченского разлома, что вызвано, скорее всего, близостью этого пункта к очагу землетрясения и выгодной сеймотектонической позицией;
- позже аномалии проявились на ст.Арапат и Суренаван, находящихся в зоне Ереванского глубинного разлома;
- последняя аномалия проявилась на ст.Каджаран, расположенной значительно дальше упомянутых станций, в зоне Лернадзорского разлома;
- предвестники проявились по всей территории республики и на станциях, расположенных на различных активных разломах;
- наблюдается миграция предвестников от места будущего разрыва во внешнюю зону.

Спитак (Армения, 1988, М=7.0)

- первый (среднесрочный) предвестник проявился за 2 года и 10 мес. до сейсмического удара на ст.Степанаван, расположенной в непосредственной близости от эпицентра будущего землетрясения в зоне Сарикамыш-Желтореченского разлома (восточная ее оконечность);
- другие среднесрочные предвестники проявились вдоль серии разломов юго-восточного простираения (Памбак-Севанский, Хонарасарский, Хуступ-Гиратахский), то есть наблюдается миграция предвестников от места будущего разрыва и их расположение вдоль серии активных сеймотектонических структур от эпицентра на юго-восток;
- краткосрочные предвестники проявились на станциях, расположенных в зоне структур, вытянутых близпараллельно упомянутым выше структурам и по обе стороны от них:

Ереванского глубинного разлома (станции Арарат, Суренаван), Предмалокавказского разлома (ст.Ноемберян) и узла сочленения Лернадзорского и Вохчинского разломов, т.е. во внешней зоне от серии разрывных нарушений, вдоль которых наблюдаются среднесрочные предвестники;

- предвестники проявились по всей территории республики и на станциях, расположенных на разных активных разломах;
- косейсмические эффекты (реакции) проявились в основном на особо чувствительной станции Каджаран, хотя последняя расположена дальше других от эпицентра будущего землетрясения.

Рудбар (Иран, 1990, M=7.7)

- первая аномалия, предшествовавшая сейсмическому событию, проявилась на ближайшей от эпицентра станции ст. Каджаран за 7,5 мес. до землетрясения;
- ст.Каджаран явилась наиболее “продуктивной”, будучи расположенной ближе других к эпицентру землетрясения и являясь особо чувствительной станцией; здесь проявились и первый предвестник, и другие предвестники, и косейсмические реакции по нескольким гидрогеохимическим параметрам;
- последний предвестник проявился на самой дальней станции, то есть наблюдается миграция предвестников от места будущего магистрального разрыва на северо-запад;
- аномальные станции расположены по всей территории республики, в зонах разных сеймотектонических структур.

Рача (Грузия, 1991, M=7.1)

- первый предвестник проявился на самой дальней от эпицентра землетрясения ст.Каджаран за 2,5 мес. до землетрясения;
- немногочисленные предвестники проявились на заключительной стадии подготовки сейсмического события;
- аномальные станции расположены по всей территории РА, вдоль зоны влияния серии стыкующихся разломов СЗ-ЮВ простирания.

Эрзинджан (Турция, 1992, M=6.9)

- первая аномалия вновь проявилась на ст.Каджаран за 3 мес. до землетрясения;
- серия аномалий по всем четырем трассам (ионосфера) наблюдалась на ст.Давидашен;
- говорить о пространственно-временных особенностях проявления предвестников затруднительно ввиду незначительного количества аномальных станций.

Барисахо (Грузия, 1992, M=6.4)

- первая аномалия вновь проявилась на ст.Каджаран за 5 мес. до землетрясения;
- станции с аномалиями различных параметров расположены в зонах различных сеймотектонических структур, по всей территории республики, что является подтверждением региональных масштабов подготовки сильного землетрясения по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры.

Ардебиль (Иран, 1997, M=6.7)

- первой на подготовку землетрясения за месяц до него отреагировала особо чувствительная к подготовке сейсмических событий на севере и северо-западе Ирана ст.Ехегнадзор;
- предвестники проявились на последней стадии подготовки землетрясения, по различным параметрам и на станциях, установленных в разных сеймотектонических условиях.

Измит (Турция, 1999, M=7.4)

- первые предвестники проявились на станциях Кучак (за 5,5 мес. до главного удара), Мецамор и Артик, расположенных в западной части территории республики, то есть ближе к эпицентру землетрясения; исключением является очень чувствительный пункт Каджаран;
- предвестники “разбросаны” по всей территории республики;
- высокая чувствительность ст. Каджаран к подготовке сильных землетрясений регионального масштаба подтверждается комплексом разнообразных по своей природе аномалий и косейсмическими эффектами по двум параметрам;

- следует подчеркнуть, что предвестники проявились за 1300 и более км от эпицентра по всей территории республики и по большому комплексу разнообразных по своей природе параметров; это свидетельствует о региональных масштабах подготовки Измитского и других сильных землетрясений по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры.

Болу (Турция, 1999, M=6.2)

- первая аномалия наблюдается за 2 мес. до сейсмического события на ст. Джермук;
- предвестники проявились на заключительной стадии подготовки землетрясения, аномальные станции расположены на значительной части территории республики, в зонах разных активных разломов;
- последовательность проявления аномалий не обусловлена удаленностью станций от эпицентра события;
- предвестники проявились по комплексу разнообразных по своей природе параметров на расстоянии более 1.000 км от эпицентра события.

Баку (Азербайджан, 2000, M=6.5)

- первым проявился предвестник на ст. Карчахпюр за 7 месяцев до главного толчка;
- последняя по времени проявления аномалия была отмечена на ближайшей от эпицентра ст. Степанакерт;
- большое количество аномальных станций находится на всей территории РА и в НКР, в зонах большинства активных разломов РА;
- последовательность проявления предшествующих событию аномалий не обусловлена эпицентрными расстояниями.

Болвадин (Турция, 2002, M=6.2)

- первые предвестники проявились на станциях Ашоцк (за 1 год и 9 мес. до главного удара), Ахурик (за 3,5-4 мес. до главного удара), затем на станциях, расположенных также преимущественно в западной части территории республики, то есть ближе к эпицентру землетрясения; исключением является очень чувствительный пункт Каджаран;
- позже фронт аномалий переместился в сторону от эпицентра во внешнюю зону, на юго-восток;
- последние аномалии вновь проявились в основном в северо-западной части территории РА, то есть ближе к эпицентру землетрясения;
- как и при Измитском землетрясении, предвестники “разбросаны” по всей территории Армении, проявились в большом количестве и по большому комплексу разнообразных по своей природе параметров;
- очевиден региональный масштаб подготовки Болвадинского землетрясения по всему фронту противостояния крупных тектонических блоков.

Мартуни (Армения, 1992, M=5.0)

- первой отреагировала ст. Гарни почти за 4 месяца до события;
- предвестники проявились в радиусе до 60 км от эпицентра сейсмического события и охватывают только центральную часть территории РА;
- миграция предвестников от эпицентра или к эпицентру не наблюдается.

Цовагюх (Армения, 1993, M=3.8)

- выделено довольно большое для местного ощутимого, но несильного землетрясения количество предвестников, а первой проявилась аномалия на удаленной от эпицентра ст. Азатан, во внешней зоне, за 5 месяцев до сейсмического события;
- затем произошла миграция предвестников от внешней зоны в направлении к очагу будущего события, от разных активных разломов к Памбак-Севанскому разлому, контролирующему очаг события;

- последние предвестники проявились на равноудаленных от эпицентра станциях, то есть произошла миграция предвестников от близкой к очагу области к внешней, к разным сеймотектоническим позициям;
- последний (оперативный) предвестник проявился на очень чувствительной ст.Карчахпюр (ГГД), расположенной в узле сочленения Соткского разлома с Хонарасарским, который стыкуется с Памбак-Севанским активным разломом;
- предвестники проявились в радиусе до 103 км от эпицентра сейсмического события и охватывают только центральную и, частично, северо-западную зоны территории РА.

Бавра (Армения, 1994, M=4.2)

- первый предвестник проявился за 7 месяцев до главного толчка на дальней ст.Ехегнадзор; затем аномалия проявилась на ст.Паракар, расположенной вдвое ближе к эпицентру, а третий предвестник был выделен уже в непосредственной близости от эпицентра на ст.Амасия; произошла миграция предвестников от внешней зоны в направлении к очагу будущего события, от разных активных разломов к Джавахетской зоне растяжения, контролирующей очаг;
- дальнейшее проявление предвестников показывает обратную картину: происходит миграция аномалий от ближней зоны к внешней, к разным сеймотектоническим позициям;
- последняя аномалия, выпадающая из этой закономерности, выделена на ст.Гарни в центральной части республики;
- предвестники проявились на западе и в центральной части территории РА, а картина их миграции схожа с Цовагюхским землетрясением.

Ашоцк (Армения, 1996, M=4.1)

- первые предвестники проявились в непосредственной близости от эпицентра землетрясения на станциях Ахурик (за 7 мес. до майншока) и Азатан, затем – на станциях Ехегнадзор и Джермук; очевидна миграция первых предвестников в направлении от очага будущего события во внешнюю зону;
- после предвестник вновь проявился недалеко от эпицентра землетрясения и вновь мигрировал во внешнюю зону;
- последний предвестник проявился на ст.Карчахпюр, расположенной в узле сочленения Соткского разлома с Хонарасарским, который через Памбак-Севанский разлом стыкуется с Джавахетской зоной растяжения, контролирующей очаг землетрясения;
- о высокой чувствительности наблюдательного пункта Карчахпюр говорит реакция на землетрясение через несколько дней после главного толчка;
- предвестники проявились на западе и в центральной части территории РА, а ареал их распространения схож с Бавринским землетрясением, также приуроченным к Джавахетской зоне растяжения.

Паракар (Армения, 1997, M=3.7)

- первая аномалия проявилась за 5,5 мес. до события на ст.Мецамор, расположенной достаточно близко от эпицентра и в зоне Ереванского глубинного разлома, контролирующего Паракарский (Ереванский) очаг землетрясений;
- другие предвестники появились на ст.Степанаван и ст.Ахурик, относительно далеко от эпицентра;
- последний предвестник проявился на ст.Давидашен, в непосредственной близости от эпицентра сейсмического события;
- получается, что предвестник вначале проявился в ближней зоне, затем мигрировал во внешнюю зону, а после вновь проявился в ближней зоне, совсем близко от эпицентра;
- ареал расположения аномальных станций охватывает лишь западную часть территории РА, в радиусе до 100 км от эпицентра, но в пределах разных активных разломов.

Ноемберян (Армения, 1997, $M=4.4$)

- первый предвестник проявился на станции Арагат за 5 мес. до толчка, а после – на станциях, расположенных в центральной полосе территории Армении, во внешней зоне и в разных сеймотектонических условиях;
- затем проявилась аномалия почти в эпицентре события на ст.Ноемберян;
- новая группа предвестников выделена на станциях, находящихся во внешней зоне и расположенных также в зонах разных сеймотектонических структур;
- последним проявился косейсмический эффект на ст.Ноемберян почти в эпицентре события;
- итак, предвестник вначале проявился во внешней зоне, затем - почти в эпицентре события; после вновь проявился во внешней зоне, а потом был косейсмический эффект почти в эпицентре события;
- аномальные станции расположены по всей территории РА, в пределах разных активных разломов.

Джавахет (Армения, 1999, $M=4.3$)

- первый предвестник был выделен за 4,5 мес. до главного толчка на ст.Степанакерт; далее предвестники проявились также во внешней зоне;
- последняя аномалия проявилась на ст.Иджеван, расположенной ближе других аномальных станций к очагу сейсмического события;
- итак, предвестник вначале проявился во внешней зоне, затем мигрировал в направлении к эпицентру события; аномальные станции охватывают довольно большую территорию, в зонах разных активных разломов.

2.3 Общие особенности проявления предвестников землетрясений

Анализ впервые построенных нами сводных диаграмм времен и очередностей проявления аномалий различных параметров и карт реагируемости наблюдательных пунктов (на территории Армении и в НКР) в периоды подготовки и реализации 11-и сильных региональных ($M \geq 6.0$) и 7-и местных ощутимых ($3.7 \leq M \leq 5.0$) землетрясений, позволил выявить пространственно-временные особенности проявления предвестников двух основных групп землетрясений - региональных с $M \geq 6.0$ и местных с $3.7 \leq M \leq 5.0$. Последние стадии подготовки каждого из 18-и протестированных сейсмических событий своеобразно отображаются в предвестниковых явлениях. Вместе с тем, проявления предвестников двух основных групп землетрясений - сильных региональных и местных ощутимых – имеют общие, отличные друг от друга, пространственно-временные особенности. Спитакское (1988г.) землетрясение, являясь сильным и местным одновременно, принадлежит к обеим основным группам и рассмотрено отдельно.

Каковы же общие пространственно-временные особенности проявления предвестников протестированных сейсмических событий ?

Сильные региональные землетрясения с $M \geq 6.0$

- Подготовка событий не отразилась в долгосрочных предвестниках, а только на завершающей стадии подготовки сейсмических событий.
- Первые предвестники проявились в большинстве случаев за несколько месяцев до событий.
- В половине случаев первый предвестник проявился на станциях, расположенных ближе к эпицентрам землетрясений либо в более выгодной относительно очага сеймотектонической позиции.
- Подготовка событий отразилась в большом количестве аномалий и по комплексу разнообразных по своей природе параметров, а аномальные станции расположены практически по всей территории РА и в НКР, в зонах разных сеймотектонических структур и внутри блоков.

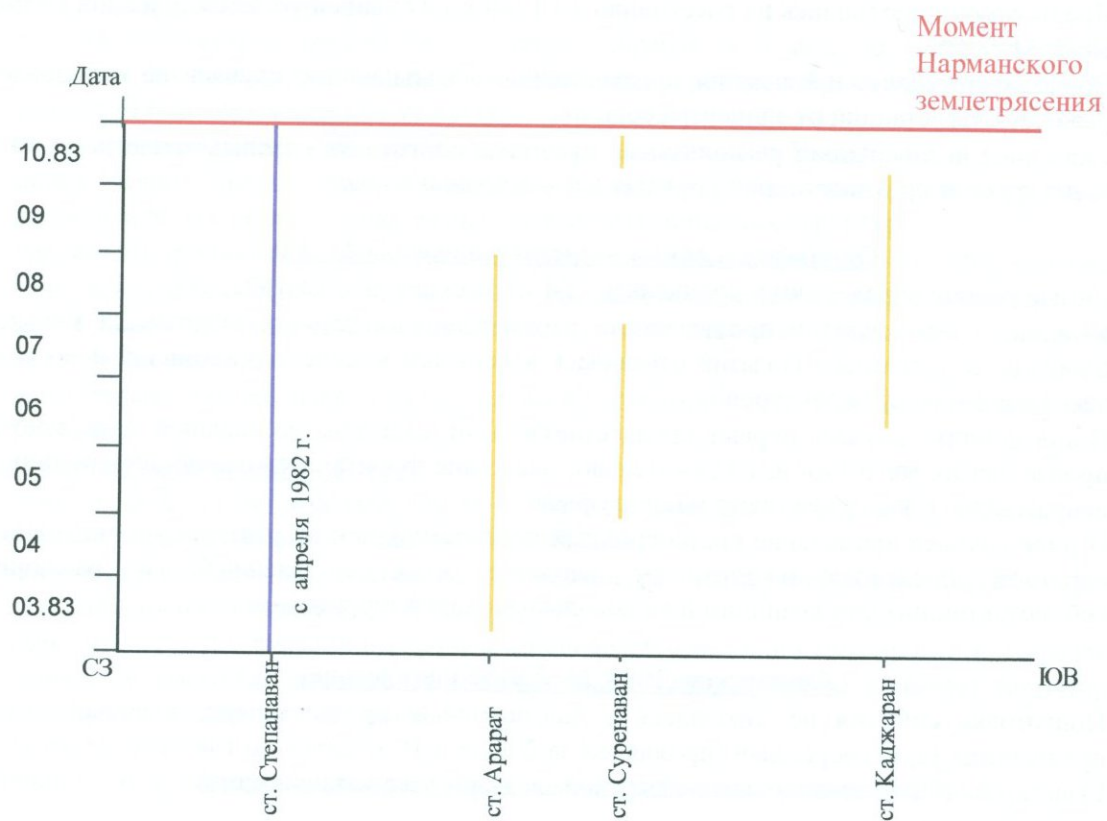
- Предвестники проявились на расстоянии до 1300 км от эпицентра землетрясения (Измит, 1999, $M=7.4$).
- Последовательность проявления предвестников в большинстве случаев не обусловлена удаленностью станций от эпицентра события.
- Сказанное подтверждает региональные масштабы подготовки сильных землетрясений по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры.

Ощутимые местные землетрясения с $3.7 \leq M \leq 5.0$

- Самые ранние предвестники проявились за 4 - 7 месяцев до событий.
- Станции с аномальными проявлениями параметров мониторинга охватывали меньшую площадь, а подготовка событий отразилась в меньшем количестве аномалий и по более узкому комплексу параметров.
- В большинстве случаев первые предвестники были выделены во внешней зоне, а позже произошла их миграция и, следовательно, движение фронта аномальной деформации по направлению к месту будущего макроразрыва.
- В ряде случаев проявление краткосрочных предвестников и их миграция происходили в обратной последовательности: от ближней зоны к внешней, к различным сейсмотектоническим позициям и на довольно большой территории.

Спитакское (1988, $M=7.0$) землетрясение

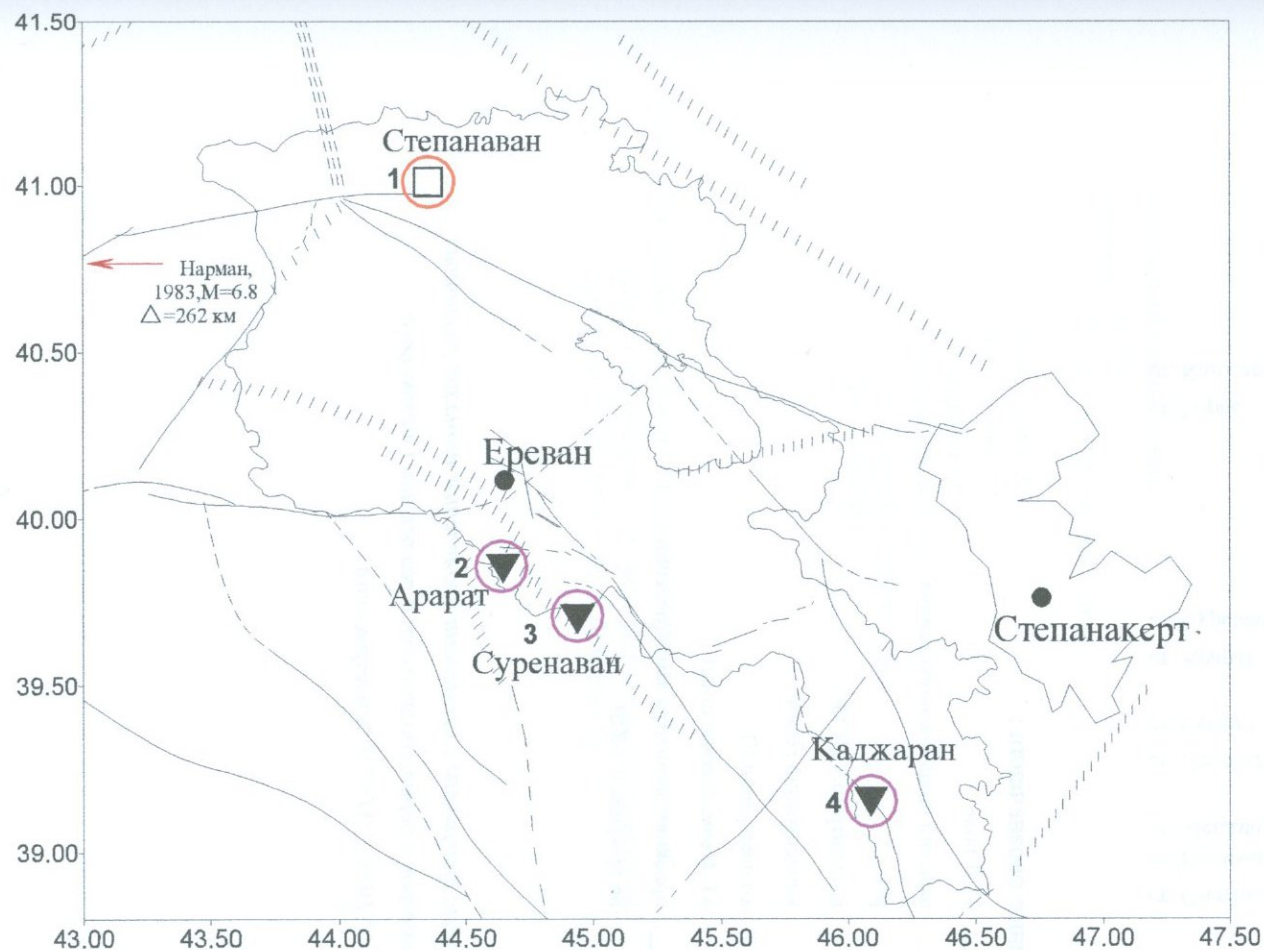
- Подготовка события не отразилась в долгосрочных предвестниках, а самый ранний предвестник (среднесрочный) проявился за 2 года и 10 месяцев до главного удара на ст. Гюлагарак (Степанаван), расположенной в непосредственной близости от эпицентра землетрясения.
- Подготовка события отразилась в большом количестве аномалий и по комплексу разнообразных по своей природе параметров, а аномальные станции расположены практически по всей территории РА, в зонах разных сейсмотектонических структур и внутри блоков, что отражает региональные масштабы подготовки Спитакского землетрясения.
- Наблюдалась миграция среднесрочных предвестников от места магистрального разрыва и их расположение вдоль серии активных разломов от эпицентра на юго-восток.
- Ранние краткосрочные предвестники проявились на станциях, расположенных во внешней зоне от серии разрывных нарушений, вдоль которых наблюдались среднесрочные предвестники.
- Поздние краткосрочные предвестники проявились по всей территории республики и в зонах разных активных разломов.



Условные обозначения :

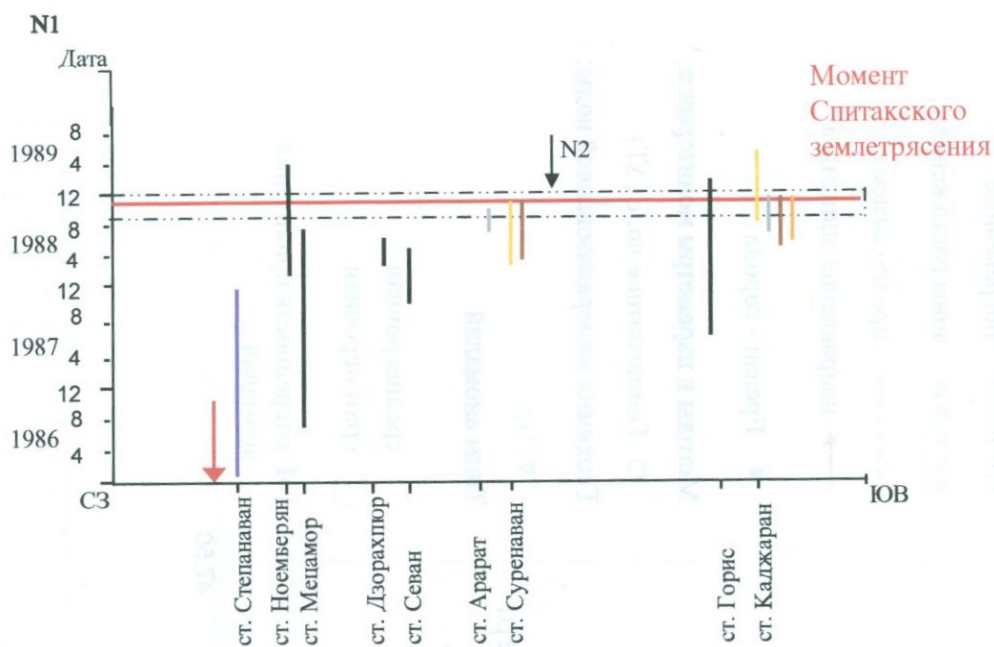
- ΔT (геомагнитное поле)
- концентрация гелия

Рис. 2.1. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Нарманского (Турция, 30.10.1983 г., $M=6.8$) землетрясения.



- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - ==== зоны растяжения
 - предполагаемые
 - ➔ направление эпицентра
- Ереван - города
- Методы и параметры мониторинга:**
- Геомагнитное поле (ΔT)
- Геохимия минерализованной воды:**
- ▼ He
- Типы аномалий:**
- среднесрочная
 - краткосрочная
- 1-4** очередность проявления аномалий

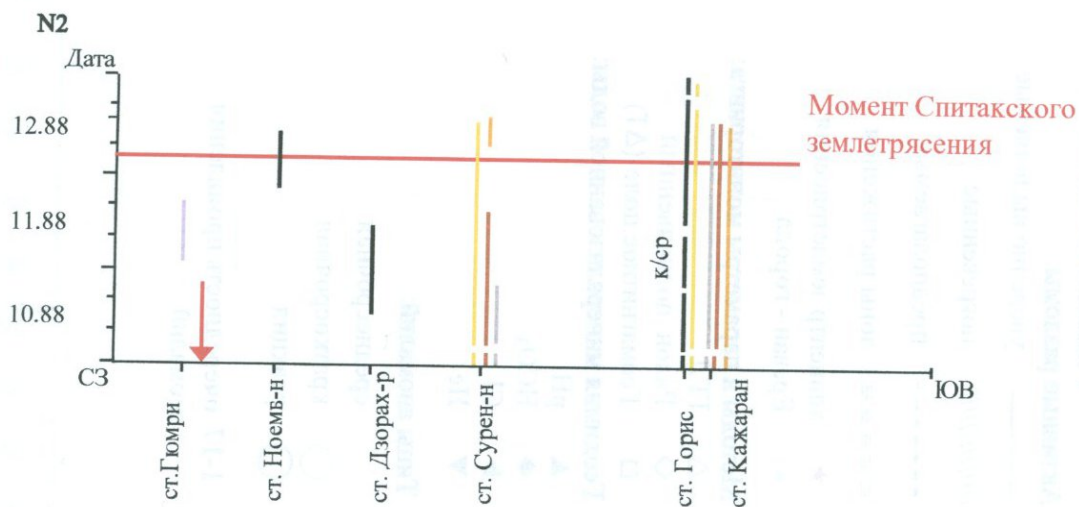
Рис. 2.2. Реагируемость наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию Нарманского (Турция, 1983г.) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- рН
- концентрация HCO_3
- концентрация гелия
- концентрация Cl
- ΔT (геомагнитное поле)
- проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.3а Сводные диаграммы с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Спитакского (07.12.1988 г., $M=7.0$) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- рН
- концентрация HCO_3
- концентрация гелия
- концентрация Cl
- ΔT (геомагнитное поле)
- проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.3б Сводные диаграммы с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Спитакского (07.12.1998 г., $M=7.0$) землетрясения.

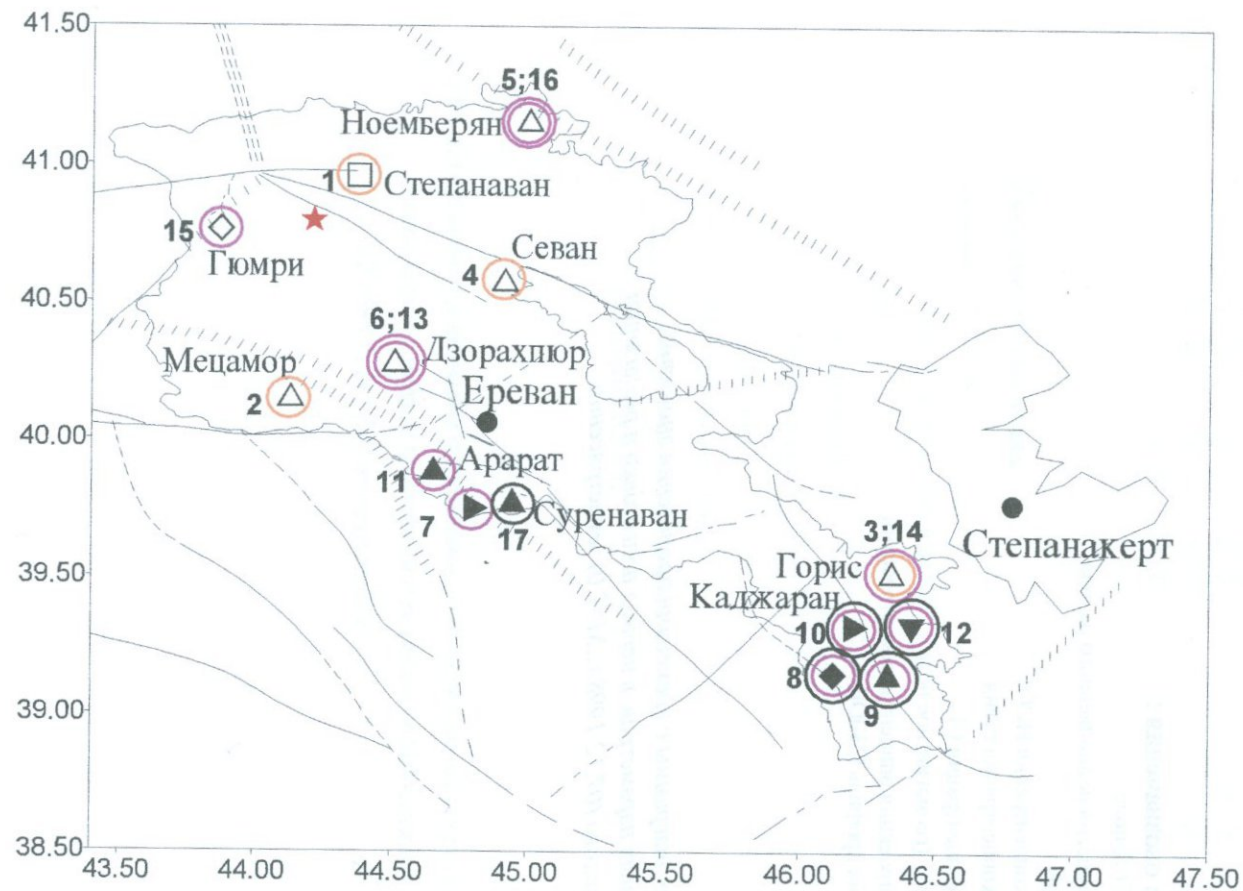
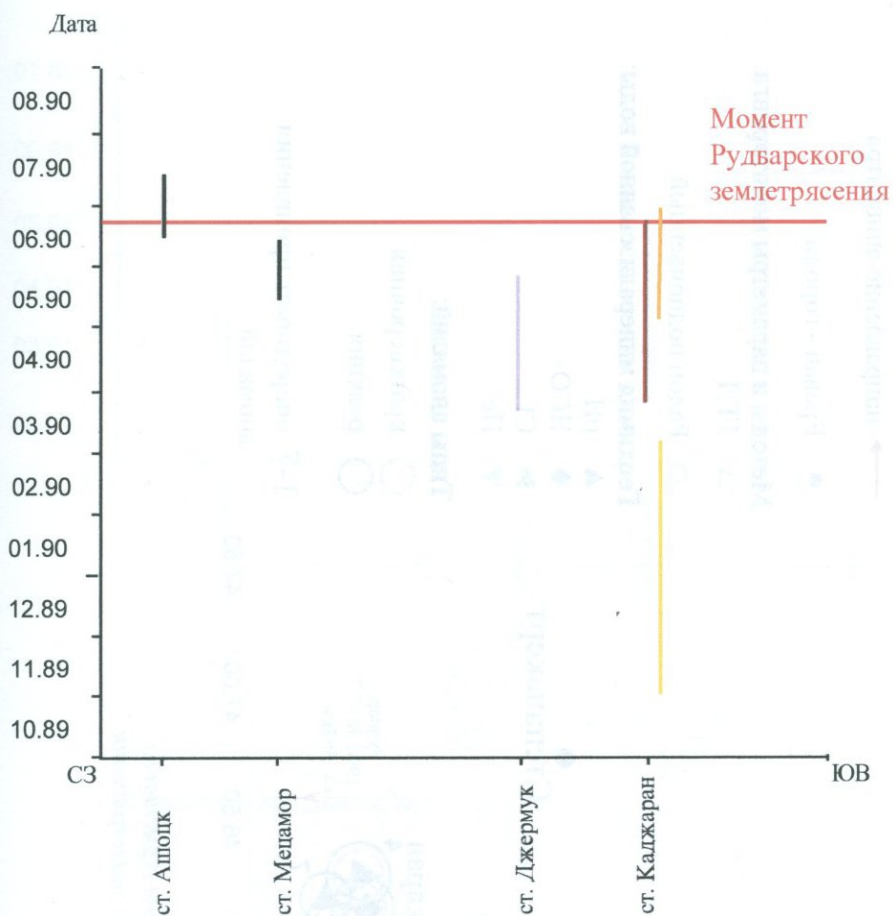


Рис. 2.4. Реагируемость наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию Спитакского (Армения, 1988г., $M=7.0$) землетрясения.

- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - предполагаемые
 - ≡≡≡≡≡ зоны растяжения
- ★ эпицентр землетрясения
- Ереван - города
- Методы и параметры мониторинга:**
- △ ГГД
 - ◇ Радон почвенный
 - Геомагнитное поле (ΔT)
- Геохимия минерализованной воды:**
- ▲ pH
 - ◆ HCO_3
 - ▶ Cl
 - ▼ Ne
- Типы аномалий:**
- среднесрочная
 - краткосрочная
 - реакция
- 1-17 очередность проявления аномалий



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- концентрация гелия
- эмиссия почвенного радона
- рН
- концентрация HCO_3

Рис. 2.5. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Рудварского (Иран, 20.06.1990 г., $M=7.7$) землетрясения.

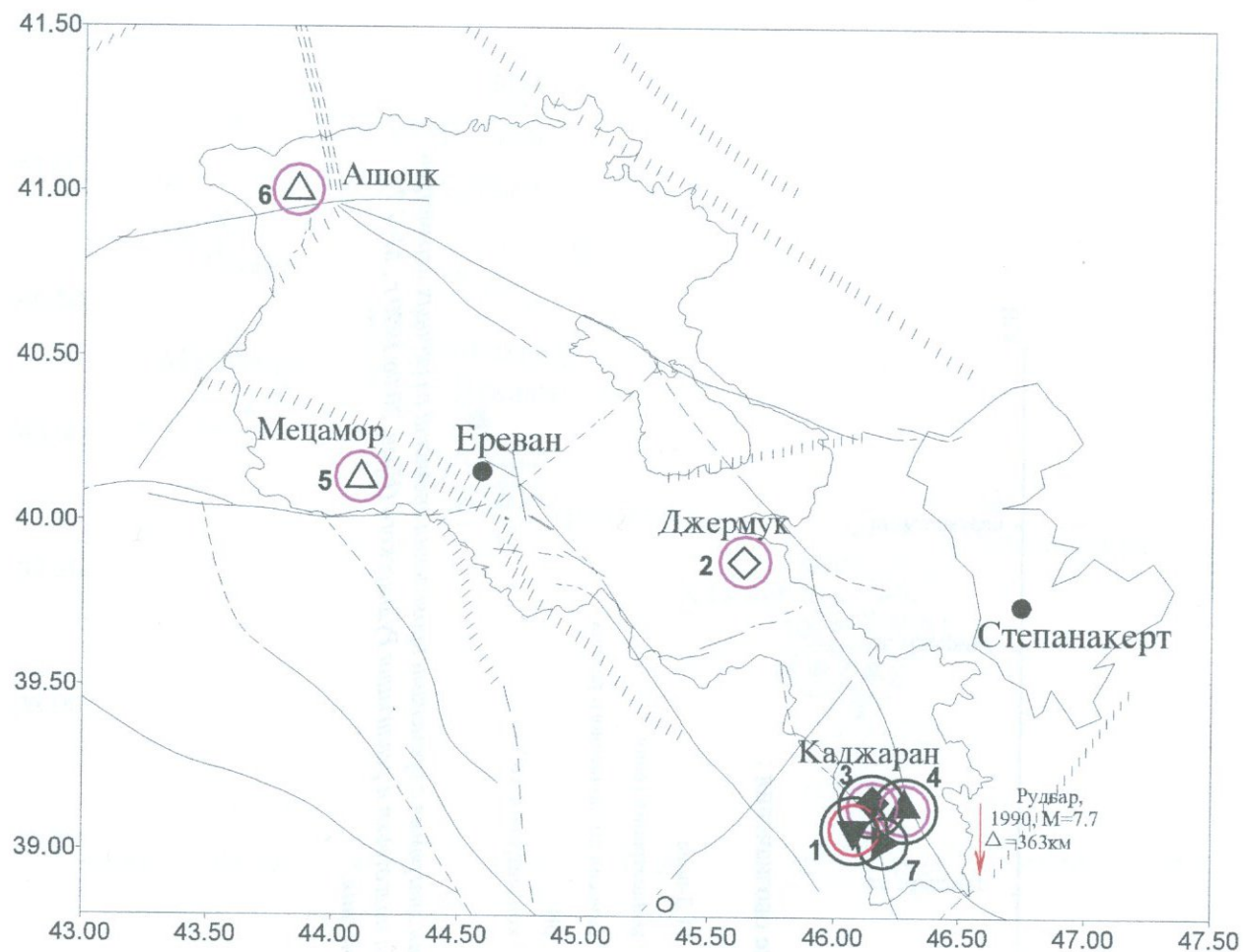
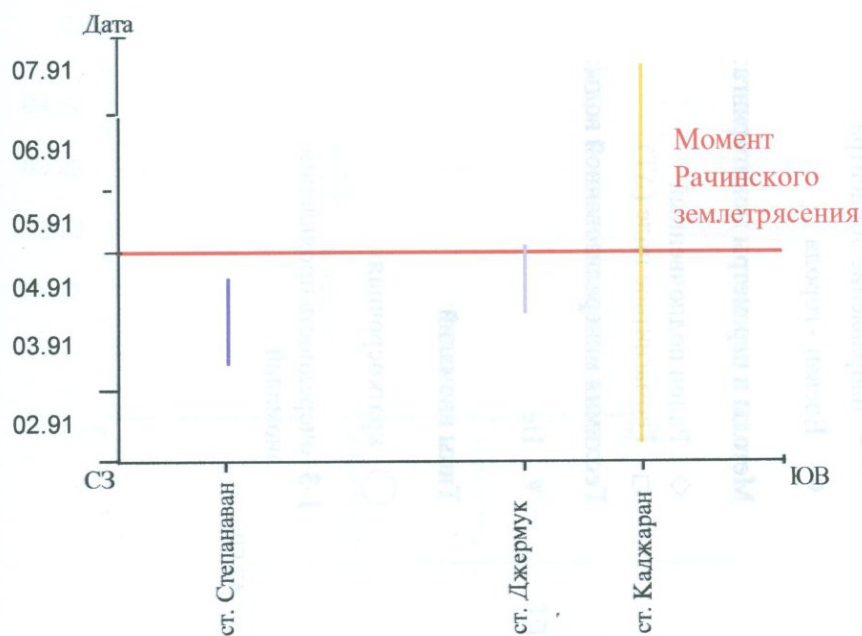


Рис. 2.6. Реагируемость наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию Рудбарского (Иран, 1990г.) землетрясения.



Условные обозначения :

- ΔT (геомагнитное поле)
- эмиссия подпочвенного радона
- концентрация гелия

Рис. 2.7. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Рачинского (Грузия 29.04.1991 г., $M=7.1$) землетрясения.

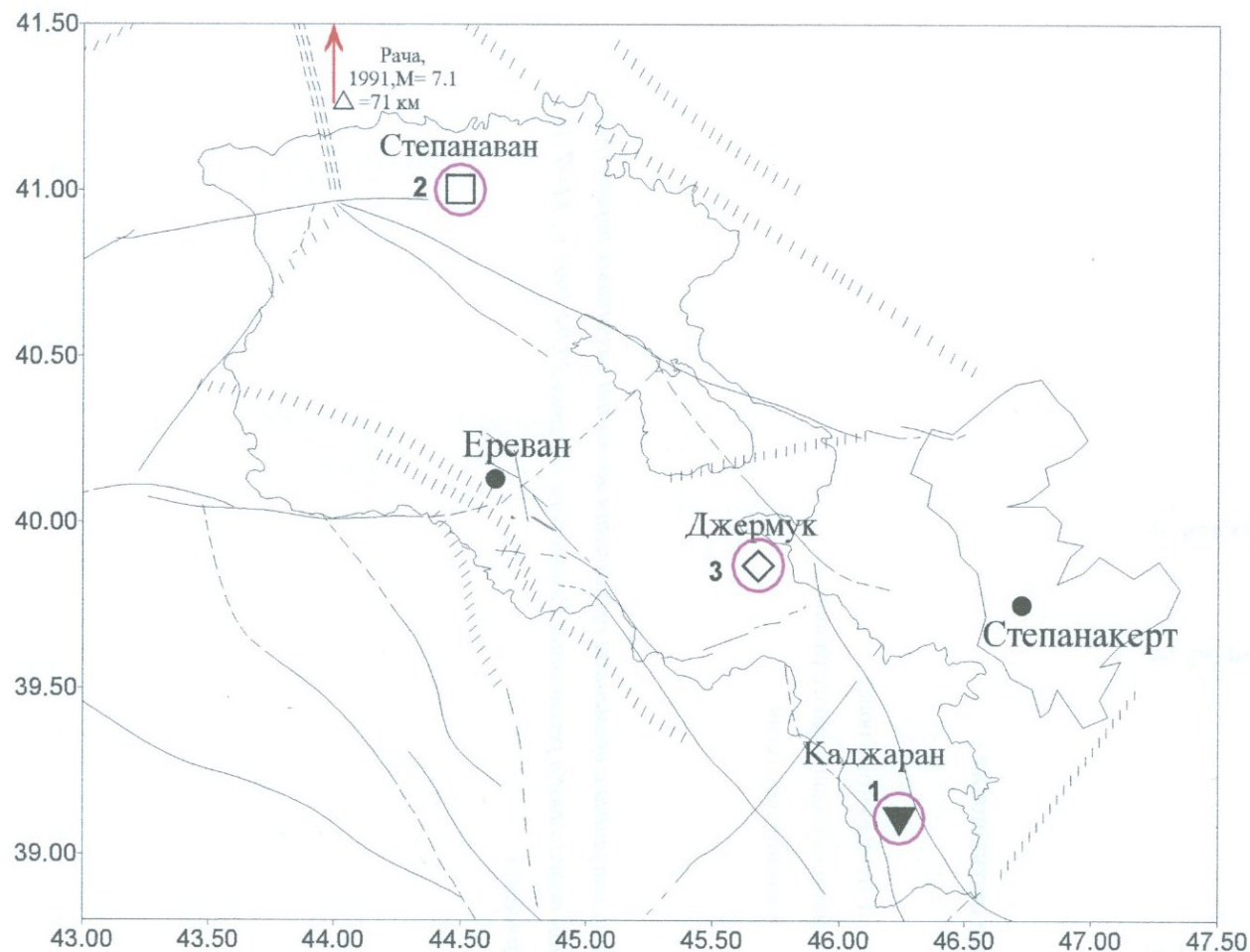


Рис. 2.8. Реагируемость наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию Рачинского (Грузия, 1991г.) землетрясения.

Условные обозначения
Активные разломы:
 ————— уверенно выделяемые
 ////////////// погребенные
 === === зоны растяжения
 - - - - - предполагаемые

→ направление эпицентра

• Ереван - города

Методы и параметры мониторинга:

◇ Радон почвенный

□ Геомагнитное поле (ΔT)

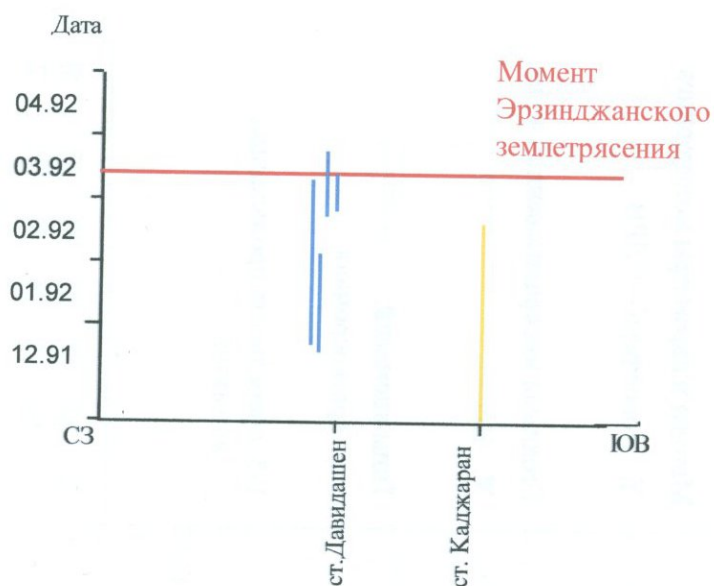
Геохимия минерализованной воды:

▼ He

Типы аномалий:

○ краткосрочная

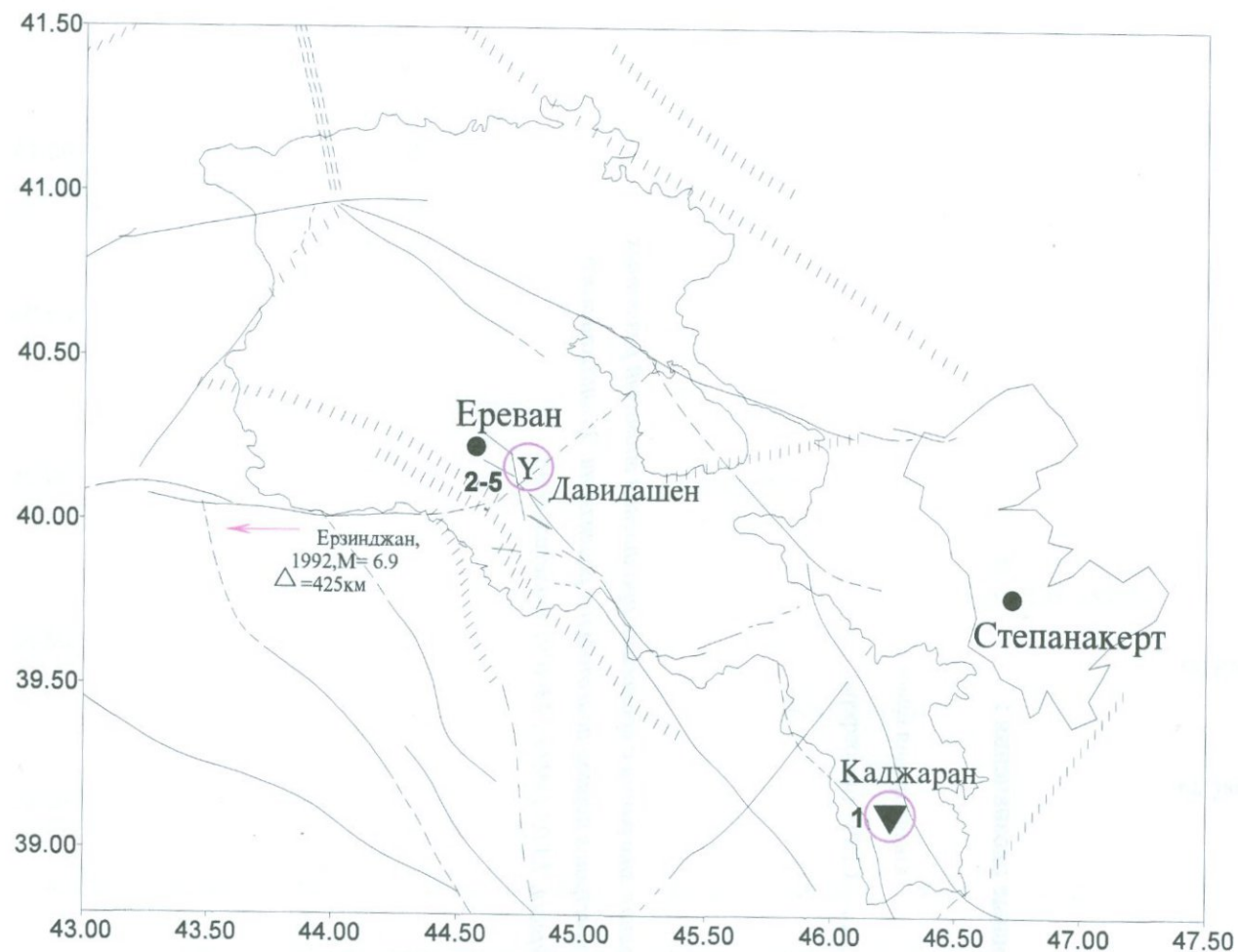
1-3 очередность проявления аномалий



Условные обозначения :

- концентрация гелия
- СДРВ (ионосфера)

Рис. 2.9. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Эрзинджанского (Турция, 13.03.1992 г., $M=6.9$) землетрясения.



Условные обозначения
Активные разломы:
 ————— уверенно выделяемые
 ////////////// погребенные
 === === зоны растяжения
 - - - - - предполагаемые
 → направление эпицентра

● Ереван – города

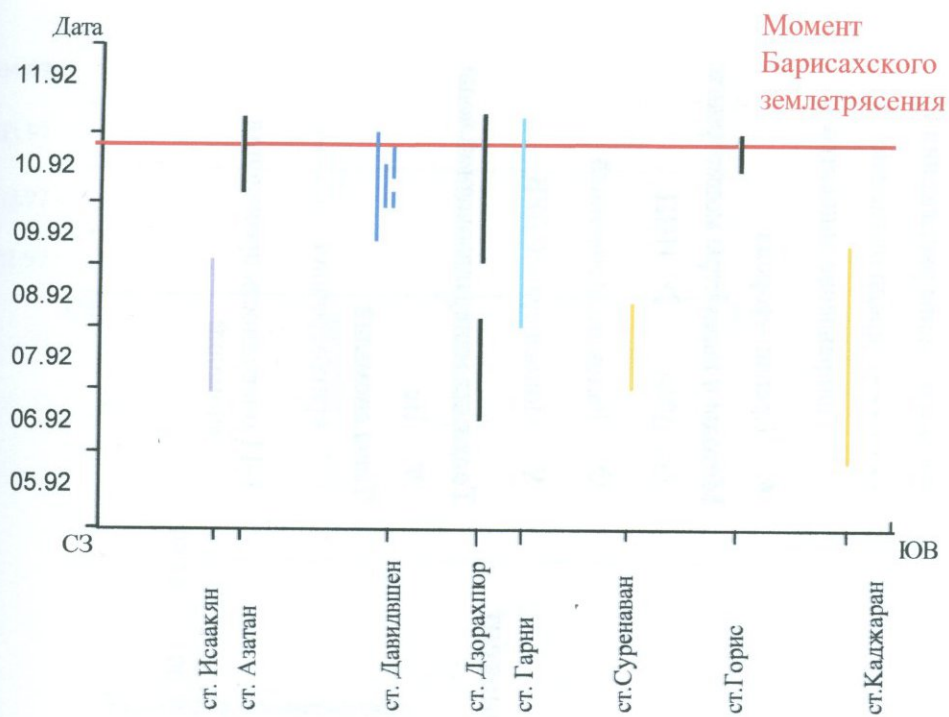
Методы и параметры мониторинга:
 Y Ионосфера – СДРВ

Геохимия минерализованной воды:
 ▼ Не

Типы аномалий:
 ○ краткосрочная

1-5 очередность проявления аномалий

Рис. 2.10. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Эрзинджанского (Турция, 1992г.) землетрясения.



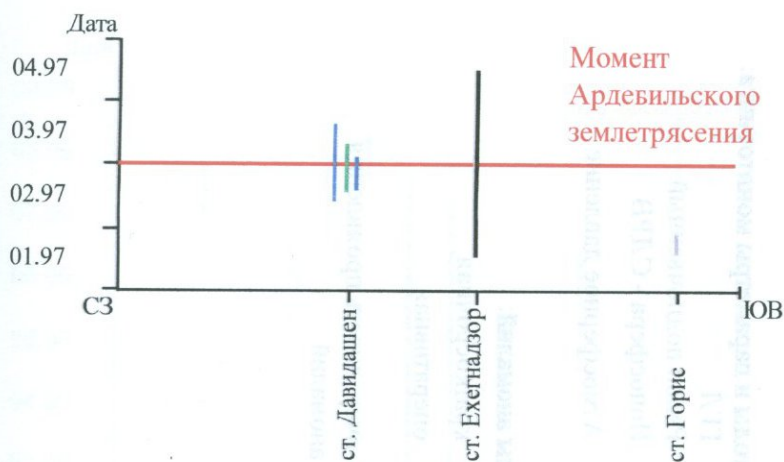
Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- метод ННП
- концентрация гелия
- СДРВ (ионосфера)

Рис. 2.11. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Барисахского (Грузия, 24.10.1992 г., $M=6.4$) землетрясения.



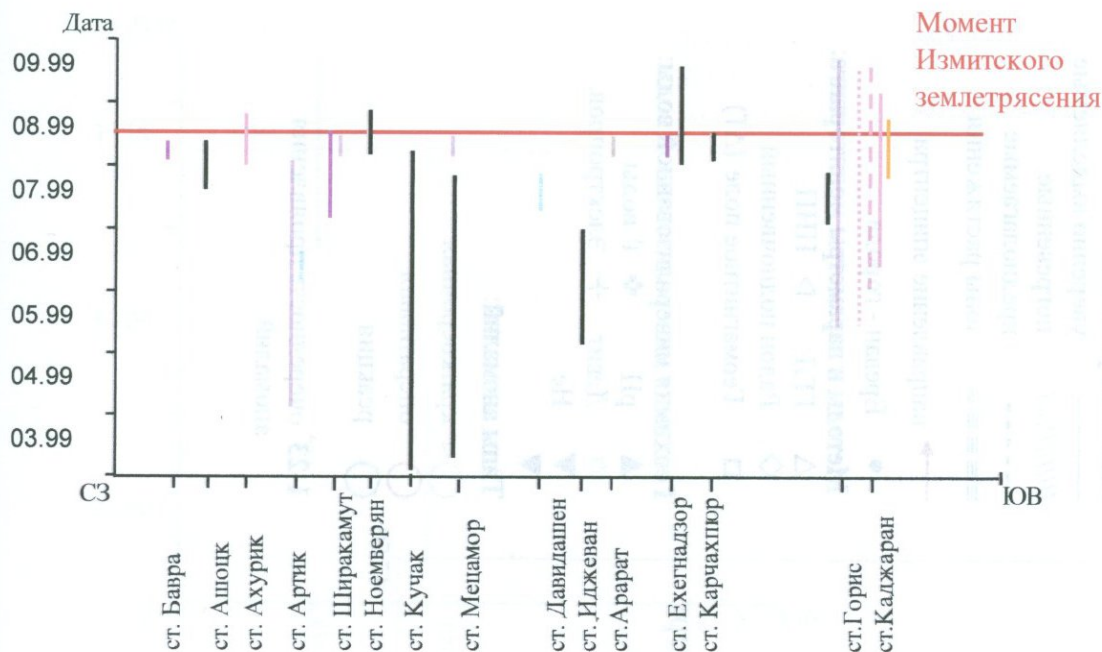
Рис. 2.12. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Барисахского (Грузия, 1992г.) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- СДРВ (трасса Режуньон-Ереван)
- эмиссия подпочвенного радона
- атмосферное давление

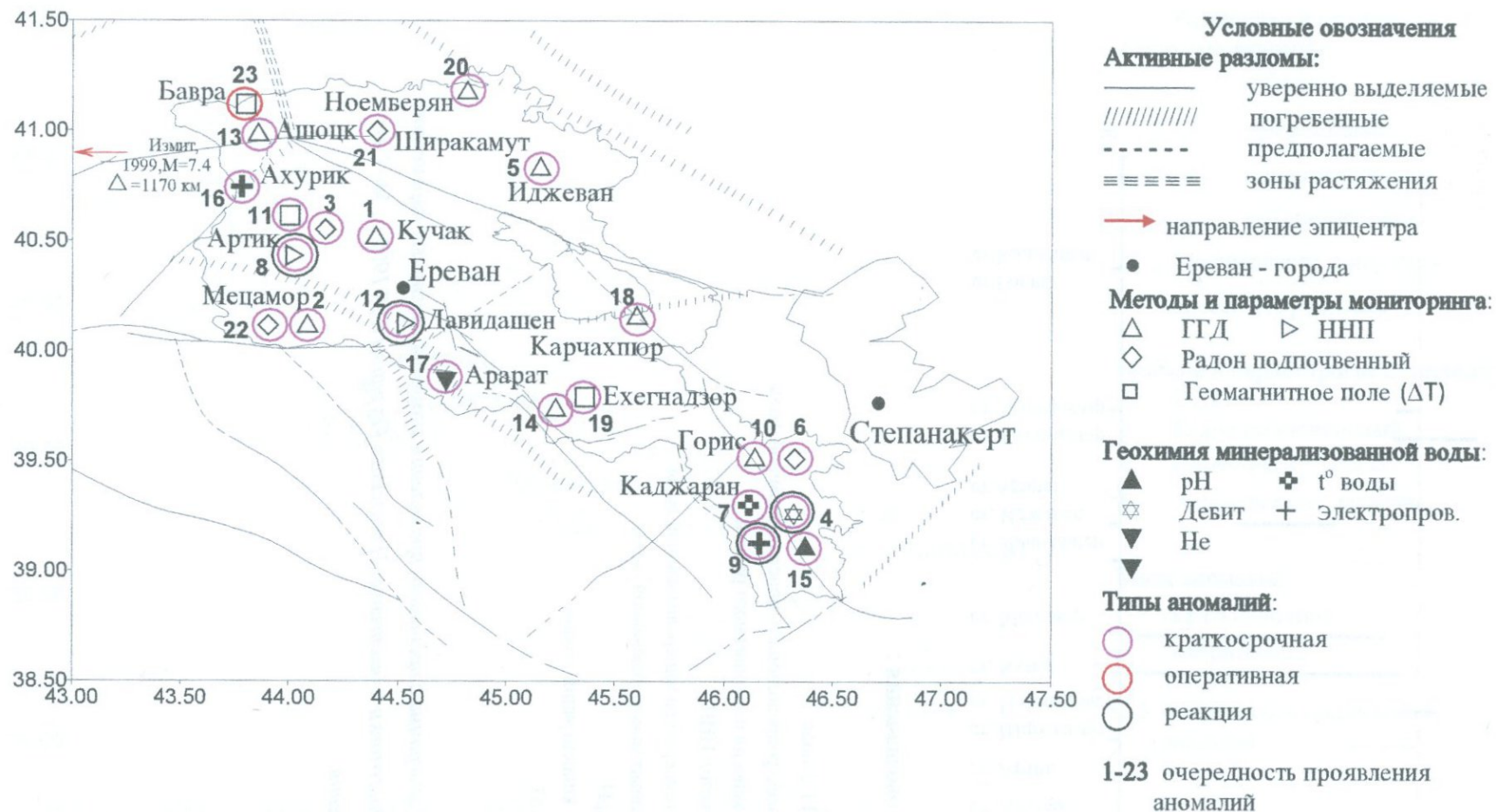
Рис. 2.13. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Ардебильского (Иран, 28.02.1997 г., $M=6.7$) землетрясения.

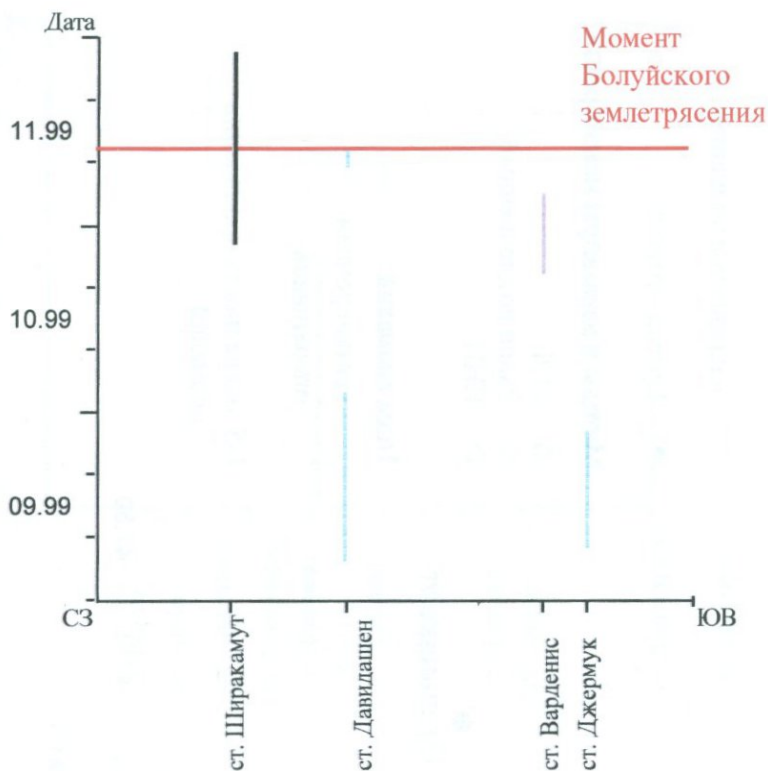


Условные обозначения :

- ГГД-поле
- электропроводимость минерализованной воды
- эмиссия подпочвенного радона
- метод ННП
- температура минерализованной воды
- дебит минерализованной воды
- pH
- концентрация гелия
- ΔT

Рис. 2.15. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Измитского (Турция, 17.08 1999 г., $M=7.4$) землетрясения.

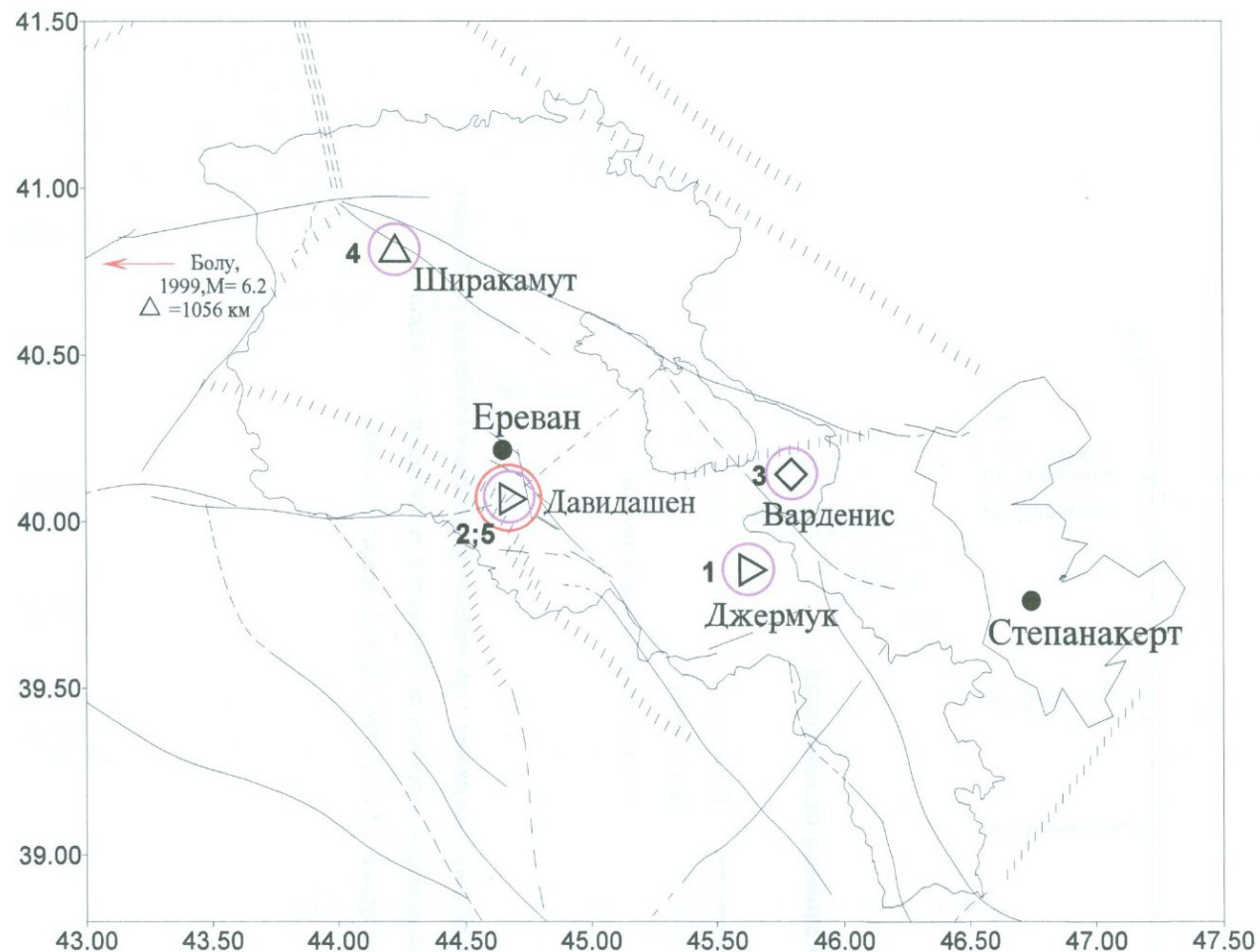




Условные обозначения :

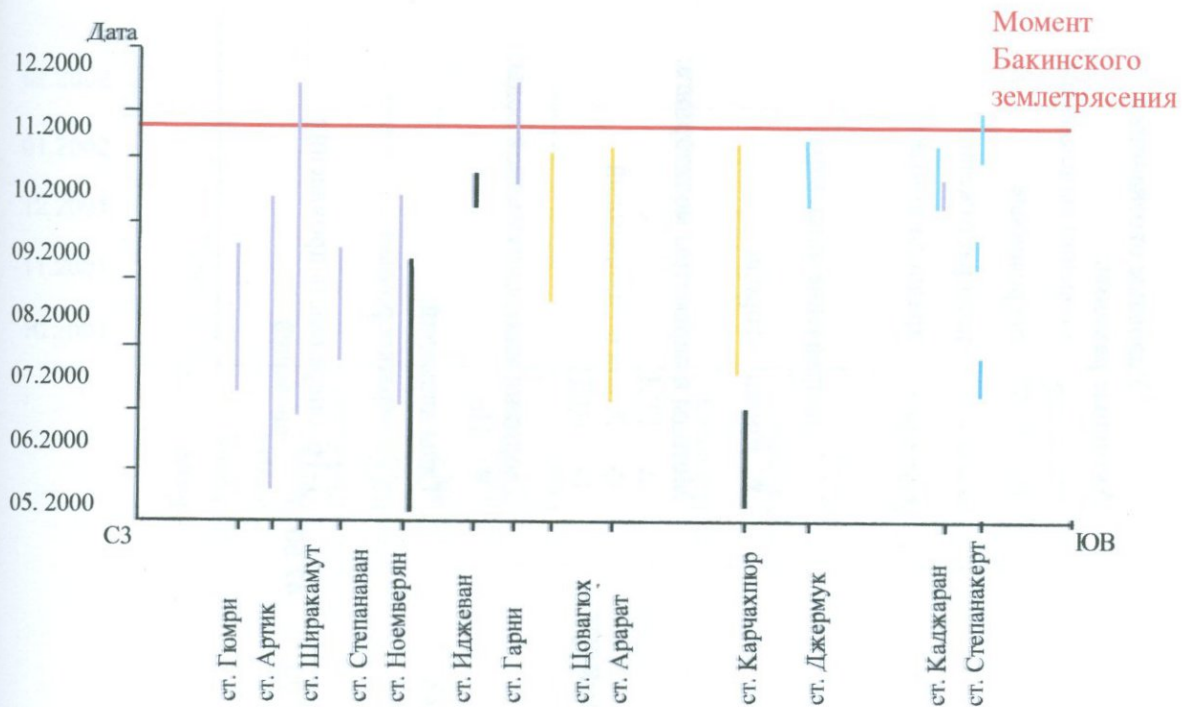
- ГГД-поле
- метод ННП
- эмиссия подпочвенного радона

Рис. 2.17. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Болуйского (Турция, 12.11.1999г., $M=6.2$) землетрясения.



- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - ==== зоны растяжения
 - предполагаемые
- направление эпицентра
- Ереван - города
- Методы и параметры мониторинга:**
- △ ГГД
 - ◇ Радон подпочвенный
 - ▷ ННП
- Типы аномалий:**
- краткосрочная
 - оперативная
- 1-5 очередность проявления аномалий

Рис. 2.18. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Болуйского (Турция, 1999г.) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- концентрация гелия
- метод ННП

Рис. 2.19. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Бакинского (Азербайджан, 25.11.2000 г., $M=6.5$) землетрясения.

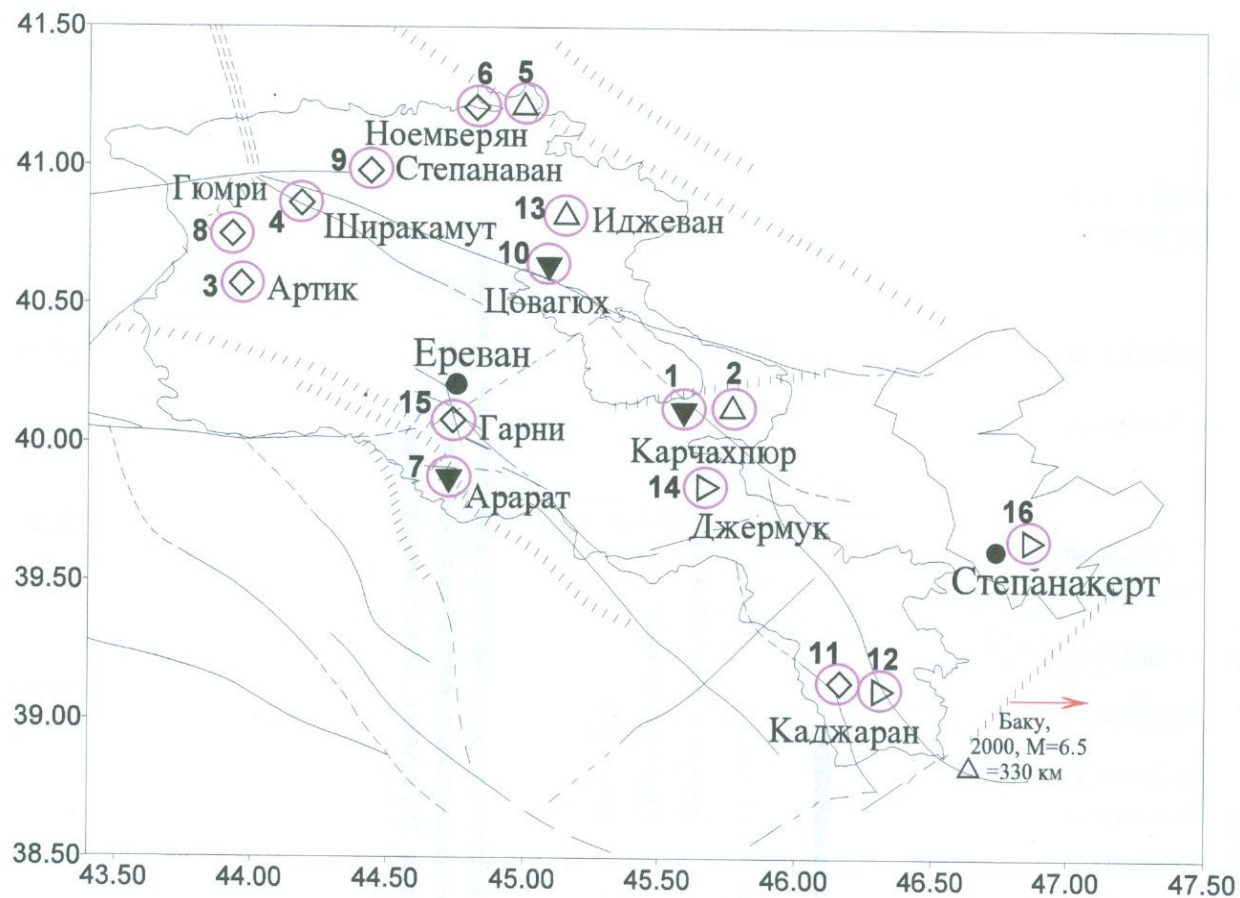
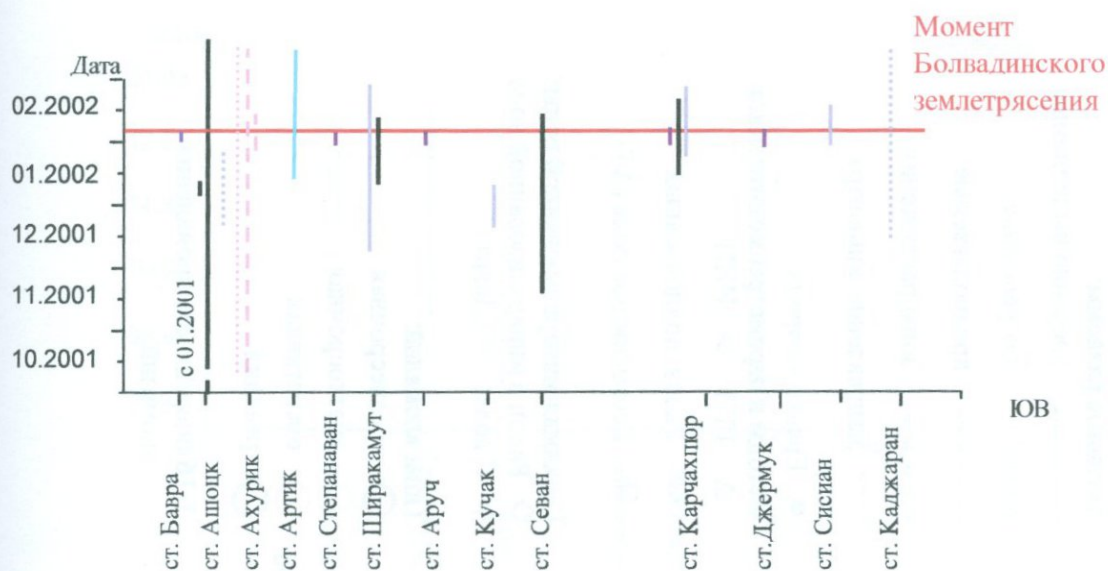


Рис. 2.20. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Бакинского (Азербайджан, 2000г.) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД - поле
- эмиссия подпочвенного радона
- ΔT (геомагнитное поле)
- метод ННП
- радон в минерализованной воде
- температура минерализованной воды
- - - дебит минерализованной воды

Рис. 2.21. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Болвадинского (Турция, 03.02.2002 г., $M=6.2$) землетрясения.

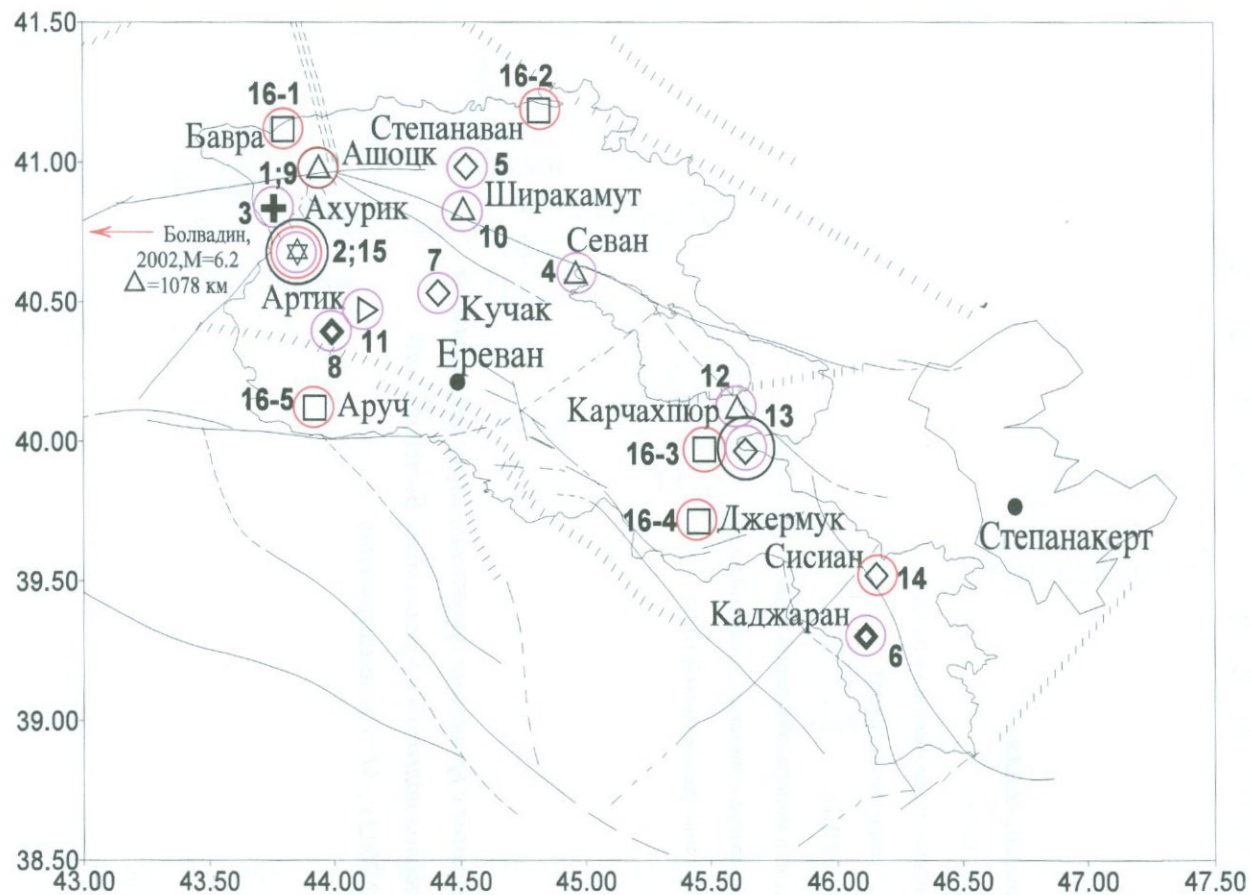
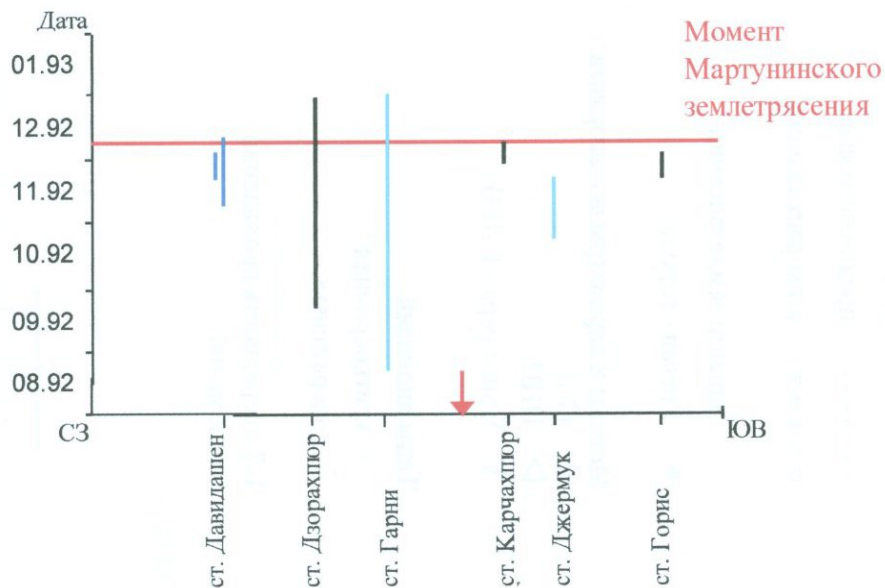


Рис. 2.22. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Болвадинского (Турция, 2002г., $M=6.2$) землетрясения.

- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - - - - - предполагаемые
 - =====
зоны растяжения
 - направление эпицентра
- Ереван – города
- Методы и параметры мониторинга:**
- △ ГД ▷ ННП
 - ◇ Радон подпочвенный
 - Геомагнитное поле (ΔT)
- Геохимия минерализованной воды:**
- ◇ Радон в минерализованной воде
 - ⊕ t° воды ☆ Дебит
- Типы аномалий:**
- среднесрочная
 - краткосрочная
 - оперативная
 - реакция
- 1-16** очередность проявления аномалий



Условные обозначения :

-  ГГД-поле
-  метод ННП
-  СДРВ (ионосфера)
-  проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.23. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Мартунинского (10.12.1992 г., $M=5.0$) землетрясения.

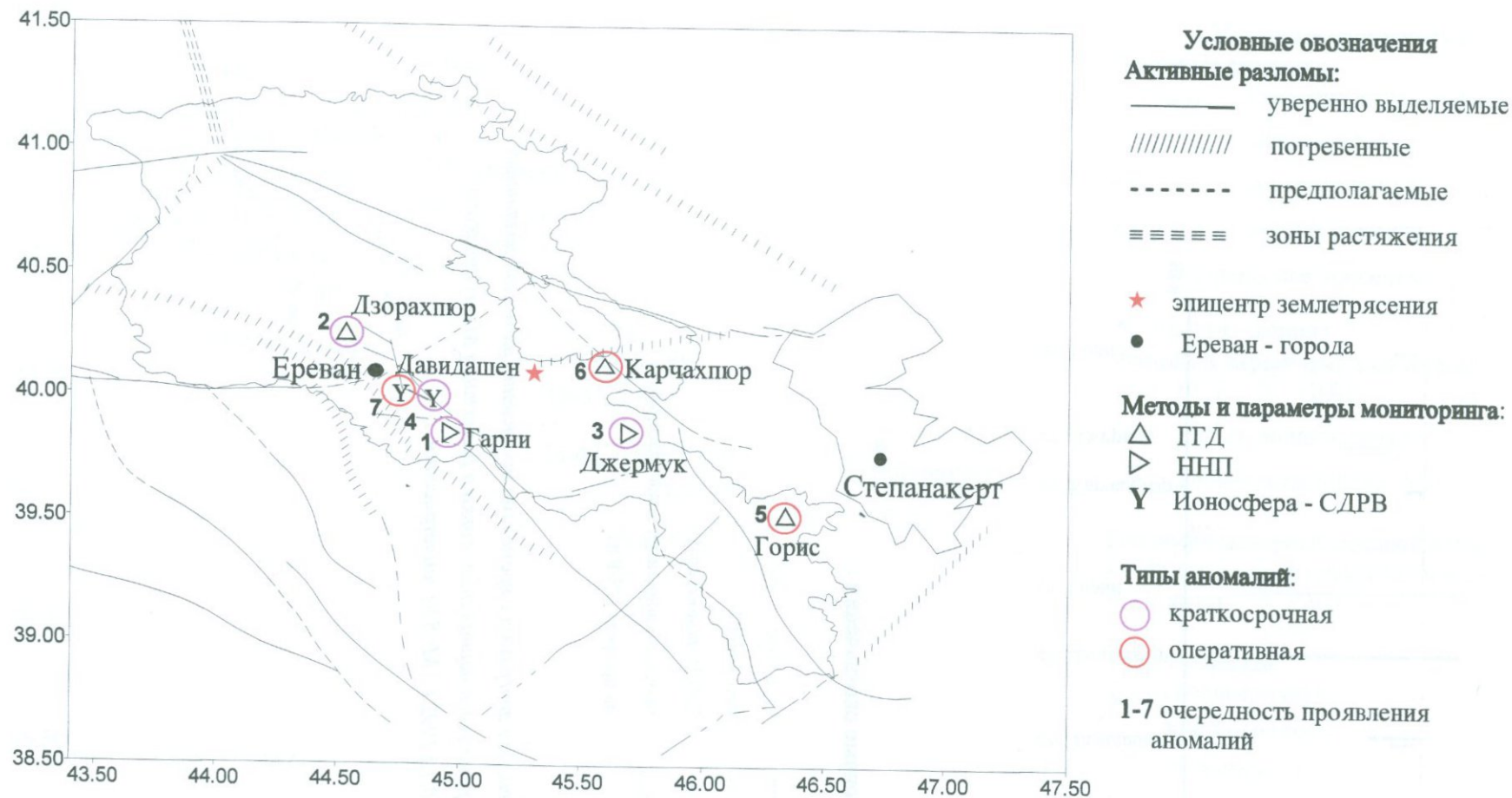
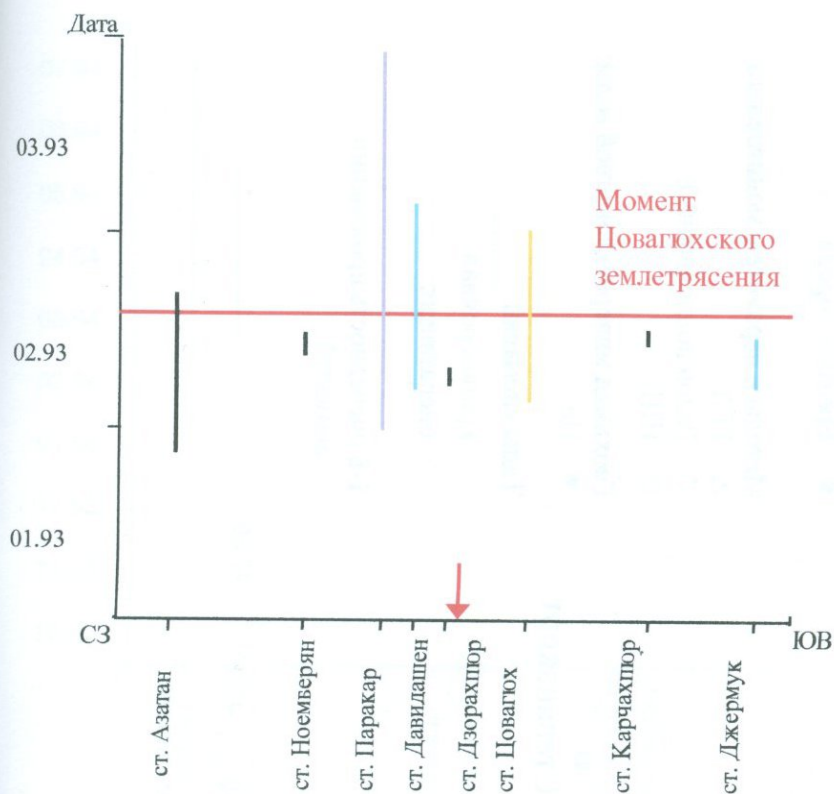


Рис. 2.24. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Мартунинского (Армения, 1992г., $M=5.0$) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- метод ННП
- концентрация гелия
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.25. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Цовагюхского (19.02..(19.02.1993г., $M=3.8$) землетрясения.

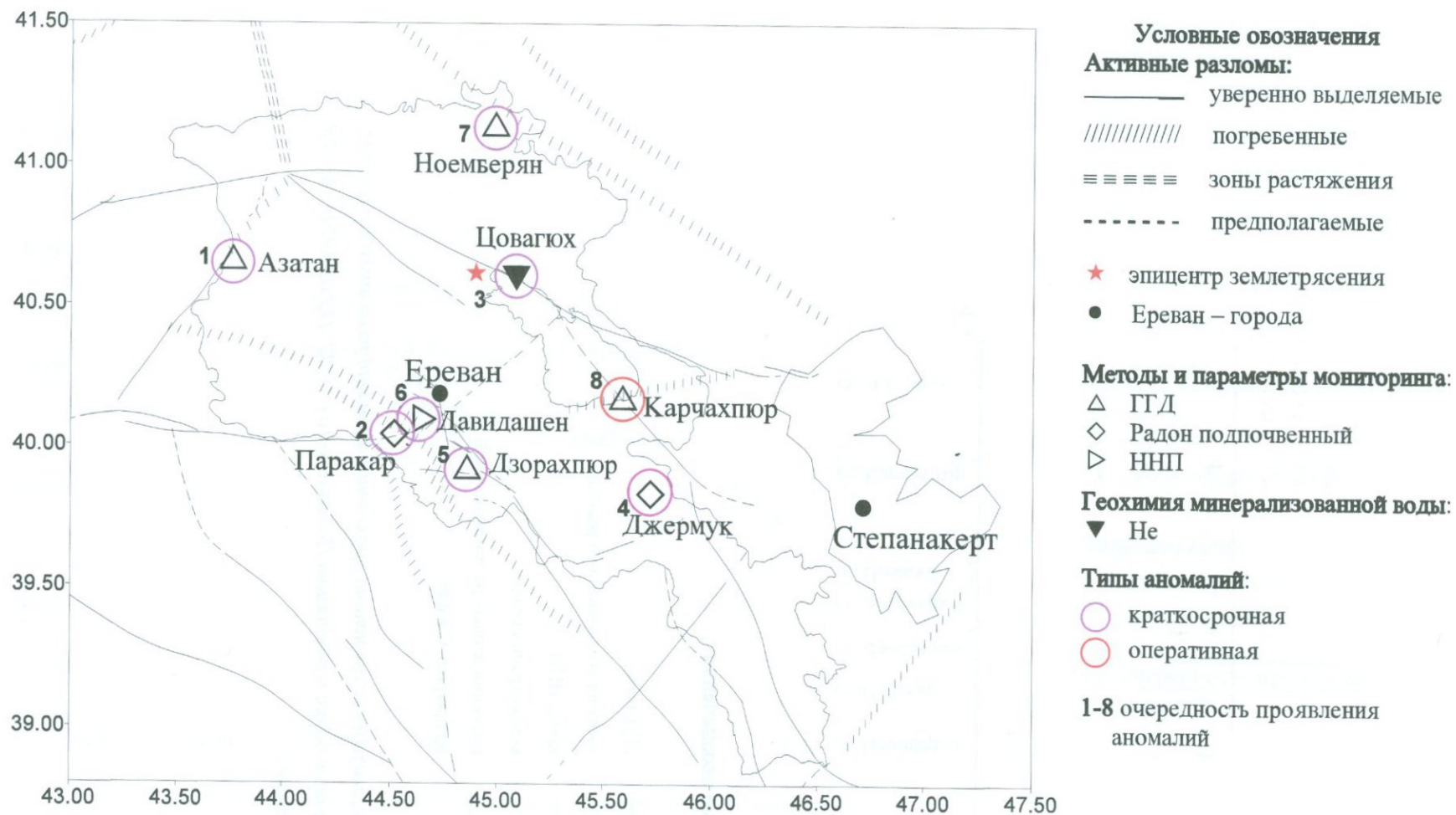
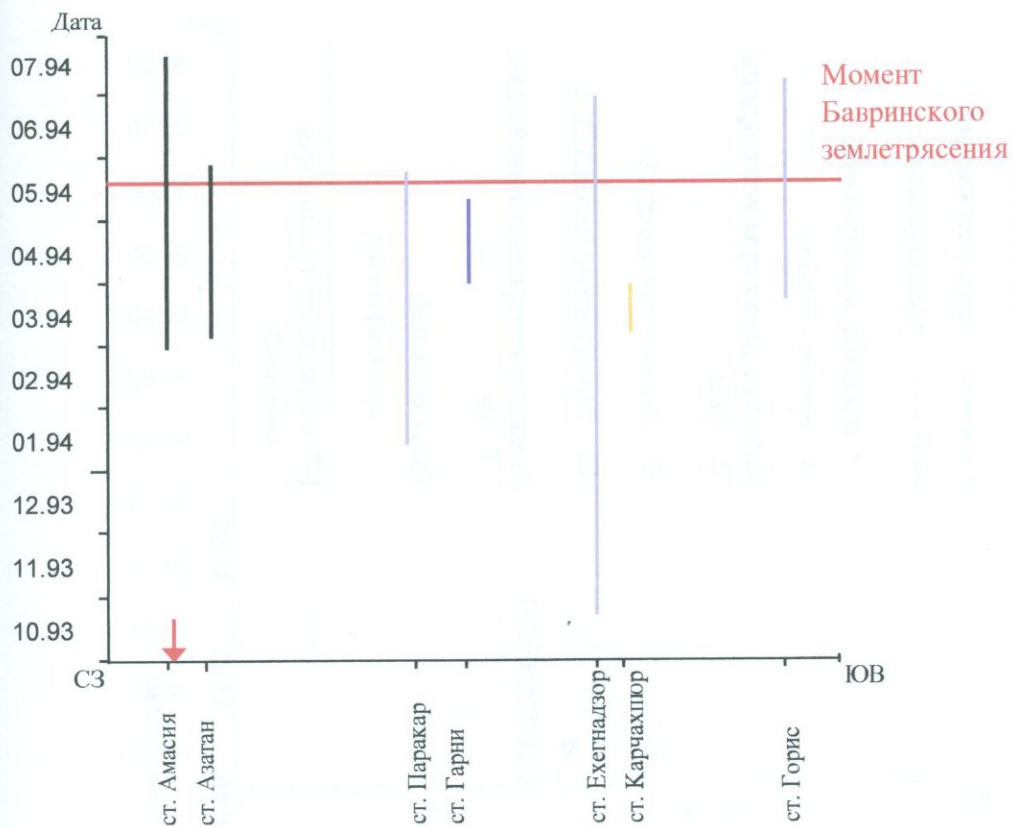


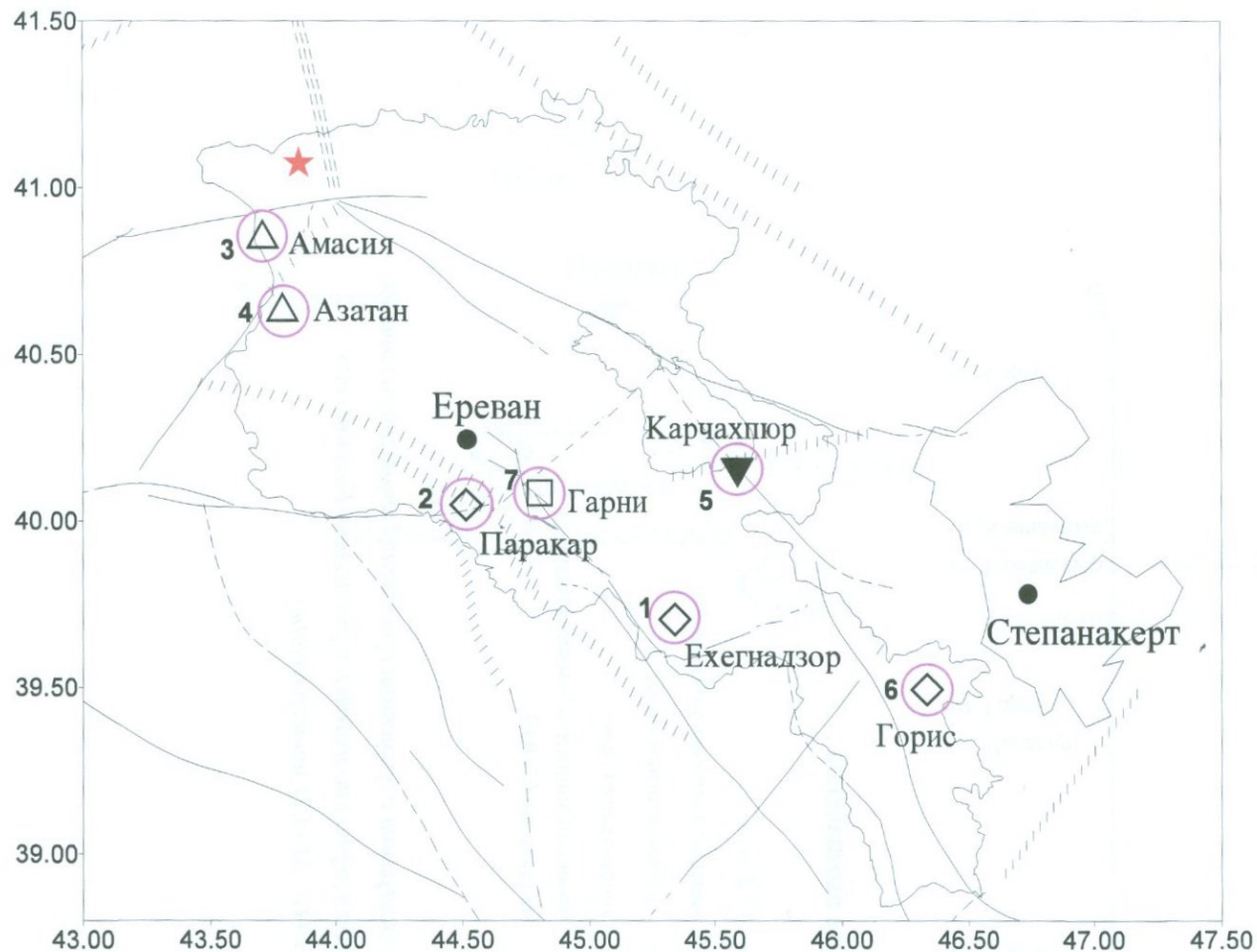
Рис. 2.26. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Цовагюхского (Армения, 1993г., $M=3.8$) землетрясения.



Условные обозначения :

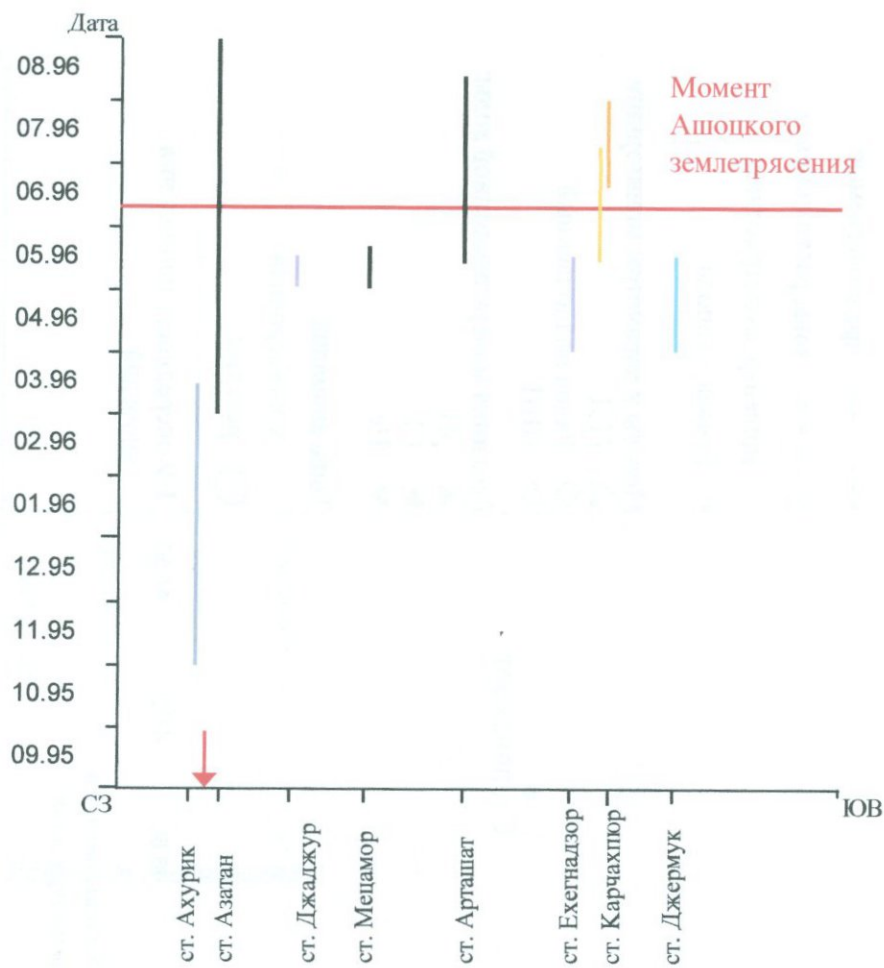
- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- ΔT (геомагнитное поле)
- концентрация гелия
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.27. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Бавринского (18.05.1994 г., $M=4.2$) землетрясения.



- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - ≡≡≡≡≡≡ зоны растяжения
 - предполагаемые
- ★ эпицентр землетрясения
- Ереван - города
- Методы и параметры мониторинга:**
- △ ГД
 - ◇ Радон подпочвенный
 - Геомагнитное поле (ΔТ)
- Геохимия минерализованной воды:**
- ▼ Не
- Типы аномалий:**
- краткосрочная
- 1-7 очередность проявления аномалий

Рис. 2.28. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Бавринского (Армения, 1994г., $M=4.2$) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- CI
- метод ННП
- эмиссия подпочвенного радона
- концентрация гелия
- pH
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.29. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Ашотского (Армения, 1996 г., $M=4.1$) землетрясения.

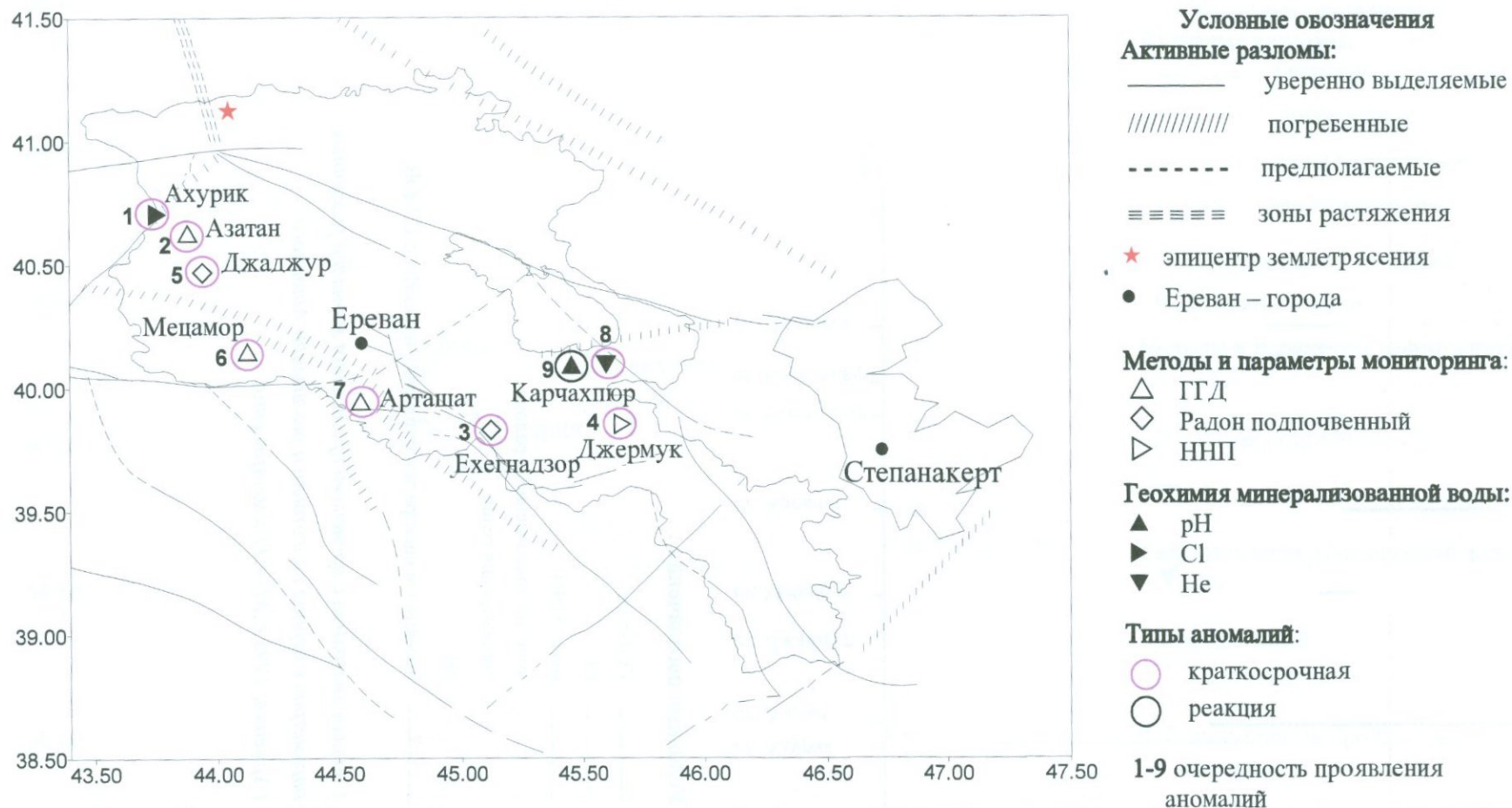
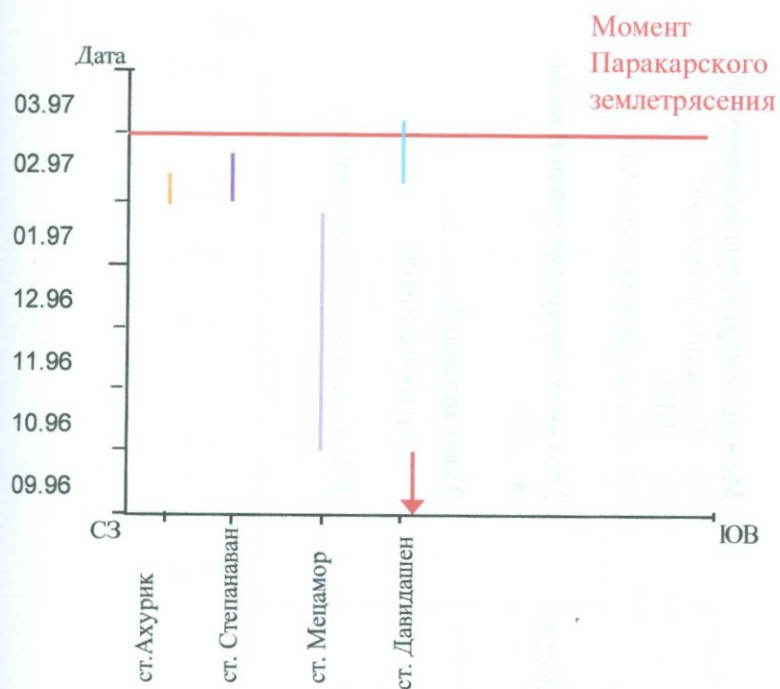


Рис. 2.30. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Ашоцкого (Армения, 1996г., $M=4.1$) землетрясения.



Условные обозначения :

- pH
- ΔT (геомагнитное поле)
- эмиссия подпочвенного радона
- метод ННП
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.31. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Паракарского (01.03.1997 г., $M=3.7$) землетрясения.

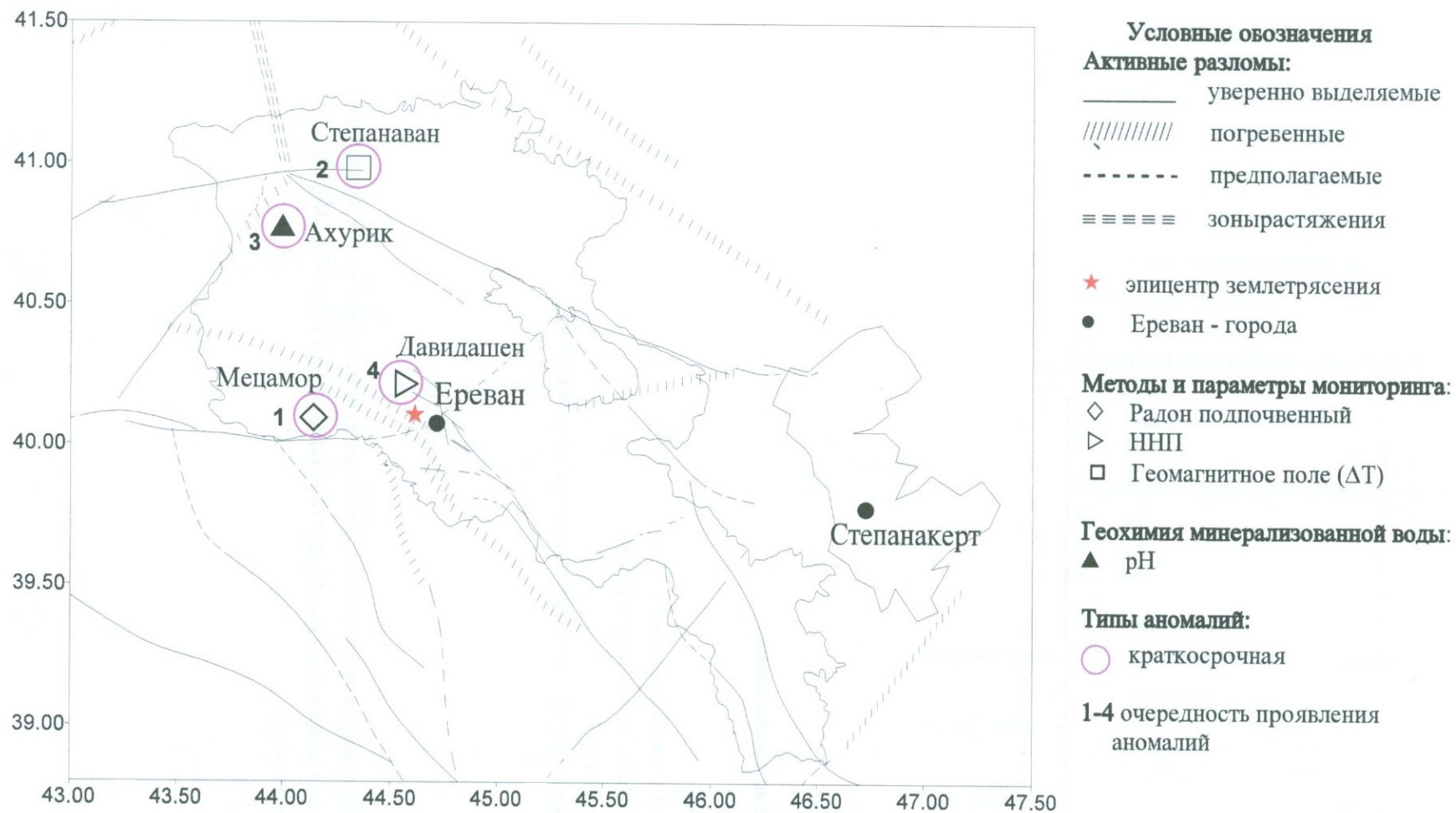
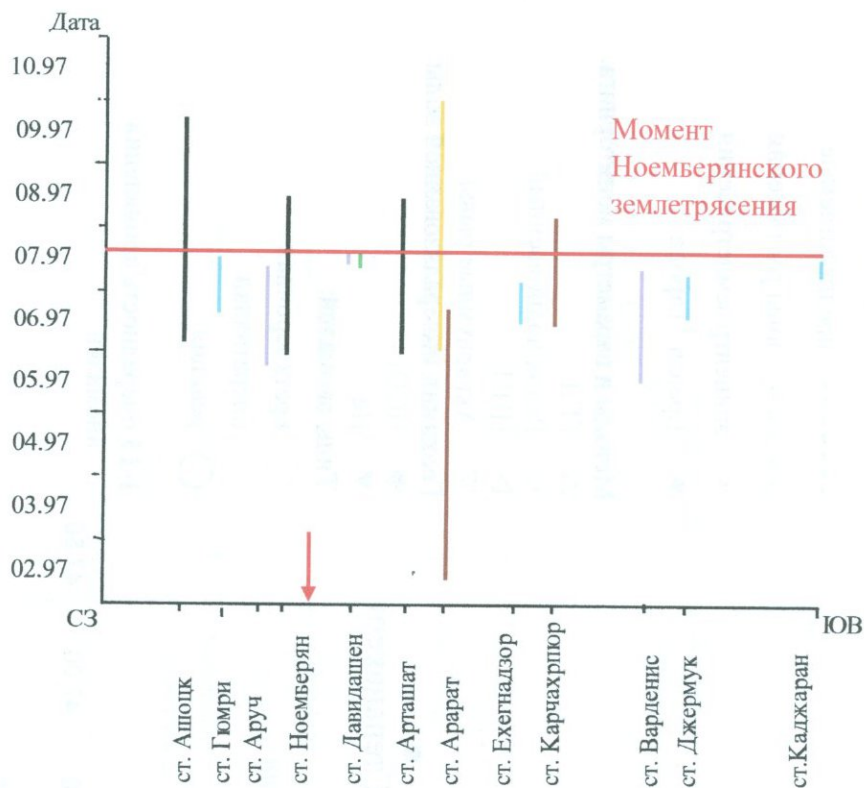


Рис. 2.32. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Паракарского (Армения, 1997г., $M=3.7$) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- активность рыб
- эмиссия подпочвенного радона
- концентрация гелия
- концентрация HCO_3
- метод ННП
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.33. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Ноемберянского (18.07.1997г., $M=4.4$) землетрясения.

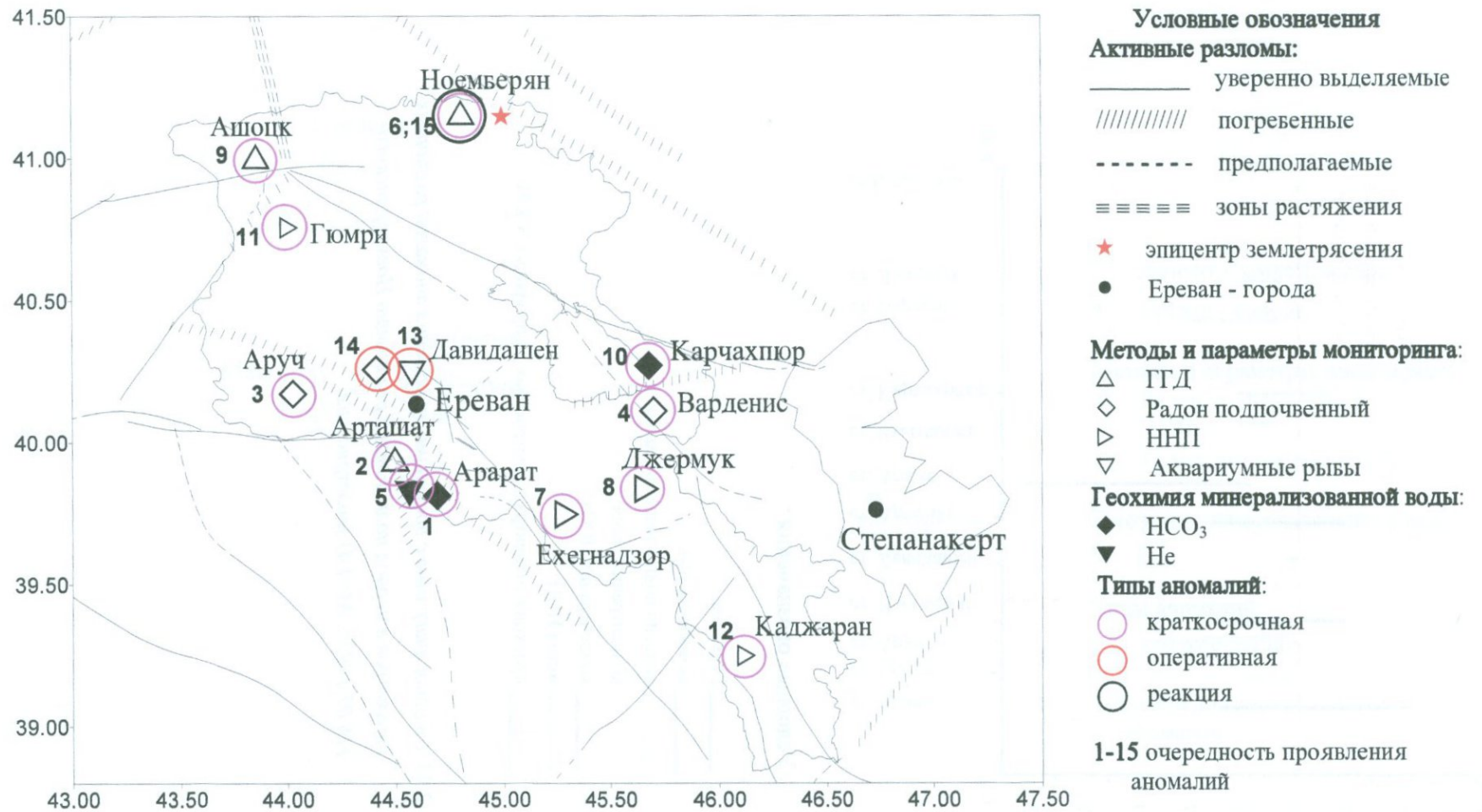
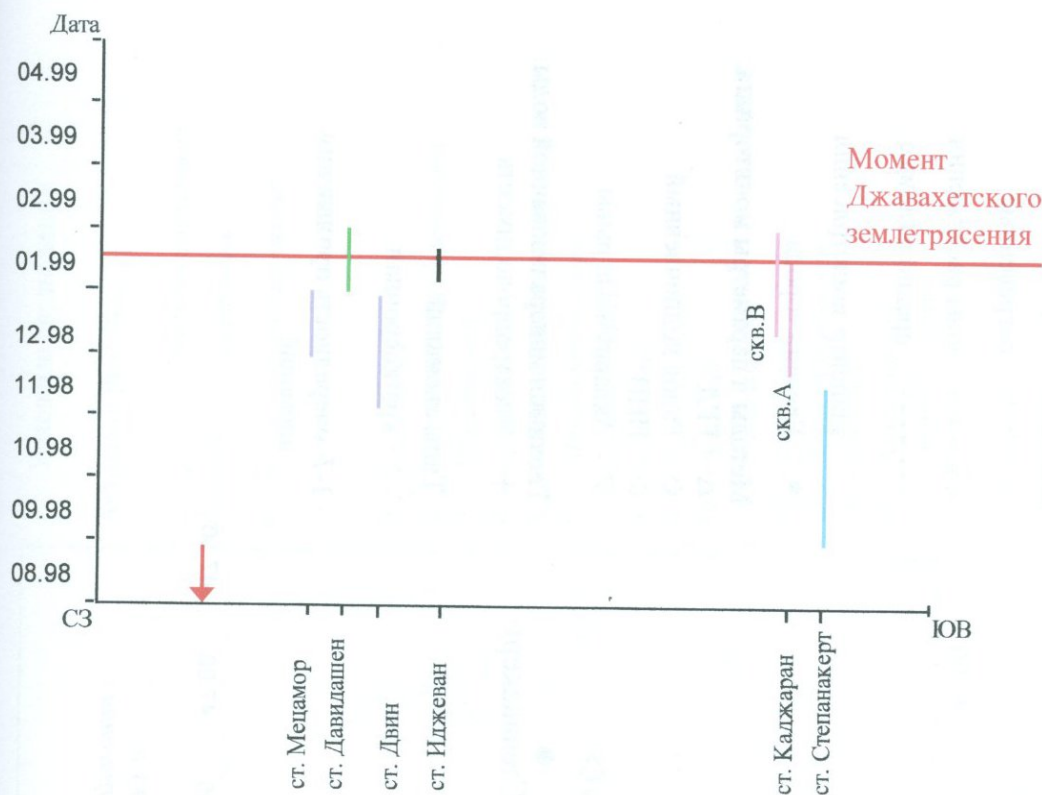


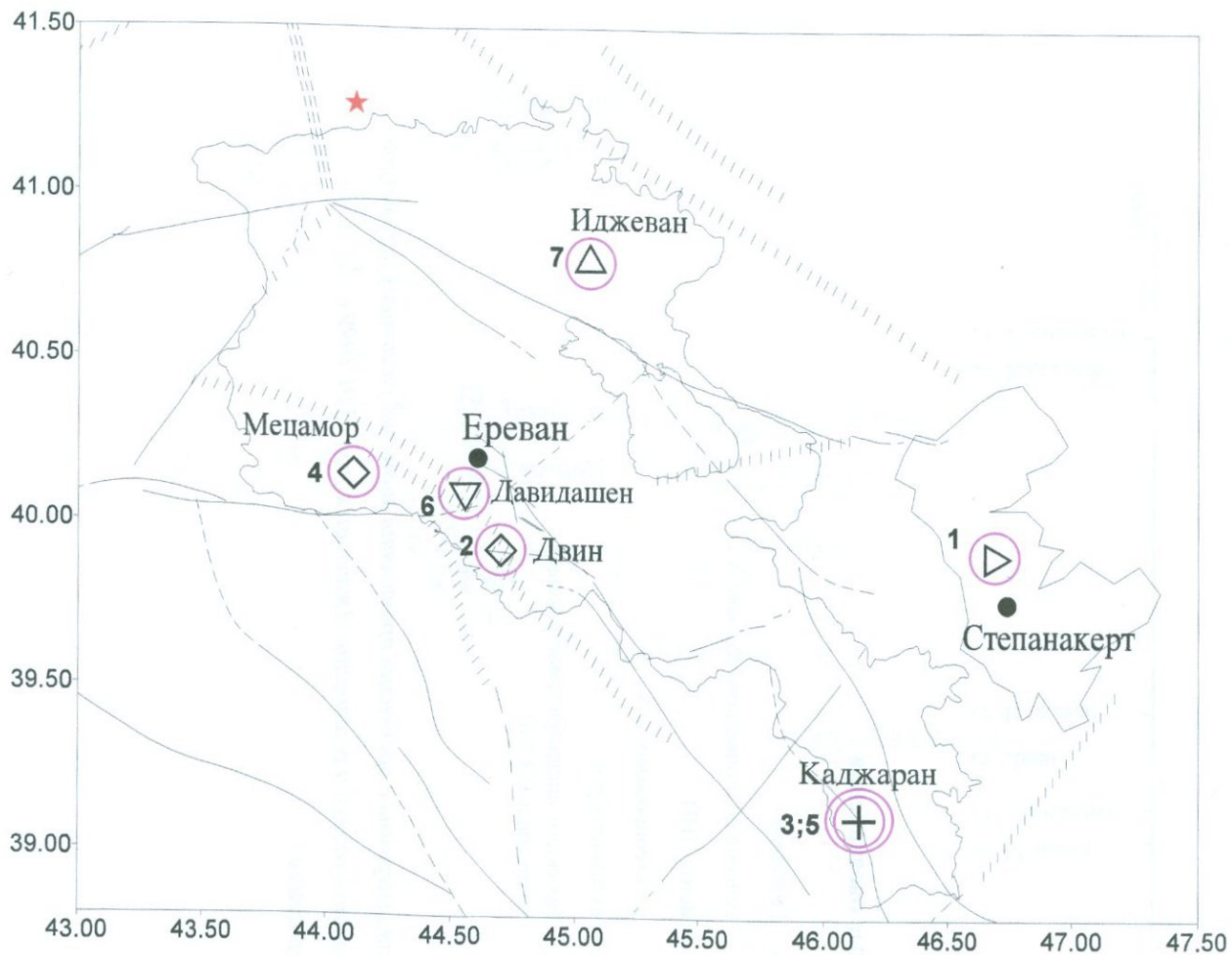
Рис. 2.34. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Ноемберянского (Армения, 1997г., $M=4.4$) землетрясения.



Условные обозначения :

- ГГД-поле
- эмиссия подпочвенного радона
- метод ННП
- электропроводимость
- активность рыб
- ↓ проекция эпицентра землетрясения на профиль СЗ-ЮВ

Рис. 2.35. Сводная диаграмма с временами проявления аномалий различных параметров в период подготовки и реализации Джавахетского (15.01.1999 г., $M=4.3$) землетрясения.



- Условные обозначения**
- Активные разломы:**
- уверенно выделяемые
 - ////////// погребенные
 - ≡≡≡≡≡ зоны растяжения
 - предполагаемые
- ★ эпицентр землетрясения
- Ереван - города
- Методы и параметры мониторинга:**
- △ ГГД
 - ◇ Радон почвенный
 - ▷ ННП
 - ▽ Аквариумные рыбы
- Геохимия минерализованной воды:**
- + Электропроводность
- Типы аномалий:**
- краткосрочная
- 1-7 очередность проявления аномалий

Рис. 2.36. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Джавахетского (Армения, 1999г., M=4.3) землетрясения.

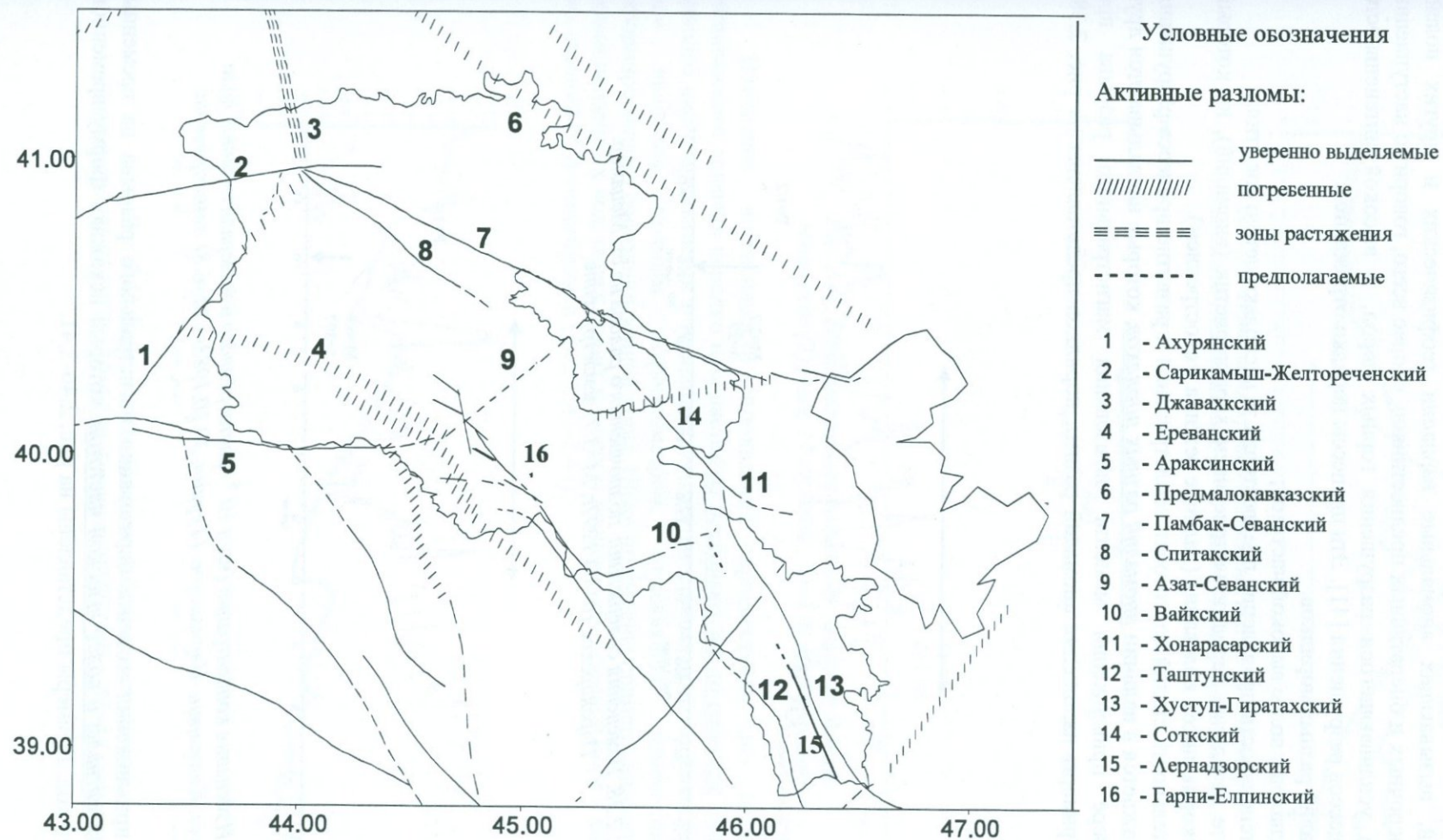


Рис. 2.37. Схематическая карта основных активных разломов территории РА и сопредельных стран (по А.С.Аванесяну)

2.4 Изменение интенсивности проявления предвестников по мере приближения к моменту землетрясения

Временная последовательность проявления предвестников отражают физическую сущность явлений, вызывающих аномальные вариации геофизических и других полей. Появление краткосрочных и оперативных предвестников, скорее всего, говорит о наступлении последней стадии усиливающегося разрушения горных пород, о высокой интенсивности протекающих процессов разрушения [41]. Эти процессы нередко отражаются:

- 1) в наличии аномалий разных порядков;
- 2) в появлении сигналов с более высокой частотой;
- 3) в изменении интенсивности проявления предвестника за несколько лет до события;
- 4) в быстром росте незадолго перед землетрясением характеристик (аномалий), на который накладываются ускоряющиеся колебания (наличие режима с обострением).

Последовательность стадий подготовки землетрясения и развитие процесса разрушения горных пород отражается в наличии аномалий разных порядков, которые накладываются друг на друга по мере приближения момента образования магистрального разрыва при землетрясении. Примеры наложения аномалий разных порядков представлены на рис. 2.38-2.39.

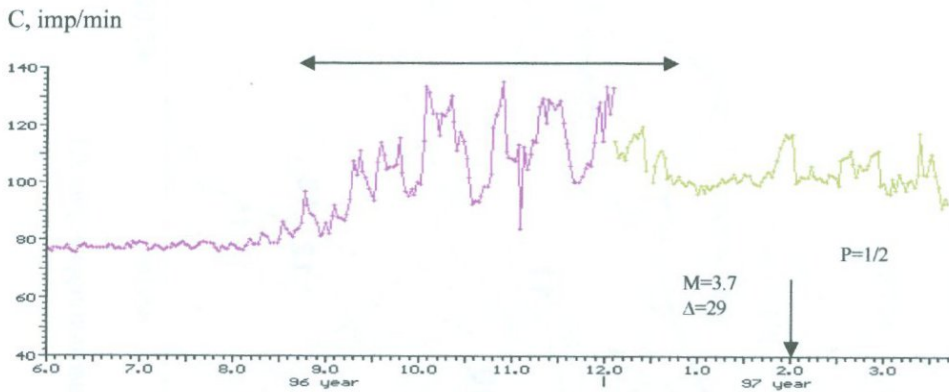


Рис. 2.38. Изменения содержания подпочвенного радона на ст. Мецамор. Паракарское (01.03.1997г., $M=3.7$) землетрясение.

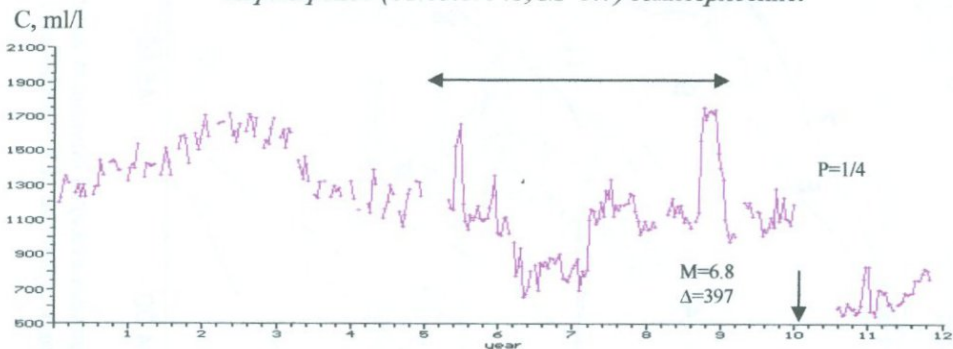


Рис. 2.39. Изменения концентрации (мл/л·10⁻⁶) растворенного в минерализованной воде гелия на ст. Калджаран, Нарманское (Турция, 30.10.1983г., $M=6.8$) землетрясение.

По мере приближения момента образования магистрального разрыва на временных рядах появляются сигналы с более высокой частотой, которые искажают форму временного ряда, не меняя его ход. Примеры представлены на рис. 2.40-2.41.

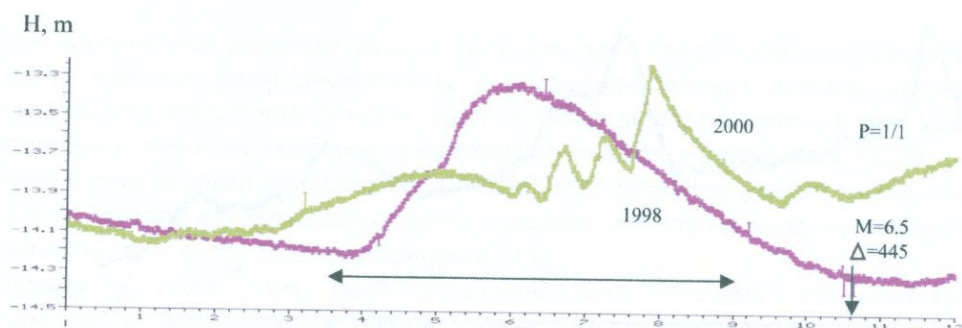


Рис. 2.40. Изменения уровня подземных вод на ст. Ноемберян. Бакинское (Азербайджан, 25.11.2000г., $M=6.5$) землетрясение.

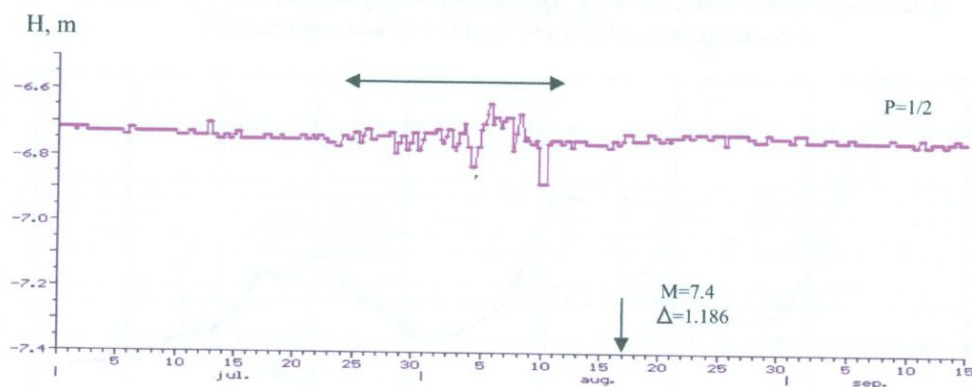


Рис. 2.41. Вариации уровня подземных вод на ст. Ашоцк. Измитское (Турция, 17.08.1999г., $M=7.4$) землетрясение

Изменение интенсивности проявления предвестника по мере приближения сейсмического события нередко начинается за несколько лет до события. Эта закономерность наиболее часто проявляется в вариациях уровня подземных вод, поскольку изменения ГГД-поля являются прямым деформометром, отражающим изменения напряженно-деформированного состояния земной коры. Ниже приведены примеры аномальных понижений уровня подземных вод, отражающих процессы расширения в земной коре в районах установки трех станций ГГД-мониторинга (рис. 2.42-2.44).

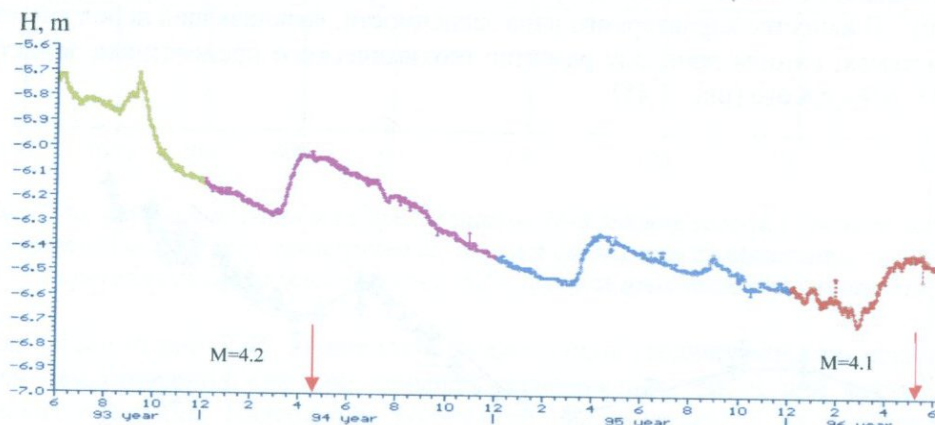


Рис. 2.42. Вариации уровня подземных вод на ст. Ашоцк. Бавринское (18.05.1994г., $M=4.2$) и Ашоцкое (09.06.1996г., $M=4.1$) землетрясения.

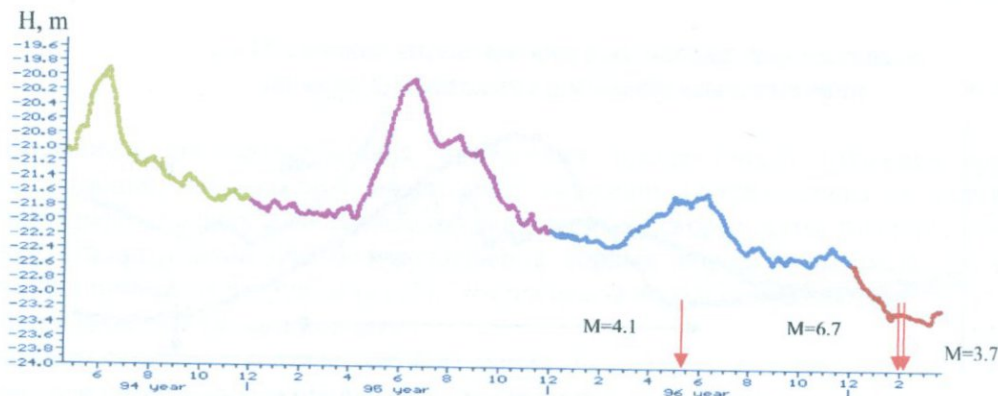


Рис. 2.43. Вариации уровня подземных вод на ст. Карчахпюр. Ашоцкое (09.06.1996г., $M=4.1$), Ардевилское (Иран, 28.02.1997г., $M=6.7$) и Паракарское (01.03.1997г., $M=3.7$) землетрясения.

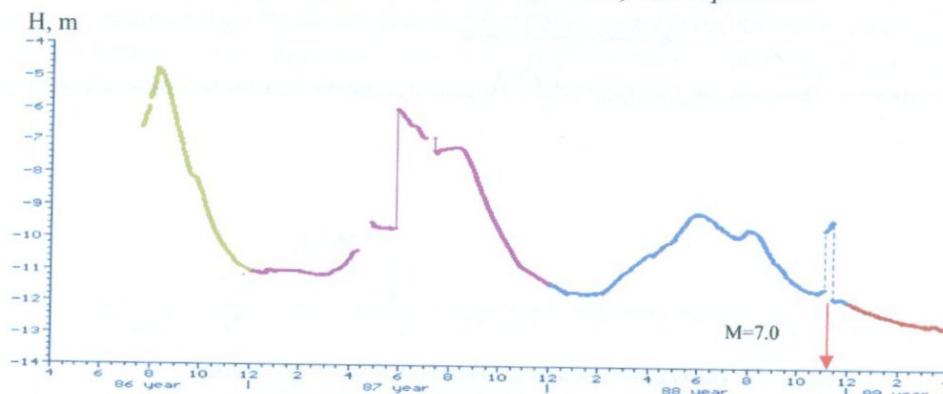


Рис. 2.44. Изменения уровня подземных вод на ст. Ноябрьян. Спитакское (07.12.1988г., $M=7.0$) землетрясение.

Г.Г.Малинецкий и С.П.Курдюмов [32] считают, что “графики поведения характеристик, описывающих сложно организованную иерархическую систему – тектонический разлом – незадолго перед катастрофой демонстрируют *быстрый катастрофический рост, на который накладываются ускоряющиеся колебания*. Следует обратить внимание на то, что асимптотикой таких процессов перед катастрофой является так называемый *режим с обострением* (когда одна или несколько величин, характеризующих систему, за конечное время вырастают до бесконечности)”. В качестве характерного вида зависимости, возникающей перед катастрофами в сложных системах, авторы приводят развитие геохимического предвестника землетрясения 17.01.1995г. $M=6.9$ в г.Кобе (рис. 2.45).

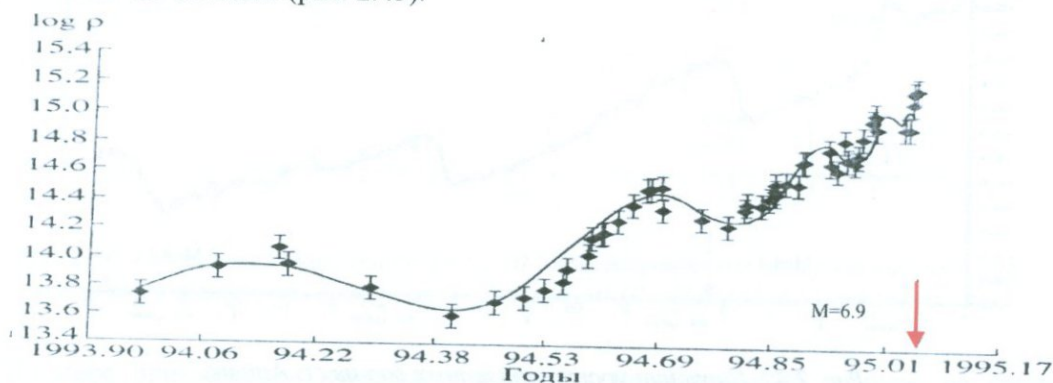


Рис. 2.45. Зависимость от времени логарифма концентрации ионов хлора в родниках перед катастрофическим землетрясением в Кобе (Япония) в 1995г. Точки – это точные данные, сплошная кривая – сглаженная зависимость, построенная по ним [32].

Как справедливо полагают авторы [32], для того чтобы повысить качество прогноза, нужно иметь длинные ряды достоверных и достаточно точных данных, характеризующих различные стороны изучаемого объекта. Именно такие данные имеются в базе данных НССЗ. На современных представлениях о самоорганизующейся критичности (СОК), которые в приложении к сейсмологии описывают взаимодействие разрывов разного ранга, коллективные эффекты и ускорение их образования перед сильным землетрясением, основываются в своих исследованиях и другие известные сейсмологи [49].

Оценим в свете этих идей поведение всех тестовых аномалий-предвестников ("характеристик"), включенных в Каталог предвестников протестированных землетрясений. Поле проявления всех предвестников 11-и сильных региональных ($M \geq 6.0$) и 7-и местных ощутимых ($3.7 \leq M \leq 5.0$) сейсмических событий представлено на рис. 2.46.

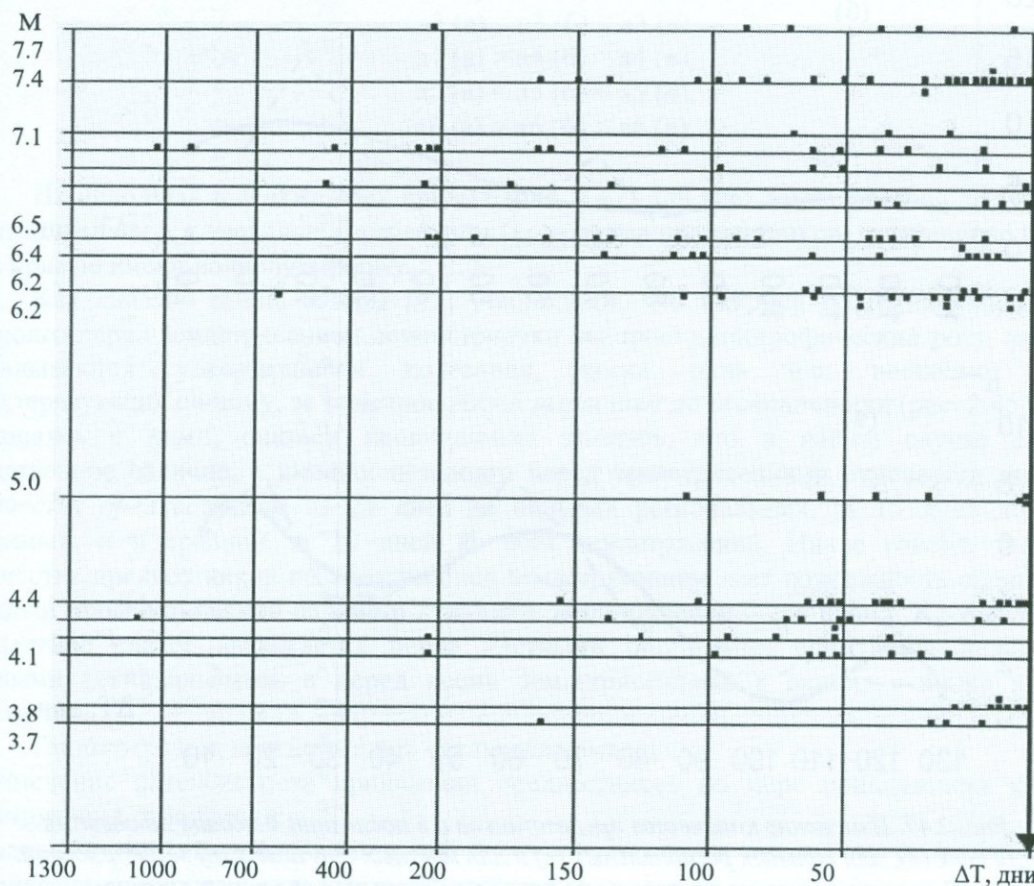


Рис. 2.46. Поле проявления всех предвестников 18-и землетрясений. Стрелкой обозначен совмещенный момент всех землетрясений, точками обозначены предвестники, M – магнитуды протестированных землетрясений, ΔT – времена проявления предвестников.

Как видно из рис. 2.46, количество предвестников увеличивается по мере приближения к моменту землетрясения как при сильных региональных, так и при местных ощутимых сейсмических событиях. Наибольшее количество предвестников и их разнообразие как по параметрам, так и по формам проявления наблюдается в последние 4 месяца до событий.

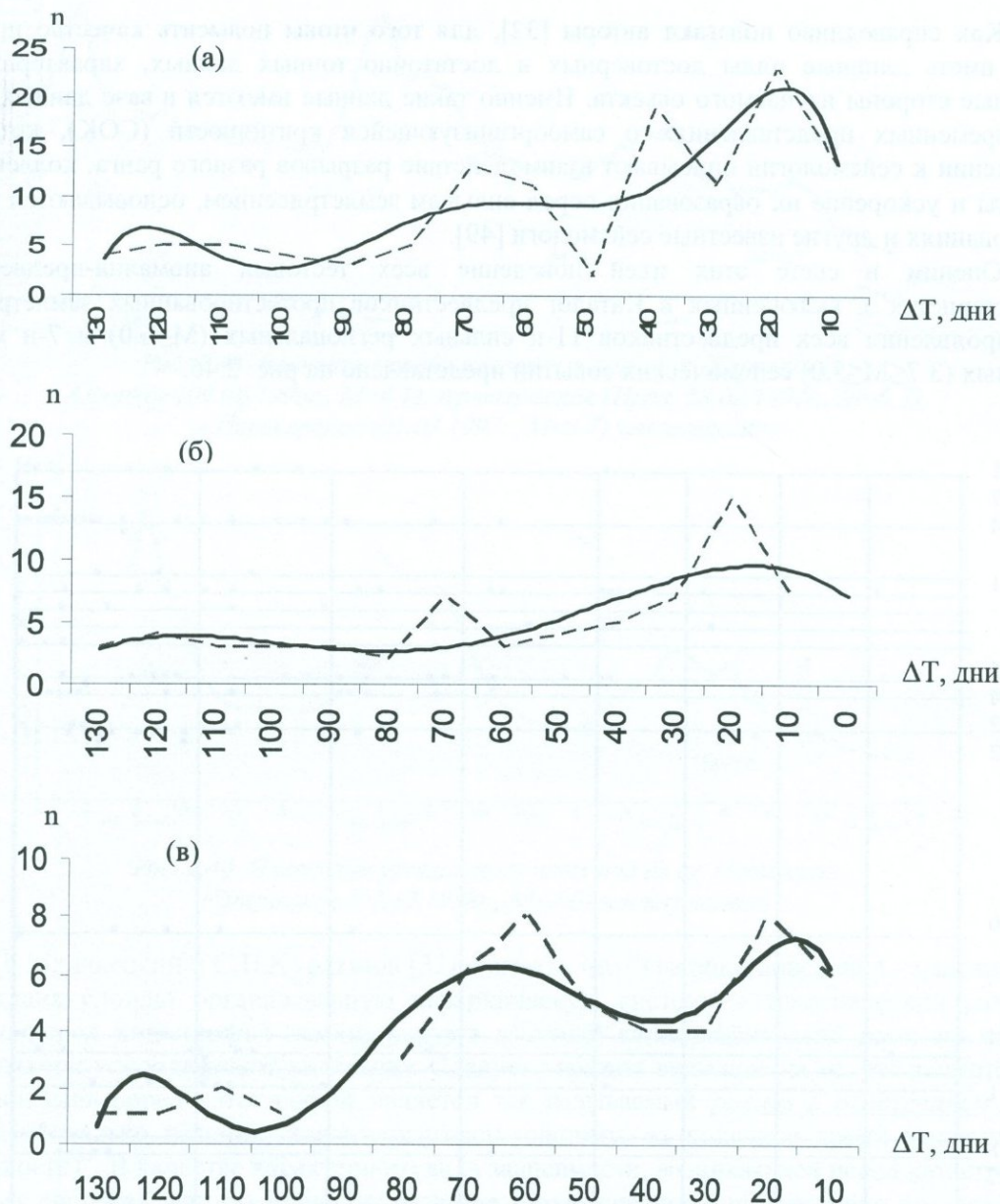


Рис. 2.47. Изменение количества предвестников n в последние 4 месяца до события для всех (а), для сильных региональных (б) и для местных ощутимых (в) землетрясений.

Пунктирные кривые построены по исходным данным, а сплошные кривые – это сглаженные зависимости, построенные по ним.

Более детально показанная на рис. 2.46 картина увеличения количества предвестников в последние 4 месяца до сейсмических событий представлена в графическом виде на рис. 2.47: для всех событий (рис. 2.47а), для сильных региональных (рис. 2.47б) и для местных ощутимых (рис. 2.47в) сейсмических событий. Сглаженным кривым соответствует полином 6-го порядка. Получены следующие уравнения:

а) для всех землетрясений:

$$Y = -0.0017x^6 + 0.068x^5 - 1.0662x^4 + 8.089x^3 - 30.310x^2 + 51.109x - 24.252 \quad (2.1)$$

б) для сильных региональных землетрясений:

$$Y = -0.0013x^6 + 0.054x^5 - 0.8316x^4 + 6.195x^3 - 22.887x^2 + 38.199x - 17.965 \quad (2.2)$$

в) для местных ощутимых землетрясений:

$$Y = -0.0008x^6 + 0.035x^5 - 0.5634x^4 + 4.398x^3 - 16.694x^2 + 26.327x - 14.839 \quad (2.3)$$

Коэффициенты полинома ($a_1 - a_6$) и постоянная представлены в таблице 2.1.

Табл. 2.1

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	Постоянная
а)	- 0.0017	0.068	-1.0662	8.0887	-30.31	51.109	-24.252
б)	- 0.0013	0.054	-0.8316	6.1945	-22.887	38.199	-17.965
в)	- 0.0008	0.0345	-0.5634	4.3977	-16.694	26.327	-14.839

Коэффициенты, представленные в виде неравенств (2.4), также отражают волнообразное увеличение количества предвестников l по мере приближения землетрясений.

$$\begin{aligned}
 a_1(a) &< a_1(b) < a_1(v), \\
 a_2(a) &> a_2(b) > a_2(v), \\
 a_3(a) &< a_3(b) < a_3(v), \\
 a_4(a) &> a_4(b) > a_4(v), \\
 a_5(a) &< a_5(b) < a_5(v), \\
 a_6(a) &> a_6(b) > a_6(v).
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

На исходных и сглаженных кривых (рис. 2.47) для всех землетрясений за 100 дней до события отмечается увеличение амплитуды (количества предвестников) и изменение частоты, а сами кривые имеют волновую форму.

Как сказано выше, авторы [32] утверждают, что графики поведения характеристик незадолго перед землетрясением демонстрируют быстрый катастрофический рост, на который накладываются ускоряющиеся колебания, когда одна или несколько величин, характеризующих систему, за конечное время *вырастают до бесконечности* (рис. 2.45). В целом соглашаясь с ними, считаем необходимым заметить, что в нашем случае есть одно существенное отличие, а именно: незадолго перед землетрясениями отмечается *уменьшение количества предвестников*: за 25 дней до сильных региональных, за 15 дней до местных ощутимых, и в среднем за 20 дней до всех землетрясений. Иначе говоря, уменьшение количества предвестников незадолго перед землетрясением дает возможность оценить самый сложный прогностический параметр будущего землетрясения – его время. Кроме того, такое уменьшение слабее выражается перед местными ощутимыми событиями, нежели перед сильными региональными, а перед всеми землетрясениями в целом – также в среднем выражении.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Изменение интенсивности проявления предвестников по мере приближения к моменту землетрясения отражается:
 - в наличии аномалий разных порядков,
 - в появлении сигналов с более высокой частотой,
 - в изменении интенсивности проявления предвестника за несколько лет до землетрясения,
 - в наличии режима с обострением (соответствие модели критичности).
2. Наличие режима с обострением, в свою очередь, выражается в том, что:
 - по мере приближения к моменту землетрясения как при сильных региональных, так и при местных ощутимых сейсмических событиях количество предвестников увеличивается; об их волнообразном увеличении свидетельствуют и коэффициенты полинома 6-го порядка,
 - наибольшее количество предвестников и их разнообразие как по параметрам, так и по формам проявления наблюдается в последние 100 дней до события.
3. Вместе с тем, за 25 дней до сильных региональных и за 15 дней до местных ощутимых землетрясений отмечается уменьшение количества предвестников, которое слабее выражается перед местными ощутимыми сейсмическими событиями, чем перед сильными региональными.
4. Появляется возможность оценки самого сложного прогностического параметра будущего землетрясения – его времени.

2.5 Зависимость площади предвестника от магнитуды землетрясения

Научные исследования по предсказанию землетрясений, по мнению К.Касахары, находятся все еще на стадии, когда существенную роль играет эмпиризм. Поэтому важное значение имеет корреляция между землетрясениями и другими явлениями [31].

Нами изучены эмпирические зависимости площади тестовых аномалий от магнитуды M землетрясения и от $M/\lg\Delta$, то есть с поправкой на эпицентральное расстояние Δ . Г.А.Соболев считает, что учет эпицентрального расстояния Δ улучшает корреляцию между параметрами аномалий и землетрясений, что свидетельствует о связи места возникновения предвестника с очагом готовящегося землетрясения [48]. Об учете расстояния от эпицентра при формализации требований к предвестнику пишет также и Т.Л.Челидзе [51]. Это утверждение вполне справедливо, так как и в нашем случае, как увидим ниже, поправка на эпицентральное расстояние повышает степень корреляционных связей между параметрами.

Для пяти наиболее часто проявляющихся предвестников землетрясений (судя по количеству представленных в Каталоге тестовых аномалий-предвестников, это гидрогеодинамические, гидрогеохимические - концентрация гелия, радоновые, электромагнитные и геомагнитные предвестники) по графикам временных рядов вычислена площадь S каждой тестовой амплитудной аномалии по простой формуле

$$S = A \cdot \Delta t \quad (2.5),$$

где A - амплитуда аномалии, Δt - ее продолжительность.

Поскольку значения S меняются в очень широких пределах, то в графических построениях мы использовали ее логарифм. Для пяти наиболее часто проявляющихся предвестников построены поля зависимости $\lg S$ от M , $\lg S$ от $M/\lg\Delta$, рассчитаны коэффициенты корреляции ρ_1 ($\lg S$ от M) и ρ_2 ($\lg S$ от $M/\lg\Delta$) между параметрами. Представляем результаты.

1. *Гидрогеодинамический (ГГД) предвестник.* Для всех 48-и тестовых аномалий зависимость $\lg S$ от M показана на рис. 2.48, а $\rho_1 = 0,31$.

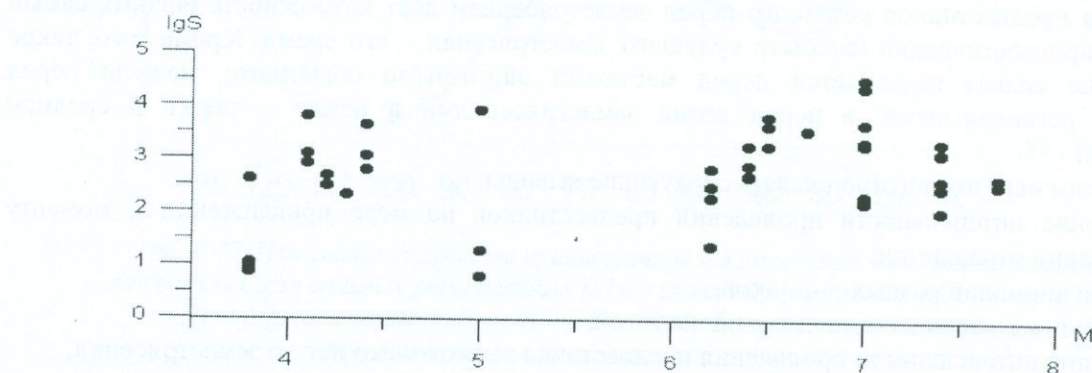


Рис. 2.48. Зависимость $\lg S$ от M для ГГД предвестников.
 A измерялось в сантиметрах, Δt - в днях.

После учета Δ разброс точек незначительно упорядочивается. Зависимость $\lg S$ от $M/\lg\Delta$ показана на рис. 2.49, а $\rho_2 = 0,33$. Как видим, наблюдается тенденция возрастания значений $\lg S$ с увеличением $M/\lg\Delta$.

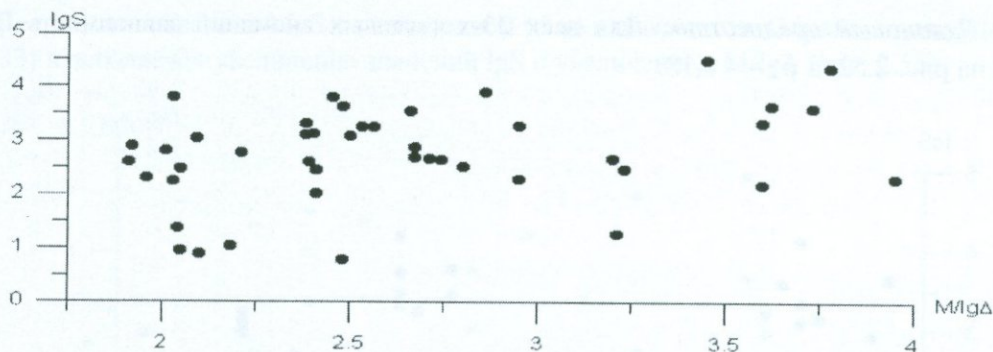


Рис. 2.49. Зависимость lgS от $M/lg\Delta$.

2. *Гидрогеохимический предвестник - концентрация гелия.* Для всех 17-и тестовых аномалий зависимость lgS от M показана на рис. 2.50, а $\rho_1 = -0,06$.

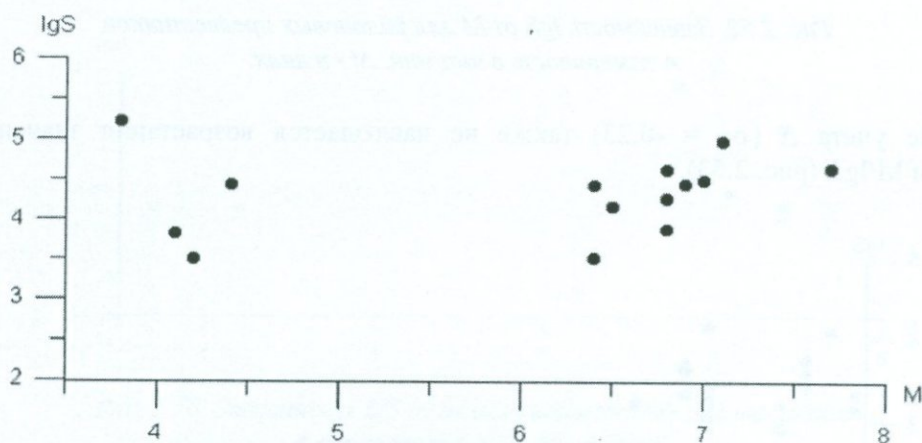


Рис. 2.50. Зависимость lgS от M для гелиевых предвестников.

A измерялось в $мл/л \cdot 10^{-6}$, Δt - в днях.

После учета Δ разброс точек существенно упорядочивается. Зависимость lgS от $M/lg\Delta$ показана на рис. 2.51, а $\rho_2 = 0,46$. Как видим, и в этом случае наблюдается тенденция возрастания значений lgS с увеличением $M/lg\Delta$.

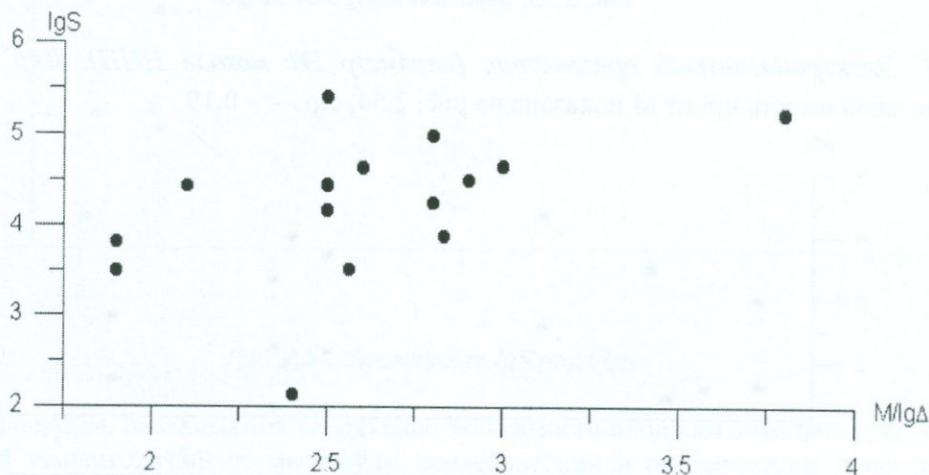


Рис. 2.51. Зависимость lgS от $M/lg\Delta$.

3. *Радоновый предвестник.* Для всех 33-х тестовых аномалий зависимость $\lg S$ от M показана на рис. 2.52, а $\rho_1 = -0,18$.

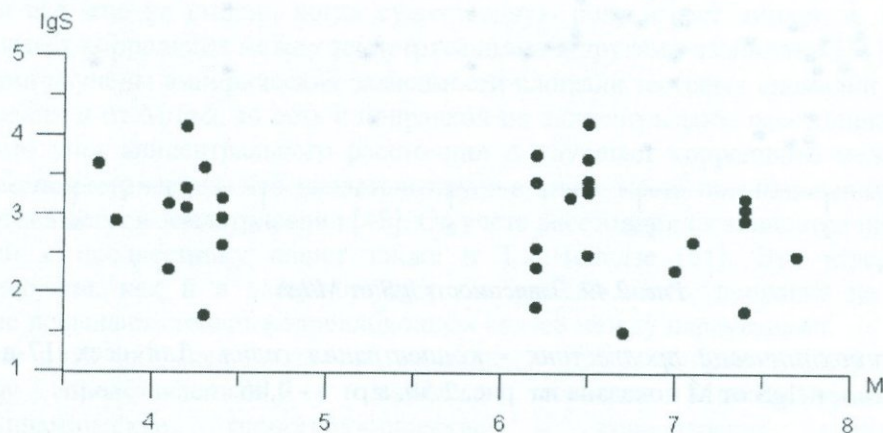


Рис. 2.52. Зависимость $\lg S$ от M для радоновых предвестников.
А измерялось в имп/мин, Δt - в днях.

После учета Δ ($\rho_2 = -0,23$) также не наблюдается возрастания значений $\lg S$ с увеличением $M/\lg \Delta$ (рис. 2.53).

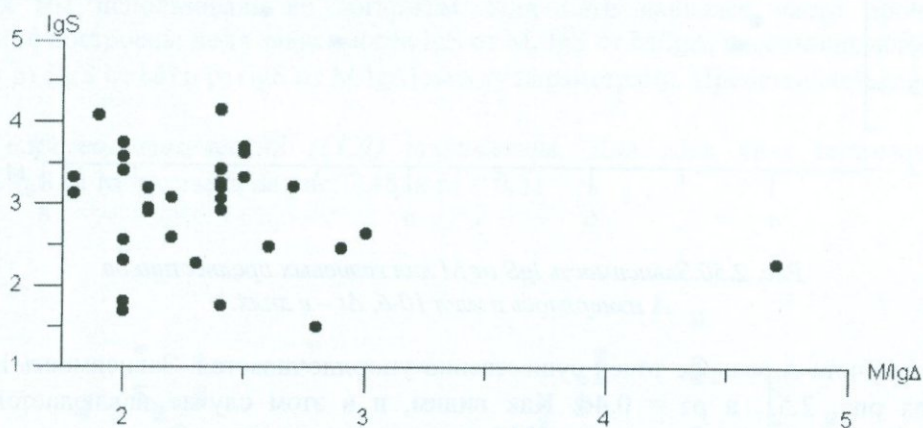


Рис. 2.53. Зависимость $\lg S$ от $M/\lg \Delta$.

4. *Электромагнитный предвестник* (параметр $\mathcal{E} \pm$ метода ННП). Для 21-й тестовой аномалии зависимость $\lg S$ от M показана на рис. 2.54, а $\rho_1 = -0,19$.

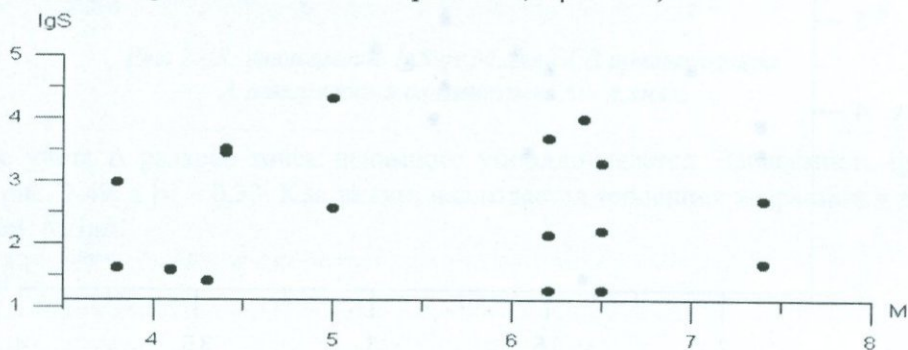


Рис. 2.54. Зависимость $\lg S$ от M для электромагнитных предвестников.
А измерялось в W/m^3 , Δt - в днях.

Возрастания значений $\lg S$ с увеличением M не наблюдается. Однако, после учета Δ ($\rho_2 = 0,33$) наблюдается увеличение значений $\lg S$ с увеличением $M/\lg \Delta$ (рис. 2.55).

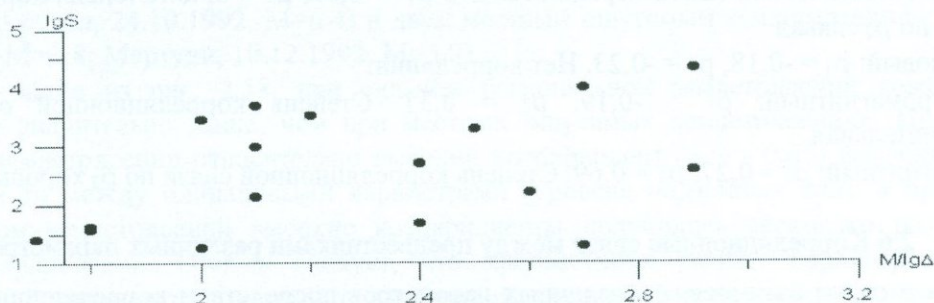


Рис. 2.55. Зависимость $\lg S$ от $M/\lg \Delta$.

5. **Геомагнитный предвестник.** Для всех 9-и тестовых аномалий зависимость $\lg S$ от M показана на рис. 2.56, а $\rho_1 = 0,27$.

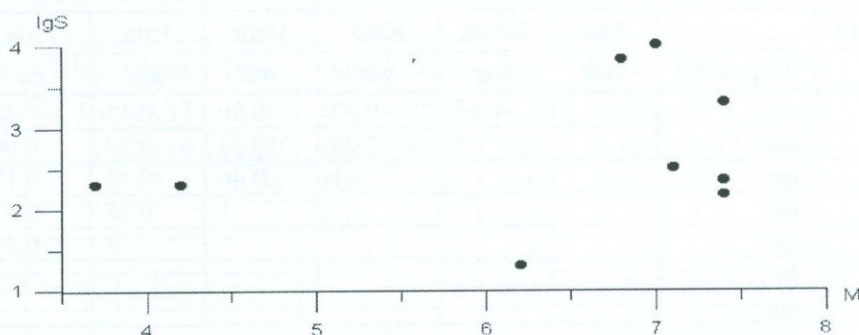


Рис. 2.56. Зависимость $\lg S$ от M для геомагнитных предвестников.
А измерялось в пТл, Δt – в днях.

После учета Δ ($\rho_2 = 0,69$) тенденция возрастания значений $\lg S$ с увеличением $M/\lg \Delta$ становится очевидной (рис. 2.57).

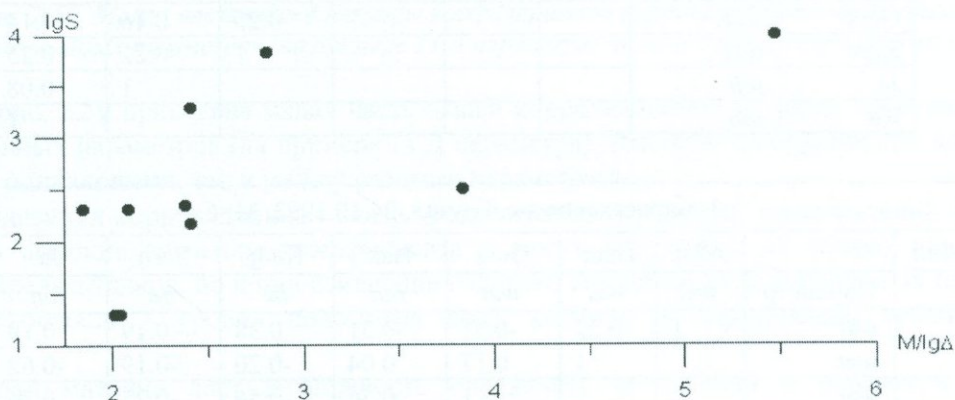


Рис. 2.57. Зависимость $\lg S$ от $M/\lg \Delta$.

Таким образом, наблюдаются следующие зависимости площади пяти наиболее значимых предвестников землетрясений от магнитуды землетрясения и от магнитуды с поправкой на эпицентральное расстояние:

1. Гидрогеодинамический (ГГД): $\rho_1 = 0,31$, $\rho_2 = 0,33$. Степень корреляционной связи по ρ_2 незначительная.
2. Гидрогеохимический (концентрация гелия): $\rho_1 = -0,06$, $\rho_2 = 0,46$. Степень корреляционной связи по ρ_2 слабая.
3. Радоновый: $\rho_1 = -0,18$, $\rho_2 = -0,23$. Нет корреляции.
4. Электромагнитный: $\rho_1 = -0,19$, $\rho_2 = 0,33$. Степень корреляционной связи по ρ_2 незначительная.
5. Геомагнитный: $\rho_1 = 0,27$, $\rho_2 = 0,69$. Степень корреляционной связи по ρ_2 хорошая.

2.6 Корреляционные связи между предвестниками различных параметров

Рассмотрим взаимосвязь различных параметров посредством корреляционного анализа данных. Это позволит более точно оценить текущую сейсмическую опасность и эффективность пунктов мониторинга. При выполнении данной работы были написаны несколько прикладных программ, которые использованы во время расчетов [2, 25, 52].

1. Цовагюхское з-е, 19.02.1993, M=3.8								
Станция		Azat	Noem	Karc	Dzor	Para	Tsov	Davp
	Параметр	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>rad</i>	<i>he</i>	<i>nnp</i>
Azat	<i>wat</i>	1	-0.66	-0.23	-0.30	0.15	-0.28	0.14
Noem	<i>wat</i>		1	0.20	0.32	-0.39	0.06	-0.26
Karc	<i>wat</i>			1	0.46	-0.41	0.12	-0.21
Dzor	<i>wat</i>				1	-0.38	0.01	-0.43
Para	<i>rad</i>					1	-0.40	0.25
Tsov	<i>he</i>						1	-0.12
Davp	<i>nnp</i>							1

2. Мартунинское з-е, 10.12.1992, M=5.0							
Станция		Dzor	Jerm	Gors	Karc	Ja	Re
	Параметр	<i>wat</i>	<i>nnp</i>	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>ion</i>	<i>ion</i>
Dzor	<i>wat</i>	1	0.19	0.01	0.13	-0.03	-0.22
Jerm	<i>nnp</i>		1	-0.30	-0.10	0.03	-0.26
Gors	<i>wat</i>			1	0.25	0.16	0.14
Karc	<i>wat</i>				1	-0.22	0.25
Ja	<i>ion</i>					1	-0.08
Re	<i>ion</i>						1

3. Барисахское з-е, Грузия, 24.10.1992, M=6.4									
Станция		Azat	Dzor	Gors	Isak	Kadj	Surn	Ja	Re
	Параметр	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>wat</i>	<i>rad</i>	<i>he</i>	<i>he</i>	<i>ion</i>	<i>ion</i>
Azat	<i>wat</i>	1	0.22	-0.51	-0.51	0.38	0.19	0.19	0.15
Dzor	<i>wat</i>		1	0.17	0.04	-0.20	-0.19	-0.62	0.75
Gors	<i>wat</i>			1	0.56	-0.56	-0.23	-0.56	-0.56
Isak	<i>rad</i>				1	-0.60	-0.32	0.45	-0.56
Kadj	<i>he</i>					1	0.37	0.63	-0.21
Surn	<i>he</i>						1	0.45	-0.16
Ja	<i>ion</i>							1	-0.56
Re	<i>ion</i>								1

Рис. 2.58. Матрицы коэффициентов корреляции предвестников землетрясений.

В результате корреляционного анализа рассчитаны матрицы коэффициентов корреляции ρ между соответствующими параметрами для аномальных интервалов временных рядов (рис. 2.58), предшествующих одному сильному региональному землетрясению (Барисахо, Грузия, 24.10.1992, $M=6.4$) и двум местным ощутимым землетрясениям (Цовагюх, 19.02.1993, $M=3.8$; Мартуни, 10.12.1992, $M=5.0$).

Как видно из рис. 2.58, при сильном региональном землетрясении коэффициенты корреляции значительно выше, чем при местных ощутимых землетрясениях. При местном ощутимом землетрясении относительно высокий коэффициент ($\rho = -0,65$) получился только один раз, и то между одинаковыми параметрами (уровень подземных вод), а при сильном региональном землетрясении высокие коэффициенты получились несколько раз и между разными параметрами. Отсюда следует, что предвестники разных параметров сильного землетрясения проявляются более четко и формой проявления похожи друг на друга. То же самое нельзя сказать о местных ощутимых землетрясениях, предвестники которых могут выражаться в самых разных формах, в результате чего коэффициенты оказались маленькими. Учитывая это обстоятельство, корреляционный анализ был выполнен также и между полными временными рядами 1992-го и начала 1993-го года, а не только между их аномальными интервалами. Именно в этот период и произошли взятые в качестве примера три землетрясения.

Станции	Arta	Asho	Azat	Dzor	Ekhg	Gors	Ijev	Karc	Kuch	Mets	Noem	Shir
Arta	1	0.16	-0.33	-0.29	0.31	-0.26	-0.26	-0.93	0.71	-0.07	0.33	0.27
Asho		1	0.19	0.20	0.91	-0.47	0.56	-0.18	0.67	-0.82	0.51	0.33
Azat			1	0.86	0.08	-0.46	-0.01	0.28	-0.31	-0.15	-0.44	-0.57
Dzor				1	0.03	-0.53	0.06	0.27	-0.21	-0.15	-0.47	-0.58
Ekhg					1	-0.42	0.62	-0.40	0.79	-0.79	0.69	0.54
Gors						1	-0.17	0.28	-0.33	0.45	-0.04	0.09
Ijev							1	0.13	0.42	-0.67	0.70	0.63
Karc								1	-0.70	0.04	-0.38	-0.35
Kuch									1	-0.62	0.75	0.61
Mets										1	-0.58	-0.35
Noem											1	0.92
Shir												1

Рис. 2.59. Малая часть общей матрицы коэффициентов корреляции временных рядов использованных параметров (на примере ГГД параметра) за 1992 год и начало 1993-го года.

На рис. 2.59 приведена малая часть общей корреляционной матрицы временных рядов использованных параметров (на примере ГГД параметра). Высокие коэффициенты получились как между одинаковыми, так и между разными параметрами.

Анализируя корреляционные связи предвестников изучаемых землетрясений, мы имели ввиду, что высокие значения коэффициента ρ могут получаться не только при наличии аномалий-предвестников, но и при изменении годового сезонного хода измеряемых параметров (в первую очередь - уровня подземных вод), которое не обусловлено сейсмогенными причинами.

Общая матрица дает возможность определить те станции и параметры, степень реагируемости которых на подготовку изучаемых землетрясений слабая по сравнению с другими станциями и параметрами (например, Аруч - подпочвенный радон, Каджаран - концентрация хлора, Горис - ГГД).

На основе матрицы рассчитанных коэффициентов построены рисунки корреляционных связей между станциями и параметрами, которые представлены на последующих 3-х листах. На них показаны те связи между параметрами, ρ которых больше чем 0.6 (рис. 2.60), 0.7 (рис. 2.61) и 0.8 (рис. 2.62). Сравнительный анализ построенных диаграмм дает возможность

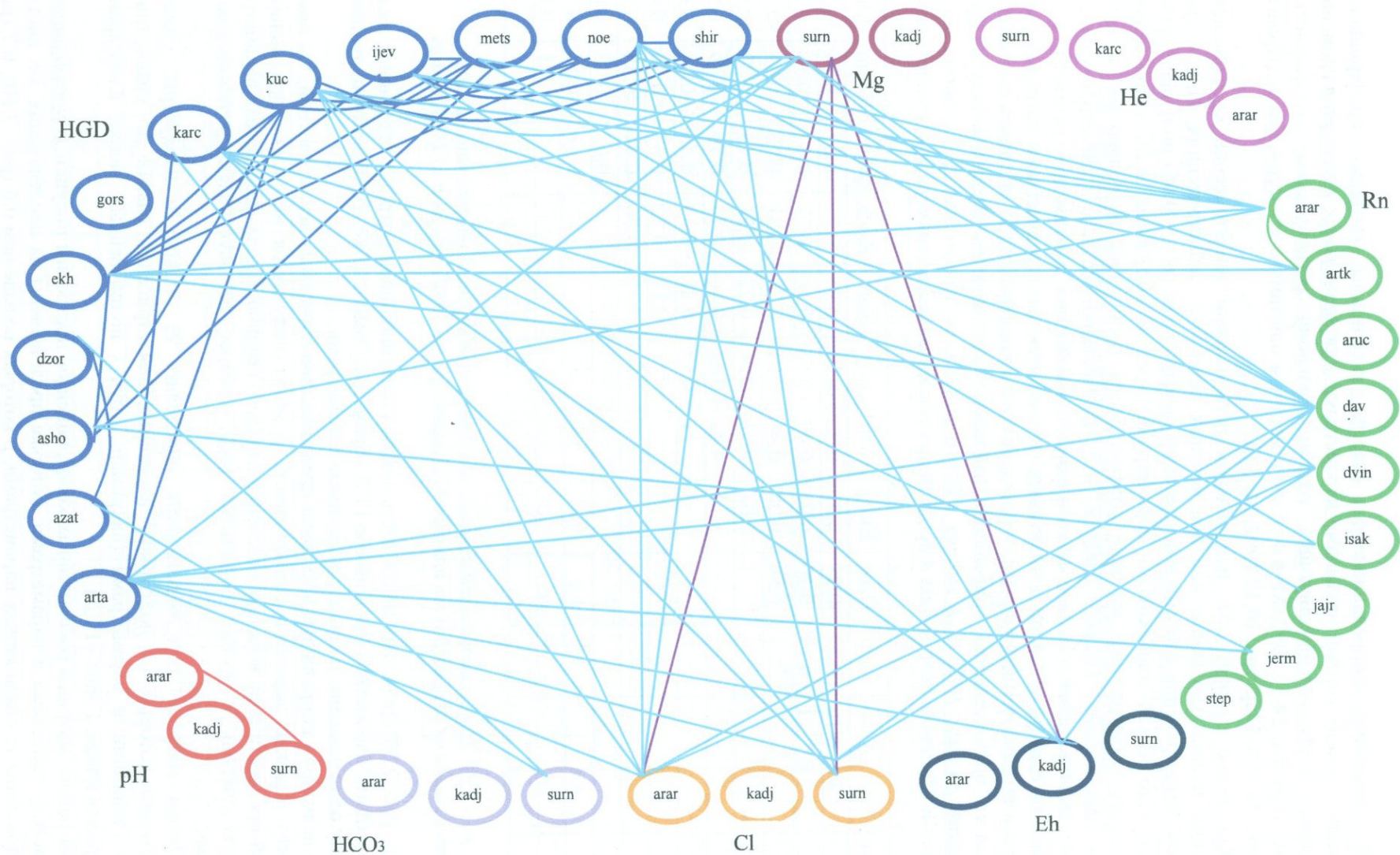


Рис. 2.60. Корреляционные связи между станциями и параметрами ($\rho > 0.6$).

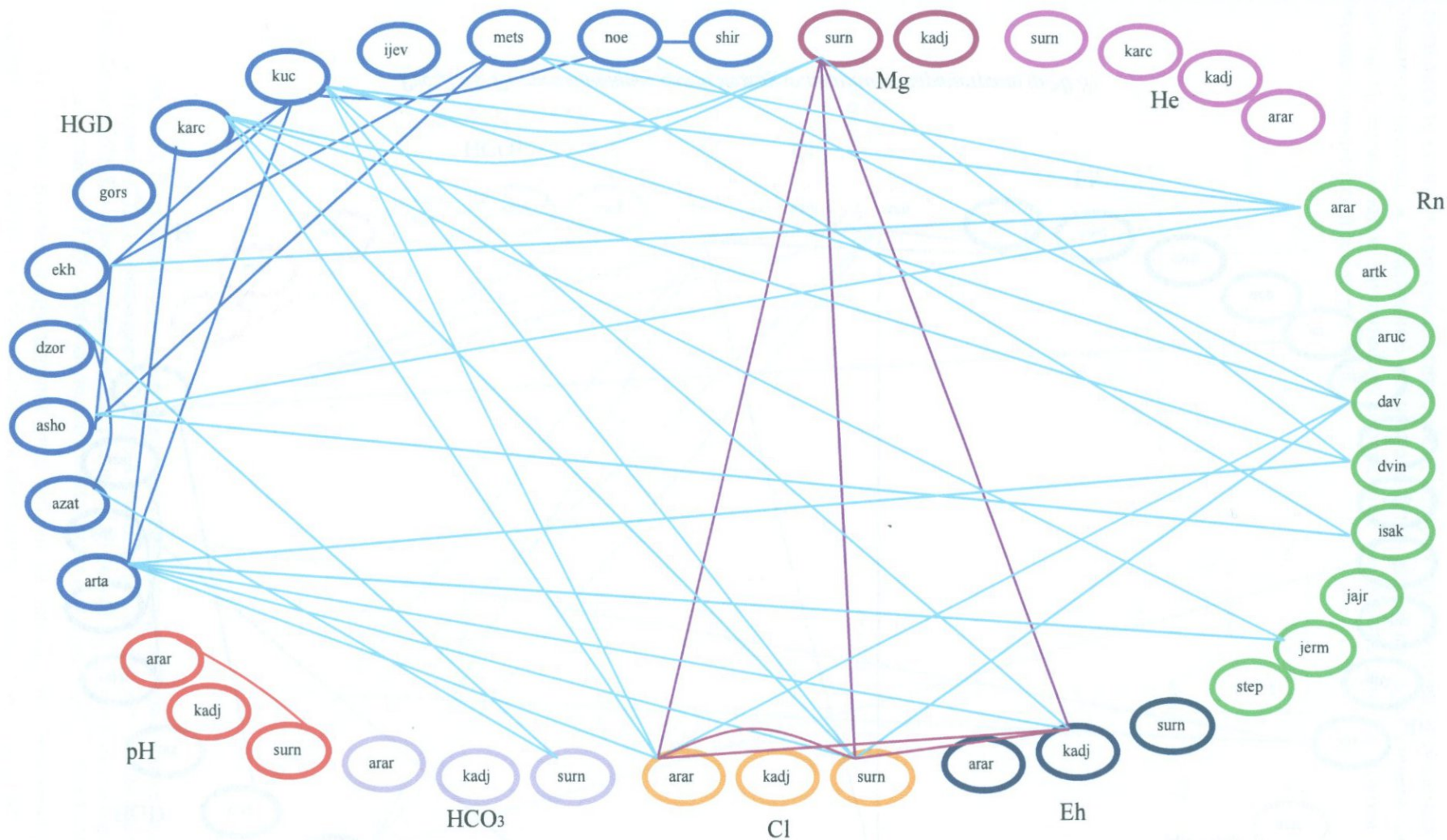


Рис. 2.61. Корреляционные связи между станциями и параметрами ($\rho > 0.7$).

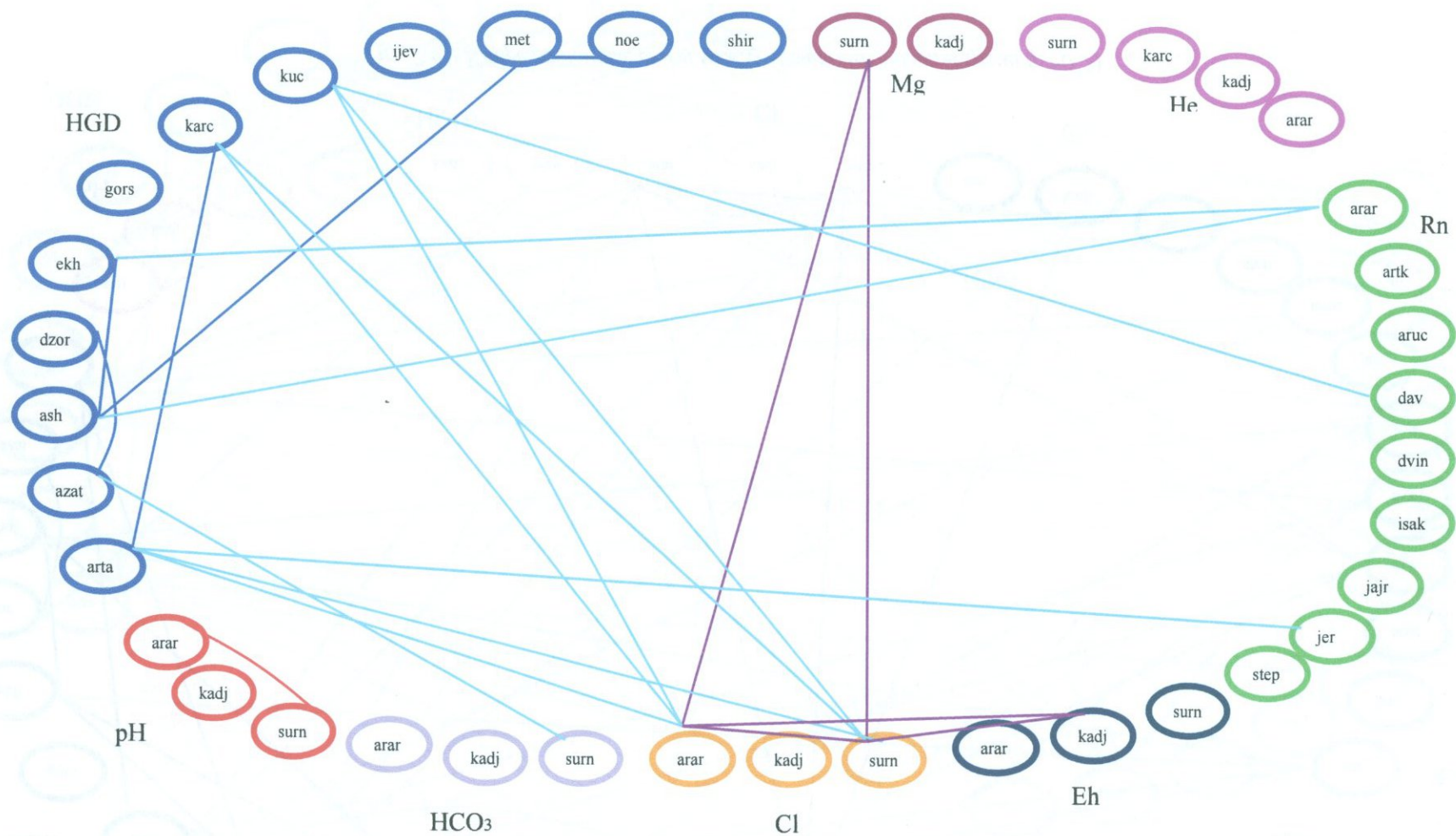


Рис. 2.62. Корреляционные связи между станциями и параметрами ($\rho > 0.8$).

выделить те станции, степень реагируемости которых на подготовку изучаемых землетрясений наиболее высока, а выделенные на них аномалии имеют высокую степень взаимосвязи и с большой вероятностью закономерно отображают следующие друг за другом разные стадии процесса подготовки землетрясений.

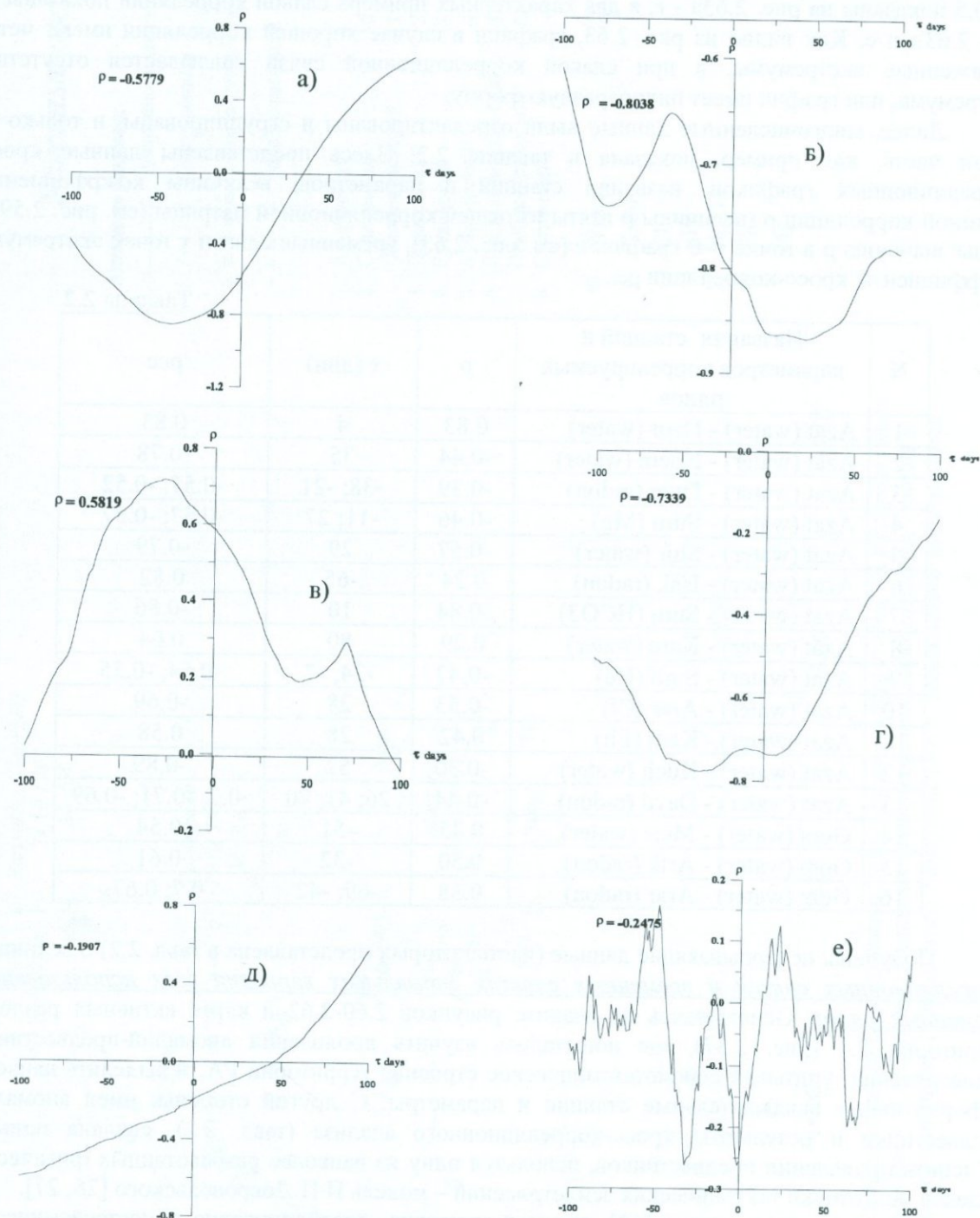


Рис. 2.63. Полученные в результате кросс-корреляционного анализа графики для станций:
а) Мецамор (ГГД) – Ноемберян (ГГД); б) Карчахпюр (ГГД) – Арарат (концентрация хлора);
в) Мецамор (ГГД) – Артик (подпочвенный радон); г) Кучак (ГГД) – Каджаран (концентрация HCO_3);
д) Арташат (ГГД) – Исаакян (подпочвенный радон); е) Арарат (рН) – Каджаран (рН).

С целью изучения проявлений этих стадий на аномальные изменения, закономерно сменяющие друг друга, и для определения временного сдвига τ между аномалиями проведен

кросс-корреляционный анализ заранее выбранных рядов для случаев с $\rho > 0.2$, с временным смещением 100 дней. В результате кросс-корреляционного анализа получено большое количество графиков, выражающих величины ρ и τ , наиболее характерные примеры которых приведены на рис. 2.63. Примеры кривых с четко выраженным экстремумом и коэффициентом $|\rho| > 0.5$ показаны на рис. 2.63а - г, а два характерных примера слабой корреляции показаны на рис. 2.63д и е. Как видно из рис. 2.63, графики в случае хорошей корреляции имеют четко выраженные экстремумы, а при слабой корреляционной связи наблюдается отсутствие экстремума, или график имеет пилообразную форму.

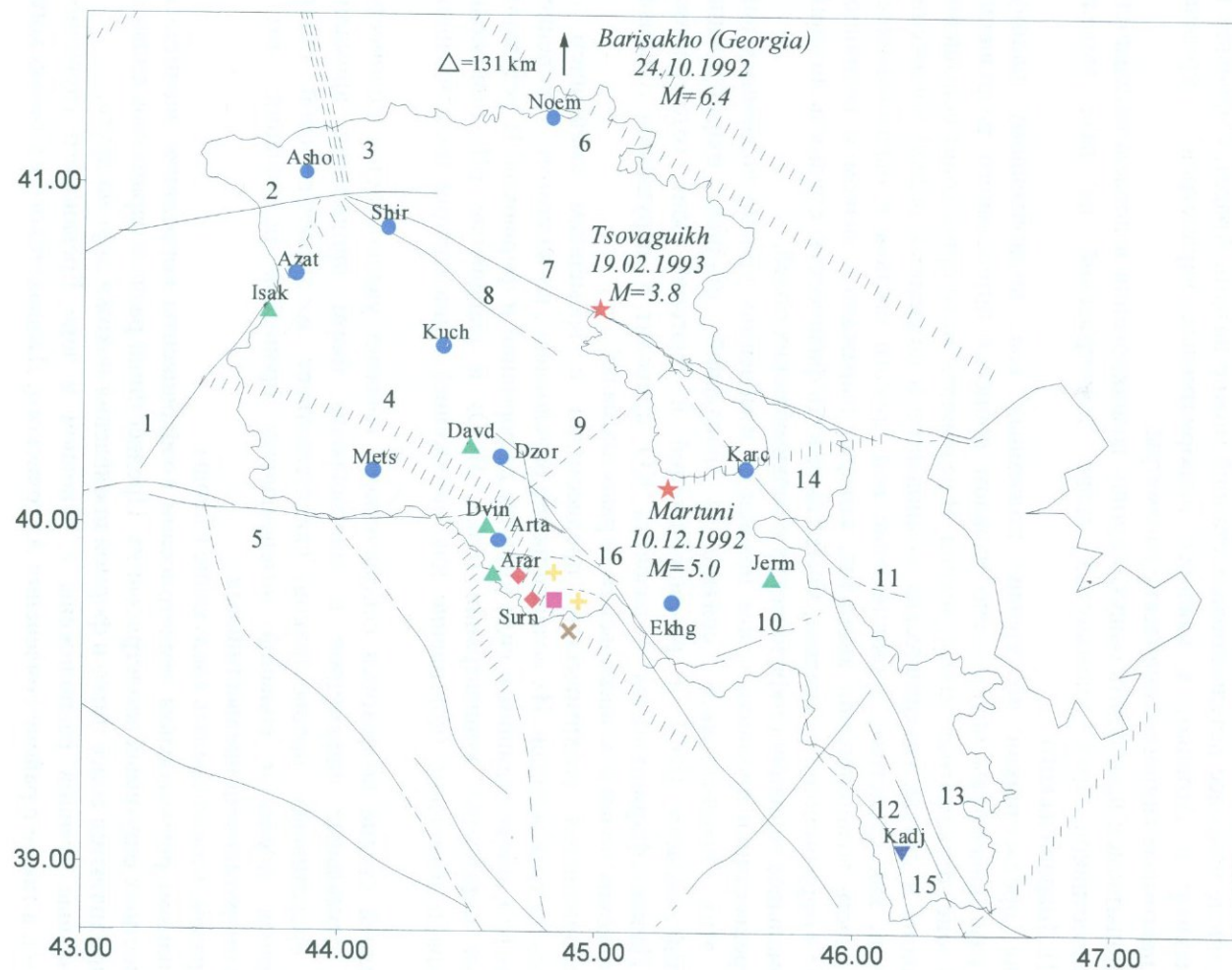
Далее, многочисленные данные были отредактированы и сгруппированы, и только их малая часть, как пример, показана в таблице 2.2. Здесь представлены данные кросс-корреляционных графиков: названия станций и параметров, величины коэффициентов взаимной корреляции ρ (величины ρ взяты из общей корреляционной матрицы (см. рис. 2.59) и равны значению ρ в точке $\tau=0$ графиков (см. рис. 2.63), временные сдвиги τ точек экстремума, коэффициенты кросс-корреляции ρ_{cc} .

Таблица 2.2

N	Названия станций и параметров коррелируемых рядов	ρ	τ (дни)	ρ_{cc}
1	Azat (water) - Dzor (water)	0.83	4	0.83
2	Azat (water) - Noem (water)	-0.44	35	-0.78
3	Azat (water) - Dvin (radon)	-0.39	-38; -21	-0.57; -0.52
4	Azat (water) - Surn (Mg)	-0.46	-11; 27	-0.57; -0.57
5	Azat (water) - Shir (water)	-0.57	29	-0.79
6	Azat (water) - Isak (radon)	0.24	-65	0.82
7	Azat (water) - Surn (HCO ₃)	-0.84	10	-0.86
8	Azat (water) - Karc (water)	0.29	80	0.64
9	Azat (water) - Surn (He)	-0.47	-24; -7	-0.54; -0.55
10	Azat (water) - Arar (Cl)	-0.53	28	-0.69
11	Azat (water) - Kadj (Eh)	0.42	28	0.58
12	Azat (water) - Kuch (water)	-0.30	52	-0.89
13	Azat (water) - Davd (radon)	-0.44	26; 41; 70	-0.7; -0.71; -0.69
14	Gors (water) - Mets (water)	0.45	-51	0.54
15	Gors (water) - Artk (radon)	0.50	-32	0.61
16	Gors (water) - Arar (radon)	0.38	-69; -42	0.7; 0.67

Получены исчерпывающие данные (часть которых представлена в табл. 2.2) о величинах корреляционных связей и временных сдвигах аномальных вариаций всех использованных временных рядов. Основываясь на анализе рисунков 2.60-2.62 и карте активных разломов территории РА (рис. 2.37), мы попытались изучить проявления аномалий-предвестников землетрясений, учитывая сеймотектоническое строение территории РА, и выделить наиболее информативные наблюдательные станции и параметры. С другой стороны, имея аномалии-предвестники и результаты кросс-корреляционного анализа (табл. 2.2), сделана попытка объяснить проявления предвестников, используя одну из наиболее разработанных физических моделей подготовки тектонических землетрясений – модель И.П.Довровольского [26, 27].

Как отмечено в работе [62], предсейсмические, косейсмические и постсейсмические изменения различных параметров литосферы могут произойти на любом расстоянии от очага землетрясения, если наблюдательная станция и очаг землетрясения находятся в той же самой сейсмоактивной зоне, в нашем случае – в зоне коллизии Аравийской и Евразийской плит. Причем, предсейсмические, косейсмические и постсейсмические изменения обусловлены в основном геологическим строением территории станции.



Условные обозначения

Активные разломы:

- уверенно выделяемые
- ///////// погребенные
- ≡≡≡≡≡ зоны растяжения
- - - - - предполагаемые

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1. Ахурянский | 9. Азат-Севанский |
| 2. Сарикамыш-Желтореченский | 10. Вайкский |
| 3. Джавахкский | 11. Хонарасарский |
| 4. Ереванский | 12. Таштунский |
| 5. Араксинский | 13. Хуступ-Гиратахский |
| 6. Предмалокавказский | 14. Сотский |
| 7. Памбак-Севанский | 15. Лернадзорский |
| 8. Спитакский | 16. Гарни-Елпинский |

- Water
- ▲ Radon
- + Cl
- ◆ pH
- HCO₃
- ▼ Eh
- × Mg

★ - эпицентры землетрясений

Рис. 2.64. Схематическая карта основных активных разломов территории РА и сопредельных стран (по А.С.Аванесяну) и наиболее информативных наблюдательных станций в период подготовки Барисакхского, Мартунинского и Цовагюхского землетрясений.

Попытаемся оценить зоны активизации напряженно-деформационных процессов на территории РА в период времени, охватывающий три изучаемых землетрясения и, в целом, весь 1992г. и начало 1993г., а также определить наиболее информативные станции и параметры.

Как видно на рис. 2.64, аномальные станции расположены в основном в зоне Ереванского глубинного активного разлома, а также в районе сочленения Ахурянского, Джавахетского и Спитакского активных разломов. Это может означать, что в период времени, охватывающий три изучаемых землетрясения, наиболее активные перемещения микроблоков земной коры на территории Армении были вдоль этих разломов. И аномальные вариации мониторинговых параметров различной природы, которые предшествовали Мартунинскому, Барисахскому и Цовагюхскому землетрясениям, и сами сейсмические события являются следствием активизации напряженно-деформационных процессов в регионе. Что касается вопроса, почему на подготовку и реализацию землетрясений отреагировали те или иные станции, то это обусловлено чувствительностью станций (как сказано выше, в первую очередь геологическим строением ее территории). Особо чувствительными зонами, как правило, являются зоны активных разломов и узлы их сочленения. На карте (рис. 2.64) и на рис. 2.60-2.62 видно, что в числе наиболее результативных станций можно назвать Арарат, Суренаван и Каджаран, Карчахпюр и Арташат, а наиболее информативных параметров – уровень подземных вод и некоторые гидрогеохимические параметры.

Наконец, попытаемся проследить общую картину возникновения и последовательность проявления предвестников трех упомянутых выше землетрясений на базе модели консолидации И.П.Добровольского.

Проявление предвестников по уровню подземных вод, подпочвенному радону, гидрогеохимическим параметрам обусловлено началом процесса интенсивного разрушения пород в очаговой зоне готовящегося землетрясения. В результате этого происходит повышение концентрации радона и других геохимических компонентов в подземных водах, понижение уровня этих вод и, как следствие, проникновение вод другого состава в образовавшиеся трещины. Очередность возникновения аномалий, которая выражается знаком и величиной параметра τ кросс-корреляционного анализа, может выражать физическую сущность явлений, вызывающих аномальные вариации геофизических и геохимических полей.

Первые предвестники проявились, как правило, в изменениях уровня подземных вод. Возникновение этих предвестников связано с начальной стадией формирования консолидированной области (КО) и неоднородностей в очаговой зоне готовящегося землетрясения. Начало формирования и развития КО приводит к нарушению фоновых вариаций геофизических полей и возникновению первых аномалий.

Позже проявляются геохимические предвестники с временным смещением от нескольких недель до трех месяцев. Их возникновение обусловлено, по-видимому, ускорением процесса распада КО, происходящим в виде упругих деформаций и форшоков. В результате этого происходит повышение концентрации гелия, HCO_3 и увеличение pH, понижение содержания хлора и изменение (повышение или понижение) концентрации подпочвенного радона.

На последней стадии подготовки сейсмического события увеличивается количество предвестников, аномальных параметров и многообразие форм проявления аномалий. Возникновение оперативных предвестников свидетельствует о заключительной стадии разрушения горных пород и большой интенсивности процессов разрушения, что и сопровождается оперативными предвестниками.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. При сильном региональном землетрясении коэффициенты корреляции значительно выше, чем при местных ощутимых землетрясениях. Предвестники разных параметров сильного землетрясения проявляются более четко и формой проявления похожи друг на друга.

2. Аномальные станции расположены в основном в зоне Ереванского глубинного активного разлома, а также в районе сочленения Ахурянского, Джавахетского и Спитакского

активных разломов. Наиболее активные перемещения микроблоков земной коры на территории Армении были, видимо, вдоль этих разломов.

3. Реагируемость тех или иных станций на подготовку и реализацию землетрясений обусловлена особой чувствительностью этих станций, расположенных в зонах активных разломов и узлах их сочленения.

4. Возникновение предвестников обусловлено интенсивными процессами разрушения горных пород в очаговой зоне готовящегося землетрясения, в результате чего происходит изменение содержания подпочвенного радона и повышение концентрации ряда геохимических компонентов в подземных водах, понижение уровня этих вод и, как следствие, проникновение вод другого состава в образовавшиеся трещины.

5. Выбранная физическая модель подготовки тектонических землетрясений (модель консолидации И.П.Добровольского) дает возможность в общих чертах объяснить возникновение и последовательность проявления предвестников одного сильного регионального (Барисахо, 1992, $M=6.4$) и двух местных ощутимых землетрясений (Цовагох, 1993, $M=3.8$; Мартуни, 1992, $M=5.0$).

Глава 3. Комплексная оценка текущей сейсмической опасности

3.1 Методология комплексной оценки текущей сейсмической опасности

В Национальной службе сейсмической защиты Армении при оценке текущей сейсмической опасности (ОТСО) в настоящее время используется предложенная нами методология, включающая определенные последовательные действия, основанные на использовании данных ежедневного многопараметрового мониторинга, специальных методик, компьютерных программ, специальных компьютерных экспертных систем, геологических и сейсмотектонических данных. Естественно, при этом используется также накопленная в течение многих лет база разнообразных данных, база научных знаний и разработок.

Эта методология включает следующие действия:

1. Изучение исторической сейсмичности, геологических и сейсмотектонических условий региона.
2. Изучение сейсмичности на основе анализа Национального сейсмического каталога региона.
3. Выделение полезных (нетехногенных) аномалий по мониторинговым параметрам “геофизического блока” с использованием программы “SeisHelp”, разработанной в НССЗ Армении.
4. Определение вероятности сейсмической реализации текущих аномалий путем сопоставления текущих аномалий с подобными тестовыми аномалиями-предвестниками протестированных землетрясений.
5. Выделение сейсмогенных аномалий по мониторинговым параметрам с помощью методики “Динамических полей” (DF), разработанной в НССЗ Армении.
6. Вероятностная оценка зоны, величины и интервала времени текущей сейсмической опасности с помощью методик “Эксперт” и “Уйс”, разработанных в НССЗ Армении.
7. Комплексная оценка текущей сейсмической опасности на территории Армении в результате анализа полученных данных и имеющихся материалов.

Практика показывает, что в трудных экономических и социально-психологических условиях жизни населения в современной Армении умеренные по силе, но ощутимые местные землетрясения последних лет неизменно вызывали некоторую панику среди местного населения, повреждения зданий и сооружений. В частности, Паракарские (Ереванские) землетрясения, будучи относительно слабыми, тем не менее каждый раз вызывали повреждения зданий и сооружений и некоторую панику среди населения в ближайших населенных пунктах и в столице Армении г. Ереване, где проживает более миллиона человек. По этой причине предметом наших исследований были и остаются также и местные несильные, но ощутимые землетрясения с $3.7 \leq M \leq 5.0$.

В следующем параграфе рассмотрено применение представленной выше методологии комплексной ОТСО на примере местного несильного, но ощутимого землетрясения. Оно произошло в районе Гавара (Армения, 12.01.2007г., $M=3.7$), вызвало панику у местного населения и причинило значительный материальный ущерб зданиям и сооружениям.

3.2 Комплексная оценка текущей сейсмической опасности на примере Гаварского (Армения, 2007, $M=3.7$) землетрясения

Общие сведения

12-го января 2007г. в 12:00 по местному времени (08:00 по Гринвичу) сейсмические станции НССЗ зарегистрировали землетрясение с магнитудой $M=3.7$ по шкале Рихтера. Эпицентр землетрясения находился на территории Армении, в 18-и километрах юго-западнее г.Гавар Гехаркуникского марза (области). Глубина гипоцентра H составляла 10 км, а интенсивность I в эпицентральной зоне была 5-6 баллов по сейсмической шкале MSK-64. В тот

же день, почти в том же месте, в промежутке между 12:55 и 23:47 местного времени первому толчку последовали пять более слабых толчков с $M=2.0-3.2$. Их гипоцентры находились на глубинах 10-15 км, а интенсивность в эпицентральной зоне составила 3-5 баллов по шкале MSK-64. На следующий день, 13-го января, почти в том же месте в 08:12 и 14:00 местного времени было зарегистрировано еще два сейсмических толчка с $M=2.8$ и 2.5 , $I=3-4$ балла в эпицентральной зоне (рис. 3.1, красные звездочки), а $H=15$ км. Произошедшие землетрясения регистрировали телеметрические сейсмические станции Ереван, Гюмри и Капан, региональные сейсмические станции Степанакерт, Горис, Варденис, Степанаван и Гюмри, а также четыре станции сейсмологической службы Грузии.

Это землетрясение почувствовали в ряде населенных пунктов территории Армении, в частности, в Ланджапуре, Гехаркунике и Гаваре – интенсивность 5-6 баллов, Варденисе, Карцахпуре, Севане и Чаренцаване – 4 балла, Ереване (Канакер, Аван, Норкский массив) – 3 балла. В г.Гаваре на стенах отдельных домов образовались маленькие трещины, качались люстры, в шкафах перевернулась и разбилась посуда. Некоторые в панике выбежали из своих домов. Вышеописанные восемь сейсмических толчков и по международной классификации, и по закону РА “О сейсмической защите” считаются слабыми землетрясениями. Однако через них произошла некоторая разрядка накопившихся в земной коре напряжений. Одностороннее накопление сейсмической энергии и напряженности в недрах Земли, без постепенного разряжения в виде слабых и средней силы землетрясений, могло бы в дальнейшем привести к более сильному землетрясению с весьма нежелательными последствиями.

Историческая сейсмичность, геологические и сеймотектонические условия региона

Гаварские землетрясения приурочены к зоне Азат-Севанского активного разлома (рис. 2.37). Как в историческом прошлом, так и в наше время сильного землетрясения в этой зоне не зафиксировано, а из ближайших (в пространстве) сейсмических событий известно ставшее причиной 228 жертв и больших разрушений Гарнийское (1679г., $M=6.9$) землетрясение, которое было приурочено к другой геологической структуре – зоне Гарни-Елпинского активного разлома. Базум-Севанская зона разломов глубокого заложения является одной из крупных и сложных зон разрывных нарушений мегантиклинория Малого Кавказа. Она на поверхности проявляется системой разнохарактерных разрывных нарушений шириной до 10-12 км. Здесь отмечается сгущение поверхностных разрывов в сравнительно узкой полосе, которая прослеживается вдоль северо-восточного борта Севано-Ширакского синклинория. Зона Базум-Севанского глубинного разлома совпадает с Севанским офиолитовым поясом. Наличие зоны глубинного разлома вдоль офиолитового пояса доказывается структурными, седиментационными, магматическими и геофизическими признаками [19]. Территория, прилегающая к бассейну оз.Севан, включает часть Анкаван-Зангезурского глубинного разлома, которая покрыта вулканогенными породами. Весь разлом раньше назывался Анкаван-Зангезурским, который на карте активных разломов НССЗ представлен как единая группа отдельных разломов (рис. 2.37).

Сильные землетрясения в Присеванской зоне, как сказано выше, не зарегистрированы. Очаги землетрясений в основном вытянуты по региональным разломам в широтном направлении. Ряд очагов малой мощности простираются между Сомхето-Карабахской и Присеванской тектоническими зонами, где пересекаются структуры кавказского и антикавказского простираения. Эпицентры произошедших землетрясений находятся очень близко от Азат-Севанского глубинного разлома. Последний простирается в СВ-ЮЗ направлении примерно на 80 км, тянется на глубину приблизительно на 16-20 км, а максимальный сейсмический потенциал $M_{\max}=6.0\pm 0.2$. С другой стороны, Гаварские землетрясения считаются несильными; возможно, что они непосредственно не связаны с разломом, а являются следствием слабых процессов трещинообразования, которые проявились в виде упомянутых землетрясений.

Для оценки сейсмической опасности и изучения дальнейшего развития сейсмичности проведен сейсмологический анализ для центральной части территории РА, ограниченной зонами Гарни-Елпинского и Ереванского активных разломов (рис. 3.1). Эта территория выделена авторами статьи [53] как зона отдельной сейсмичности. Для изучения временного распределения сейсмической активности вся территория ($\varphi=38^{\circ}-42^{\circ}$, $\lambda=42^{\circ}-47^{\circ}$) была разделена на зоны. Разделение было основано на: а) распределении эпицентров землетрясений, принимая во внимание афтершоки и рои; б) распределении сейсмической активности; в) ограничении размера зоны. В результате выделено 10 зон; каждая зона идентифицируется своим номером и средним количеством землетрясений в зоне за один год.

Эпицентры Гаварских землетрясений находятся на территории, ограниченной Гарни-Елпинским, Азат-Севанским и Соткским разломами (на рис. 3.1 и 3.2 показаны красными звездочками). Эпицентры произошедших в центральной части Армении землетрясений имеют диффузное распределение (рис. 3.2). Сейсмическая активность находится в пределах количественного фона, а начиная с 2000г. наблюдается его понижение (рис. 3.3). С учетом последних событий (Гаварские землетрясения), в указанной зоне наблюдается также повышение фонового значения магнитуд произошедших землетрясений.



Рис. 3.1. Схематическая карта сеймотектонической модели центральной части территории РА.

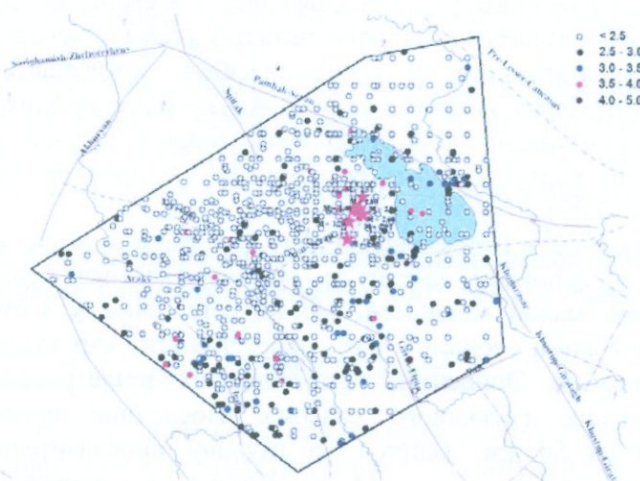


Рис. 3.2. Карта распределения эпицентров землетрясений, произошедших за период времени с 1962г. по 14.01.2007г. в центральной части территории РА.

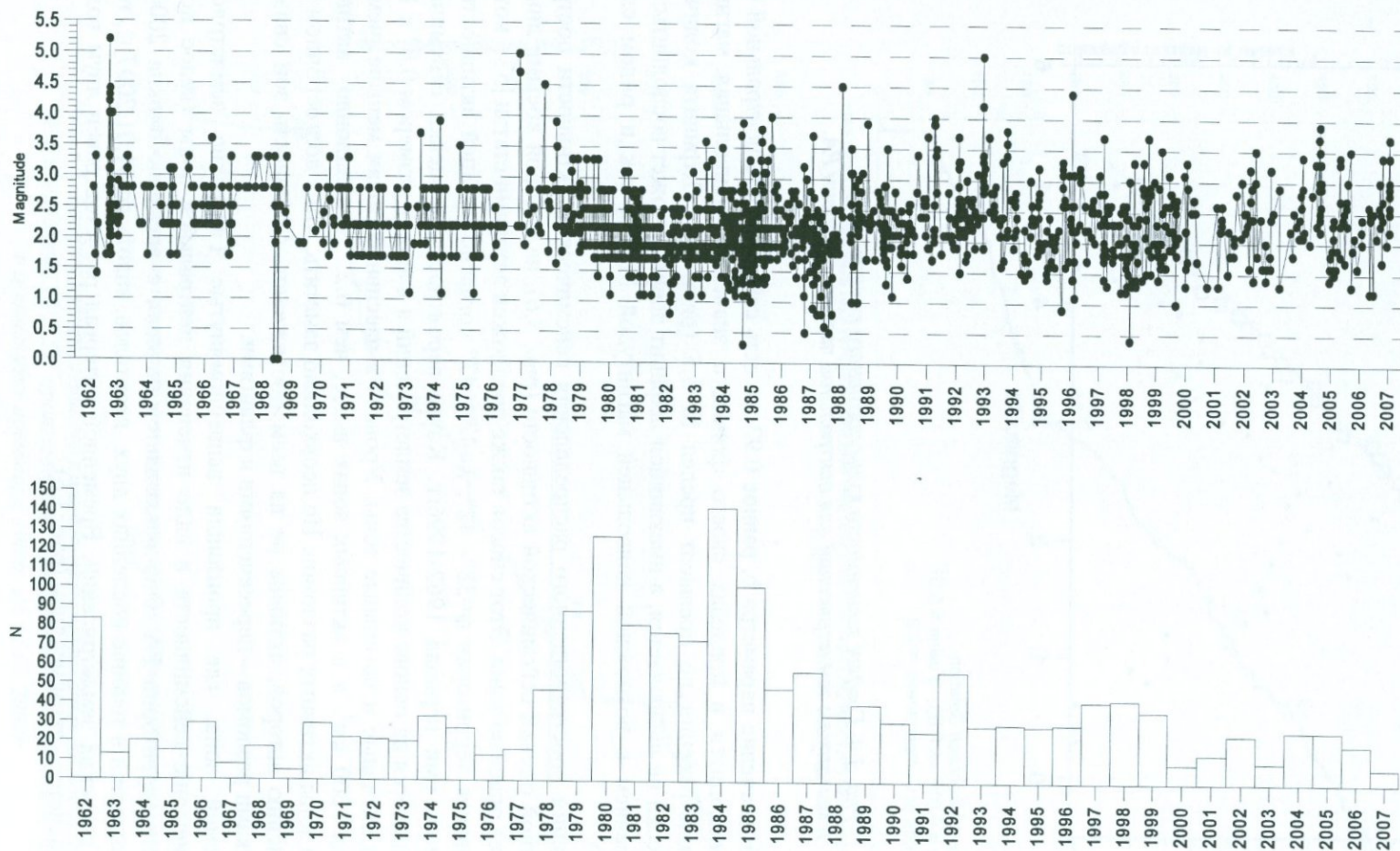


Рис. 3.3. График временного ряда и количественного распределения по годам землетрясений для центральной части территории РА.

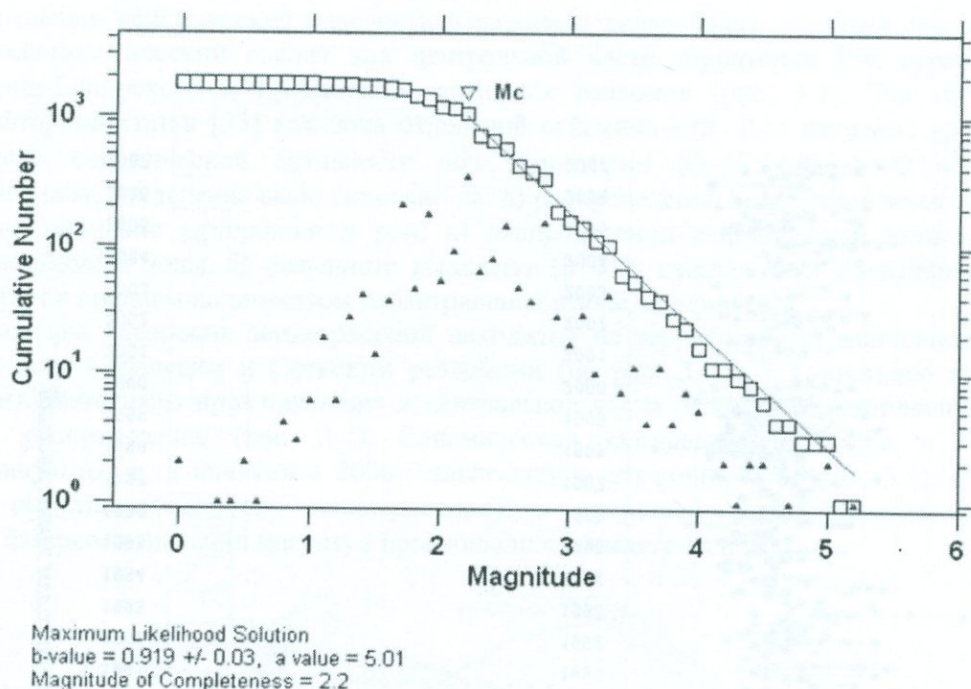


Рис. 3.4. График зависимости куммулятивного количества и магнитуды землетрясений для центральной части территории РА.

Вычислено значение параметра b , равное 0.92, то есть сейсмичность центральной части территории РА находится в пределах своего фонового значения. Наибольшая магнитуда ожидаемого землетрясения не превысит предел $M=5.5$ (рис. 3.4). Дефицита количества событий практически не наблюдается, а имеющийся дефицит энергии может восполниться как одним землетрясением с возможной наибольшей магнитудой $M=5.5$, так и рядом слабых толчков (рис. 3.5).

Для изучения пространственного распределения сейсмической активности построена карта вероятностной оценки сейсмической активности (рис. 3.6), на которой косыми линиями показаны наиболее опасные зоны. Этот способ также предложен авторами статьи [53], которые провели картирование территории $\varphi=38^\circ-42^\circ$, $\lambda=42^\circ-47^\circ$ согласно средней активности для всего наблюдаемого ими периода 1962-1996гг. Карта вероятностной оценки сейсмической активности составляется на основе количества землетрясений в ячейках размером $0.8^\circ \times 1^\circ$. На ней указываются активные и пассивные зоны. Уровень в пассивных зонах меньше, чем 0.05 событий в год на 1000 км^2 , а в активных зонах выше, чем 0.2. “Традиционно” активными зонами являются зоны активных разломов. Но необходимо заметить, что в долгосрочном плане эти зоны, по мнению авторов, активны не на всем протяжении. Активность зон связана с “особыми” участками разломов – пересечениями и флангами.

В изучаемой зоне, где произошли вышеупомянутые Гаварские землетрясения, наблюдалось изменение сейсмичности в виде изменения нейтральной зоны (белое поле) в центральной части территории РА. Оно наблюдается начиная с временного окна 2004.07 - 2006.06 и продолжается в течение последних двух кварталов, вплоть до 01.01.2007 г., то есть за 12 дней до Гаварских землетрясений. Временной интервал расчетов равен двум годам, а временной шаг расчетов - трем месяцам (рис. 3.6).

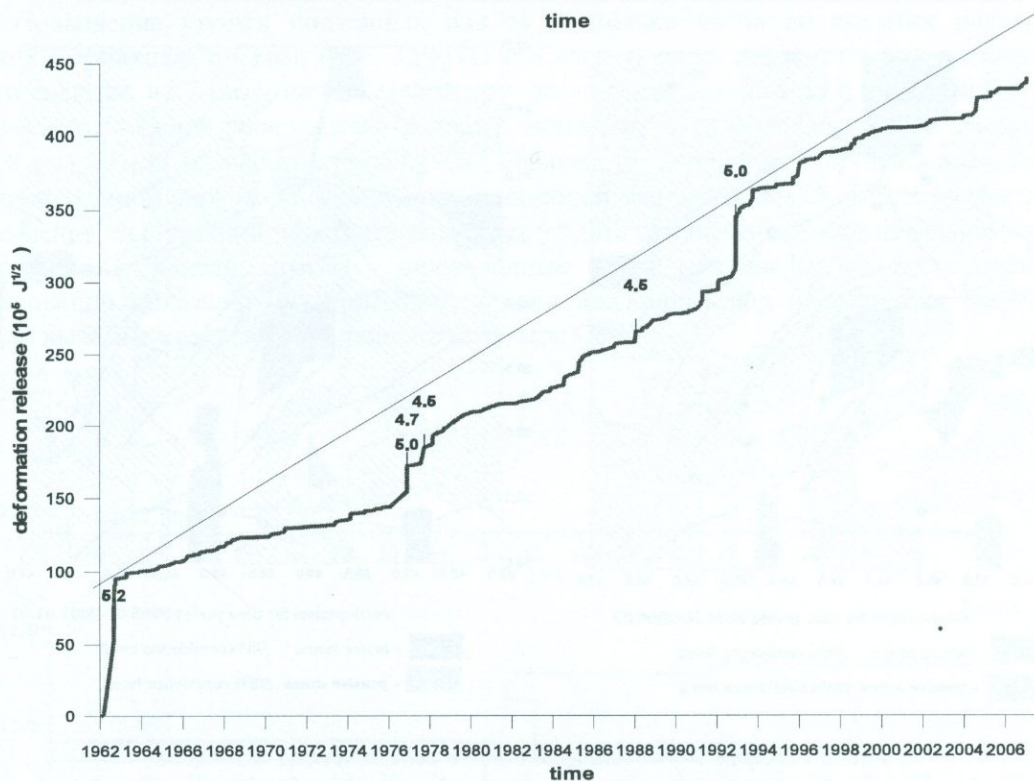
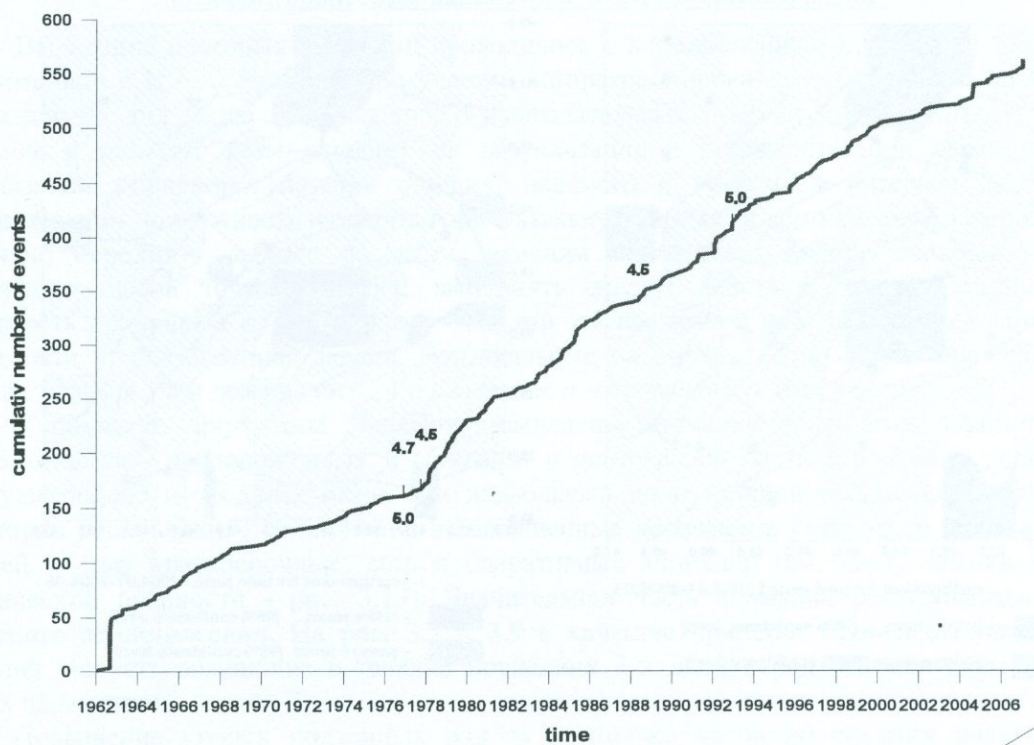
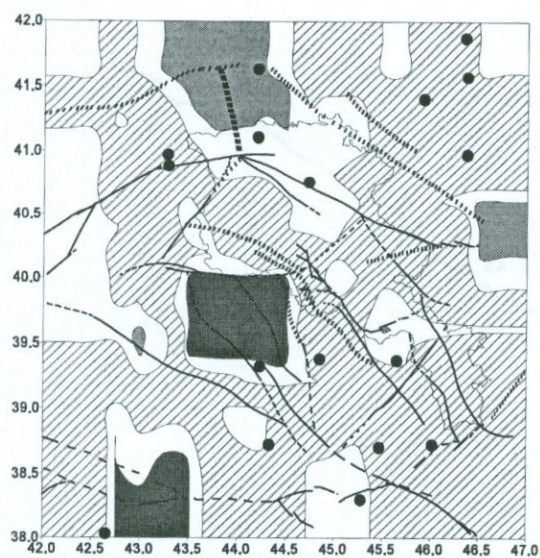
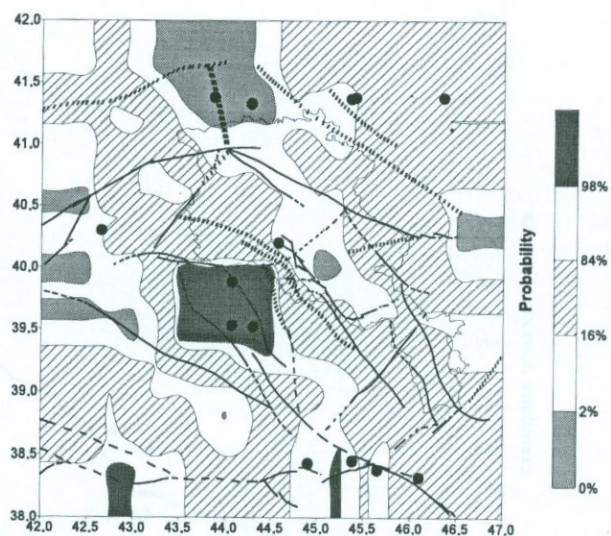


Рис. 3.5. График куммулятивного количества и выделенных деформаций землетрясений ($M \geq 2.5$), произошедших в центральной части территории РА в промежутке времени с 1962г. по 14.01.2007г..



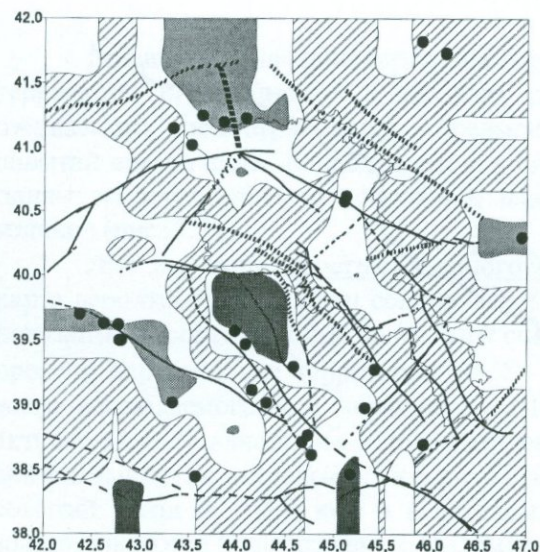
earthquakes for time period 2004.04-2006.03

- active zones (98% confidence level)
- passive zones (98% confidence level)



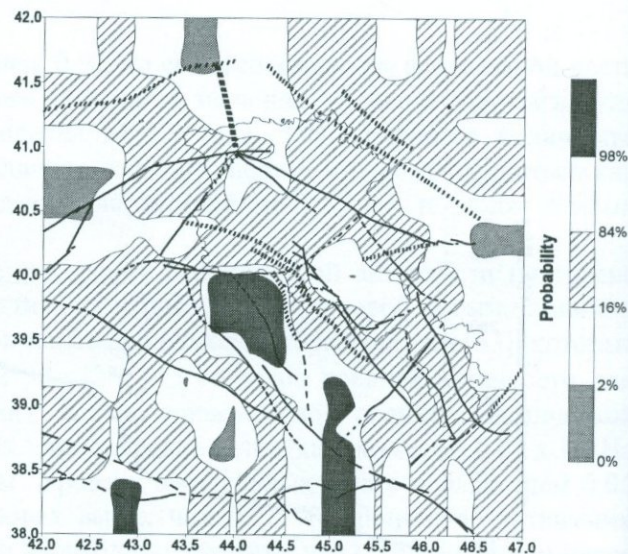
earthquakes for time period 2004.07-2006.06

- active zones (98% confidence level)
- passive zones (98% confidence level)



earthquakes for time period 2004.10-2006.09

- active zones (98% confidence level)
- passive zones (98% confidence level)



earthquakes for time period 2005.01-2007.01.01

- active zones (98% confidence level)
- passive zones (98% confidence level)

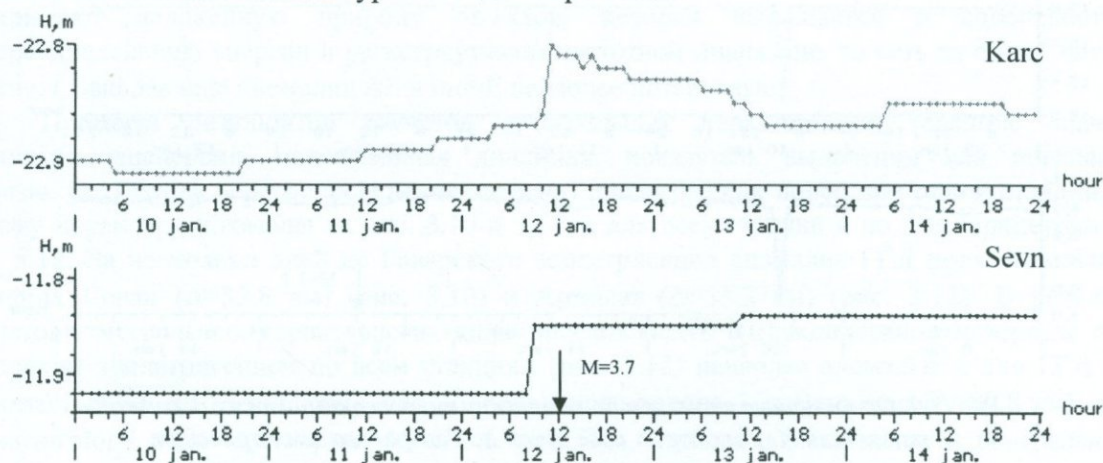
Рис. 3.6. Карты вероятностной оценки сейсмической активности на территории РА и прилегающих регионов.

Выделение полезных (нетехногенных) аномалий
по мониторинговым параметрам “геофизического блока”

Выделение полезных аномалий проводилось с использованием программы “SeisHelp”, разработанной в НССЗ Армении при участии автора настоящей работы. Программа SeisHelp предназначена для ввода поступающих с наблюдательных станций мониторинговых данных (создание и развитие базы данных), их визуализации и предварительной обработки. Для визуализации выбирается нужная станция, параметр и временной интервал наблюдений. Программа дает возможность изменять горизонтальную (время) и вертикальную (значения) оси графиков; осреднять данные по дням, неделям и месяцам; видеть значение и время регистрации любой точки графика; выполнять другие действия. Можно одним окном рассмотреть временные ряды пяти лет – на той же временной оси либо последовательно, в зависимости от поставленной задачи. Вертикальные масштабы графиков определялись таким образом, чтобы в 1 мм помещалось 2σ и более, где σ – погрешность измерений.

С помощью программы “SeisHelp” выделены аномалии по разным параметрам, на разных станциях, расположенных в основном в центральной части территории республики, преимущественно в пределах обеих зон наибольшей долгосрочной сейсмической опасности территории республики. Все аномалии незавершенные до момента Гаварского землетрясения, большей частью краткосрочные; есть и оперативные аномалии (см. карту оценки текущей сейсмической опасности - рис. 3.13). Значительная часть аномалий реализовалась в виде Гаварского землетрясения. На рис. 3.7 – 3.9 в качестве примеров приведены *оперативные* аномалии (то есть возникшие в течение последних 3-х дней перед сейсмическим толчком) разных параметров.

Повышение уровня подземных вод за несколько часов до события наблюдается на станциях Карцахпюр и Севан (рис. 3.7). На ст.Севан уровень подземных вод повысился за 4 часа до события на 7 см, а на ст.Карцахпюр – за 1 час до события на 6 см, возможно, по той причине, что ст.Севан расположена ближе к эпицентру будущего Гаварского землетрясения ($\Delta=32.8$ км), чем ст.Карцахпюр ($\Delta=53.2$ км). Небольшую амплитуду и продолжительность этих оперативных аномалий можно объяснить невысокой магнитудой Гаварского землетрясения. Тем не менее, обе станции чувствительны и могут дать предвестники для несильного близкого землетрясения. Кстати сказать, проведенные нами специальные исследования (не опубликованы) показали, что колебания уровня подземных вод на станциях Карцахпюр и Севан не вызваны колебаниями уровня воды озера Севан.



*Рис. 3.7. Повышение уровня подземных вод на станциях Карцахпюр и Севан
за несколько часов до Гаварского землетрясения.*

Концентрация подпочвенного радона на ст.Ехегнадзор ($\Delta=55,5$ км) понизилась за сутки до землетрясения. Небольшую амплитуду и продолжительность оперативной аномалии и в этом случае можно объяснить невысокой магнитудой Гаварского землетрясения (рис. 3.8).

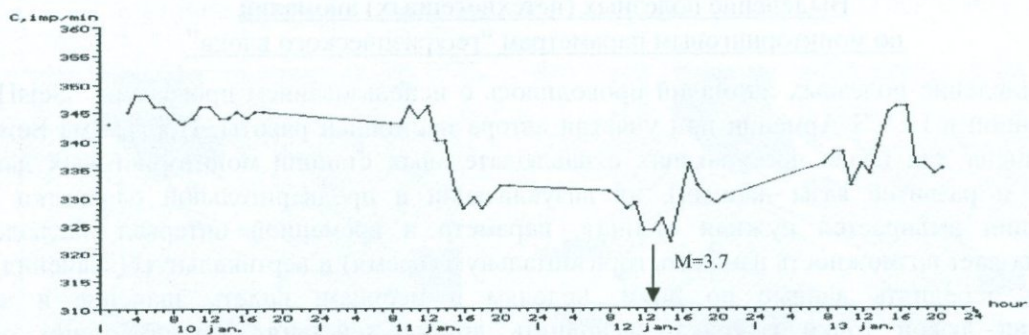


Рис. 3.8. Понижение концентрации подпочвенного радона на ст.Ехегнадзор за сутки до Гаварского землетрясения.

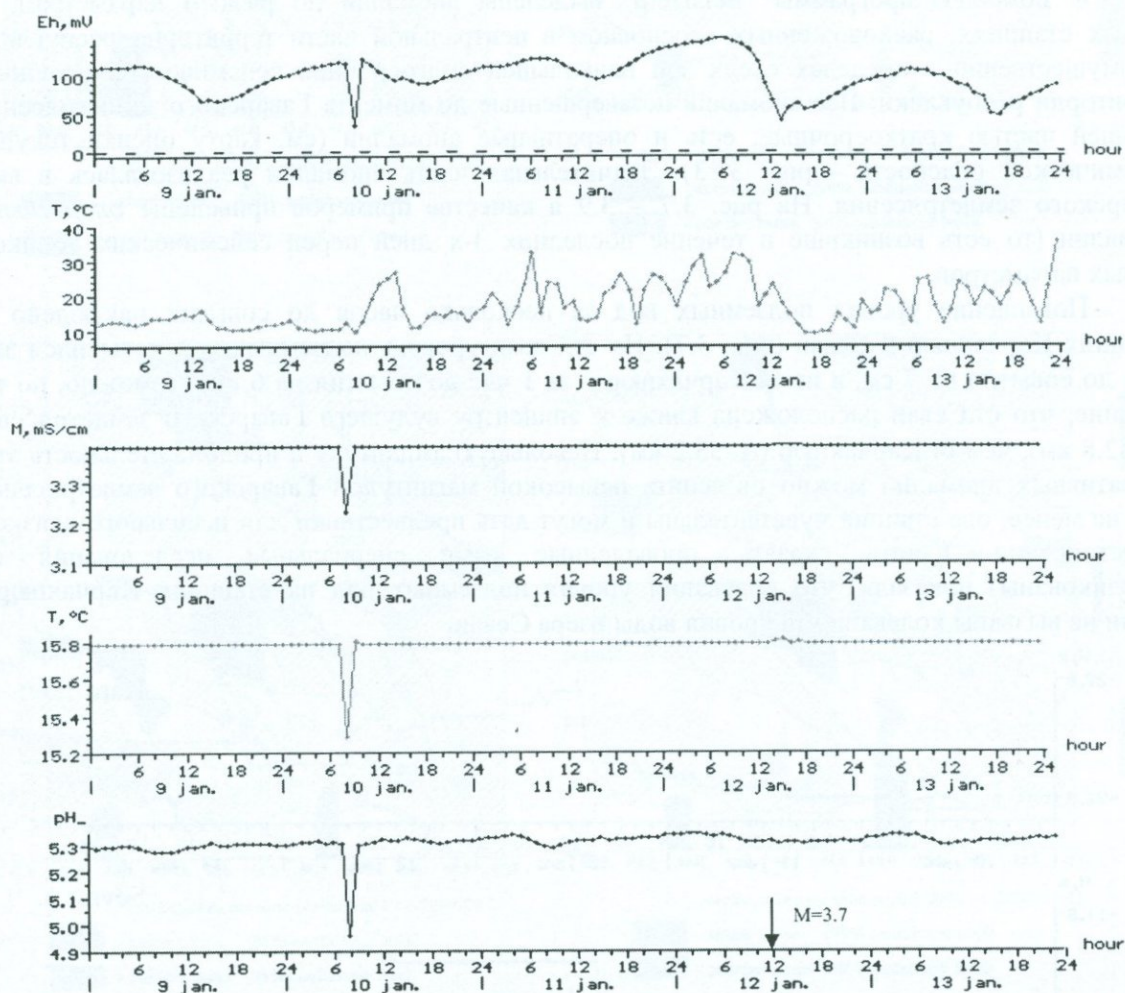


Рис. 3.9. Оперативные аномалии по комплексу гидрогеохимических параметров на станции Карцахпюр за двое суток до Гаварского землетрясения.

Оперативные аномалии выделены и по комплексу гидрогеохимических параметров подземных минерализованных вод на ст.Карцахпюр, установленной по программе READINESS. Это параметры (рис. 3.9, сверху вниз) Eh, температура воды T, специальная электропроводность M, температура воды в зонде и pH. Аномалии выражены в форме локальных импульсовидных минимумов за 2 дня до события и в виде плавных понижений значений Eh и температуры воды непосредственно перед землетрясением.

Определение вероятности сейсмической реализации текущих аномалий

Определение вероятности сейсмической реализации текущих аномалий проводится следующим образом: текущие аномалии сопоставляются с подобными тестовыми аномалиями-предвестниками протестированных землетрясений, выделенными на той же станции и по тому же параметру, и включенными в Каталог тестовых аномалий-предвестников. Аналоги двух текущих аномалий перед Гаварским землетрясением имеются в Каталоге. Это:

1. аномалия ГГД поля на ст.Карчахпюр; подобная тестовая аномалия-предвестник выделена перед Мартунинским (10.12.1992, $M=5.0$) землетрясением и имела небольшое значение вероятности сейсмической реализации P , равное $1/7$;
2. аномалия подпочвенного радона на ст.Ехегнадзор; подобная тестовая аномалия-предвестник выделена перед Бавринским (18.05.1994, $M=4.2$) и Ашюцким (09.06.1996, $M=4.1$) землетрясениями. В первом случае (ст.Ехегнадзор) значение P довольно высокое и равно $1/2$, а во втором – небольшое ($1/7$).

Как видим, тестовые аномалии-предвестники, аналоги которых имеются в группе текущих аномалий, выделены *только при местных ощутимых землетрясениях* (Мартуни, Бавра, Ашюцк). Наиболее опасной в смысле сейсмической реализации, судя по $P=1/2$, является аномалия подпочвенного радона на ст.Ехегнадзор, расположенной в 55,5 км юго-восточнее от эпицентра Гаварского землетрясения.

Выделение сейсмогенных аномалий

Выделение сейсмогенных аномалий проводится с помощью методики “Динамических полей” (Dynamic Fields - DF), разработанной С.Ю.Баласаняном. Программа DF предназначена для обработки геофизических параметров и выделения среднесрочных, краткосрочных и оперативных сейсмогенных аномалий различных полей [12, 59, 60]. Строятся графики зависимости измеряемых параметров от времени. Вычисляются показатель максимальной динамики $\delta\Pi$, среднее значение $\Pi_{\text{ср}}$, дисперсия σ^2 измеряемых параметров на каждой наблюдательной станции; показатель выделения (или поглощения) энергии ΔE и показатель перераспределения энергии $\text{mov}E$ на станции; другие характеристики. Перечисленные величины объединены в интегральные характеристики DF. Аномалии ΔE указывают на присутствие энергоактивных ($\Delta E > 0$) и энергопроницаемых ($\Delta E < 0$) объектов. Аномалии $\text{mov}E$ раскрывают нелинейную природу объектов, которая выражается в способности к перераспределению энергии в регистрируемом частотном диапазоне, то есть из одних частот в другие. Совпадающие аномалии ΔE и $\text{mov}E$ наиболее интересные.

Примеры результатов расчетов интегральных характеристик (средние значения параметра, дисперсия, максимальная динамика, показатель выделения или поглощения энергии, показатель перераспределения энергии) динамических полей для одной станции и по одному параметру показаны на рис. 3.10 и 3.11, а для всех станций и по 3-м параметрам – на рис. 3.12. За несколько дней до Гаварского землетрясения аномалии ГГД поля выделены на станциях Севан ($\Delta=32.8$ км) (рис. 3.10) и Арташат ($\Delta=53.2$ км) (рис. 3.11). В результате расчетов интегральных характеристик динамических полей в двухнедельном интервале перед Гаварским землетрясением по всем станциям (рис. 3.12) наиболее аномальной для ГГД поля оказалась ст.Кучак ($\Delta=63.0$ км), для подпочвенного радона – ст.Ванадзор ($\Delta=80.8$ км), а для геомагнитного поля – ст.Артик ($\Delta=100.6$ км). Эти станции расположены в центральной и северо-западной частях территории Армении, как показано на карте оценки текущей сейсмической опасности (рис. 3.13).

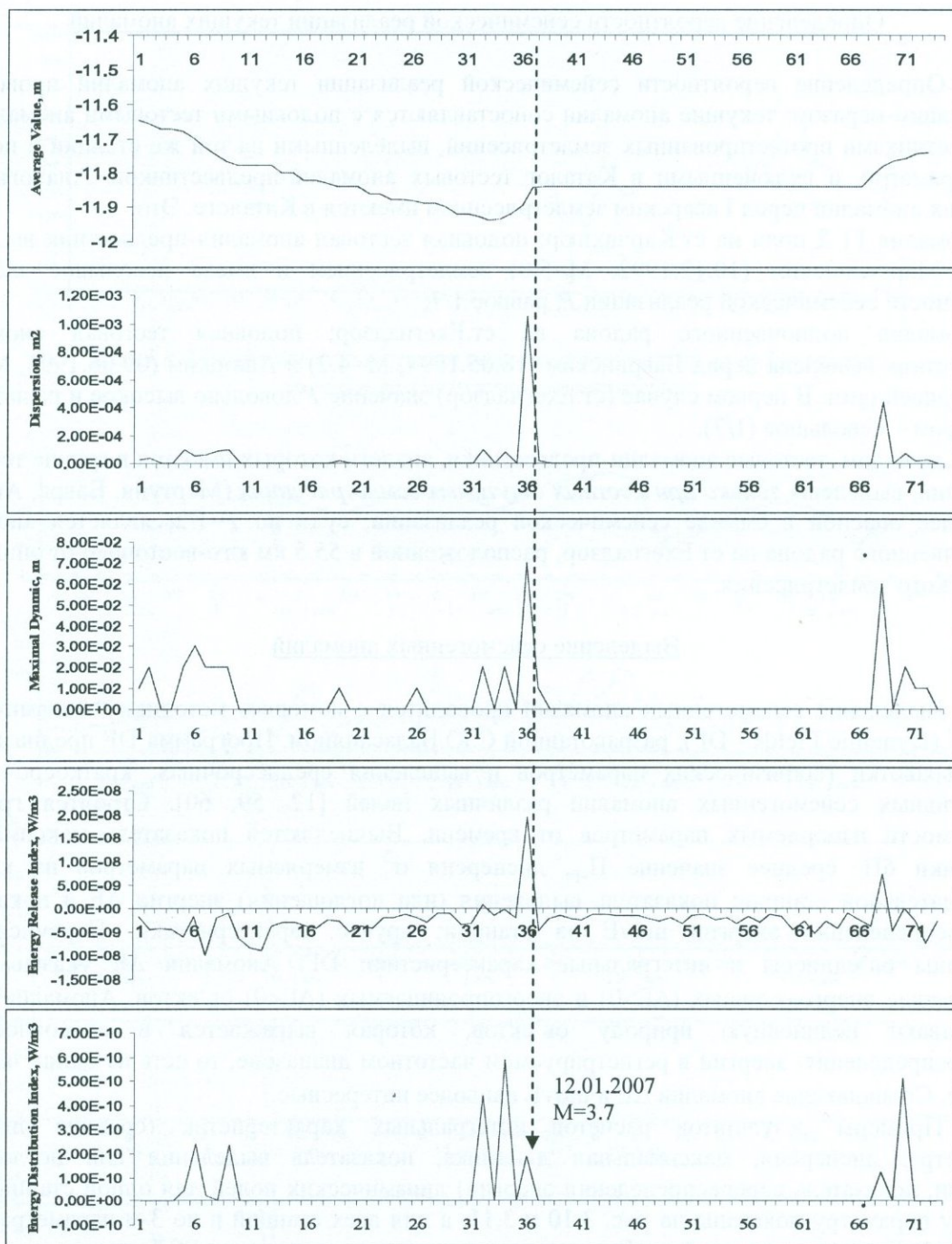


Рис. 3.10. Графики интегральных характеристик DF: ст.Севан, уровень подземных вод, временной интервал с 01.11.2006 по 28.02.2007.

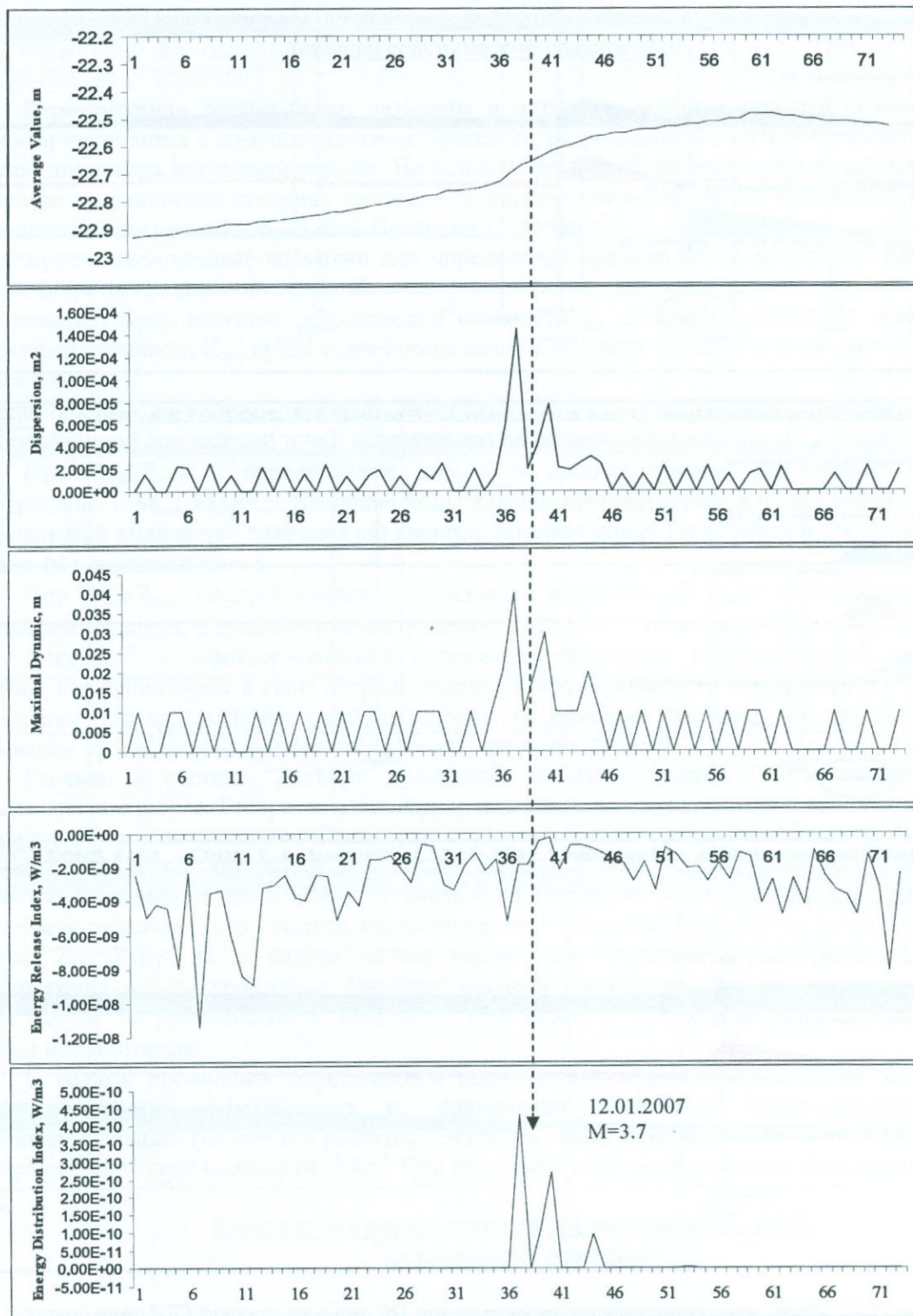


Рис. 3.11. Графики интегральных характеристик DF: ст. Арташат, уровень подземных вод, временной интервал с 01.11.2006 по 28.02.2007.

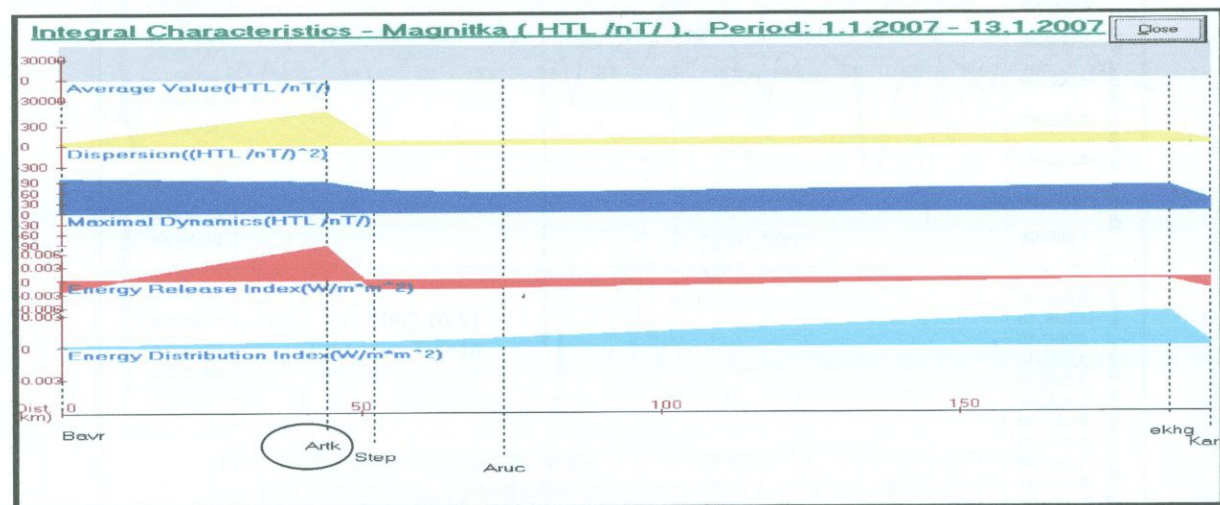
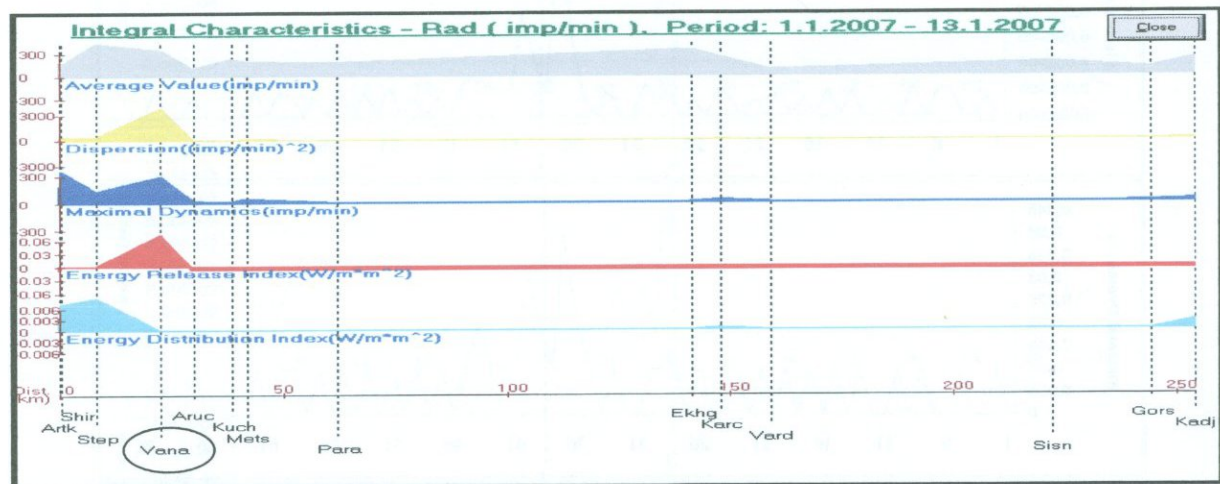
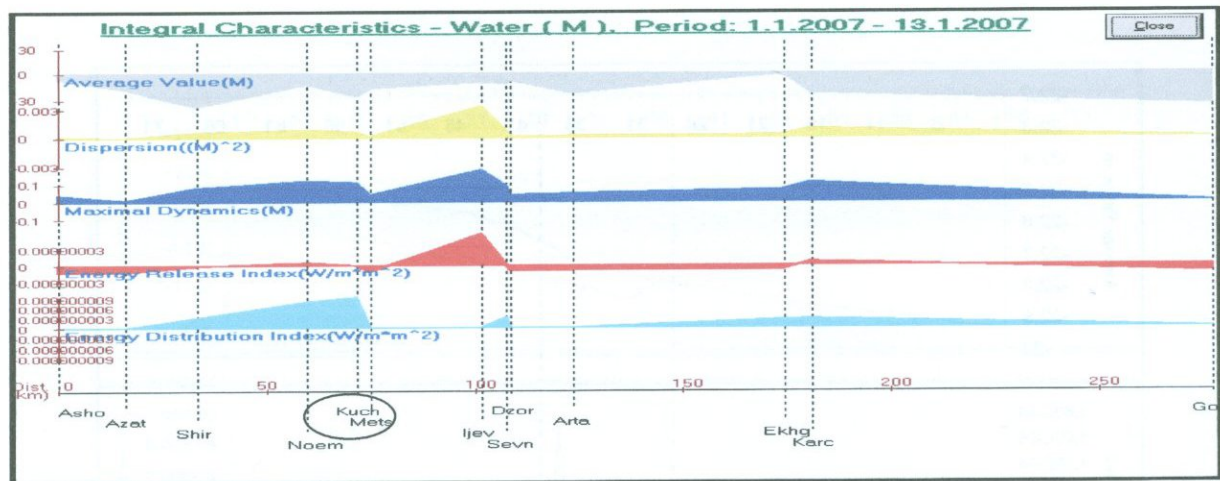


Рис. 3.12. Диаграммы интегральных характеристик DF для всех станций ИГД поля (вверху), подпочвенного радона (в центре) и геомагнитного поля (внизу); временной интервал - с 01.01.2007 по 13.01.2007.

Вероятностная оценка зоны, величины и интервала времени текущей сейсмической опасности

Вероятностная оценка зоны, величины и интервала времени текущей сейсмической опасности проводится с помощью системы “Эксперт”, разработанной в НССЗ Армении в 1993г. при участии автора настоящей работы. На основе “Эксперта”, по выделенным сейсмогенным аномалиям на различных станциях наблюдений, определяют место, время и величину текущей сейсмической опасности [1, 7, 13, 60]. Программа “Эксперт”:

1. тестирует сейсмогенные аномалии для определения времени Δt их опасности, радиуса R опасности и величины опасности Z ;
2. определяет зону текущей сейсмической опасности S , интервал времени Δt и величину текущей опасности $Z_{\text{тек}}$ путем совместного анализа времени, радиуса и величины опасности аномалий;
3. сопоставляет величину текущей опасности $Z_{\text{тек}}$ с критической величиной $Z_{\text{крит}}$, определенной для каждой точки пространства на территории Армении.

При $Z_{\text{тек}} \geq Z_{\text{крит}}$ в определенной зоне S в течение времени Δt следует ожидать землетрясение с $M_{\text{макс}} \geq M \geq 3.5$. Величина $M_{\text{макс}}$ для зоны S определяется по кривой Беньоффа, показывающей количество накопленной энергии, которая может выделяться в текущий период времени Δt в заданной зоне S .

При $Z_{\text{тек}} < Z_{\text{крит}}$ следует считать, что текущая опасность не будет реализована в виде разрыва земной коры, адекватного землетрясению с $M \geq 3.5$.

“Эксперт” – самообучающаяся программа, ежедневно пополняющаяся текущими данными, анализ которых в свою очередь тестирует эффективность и корректирует “Эксперт” при оценке текущей сейсмической опасности. С помощью системы “Эксперт” расчеты фактически проводятся во временном интервале *не более 20 дней*.

Расчеты по системе “Эксперт” проводятся *только по данным ГГД* наблюдений. Они показывают, что перед Гаварским землетрясением зона S текущей сейсмической опасности находится в 7 км юго-западнее г.Гавар (рис. 3.13, зона S отмечена красной точкой). Величина текущей сейсмической опасности $Z_{\text{тек}}$ в зоне S равна 2.00 (в условных баллах), а величина критической опасности $Z_{\text{крит}}$ в зоне S равна 2.33 (в тех же условных баллах). Поскольку вероятность сейсмического события, согласно системе “Эксперт”, достаточно велика лишь при условии $Z_{\text{тек}} \geq Z_{\text{крит}}$, то в нашем случае вероятность незначительна. *Однако Гаварские землетрясения все-же произошли*. Интервал времени текущей сейсмической опасности Δt в нашем случае не рассчитывался, поскольку $Z_{\text{тек}} < Z_{\text{крит}}$, то есть вероятность сейсмического события незначительна.

С годами проявились определенные недостатки и ограничения системы “Эксперт”, которые снижают эффективность ее применения. Появилась необходимость в ее усовершенствовании. На базе и в развитие “Эксперта” была разработана новая система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс”. Она представлена более подробно в параграфе 3.3.

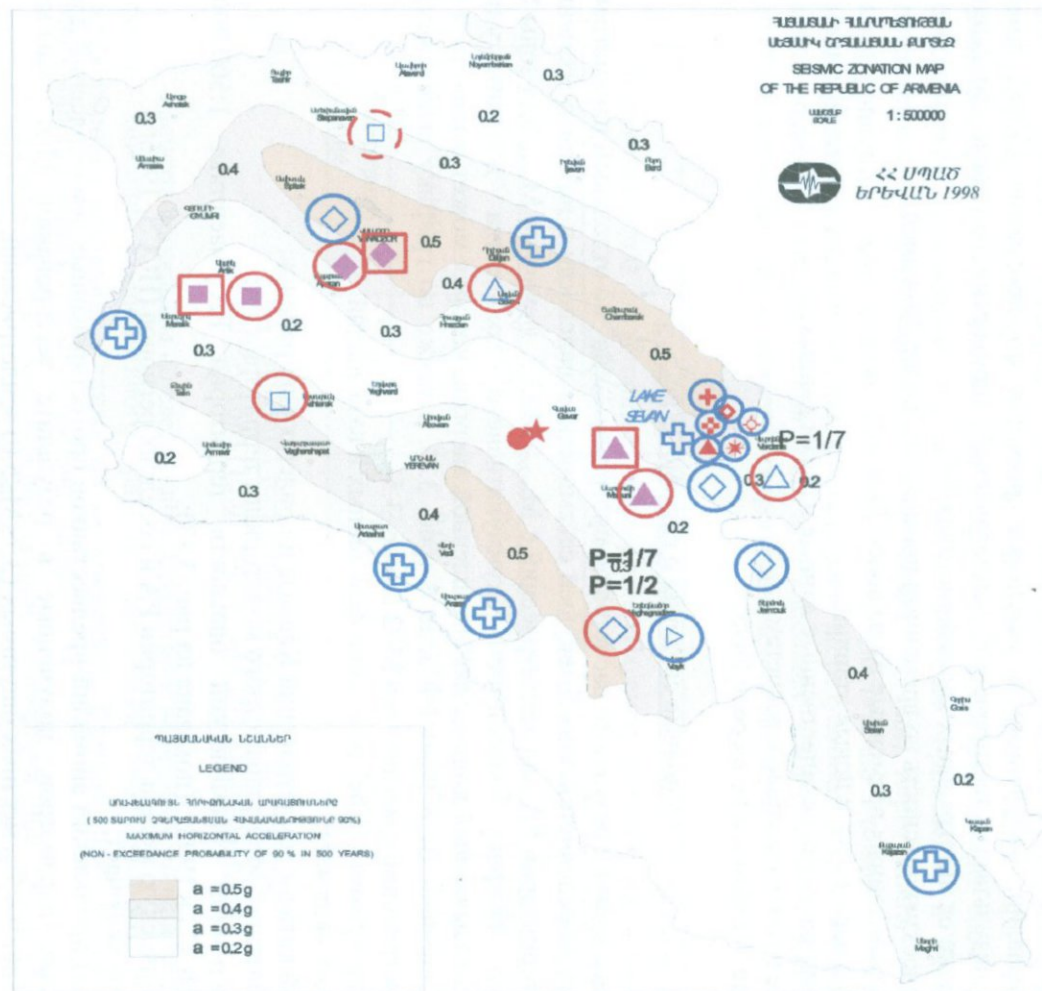
Комплексная оценка текущей сейсмической опасности на территории Армении

Комплексная оценка проводится в результате анализа полученных данных и имеющихся материалов. Строится карта оценки текущей сейсмической опасности на фоне карты долгосрочной сейсмической опасности (сейсмического районирования) территории Республики Армении. На карте, представленной на рис. 3.13, показаны: эпицентр и параметры Гаварского землетрясения; мониторинговые параметры, по которым выделены текущие аномалии на тех или иных станциях; типы текущих аномалий, их завершенность или незавершенность; величины вероятности сейсмической реализации текущих аномалий; аномальные станции, рассчитанные по программе DF по разным параметрам мониторинга; зона и величина наибольшей текущей

сейсмической опасности, рассчитанные по ГГД данным по программе “Эксперт”. Результаты оценки текущей сейсмической опасности перед Гаварским землетрясением, полученные по данным четырех параметров и их комплекса по программе “Уйс”, приведены в параграфе 3.3.

Итак, ретроспективное комплексное изучение сейсмической обстановки в период подготовки и реализации Гаварского (Армения, 2007г., $M=3.7$) землетрясения и последующих афтершоков привело к следующему заключению:

1. Землетрясения, произошедшие в районе Гавара, по всей вероятности, обусловлены *слабыми процессами трещинообразования* в этом регионе.
2. Сейсмическая активность в центральной части территории Армении находится *в пределах количественного фона*.
3. Некоторый дефицит количества землетрясений в настоящее время *восполняется*. В определенной мере восполнился и дефицит энергии в виде упомянутых Гаварских землетрясений.
4. Наблюдается изменение сейсмичности, которое выражается *изменением нейтральной зоны* в центральной части территории Армении.
5. Дефицит сейсмической энергии может восполниться как несколькими слабыми толчками, так и одним сильным землетрясением. Наибольшая магнитуда землетрясения, ожидаемого в центральной части территории Армении, *не превысит предел $M_{\max}=5.5$* .
6. Выделенные по разным мониторинговым параметрам “геофизического блока” краткосрочные и оперативные аномалии проявлены на разных станциях, расположенных в основном *в центральной части территории республики*, преимущественно в пределах обеих зон наибольшей долгосрочной сейсмической опасности территории республики.
7. Все аномалии незавершенные до момента Гаварского землетрясения, а их значительная часть *реализовалась в виде Гаварского землетрясения*.
8. Тестовые аномалии-предвестники, аналоги которых имеются в группе текущих аномалий, выделены *только при местных ощутимых землетрясениях*.
9. По расчетам интегральных характеристик динамических полей в двухнедельном интервале перед Гаварским землетрясением наиболее заметные аномалии выделены на станциях Кучак, Ванадзор и Артик, а за несколько дней до Гаварского землетрясения - на станциях Севан и Арташат. Эти станции расположены *в центральной и северо-западных частях территории Армении*.
10. Согласно методике “Эксперт”, зона текущей сейсмической опасности находится практически в эпицентре Гаварского землетрясения. Величина текущей опасности в этой зоне меньше величины критической опасности, следовательно, *вероятность сейсмического события незначительна*. Однако Гаварские землетрясения все-же произошли.



- ★ **Epicenter of the Gavar, 12.01.2007, M=3.7 earthquake.**
- Monitoring parameters**
 - ▽ Biology
 - Geomagnetic
 - ▷ Electromagnetic
 - ◇ Radon emission
 - × Atmospheric pressure
 - ⊕ Geochemical
 - △ Underground water level
 - Y Ionosphere
- "READINESS" project**
 - + Conductivity
 - ◇ T cond.
 - ★ pH
 - ◇ Radon
 - ★ Debit
 - ◇ Temp. of water
 - ◇ Temp. of air
 - ▲ Eh
- middle term anomalies
 - short term anomalies
 - operative anomalies
 - finished anomalies
 - unfinished anomalies
- Probability of seismic realizations of anomaly $P=m/n$,**
*where m - a number of anomaly-precursors,
 n - total number of anomalies of these types.*
- Dynamic Fields (DF)**
 - Und. water level
 - Geomagnetic
 - Radon emission
- EXPERT**
 - Und. water level
 - Geomagnetic
 - Radon emission

Рис. 3.13. Карта оценки текущей сейсмической опасности на 13.01.2007 г.

3.3 Новая система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс”

Основные преимущества системы “Уйс” по сравнению с системой “Эксперт”

Разработана новая полуавтоматизированная система оценки текущей сейсмической опасности “Уйс” на базе “Эксперта” [3]. Автор настоящей работы принимал активное участие в разработке программы, обсуждении используемых данных и результатов ее использования. В основе системы лежат данные долговременных измерений различных параметров, полученные на мониторинговых станциях Национальной сети наблюдений, в частности, те аномалии, которые проявляются в результате изменений разных геофизических полей, вызванных сейсмотектоническими процессами.

Выше сказано, что при разработке программы “Уйс” были преодолены недостатки и ограничения “Эксперта”. Программа “Уйс” соответствует современным требованиям программирования, написана на языке программирования JAVA и работает в среде Windows, в то время как “Эксперт” написан на языке Pascal и работает в среде DOS. Доработан алгоритм “Эксперта”. С прикладной точки зрения отметим, что введенные в программу “Уйс” определенные операции повышают доступность и скорость расчетов.

Программа “Уйс” имеет ряд преимуществ по сравнению с “Экспертом” и дает возможность пользователю:

1. считать текущую сейсмическую опасность по нескольким параметрам и затем по их комплексу (а не только по ГГД-данным);
2. оценивать аномалии, полученные в результате расчетов по программе “Уйс”, имея информацию о результатах тестирования землетрясений (проведенного после создания “Эксперта”), а также об интегральных характеристиках DF;
3. считать сейсмическую опасность во временном промежутке более 20-и дней;
4. использовать в базе данных временные ряды более 20-и лет;
5. добавлять новые параметры и новые станции;
6. изымать во время расчетов некачественные данные из базы данных;
7. быстрее и легче готовить данные к расчетам;
8. работать в среде Windows, а не в среде DOS.

Основные сведения о системе “Уйс”

В настоящее время в результате расчетов по программе “Уйс” по отдельным параметрам и по их комплексу определяется зона S текущей сейсмической опасности и интервал времени опасности Δt на территории РА для землетрясений с $M_{\max} \geq M \geq 3.5$. Величина $M_{\max}$ для зоны S определяется по графику зависимости куммулятивного количества и магнитуды землетрясений, показывающей количество накопленной энергии, которая может выделяться в текущий период времени Δt в заданной зоне S (рис. 3.4), а также по графику выделенных деформаций землетрясений с магнитудой $M \geq 2.5$ (рис. 3.5).

В основу программы “Уйс” положена база данных и база знаний.

База данных включает:

1. Национальный каталог землетрясений Кавказа и прилегающих районов;
2. данные многолетнего многопараметрового мониторинга территории РА;
3. карту долгосрочной сейсмической опасности территории РА масштаба 1:500.000, созданную в НССЗ в 1998г. (показана на рис. 3.13);
4. сеймотектоническую модель территории РА и соседних регионов (НССЗ, 1996г.).

База знаний включает:

1. формы (образы) проявления аномалий-предвестников протестированных землетрясений для всех используемых параметров, полученные в результате тестирования 11-и сильных региональных ($M \geq 6.0$) и 7-и местных ощутимых ($3.7 \leq M \leq 5.0$) землетрясений;

2. величины вероятности сейсмической реализации аномалий-предвестников (Приложение 1);
3. результаты тестирования системы “Уйс” по 8-и землетрясениям с магнитудой $M \geq 3.7$, произошедшим на территории РА и соседних районов;
4. другие материалы.

Программа “Уйс”, как и “Эксперт”, *самообучающаяся* программа, которая ежедневно пополняется текущими данными. Ее алгоритм предусматривает следующие основные операции:

1. выявление одиночных аномалий и серии аномалий (процессов);
2. определение времени опасности для процессов;
3. определение баллов аномалий в зависимости от их амплитуды;
4. расчет баллов аномалий в зависимости от их амплитуды и длительности, метрологической аттестованности и коэффициента значимости предвестника;
5. определение точек опасности по каждому из предвестников и общей зоны (центра) опасности;
6. расчет времени сейсмической опасности для каждого пункта наблюдения и для каждого центра опасности.

Поправки в алгоритме программы

Необходимость внесения поправок в алгоритм вытекает из практики применения “Эксперта” и результатов научно-прикладных исследований, проведенных в последующие после создания “Эксперта” годы. Упомянутые выше коэффициенты значимости α предвестников рассчитаны в 1993г. В последующие годы, при тестировании 18-и землетрясений по 15-и параметрам мониторинга, были рассчитаны значения P вероятности сейсмической реализации предвестников, которые приведены в Каталоге аномалий-предвестников (Приложение 1). Основываясь на них, пересчитаны значения α . Новые коэффициенты, показанные в табл. 3.1, достаточно точно отражают значимость мониторинговых параметров, так как основаны на результатах ретроспективных исследований многочисленных предвестников уже произошедших землетрясений. Как видим, наиболее значимым предвестником является гидрогеодинамический предвестник.

Таблица 3.1

Параметр (метод)	Коэфф. α в алгоритме “Эксперта”	Коэфф. α в алгоритме “Уйса”	Параметр (метод)	Коэфф. α в алгоритме “Эксперта”	Коэфф. α в алгоритме “Уйса”
Гидрогеодинамика	0.64	0.12	Геомагнитное поле	0.43	0.08
Ионосфера	0.71	0.11	Подпочвенный радон	0.43	0.06
Гидрогеохимия (гелий)	0.60	0.09	Электромагнитное поле	0.43	0.06
Атмосферное давление	0.71	0.11			

Результаты тестирования системы на примере Гаварского (12.01.2007г., $M=3.7$) землетрясения

Расчеты проведены по следующим параметрам: вариациям уровня подземных вод (ГГД-поле), эмиссии подпочвенного радона, вариациям геомагнитного поля, изменениям атмосферного давления, а также по их комплексу. Вначале были выделены сейсмогенные аномалии, примеры которых приведены на рис. 3.14.

При расчетах по конкретным параметрам мониторинга (рис. 3.15.1 - 3.15.4) в окне опций программа показывает, в частности, параметр мониторинга, временной интервал расчетов (один

месяц перед землетрясением), аномальные станции (при необходимости, оператор-специалист имеет возможность снять из расчетов ту или иную станцию), координаты точки опасности и интервал времени опасности. При расчетах по комплексу параметров мониторинга (рис. 3.15.5) в окне опций выводятся, в частности, охваченные в расчетах параметры мониторинга, координаты точки опасности по каждому параметру мониторинга, а также координаты комплексной точки опасности и итоговый интервал времени опасности. Опыт тестирования программы показал, что именно конечное время опасности (date_end) хорошо согласуется с реальными временами протестированных землетрясений, в том числе и Гаварского.

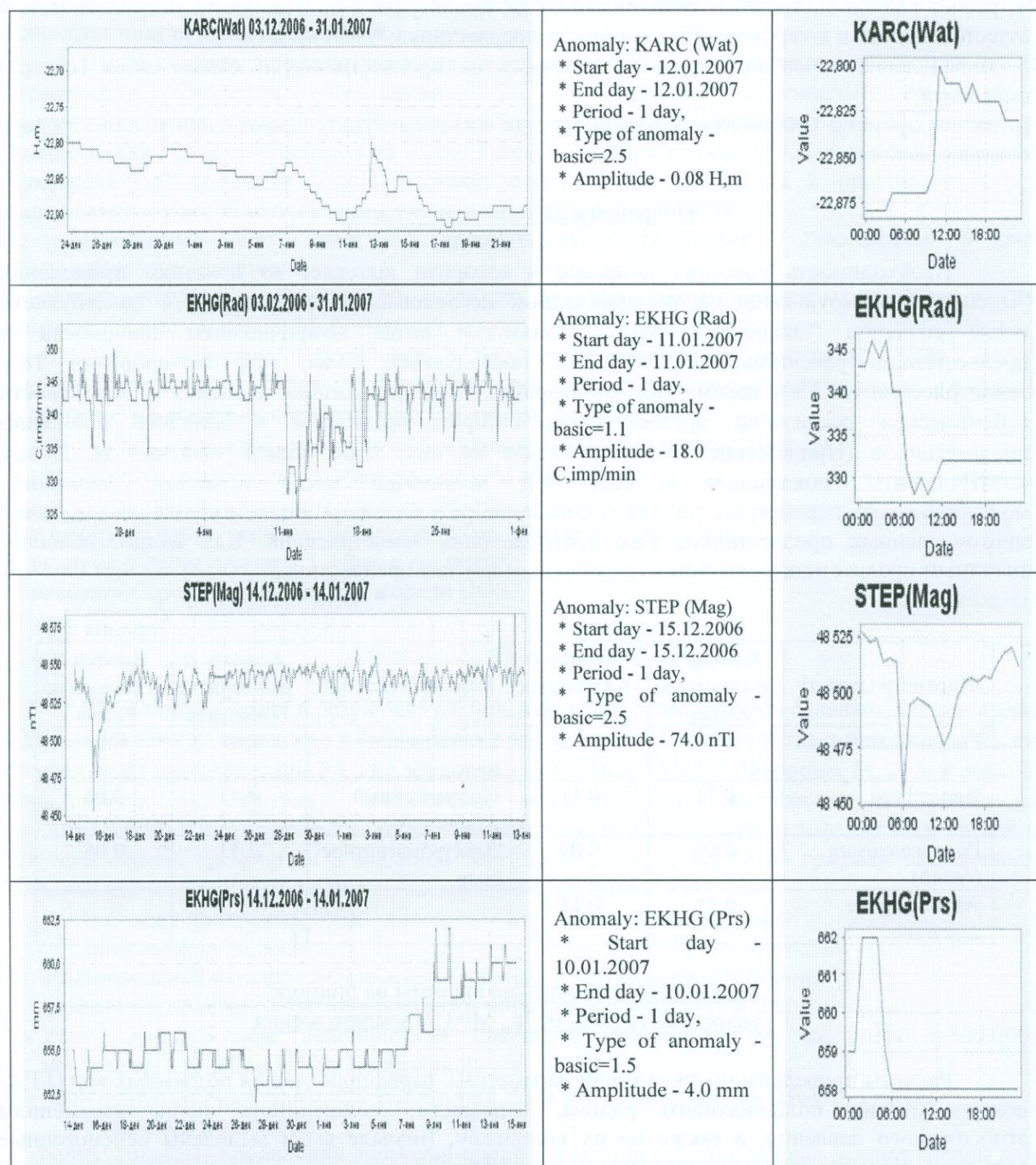


Рис. 3.14. Примеры предвестников Гаварского (12.01.2007г., $M=3.7$) землетрясения на станциях Карцахпюр (уровень подземных вод), Ехегнадзор (подпочвенный радон), Степанаван (геомагнитное поле) и Ехегнадзор (атмосферное давление).

Результаты ретроспективного тестирования программы “Уйс” на примере Гаварского землетрясения показаны на рис. 3.15, а также, в числе других землетрясений, в табл. 3.2. В этой таблице, наряду с параметрами землетрясений, сведены расстояния R между эпицентрами землетрясений и зонами текущей сейсмической опасности, рассчитанными по данным ГГД-наблюдений (R_{wat}), подпочвенного радона (R_{rad}), геомагнитного поля (R_{mag}), атмосферного давления (R_{prs}) и по комплексу этих четырех параметров (R_{comp}). Приведено также рассчитанное по программе “Уйс” время землетрясения, полученное раньше события (к примеру, $\Delta t = -3$ дня), позже него ($\Delta t = +6$ дней) или в день события ($\Delta t = 0$).

Итак, по Гаварскому землетрясению получено следующее:

1. по ГГД-данным, сейсмическое событие должно было произойти 12.01.2007г. (рис. 3.15.1, в нижнем правом углу), то есть в день события, а расстояние R между расчетной зоной S и эпицентром Гаварского землетрясения составило 25 км (табл. 3.2);
2. по радонометрическим данным, сейсмическое событие должно было произойти также 12.01.2007г. (рис. 3.15.2), а расстояние R составило 33 км;
3. по геомагнитным данным - 19.12.2006г. (рис. 3.15.3), то есть раньше на 24 дня, а расстояние R составило 21 км;
4. по данным атмосферного давления - 10.01.2007г. (рис. 3.15.4), то есть раньше на 2 дня, а расстояние R составило 59 км;
5. наконец, по комплексу этих четырех параметров, Гаварское землетрясение должно было произойти 12.01.2007г. (рис. 3.15.5), в 8 км от фактического эпицентра события.

Величина $M_{\max}$, определенная по графикам на рис. 3.4 и 3.5, не должна была превысить предел 5.5 для центральной части территории Армении. Магнитуда же Гаварского землетрясения, как мы знаем, равна 3.7.

Результаты расчетов по программе “Уйс”.
 Гаварское (12.01.2007 г., $M=3.7$, $\varphi=40.28$, $\lambda=45.08$) землетрясение.
 Временной интервал расчетов - 13.12.2006 - 13.01.2007.

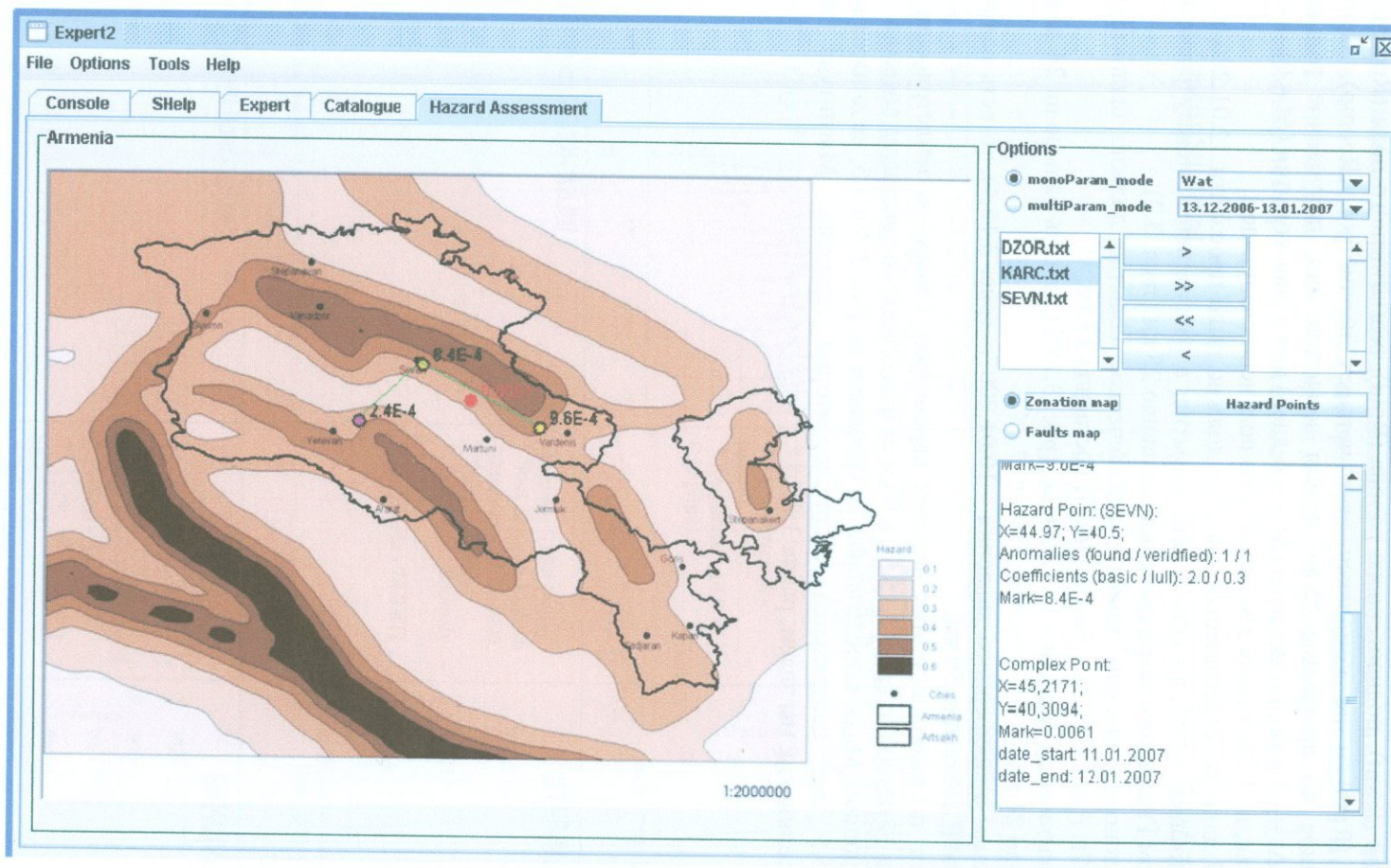


Рис. 3.15.1. Зоны и величины (в условных баллах) текущей сейсмической опасности на территории РА по ГГД данным.

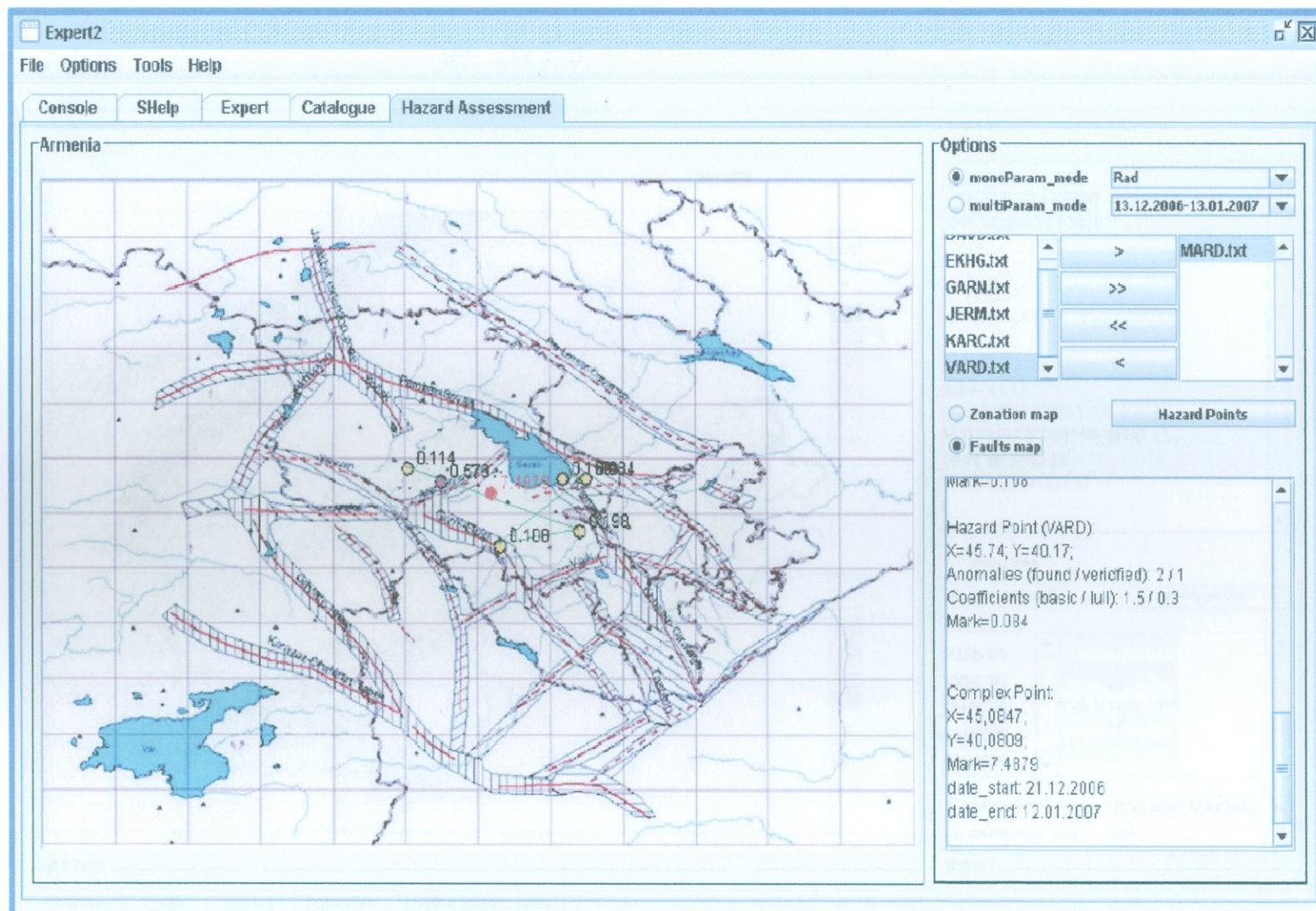


Рис. 3.15.2. То же, по радонометрическим данным.

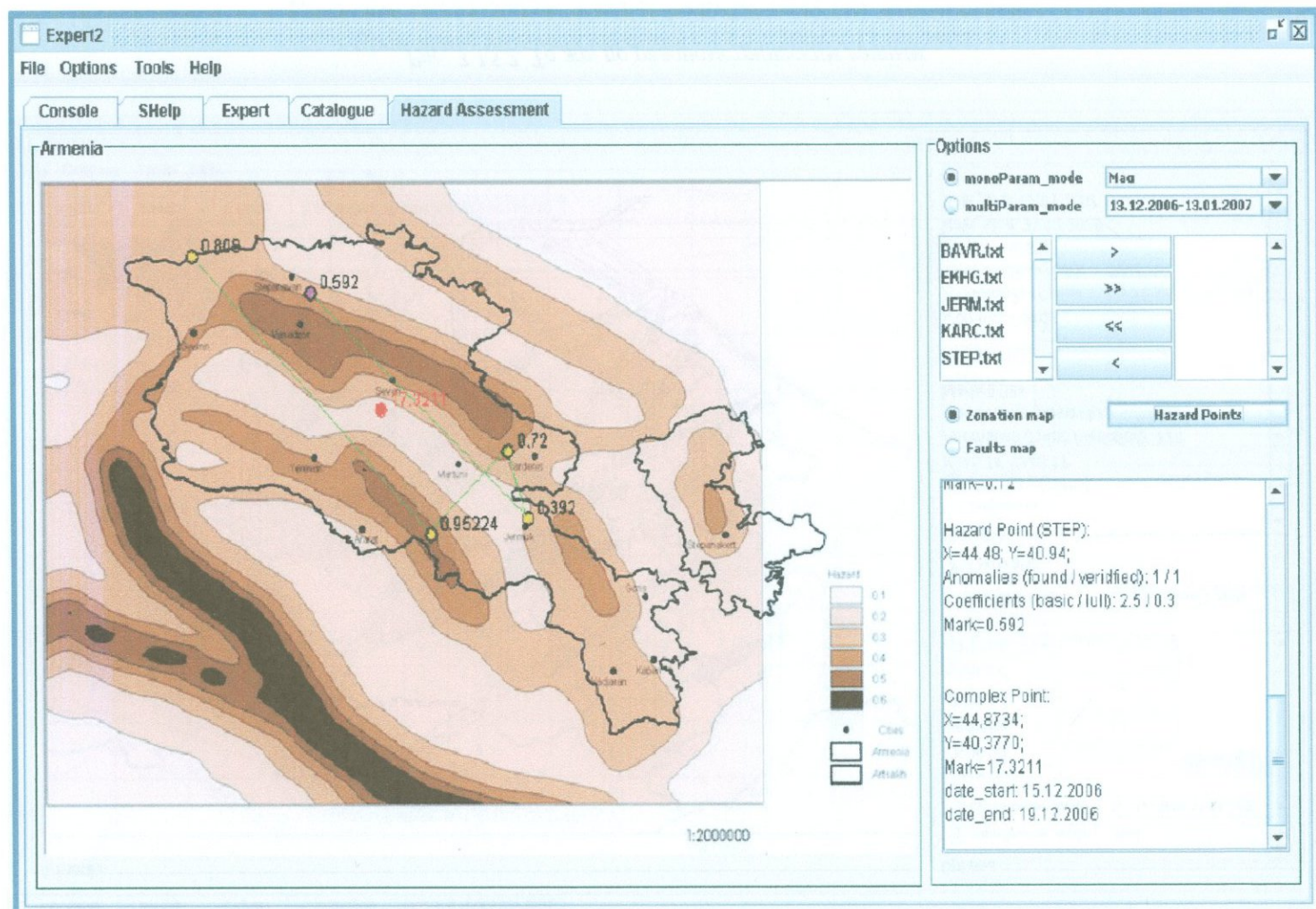


Рис. 3.15.3. То же, по геомагнитным данным.

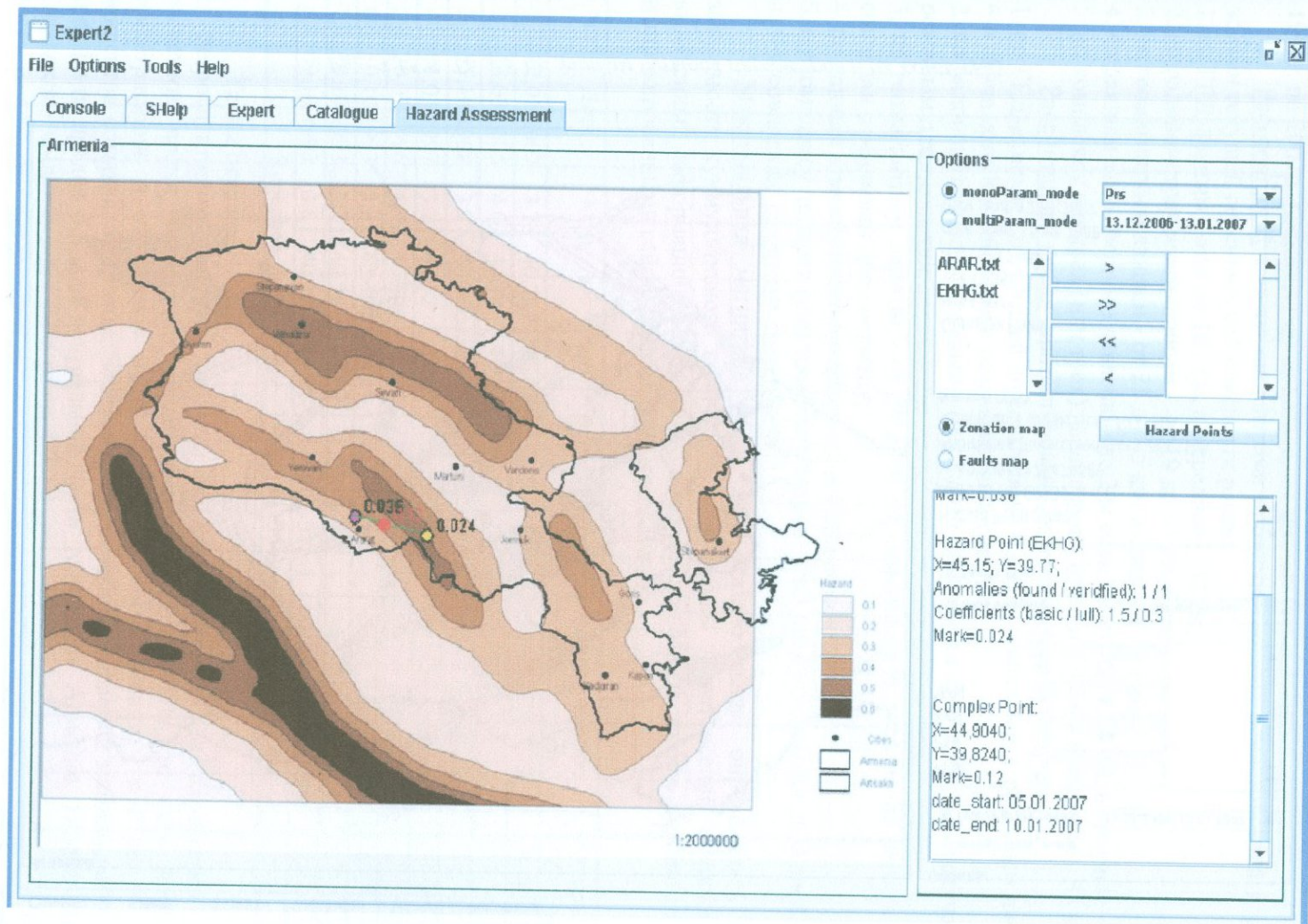


Рис. 3.15.4. То же, по данным атмосферного давления..

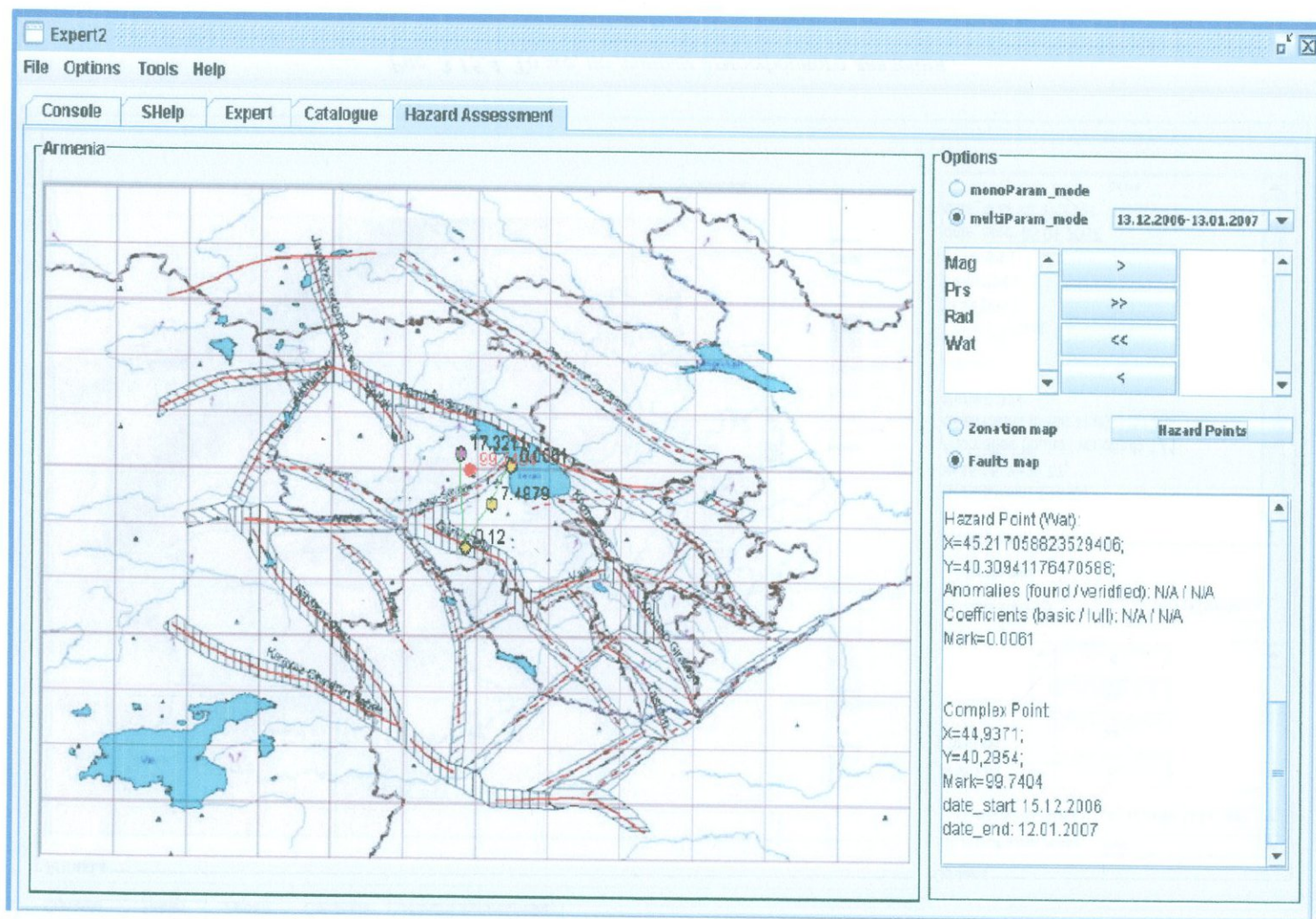


Рис. 3.15.5. То же, по данным четырех параметров и их комплексу.

Результаты тестирования системы на примере других землетрясений

Для выяснения возможностей программы “Уйс” она протестирована, кроме Гаварского землетрясения, еще на 7-и сейсмических событиях с $M \geq 3.7$, произошедших на территории РА с 1993г. по 2007г. Тестирование показало следующее (табл. 3.2):

Расстояния R между эпицентрами протестированных землетрясений и рассчитанными зонами текущей сейсмической опасности равны:

1. по ГГД-данным - от 8 до 107 км, а в среднем – 32 км;
2. по радонометрическим данным - от 19 до 53 км, в среднем – 35 км;
3. по геомагнитным данным - от 21 до 65 км, в среднем – 39 км;
4. по данным атмосферного давления (по 2-м событиям) - 59 и 64 км, в среднем – 62 км;
5. по комплексу четырех (или трех) параметров - от 8 до 47 км, а в среднем – 33 км.

Рассчитанное время протестированных землетрясений получилось:

1. по ГГД-данным - от 13 дней до события до 0 дней (совпадение с реальным днем события), в 6-и случаях из 8-и совпадая с реальным днем события;
2. по радонометрическим данным - от 12 дней до события до 0 дней, в 3-х случаях совпадая с реальным днем события;
3. по геомагнитным данным - от 24 дней до события до 6 дней после него, в одном случае совпадая с реальным днем события;
4. по данным атмосферного давления – 2 и 4 дня до события;
5. по комплексу четырех (или трех) параметров - от 3 дней до события до 0 дней, в 6-и случаях из 8-и совпадая с реальным днем события.

Максимальная магнитуда $M_{\text{макс}}$, как сказано выше, определялась по графикам зависимости куммулятивного количества и магнитуды землетрясений, а также по графикам выделенных деформаций землетрясений с магнитудой $M \geq 2.5$, то есть хорошо разработанными и апробированными сейсмологическими методами.

Таблица 3.2

N	Дата	M	ϕ	λ	Rwat; Δt	Rrad; Δt	Rmag; Δt	Rprs; Δt	Rcomp; Δt	Регион
1	12.01.2007	3.7	40.28	45.08	25; 0	33; 0	21; -24	59; -2	8; 0	Гавар
2	13.03.2005	4.0	40.18	45.93	107; -1	20; -2	55; -15	64; -4	32; -1	Варденис
3	25.10.1998	3.7	40.75	44.38	20; -13	53; -12	41; -3	нет аном-й	47; -3	Спитак
4	01.03.1997	3.7	40.12	44.47	36; 0	19; 0	32; -11	нет аном-й	28; 0	Паракар
5	20.01.1996	4.4	40.40	45.55	27; 0	43; 0	65; +6	нет аном-й	43; 0	Варденис
6	10.10.1993	3.8	40.38	44.95	8; 0	40; -1	38; -1	нет аном-й	40; 0	Гавар
7	10.10.1993	3.7	40.35	44.92	12; 0	37; -1	34; -1	нет аном-й	37; 0	Гавар
8	09.10.1993	3.8	40.29	44.92	17; 0	31; -1	28; 0	нет аном-й	31; 0	Гавар
Среднее					32 км	35 км	39 км	62 км	33 км	

Таким образом:

1. Ретроспективно сделанные расчеты по комплексу четырех параметров показали, что расчетное время Гаварского землетрясения - 12.01.2007г., то есть в реальный день землетрясения, а ожидаемое место (эпицентр) землетрясения - в 8 км от фактического эпицентра события. При этом, величина максимально ожидаемой магнитуды не должна была превысить предел 5.5 для центральной части территории Армении. Реальная же магнитуда Гаварского землетрясения была равна 3.7.
2. В результате ретроспективного тестирования программы “Уйс” по 8-и сейсмическим событиям с $M \geq 3.7$, произошедшим на территории РА с 1993г. по 2007г., получена хорошая сходимость расстояний между эпицентрами протестированных землетрясений и рассчитанными зонами текущей сейсмической опасности, а также между рассчитанными временами землетрясений и их реальным временем. Максимальная магнитуда $M_{\text{макс}}$ землетрясений определялась сейсмологическими методами.

После Спитакской трагедии прошло более 20 лет, и каждый год неизбежно приближает нас к следующему сильному землетрясению. Последствия ряда сильных землетрясений, произошедших за последние годы в мире и нашем регионе, а также вызывающее беспокойство накопление сейсмической энергии на юго-востоке Республики Армения усилили внимание на проблему снижения сейсмического риска, важной составной частью которой является своевременная и правильная оценка текущей сейсмической опасности и, впоследствии, прогноз сильных и ощутимых землетрясений. Такая оценка лежит в основе раннего оповещения населения в случае угрозы сильного землетрясения. Такая оценка необходима для принятия упреждающих и адекватных мер по защите населения от разрушительных землетрясений.

Высокая степень актуальности проблемы оценки сейсмической опасности диктует необходимость дальнейших исследований по выявлению и изучению предвестников землетрясений, особенностей их проявления, повышению качества и надежности оценки сейсмической опасности и, в частности, текущей сейсмической опасности.

Ամփոփում

Ուժեղ երկրաշարժերի կանխատեսումը բարդ գիտական հիմնախնդիր է, որի միջանկյալ լուծումը սեյսմիկ վտանգի գնահատումն է: Երկրաշարժերի նախանշանների դրսևորման օրինաչափությունների իմացությունը՝ ֆիզիկական դաշտերի համալիրի վերլուծության հիման վրա գգալիորեն բարձրացնում է նախանշանային հատկանիշների բացահայտման միանշանակությունն ու հուսալիությունը:

Սպիտակի աղետից հետո անցել է ավելի քան 20 տարի, և ամեն տարին անխուսափելի մոտեցնում է մեզ հաջորդ ուժեղ երկրաշարժին: Վերջին տարիներին աշխարհում և մեր տարածաշրջանում տեղի ունեցած մի շարք ուժեղ երկրաշարժերի հետևանքները, ինչպես նաև անհանգստություն հարուցող՝ սեյսմիկ էներգիայի կուտակումը Հայաստանի Հանրապետության հարավ-արևելքում կրկին ստիպում են լուրջ ուշադրություն դարձնել սեյսմիկ ռիսկի նվազեցման հիմնահարցին, որի կարևոր բաղկացուցիչ մասն է ընթացիկ սեյսմիկ վտանգի ժամանակին և ճշգրիտ գնահատումը և, հետագայում, ուժեղ և տեղական գգալի երկրաշարժերի կանխատեսումը:

Սեյսմիկ վտանգի ճշգրիտ և ժամանակին գնահատման համար անհրաժեշտ է պարզել միապարամետրային դիտացանցերի ինֆորմատիվությունը (գգայունակությունը) և դիտակետերի արձագանքելիությունը սեյսմիկ իրադարձությունների նախապատրաստմանը, գիտենալ տարբեր ուժի երկրաշարժերի նախանշանների դրսևորման տարածաժամանակային յուրահատկությունները, բացահայտել մոնիթորինգի տարբեր պարամետրերի միջև կորելացիոն կապերի աստիճանը, պարզել անոմալիաների և երկրաշարժերի պարամետրերի միջև վիճակագրական կախվածության աստիճանը:

Այս աշխատանքում, մասնավորապես.

1. Ցույց է տրված մոնիթորինգային դիտակետերի ինֆորմատիվությունը Հայաստանի Հանրապետության տարբեր երկրաբանա-տեկտոնական պայմաններում:
2. Բացահայտված են տարբեր ուժի 18 տեստավորված երկրաշարժերի նախանշանների դրսևորման տարածաժամանակային յուրահատկությունները Հայաստանի տարածքում: Ներկայացված են Սպիտակի աղետալի երկրաշարժի և երկրաշարժերի հիմնական երկու խմբերի՝ ուժեղ տարածաշրջանային ($M \geq 6.0$) և տեղական գգալի ($3.7 \leq M \leq 5.0$), նախանշանների դրսևորման ընդհանուր տարածաժամանակային յուրահատկությունները: Բոլոր 18 երկրաշարժերի համար ստեղծված են տարբեր պարամետրերի անոմալիաների դրսևորման ժամանակների

դիագրամները և երկրաշարժերի նախապատրաստմանն ու իրականացմանը դիտակետերի արձագանքելիության քարտեզները:

3. Կառուցված է 656 անոմալիաների հատկանիշներն արտահայտող՝ 167 տեստային նախանշանների դրսևորման դաշտը, և բացահայտված են նախանշանների դրսևորման ինտենսիվության փոփոխությունները երկրաշարժի պահին մոտենալիս: Բացահայտված է նախանշանի մակերևույթի կախվածությունը երկրաշարժի մագնիտուդից:

4. Կառուցված են մոնիթորինգային տարբեր պարամետրերի միջև կորելացիայի գործակիցների մատրիցաներ և կորելացիոն կապերի դաշտեր, բացահայտված են տարբեր պարամետրերի նախանշանների միջև կորելացիոն կապերը:

5. Առաջարկված է ընթացիկ սեյսմիկ վտանգի համալիր գնահատման մեթոդոլոգիա և ցույց է տրված նրա գործնական կիրառումը:

6. Ներկայացված են ընթացիկ սեյսմիկ վտանգի համալիր գնահատման «Հույս» նոր համակարգը և նրա փորձարկման արդյունքները մի շարք երկրաշարժերի հետհայաց տեստավորման հիման վրա:

Սեյսմիկ վտանգի գնահատման հիմնախնդրի խիստ հրատապ լինելը թելադրում է երկրաշարժերի նախանշանների բացահայտմանն ու հետազոտմանը, դրանց դրսևորման յուրահատկություններին, սեյսմիկ վտանգի, մասնավորապես, ընթացիկ սեյսմիկ վտանգի գնահատման որակի և հուսալիության բարձրացմանն ուղղված հետազոտությունների անհրաժեշտությունը:

Summary

The prediction of the strong earthquakes is a complex scientific problem. The intermediate solution of this problem is the seismic hazard assessment. Knowledge of earthquake precursors display appropriateness based on the analysis of the scope of physical fields has been considerably increasing the uniqueness and reliability of precursory properties.

Since Spitak disaster more than 20 years had passed, and by the each consequent year we would have been approaching the next strong seismic event. The consequences of a number of strong earthquakes worldwide and in our region as well as concern caused accumulation of seismic energy in the south east of Armenia urge us to pay special attention to the landmark problem of seismic risk reduction which important component is current seismic hazard timely and precise assessment and further prediction of the strong and local perceptible earthquakes.

Aiming at the timely and precise seismic hazard assessment it is necessary to:

- define mono-parametric observation networks information capacity (sensitivity) and responsiveness of the observation points to seismic event preparation;
- be aware of precursors spatial and temporal features display for variable magnitude earthquakes;
- establish correlation level between different monitoring parameters;
- ascertain the level of statistical relationship between the anomaly and earthquake parameters.

In particular, the following activities are provided in the study:

1. Information capacity of monitoring points for different geological and tectonic conditions of the country has been shown.
2. Precursors spatial and temporal features for 18 tested earthquakes with variable magnitude have been defined. Along with Spitak devastating earthquake two main groups of earthquakes are presented namely strong regional $M \geq 6.0$ and local perceptible $3.7 \leq M \leq 5.0$ ones, and common spatial and temporal display of the precursors. Time diagrams of different parameter anomaly display and observation points responsiveness maps of earthquake preparation and realization for all 18 earthquakes have been compiled.

3. 167 testing precursors display field expressing the distinguishing features of 656 anomaly is compiled, and changes in precursor display intensity while approaching the earthquake are defined. The dependence of precursor surface on the earthquake magnitude is outlined.
4. Correlation coefficients matrix and correlation links images between different monitoring parameters have been established.
5. The methodology of current seismic hazard complex assessment and its applications are provided.
6. The new "Hooy's" (Hope) system for current seismic hazard complex assessment and its testing results based on retrospective testing of a number of earthquakes have been presented.

Список использованной литературы

1. Աղիքեկյան Մ., Մուրադյան Ա. Երկրաշարժերի էլեկտրամագնիսական նախանշանների անջատումը Expert մեթոդիկայի կիրառմամբ: ՀՀ ԳԱԱ հիմնադրման 60-ամյակին նվիրված գիտաժողովի նյութեր: Գյումրի, 2004, էջեր 165-168:
2. Անտոնյան Ա., Պետրոսյան Հ., Մարգարյան Ա. Երկրաշարժերի նախանշանների բացահայտումը երկրաֆիզիկական և երկրաքիմիական տվյալների կորելացիոն վերլուծության մեթոդով: Գիտական նստաշրջան, նվիրված ՀՀ ԳԱԱ հիմնադրման 60-ամյակին, 28-31 հոկտեմբերի 2003թ. Գյումրի, 2004, էջեր 171-174:
3. Անտոնյան Ա., Պետրոսյան Հ., Մարգարյան Ա., Վարդանյան Գ., Խանգալոյան Ա., Աղիքեկյան Մ., Բաղդասարյան Հ. Ընթացիկ սեյսմիկ փտանգի գնահատման «Հույս» փորձագիտական նոր համակարգի փորձարկումը և տեստավորումը Հայաստանի ՄՊԱԾ-ում: Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.233-241.
4. Բաբայան Թ.Հ. Հայաստանի Հանրապետության, Արցախի և հարակից տարածքներում հնագույն ժամանակներից մինչև 2003 թվականը տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժերի ատլաս: «Տիգրան Մեծ», Երևան, 2006թ., 140 էջ:
5. Խաչիյան Էդուարդ - Կիրառական երկրաշարժագիտություն, -Եր., ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատ., 2001թ., 320 էջ:
6. Կարապետյան Ս.Ս., Մկրտչյան Գ.Ա., Գրիգորյան Ս.Ա. 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժի հետզնցումների գրանցումների հետախայաց վերլուծություն: Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.85-93.
7. Վարդանյան Գ. Երկրաշարժերի երկրաքիմիական նախանշանների անջատումը Expert մեթոդիկայի կիրառմամբ: ՀՀ ԳԱԱ հիմնադրման 60-ամյակին նվիրված գիտաժողովի նյութեր: Գյումրի, 2004, էջեր 174-177:
8. Ахвердян Л.А., Нагапетян В.В. Тектономагнитные исследования на территории Армении. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1985.
9. Ахвердян Л.А. Магнитоупругие, электромагнитные и электроупругие эффекты, предшествующие сильным землетрясениям на Араратском сейсмопрогностическом полигоне. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геологических наук. ИГН НАН РА. Ереван, 2006, 50 с.
10. Бабаян Т.О. О зоне Ахурянского сейсмогенного тектонического нарушения. Изв. АН Арм.ССР, Науки о Земле, XXXVII, N 5, 1984, с.54-60.
11. Баласанян С.Ю., Петросян Г.М., Аванесян А.С., Адиебян М.В. Некоторые результаты наблюдений методом необратимости нестационарных процессов в период подготовки и реализации Ноемберянского землетрясения (18.07.1997). Сейсмостойкое строительство, М., N1, 1999, с.40-43.
12. Баласанян С.Ю., Петросян Г.М., Аванесян А.С., Геворкян Э.Л. Информативность радонометрических наблюдений на территории Армении при подготовке и реализации землетрясений. Сейсмостойкое строительство, М. N 1, 1999, с.36-40.
13. Баласанян С.Ю., Назаретян С.Н., Амирбекян В.С. Сейсмическая защита и ее организация. Гюмри, Эльдorado, 2004, 436 с.
14. Баласанян С.Ю., Аванесян А.С., Акопян Г.С., Рейлинджер Р. GPS-наблюдения на территории Армении. Сейсмостойкое строительство, 1999, №1, с.32-34.
15. Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А., Игумнов В.А. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений, М.Наука, 1992.
16. Басенцян М.М., Рудаков В.П. Радоновый предвестник Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Изв. Акад. Наук Арм. ССР, Науки о Земле, 1989, N 3, с.64-67.
17. Биологические предвестники. Параванское землетрясение 13 мая 1986. М.,Наука, 1991.

18. Воинов В.В., Гуфельд И.Л., Кругликов В.В., Ледовский И.С., Маренко В.Ф., Мирanian Ф.П., Панаджян В.Г., Ямпольский В.С. Эффекты в ионосфере и атмосфере перед Спитакским землетрясением 7 декабря 1988г. Известия Академии Наук, Физика Земли, Москва, 1992, №3, с.96-101.
19. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР, Изд. ЕГУ, Ереван, 1981.
20. Гаспарян Р.К. К вопросу о механизме образования эманационных аномалий в геодинамических зонах. Изд. ВИНТИ, №82-В89, М., 1989, с.13.
21. Геодакян Э.Г., Бабаян Т.О. Сейсмотектоническая модель территории Нагорно-Карабахской республики и оценка сейсмического потенциала его элементов. Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.280-293.
22. Геодакян Э.Г., Мкртчян Г.А. Оценка сейсмической опасности территории Нагорно-Карабахской республики. Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.293-302.
23. Гидрогеохимические предвестники землетрясений. М, Наука, 1985.
24. Григорян А.Г., Сковородкин Ю.П. Пространственно-временные изменения переменного магнитного поля при изучении геодинамических процессов в земной коре на территории Армении. Труды научной конференции, посвященной памяти А.Г. Бабаджаняна, Гюмри, 1999.
25. Грызлов В.И., Грызлова Т.П. "Турбо Паскаль 7.0". "ДМК", М., 2000.
26. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М. ИФЗ АН СССР. 1984, 188 с.
27. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М. ИФЗ АН СССР. 1991, 219 с.
28. Дургарян Р.Р. Особенности предвестника "сейсмическое затишье" сильных землетрясений на Кавказе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук. ИГН НАН РА. Ереван, 2006, 25 с.
29. Зубков С.И. Времена возникновения предвестников землетрясений. //Изв. АН СССР. Физика Земли. 1987. N 5, с.87-91.
30. Карапетян К.А. Статистические методы обработки геофизических данных при решении разведочных задач. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. ИГН НАН Армении. Ереван, 2007, 18 с.
31. Касахара К. Механика землетрясений. М., Мир. 1985, 262 с.
32. Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П. Нелинейная динамика и проблемы прогноза. Вестник Российской Академии наук, 2001, том 71, N.3, с.210-232.
33. Моги К. Предсказание землетрясений. М., Мир, 1988, 382 с.
34. Маргарян С.С. Сейсмический режим и оценка опасности территории Армении. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук. ИГН НАН РА. Ереван, 2004, 18 с.
35. Мкртчян М.Б. Механизм очагов сильных землетрясений Армянского нагорья и их геологическая интерпретация. Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.370-379.
36. Назаретян С.Н. Модель очага землетрясений территории Армении. Вестник МАНЭБ, том 7, N 6 (54), 2002, с.34-36.
37. Оганесян С.М., Гаспарян Г.С., Оганесян А.О., Григорян В.Г., Геодакян Э.Г. Детальное сейсмическое районирование территории Армении на инженерно-геологической основе. Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.116-126.
38. Оганесян С.Р. Локальные аномалии как возможные предвестники землетрясений. Изд. Арм. ССР, Ереван, 1990.

39. Оганесян С.Р. Оценка текущей сейсмической опасности на основе изучения динамики геомагнитного поля. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геологических наук. ИГН НАН РА. Ереван, 2004, 50 с.
40. Петросян Г.М. Тестирование и прогноз землетрясений. Ереван, 2004, 160 с.
41. Петросян Г.М., Адиебян М.В. Изменение интенсивности проявления предвестников по мере приближения к моменту землетрясения. Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию акад. А.Г.Назарова. Гюмри, 7-11 октября 2008г., с.410-415.
42. Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. Часть I. В.Г.Косовых. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. – М., ГЕОС, 2005, 179 с. (Вычислительная сейсмология, вып. 36).
43. Результаты изучения Зангезурского землетрясения. Изд. АН Арм. ССР, 1974.
44. Ромашкова Л.Л. Среднесрочный прогноз землетрясений на основе пространственно-стабильных кластеров тревог. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН. М., 2004, 18 с.
45. Рудаков В.П. К вопросу о мониторинге подпочвенного радона на прогностических полигонах. Геология и геофизика, N1, Москва, 1985.
46. Сборник научных трудов конференции, посвященной 60-летию основания НАН РА. Изд. «Гитутюн», Гюмри, 2004. 324 с.
47. Сидорин А.Я., Лукк А.А. Возможности и проблемы прогнозирования сейсмической катастрофы на примере разрушительного Джиргаталяского землетрясения 1984г. в Таджикистане. Физика Земли, 1996, N 3, с.53-64.
48. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993, с.313.
49. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М., Наука, 2003, 270с.
50. Солодилов Л.Н. От прогноза землетрясений к оценке сейсмической опасности для контролируемой территории. Вопросы геодинамики и прогноза землетрясений. Геофизика 21-го столетия: 2002 год. М. Научный Мир, 2003, с.302-306.
51. Челидзе Т.Л. К оценке статистической эффективности предвестниковых явлений по ретроспективным данным. М., Физика Земли, N.12, 1984, с.36-39.
52. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. “Недра”, М., 1971.
53. Arakelian A.R., Martirosian A.H. (1996) Seismic patterns in Armenian Upland. “Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London, ILP Publication n.333, pp.457-470.
54. Babayan T., Karapetyan S., Abrahamyan H. (1997) Investigations of microseismic vibrations from seismogeneous sources as a presage of seismic events. Fifth International Congress on Sound and Vibration. December 15-18, 1997, Adelaide, South Australia, pp.71-74.
55. Badalian M., Petrosyan H., Adibekian M., S.Balassanian (1998) Peculiarities manifested by geomagnetic earthquake precursors on the territory of Armenia. The Second international conference on earthquake hazard and seismic risk reduction. Yerevan, Armenia, p.203.
56. Badalyan M., Petrosyan H., Adibekyan M. (2001) Peculiarities of magnetic precursors of earthquakes on the territory of Armenia. Journal of Georgian Geophysical Society. Physics of Solid Earth, Vol.5, Tbilisi, pp.37-43.
57. Balassanian S.Y., Nazaretian S.N., Martirosyan A.H., Petrosyan H.M., et al (1997). Earthquake Prediction Research in Armenia. The 29th General Assambly of the IASPEI, Thessaloniki, Greece, August 18-28, p.138.
58. Balassanian S.Y., Petrosyan H.M., Avanesian A.S., Adibekian M.V., Kobilsky V. (1998) Observation by the method of irreversibility of non-stationary processes during preparation and realization of seismic event. The Second international conference on earthquake hazard and seismic risk reduction. Yerevan, Armenia, p.201.
59. Balassanian S., Petrosyan H., Avanesian A., Gevorkian E. (1998) Efficiency of radonometric observations on the territory of Armenia during the earthquake preparation and realization. The

- Second international conference on earthquake hazard and seismic risk reduction. Yerevan, Armenia, p.176.
60. Balassanian S.Y. (1999) The Anomalous Daily Dynamic of Local Geophysical and Geochemical Fields (ADF) Effect Study in the Connection with Earthquake Preparation and Occurrence. *Phys. Chem. Earth(A)*, Vol. 24,N 8, pp.741-752.
 61. Balassanian S.Y. , Petrosyan H.M., Avanesian A.S., Igumnov V.A. (1999) Current seismic hazard assessment on the territory of Armenia before the Javakhet earthquake in south Georgia. 2nd International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology. Chania, Greece, p.14.
 62. Balassanian S. (2000) Earthquake prediction research for current seismic hazard assessment. *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.169-209.
 63. Belyaev A.A., Igumnov V.A. Method of Analysis of Geochemical Oscillations to Earthquake Prediction (2000) Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.231-238.
 64. Chelidze T.L. Earthquake prediction: pro and contra (2000) *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.225-229.
 65. Gasparyan R.K. (1999) Investigation of the Stress-Deformed state Landslide Slopes by Means of Elektrometrical and Radiometrical Methods. Third International Conference of Seismology and Earthquake Engineering. Tehran, I.R. Iran, 1999, pp.481-487.
 66. Hovhannisyan Hayk, Petrosyan Hrachya (2007) Probability of seismic realization of radon precursors of earthquakes ($M \geq 3.7$) in Armenia and adjacent territories. Proceedings of IUGG XXIV General Assembly, July 2-13, 2007, Perugia, Italy, p.6430.
 67. Ignatossian, G.O., Pharbekov A.I., Nikonov A.A., Ossipian L.L., and Sarkissov B.E. (1989): On the biological indication of the Spitak earthquake. Spitak-88 International Seminar Abstracts. *Izv. Akad. Nauk Arm. SSR*, Yerevan, pp.22-24.
 68. Igumnov V.A., Kazarian A.A. (1993) Geochemical precursors to earthquakes and relaxation of geochemical parameters. Proceeding of Scientific meeting on the seismic protection. Venice, Juli, pp.148-151.
 69. Igumnov V., Khondkaryan V., Petrosyan H., Nersissyan H., Woit H., Milkereit C., Zschau J. (1999) Geochemical variations connected with earthquake swarm in South Georgia, January 1999. 2nd International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology. Chania, Greece, p.10.
 70. Khazhakian N.L., Pribilsky G.Y., Melikian S.A. (1993) Comparative analysis of the changes of organisms biological characteristics and geophysical parameters of medium during earthquakes preparation and realization. International conference on continental collision zone earthquakes and earthquake hazard reduction. Yerevan, Armenia.
 71. Kiracossian Kh.V. (1993) Geoelectrical variations before the Armenian 1988 Spitak earthquake. International Conference of Continental Collision Zone Earthquakes and Earthquake Hazard Reduction, Yerevan, Armenia, October 1-6, p.48.
 72. Lagios E., Sideris G., Zervos F., Tsourlos P., Nicholson R.A., Ponomarev Al., Salov B., Balassanian S., Petrosyan H., Bushati S., Lika O., (2000) Tectonic early warning system through real-time Radon (Rn) monitoring: preliminary results of a geophysical method for forecasting earthquakes. *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.261-270.
 73. Manaselyan Khachik, Aslanyan A., Zohrabyan M., Petrosyan H., and Adibekyan M. (2004) VHF electromagnetic precursors of some earthquakes having taken place in the Iranian region in November, 2003. Proceedings of 5-th General Assembly of Asian Seismological Commission. 18-21 October 2004, Yerevan, Armenia, p.211.
 74. Muradian S.G., Petrosyan H.M., Mesropian A.M., Movsessian A.S. (1993) On results of search for short-term and operative precursors to the 1992 Barysakho (Georgia), 1992 Martuni (Armenia) and 1993 Tsovagiugh (Armenia) earthquakes according to the underground water level

monitoring. International Conference of Continental Collision Zone Earthquakes and Earthquake Hazard Reduction, Yerevan, Armenia, October, 1-6, p.66.

75. Petrosyan H., Avakian K., Adibekian M., Balassanian S. (1998) Seismobiological anomalies to Noyemberian and Jrashen earthquakes (Armenia, 1997). The Second international conference on earthquake hazard and seismic risk reduction. Yerevan, Armenia, p.207.

76. Petrosyan H.M. (1999) Peculiarities of electromagnetic field on the territory of Armenia during preparation and realization of the earthquake swarms. 2nd International Workshop, Chania, Greece, p.27.

77. Proceedings of the 4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE4). Tehran, Iran, May 12-14, 2003, 252 p.

78. Proceedings of the XXIII General Assembly of the IUGG 2003, June 30 – July 11, 2003, Sapporo, Japan, Week A, 635 p.

79. Proceedings of the Asian Seismological Commission V General Assembly. 18-21 October 2004, Yerevan, Armenia.

80. Sideris G., Lagios E., Zervos Fr., Nicholson R.A., Sobolev G., Ponomarev Al., Salov B., Balassanian S., Petrosyan H., Bushati S. and Lika O. (2004) Real time radon (Rn) monitoring: a geophysical method for forecasting earthquakes. Proceedings of 5-th General Assembly of Asian Seismological Commission. 18-21 October 2004, Yerevan, Armenia, pp.197-198.

81. Woith H., Milkereit C., Zschau J., Maiwald U., and Pekdeger A. (1998) Monitoring of thermal and mineral waters in the frame of READINESS. Proceedings of the 9th International Symposium on Water-Rock Interaction. Rotterdam (Balkema), Holland, pp.809-812.

Приложение 1. Сводная таблица каталога аномалий-предвестников протестированных землетрясений

N	Землетрясение	Параметр	Станция	Δ (км)	Длина врем. ряда	ΔT (дни)	Ампли- туда аномалии	Тип аномалии	Вероят- ность $P = m / n$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Нарман, Турция 30.10.1983 M = 6.8	Геомагн.- СР	Гюлаг.- Джермук	262	с 80 / 80	510	22	с/с	1/1
		He	Арабат	264	с 07.78	236	195	к/с	2/4
		He	Суренаван	267	с 12.79	180	360	к/с	1/1
		He	Каджаран	397	с 01.83	142	1.130	к/с	1/4
2	Спитак, Армения 07.12.1988 M = 7.0	Геомагн.- СР	Гюлаг.- Джермук	19	с 80 / 80	1020	32	с/с	1/1
		ГГД	Мецамор	85	с 01.86	840	52	с/с	1/2
		ГГД	Горис	235	с 01.87	457	48	с/с	1/2
		ГГД	Севан	71	с 01.87	380	198	к/с	1/1
		ГГД	Ноемберян	59	с 01.86	247	220	к/с	2/5
		ГГД	Дзорахпюр	87	с 01.88	234	70	к/с	1/1
		Cl	Суренаван	133	с 12.79	220	0.8	к/с	1/5
		НСОз	Каджаран	257	с 01.83	165 и	1.22	к/с	1/5
						реакция	2.44	---	---
		pH	Каджаран	257	с 01.83	157 и	*	к/с	1/8
						реакция	0.34	---	---
		Cl	Каджаран	257	с 01.83	127 и	0.72	к/с	1/4
						реакция	0.8	---	---
		pH	Арабат	125	с 07.78	117	0.85	к/с	1/2
		He	Каджаран	257	с 01.83	68 и	480	к/с	5/9
						реакция	1280	---	---
		ГГД	Дзорахпюр	87	с 01.88	57	13	к/с	1/4
		ГГД	Горис	235	с 01.87	39	9	к/с	1/1
		Радон п/п	Кумайри	32	с 01.86	34	18	к/с	1/13
		ГГД	Ноемберян	59	с 01.86	14	247	к/с	1/1
		pH	Суренаван	133	с 12.79	реакция	0.43	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Рудбар, Иран 20.06.1990 M = 7.7	He	Каджаран	363	с 01.83	230 и реакция	750 1040	к/с ---	5/9 ----
		Радон п/п НСО ₃	Джермук	444	с 01.81	88	10	к/с	2/21
			Каджаран	363	с 01.83	73 и	1.4	к/с	1/3
		pH	Каджаран	363	с 01.83	реакция 41 и	2.8 0.42	---	---
		ГГД	Мецамор	567	с 01.86	реакция 30	0.43 26	к/с	1/1
		ГГД	Ашопк	648	с 01.90	5	29	к/с	1/1
		Cl	Каджаран	363	с 01.83	реакция	1.0	---	---
4	Рача, Грузия 29.04.1991 M = 7.1	He	Каджаран	323	с 01. 83	72	580	к/с	5/9
		Геомагн.- СР Радон п/п	Гюлаг.-Джермук	71	с 80 / 80	36	48	к/с	1/5
			Джермук	241	с 01.81	22	20	к/с	2/21
5	Эрзинджан, Тур- ция, 13.03.1992 M = 6.9	He	Каджаран	572	с 01.83	99	830	к/с	5/9
		СДРВ	Реюньон - Ереван	425	с 12.91	64	1520	к/с	3/5
		СДРВ	Ливерия-Ереван	425	с 12.91	55	2700	к/с	2/6
		СДРВ	Норвегия-Ереван	425	с 12.91	24	4700	к/с	1/3
		СДРВ	Япония – Ереван	425	с 12.91	14	800	к/с	3/5
6	Барисахо, Грузия 24.10.1992 M = 6.4	He	Каджаран	355	с 01.90	144	600	к/с	5/9
		ГГД	Дзорахпюр	249	с 01.88	120	20	к/с	1/5
		He	Суренаван	289	с 12.79	110	640	к/с	1/3
		Радон п/п	Исаакян	244	с 01.90	105	72	к/с	1/1
			Гарни	257	с 01.93	67	360	к/с	2/3
		СДРВ	Ливерия-Ереван	250	с 12.91	38	1250	к/с	3/5
		СДРВ	Реюньон - Ереван	250	с 12.91	14	200	к/с	1/3
		СДРВ	Япония – Ереван	250	с 12.91	14	380	к/с	1/3
		ГГД	Азатан	230	с 01.91	12	42	к/с	1/1
		ГГД	Горис	318	01.87	9	5	к/с	1/6
		СДРВ	Норвегия-Ереван	250	с 12.91	7	1030	к/с	3/5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Мартуни, Армения 10.12.1992 М = 5.0	ННП	Гарни	49	с 01.93	114	690	к/с	2/3
		ГГД	Дзорахпюр	56	с 01.88	63	17	к/с	1/4
		ННП	Джермук	46	с 01.92	43	88	к/с	2/3
		СДРВ	Япония – Ереван	49	с 12.91	28	180	к/с	1/2
		ГГД	Горис	105	с 01.87	3	6	опер	1/1
		ГГД	Карчахпюр	36	с 10.90	2	13	опер	1/7
		СДРВ	Реюньон - Ереван	49	с 12.91	2	180	опер	1/7
8	Цовагюх, Армения 19.02.1993 М = 3.8	ГГД	Азатан	97	с 01.91	22	38	к/с	1/1
		Радон п/п	Паракар	68	с 01.91	19	22	к/с	2/2
		He	Цовагюх	9	с 11.92	11	7200	к/с	1/10
		ННП	Джермук	103	с 01.92	10	9,2	к/с	3/4
		ГГД	Дзорахпюр	55	с 01.88	10	6	к/с	1/4
		ННП	Давидашен	59	с 01.92	7	210	к/с	2/3
		ГГД	Ноемберян	65	с 01.86	4	9	к/с	1/15
9	Бавра, Армения 18.05.1994 М=4.2	ГГД	Карчахпюр	70	с 01.90	2	10	опер	1/15
		Радон п/п	Ехегнадзор	157	с 01.92	207	62	к/с	1/2
		Радон п/п	Паракар	87	с 10.91	125	26	к/с	2/2
		ГГД	Амасия	21	с 01.90	96	26	к/с	1/2
		ГГД	Азатан	20	с 01.91	75	12	к/с	1/2
		He	Карчахпюр	156	с 12.91	56	420	к/с	2/11
		Радон п/п	Горис	249	с 06.92	56	27	к/с	1/4
10	Ашопк, Армения 09.06.1996 М = 4.1	Геомагн.- СР	Гарни-Джермук	104	10.90/80	46	27	к/с	1/2
		СІ	Ахурик	45	с 04.93	205	1.43	к/с	1/4
		ГГД	Азатан	44	с 01.91	100	13	к/с	1/1
		Радон п/п	Ехегнадзор	182	с 01.92	64	55	к/с	1/7
		ННП	Джермук	200	с 01.92	60	1.2	к/с	3/3
		Радон п/п	Джаджур	64	с 01.89	54	40	к/с	1/2
		ГГД	Мецамор	105	с 01.86	37	15	к/с	1/1
		ГГД	Арташат	136	с 01.90	30	27	к/с	2/4
		He	Карчахпюр	164	с 12.91	24	590	к/с	2/11
		pH	Карчахпюр	164	с 12.91	реакция	1.06	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Ардебиль, Иран 28.02.1997 M = 6.7	ГГД	Ехегнадзор	328	с 01.90	39	87	к/с	1/5
		Радон п/п	Горис	232	с 01.92	35	19	к/с	1/3
		Атм. давл.	Давидашен	400	с 01.93	12	14	к/с	2/7
		СДРВ	Реюньон- Ереван	400	с 12.91	8	110	к/с	1/5
		СДРВ	Реюньон - Ереван	400	с 12.91	2	30	опер	1/3
12	Паракар, Армения 01.03.1997 M = 3.7	Радон п/п	Мецамор	29	с 01.92	162	53	к/с	1/2
		Геомагн.-СР	Гюлаг.-Джерм.	100	с 80 / 80	28	42	к/с	1/2
		pH	Ахурик	92	с 04.93	26	0.93	к/с	1/3
		ННП	Давидашен	43	с 01.92	15	800	к/с	1/2
13	Ноемберян, Армения 18.07.1997 M = 4.4	НСОз	Арагат	138	с 07.78	159	0.5	к/с	1/5
		ГГД	Арташат	130	с 01.90	105	27	к/с	2/4
		Радон п/п	Аруч	117	с 11.91	78	70	к/с	1/5
		Радон п/п	Варденис	120	с 06.92	72	26	к/с	1/4
		He	Арагат	138	с 07.78	55	255	к/с	1/6
		ГГД	Ноемберян	15	с 01.86	52	50	к/с	2/5
		ННП	Ехегнадзор	148	с 12.93	42	330	к/с	1/8
		ННП	Джермук	154	с 11.92	41	240	к/с	3/3
		ГГД	Ашоцк	91	с 01.90	40	18	к/с	1/2
		НСОз	Карчахпюр	114	с 12.91	39	1.6	к/с	1/2
		ННП	Гюмри	98	с 10.95	14	720	к/с	1/2
		ННП	Каджаран	242	с 07.94	7	800	к/с	1/2
		Рыбки	Давидашен	104	с 01.84	5	140	к/с	2/5
		Радон п/п	Давидашен	104	с 01.92	1	83	опер	1/10
		ГГД	Ноемберян	15	с 01.86	реакция	79	---	---
14	Джавахет, Армения 15.01.1999 M = 4.3	ННП	Степанакерт	284	с 01.99	140	3.1	к/с	1/2
		Радон п/п	Двин	151	с 01.92	72	140	к/с	1/2
		Эл.-провод.	Каджаран-а	300	с 01.95	70	0.08	к/с	1/3
		Радон п/п	Мецамор	128	с 01.92	51	100	к/с	1/4
		Эл.-провод.	Каджаран-б	300	с 01.95	50	0.09	к/с	1/4
		Рыбки	Давидашен	127	с 01.84	15	240	к/с	2/5
		ГГД	Иджеван	104	с 10.96	10	20	к/с	1/12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Измит, Турция 17.08.1999 М = 7.4	ГГД	Кучак	1215	с 10.90	165	21	к/с	1/3
		ГГД	Мецамор	1184	с 08.86	150	12	к/с	1/3
		Радон п/п	Артик	1182	с 12.91	142	19.5	к/с	2/6
		Дебит	Каджаран	1342	с 01.95	105 и	0.5	к/с	1/4
						реакция	0.22	---	---
		ГГД	Иджеван	1282	с 10.90	100	95	к/с	1/10
		Радон п/п	Горис	1390	с 06.92	90	22	к/с	1/1
		Темп. воды	Каджаран	1342	с 05.95	82	5.6	к/с	1/3
		ННП	Артик	1182	с 05.96	69 и	8.5	к/с	1/5
						реакция	7.5	---	---
		Эл.-провод.	Каджаран	1342	с 05.95	51 и	0.08	к/с	1/3
						реакция	0.04	---	---
		ГГД	Горис	1390	с 09.87	44	6	к/с	1/1
		Геоман.	Артик	1182	с 05.92	30	80	к/с	1/3
		ННП	Давидашен	1216	с 07.93	30 и	240	к/с	2/3
						реакция	460	---	---
		ГГД	Ашоцк	1186	с 01.90	23	25	к/с	1/2
		ГГД	Ехегнадзор	1288	с 06.90	22	103	к/с	1/4
		рН	Каджаран	1342	с 01.95	17	1.37	к/с	1/12
16	Болу, Турция 12.11.1999 М=6.2	Эл.-провод.	Ахурик	1169	с 01.95	15	0.02	к/с	1/3
		Не	Арабат	1252	с 07.78	13	90	к/с	1/22
		ГГД	Карчахпюр	1304	с 10.90	12	112	к/с	1/3
		Геоман.	Ехегнадзор	1288	с 07.92	12	140	к/с	1/3
		ГГД	Ноемберян	1268	с 08.86	9	50	к/с	1/7
		Радон п/п	Ширакамут	1202	с 10.96	7	63	к/с	1/4
		Радон п/п	Мецамор	1184	с 05.92	5	113	к/с	1/1
		Геоман.	Бавра	1171	с 07.92	2	160	опер	2/12
		ННП	Джермук	1193	с 11.92	69	41	к/с	2/3
		ННП	Давидашен	1086	с 07.93	64	340	к/с	1/3
		Радон п/п	Варденис	1188	с 06.92	16	23	к/с	1/7
17	Болу, Турция 12.11.1999 М=6.2	ГГД	Ширакамут	1056	с 05.90	14	38	к/с	1/5
		ННП	Давидашен	1086	с 07.93	2	84	опер	1/4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	Баку, Азербайджан 25.11.2000 M=6.5	He	Карцахпюр	368	с 12.91	216	1240	к/с	1/6
		ГГД	Карцахпюр	368	с 10.90	201	180	к/с	1/1
		Радон п/п	Артик	504	с 12.91	184	26	к/с	2/6
		Радон п/п	Ширакамут	490	с 10.96	160	98	к/с	1/2
		ГГД	Ноемверян	445	с 08.86	146	72	к/с	1/1
		Радон п/п	Ноемверян	445	с 08.97	145	72	к/с	1/1
		He	Арарат	438	с 07.78	145	320	к/с	2/4
		Радон п/п	Гюмри	514	с 86	120	72	к/с	1/6
		Радон п/п	Степанаван	475	с 01.89	110	*	к/с	1/6
		He	Цовагюх	411	с 11.92	94	7000	к/с	1/1
		Радон п/п	Каджаран	333	с 07.92	85	54	к/с	1/2
		ННП	Каджаран	333	с 07.94	40	53	к/с	1/4
		ГГД	Иджеван	412	с 10.90	39	98	к/с	1/3
		ННП	Джермук	384	с 11.92	38	88	к/с	3/3
		Радон п/п	Гарни	443	с 12.91	32	115	к/с	1/1
		ННП	Степанакерт	271	с 01.99	9	1.4	к/с	1/4
18	Болвадин, Турция 03.02.2002 M=6.2	ГГД	Ашоцк	1093	с 01.90	630	27	с/с	1/1
		Дебит	Ахурик	1078	с 04.93	113 и	1.45	к/с	1/6
						реакция	1.20	---	---
		Темп. воды	Ахурик	1078	с 04.93	98	*	к/с	1/1
		ГГД	Севан	1170	с 04.87	65	*	к/с	1/5
		Радон п/п	Ширакамут	1114	с 10.96	48	59	к/с	1/2
		Радон в воде	Каджаран	1256	с 05.95	48	29	к/с	1/11
		Радон п/п	Кучак	1125	с 10.94	36	84	к/с	1/9
		Радон в воде	Ахурик	1078	с 04.93	34	1380	к/с	1/10
		ГГД	Ашоцк	1093	с 01.90	25	6	к/с	1/3
		ГГД	Ширакамут	1114	с 05.90	21	17	к/с	1/3
		ННП	Артик	1095	с 05.96	21	20	к/с	1/1
		ГГД	Карцахпюр	1217	с 10.90	18	28	к/с	1/2
		Радон п/п	Карцахпюр	1217	с 93	13 и	17	к/с	1/8
						реакция	34	---	---
		Радон п/п	Сисиан	1248	с 93	2	34	опер	1/16
		Дебит	Ахурик	1078	с 04.93	2	1.2	опер	1/10
		Геомагн.	5 станций	---	---	1	38 - 42	опер	1/7

Условные обозначения:

ГГД – гидрогеодинамика - уровень подземных вод (см)
Радон п/п – эмиссия подпочвенного радона (имп/мин)
ННП – электромагнитный мониторинг методом Необратимости нестационарных процессов (Вт/м^3)
Геомагн.- СР – геомагнитные наблюдения – синхронная разность (нТл)
Геомагн.- геомагнитные наблюдения (нТл)
СДРВ – сверхдлинные радиоволны (ионосферные наблюдения) (мкс)
Рыбки – активность аквариумных рыб (донных сомов) (имп/час)
Атм.давл. – атмосферное давление (мм рт.ст.)
* - неамплитудная аномалия

Гидрогеохимия (региональная сеть):

Не – концентрация гелия в минерализованной воде ($\text{мл/л} \cdot 10^{-6}$)
Cl – концентрация хлора в минерализованной воде (Е-2мг-э/л)
рН - кислотность минерализованных вод
 HCO_3 - концентрация углекислого водорода в минерализованной воде (Е-2мг-э/л)

Гидрогеохимия (сеть READINESS):

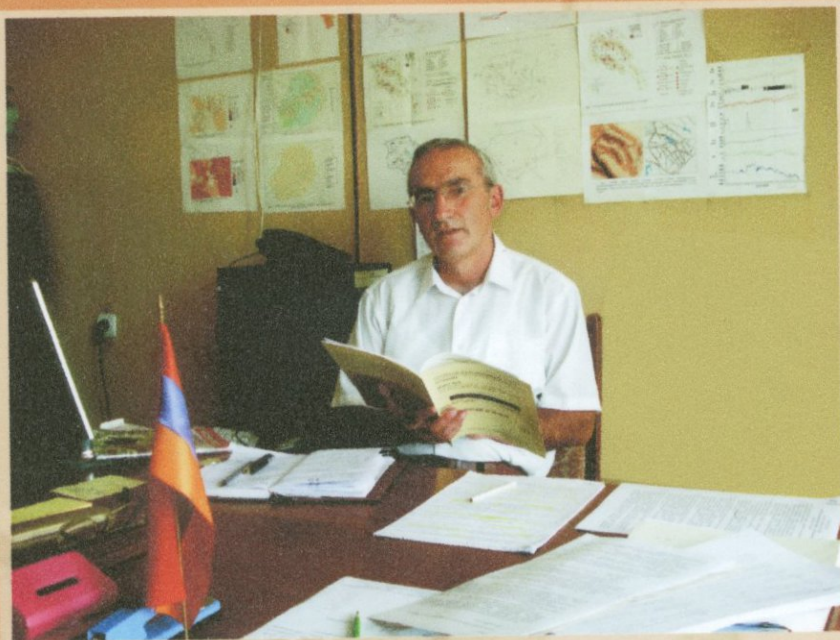
Эл.-провод. – электрическая проводимость минерализованных вод (мсим /см)
Дебит – расход минерализованных вод (л/с)
Темп. воды – температура минерализованных вод ($^{\circ}\text{C}$)
Радон в воде – относительное содержание радона в минерализованной воде (имп/мин)
рНг - кислотность минерализованных вод

Типы аномалий:

с/с - среднесрочные
к/с - краткосрочные
опер – оперативные
реакция – косейсмические и постсейсмические эффекты

Техн. редактор – Микаел Мириджанян.

Оформлено и напечатано в Издательском доме “ФЕНОМЕН”. Ереван, Аршакуняц 2, 5-й этаж.
Тираж – 200 экз.



ПЕТРОСЯН ГРАЧЬЯ МАНУКОВИЧ

Г.М.Петросян в 1973-1992 годах работал в Геолого-геофизической экспедиции Управления геологии Совмина Арм. ССР. Является одним из основателей Отряда шахтно-рудничной геофизики (1978г.).

С 1992 года по настоящее время работает в Национальной службе сейсмической защиты Республики Армения. Один из основателей Отдела геофизики (1992г.).

Область профессиональных интересов — сейсмология, оценка сейсмической опасности, разведочная геофизика, экология. Автор одной монографии и более 60 научных работ, изданных в 14 странах мира. Был ведущим исполнителем трех международных научно-прикладных проектов.

Г.М.Петросян — кандидат геологических наук, член Армянской ассоциации сейсмологии и физики Земли, член Президиума Армянского фонда сейсмической защиты, один из основателей Международной ассоциации по предвестникам землетрясений (ISEP), член-корреспондент Международной академии наук по экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ).

Часто выступает по телевидению, радио и в газетах по проблеме сейсмической защиты населения республики и снижения сейсмического риска. В течение всей трудовой деятельности проводит большую работу по подготовке молодых специалистов в области разведочной геофизики и сейсмологии.

Награжден почетными грамотами Управления геологии Совмина Арм. ССР, Национальной службы сейсмической защиты при Правительстве РА и Управления по чрезвычайным ситуациям при Правительстве РА.