



ГРАЧЬЯ ПЕТРОСЯН

ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

ГРАЧЬЯ ПЕТРОСЯН

ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Авторское издание

ЕРЕВАН— 2004

ՀՐԱՅԱ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՏԵՍԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ
ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ

ԵՐԵՎԱՆ – 2004

HRACHYA PETROSYAN

TESTING AND PREDICTION OF EARTHQUAKES

YEREVAN - 2004



УДК 550.348.436

ББК 26.21

П 311

Петросян Грачья

П 311 Тестирование и прогноз землетрясений. - Ер.: Авторское издание, 2004.- 160 стр.

Работа выполнена в Национальной службе сейсмической защиты Армении.

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

Ответственный редактор – доктор физико-математических наук, профессор С.М.Оганесян

***Книга издана на средства, заработанные моими детьми –
Маргаритой, Арамом и Рипсиме.***

Монография посвящена прогнозу сильных и местных ощутимых землетрясений и оценке текущей сейсмической опасности как промежуточному решению этой сложнейшей научной проблемы. С этой целью протестировано 18 сильных и местных ощутимых сейсмических событий. Составлен Каталог тестовых предвестников землетрясений, включающий 167 аномалий по 15-и параметрам мониторинга. Определена реагируемость пунктов наблюдений на подготовку и реализацию сейсмических событий. Выявлены пространственно-временные закономерности проявления на территории Армении предвестников землетрясений. Рассчитана вероятность сейсмической реализации предвестников. Определены статистические зависимости параметров аномалий и землетрясений.

Монография предназначена для студентов ВУЗов, слушателей магистратуры и аспирантов в качестве научно-методического пособия. Она может быть полезна для научных работников в области сейсмологии и преподавателей ВУЗов, а также для читателей, интересующихся проблемой прогноза землетрясений.

ISBN 99930-4-270-6

ББК 26.21

© Г.Петросян, 2004г.

ВВЕДЕНИЕ

Разрушительные землетрясения издавна происходили в пределах современной Армении. Последствия ряда сильных землетрясений, произошедших за последние годы в регионе, вновь заставили обратить внимание на проблему снижения сейсмического риска, своевременной и правильной оценки текущей сейсмической опасности (ОТСО), которая является важной составной частью снижения сейсмического риска на территории Армении.

Прогноз землетрясений - это вероятностная характеристика места, времени и силы сильного сейсмического события с $M \geq 5.5$. В мировой практике [11, 12, 21, 24] различают следующие виды прогноза - долгосрочный (с вероятностью реализации до 90%), среднесрочный (с вероятностью реализации 70-80%), краткосрочный и оперативный (с небольшой вероятностью реализации).

В Армении предвестники землетрясений изучались в течение последних десятилетий многими исследователями [1-5, 7, 14, 16, 20, 26-35, 38-43 и др.]. Сейсмопрогностические исследования в республике можно разделить на два этапа: до Спитакского 1988г. разрушительного землетрясения, и после создания Национальной службы сейсмической защиты (НССЗ) при Правительстве РА. На *первом* этапе (до 1988г.) 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 1978г.) и Суренаван (с 1979). ИГИС АН Арм. ССР начал измерения концентрации подпочвенного радона на станциях Джермук (с 1981) и Кумаури (с 1986), геомагнитных параметров на МВС-станциях Гюлагарак, Джанфида и Джермук (все - с 1980). Институтом "ВСЕГИНГЕО" и Управлением геологии СМ Арм. ССР были начаты измерения уровня подземных напорных вод в скважинах Ноемберян, Мецмор 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 в НКР, оснащенная однотипной аппаратурой, с передачей данных в единый Центр сбора, обработки и анализа данных. На некоторых станциях была установлена новейшая аппаратура с автоматической

регистрацией и спутниковой передачей данных в реальном масштабе времени.

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. ОТСО базируется на ретроспективном *тестировании* сейсмических событий на исследуемой территории, многопараметровом *мониторинге* литосферы, гидросферы и атмосферы в реальном масштабе времени, и *сопоставлении* текущих данных с тестами сейсмических событий. Данная монография является итогом многолетней работы автора как одного из непосредственных и активных участников исследований в области ОТСО, проводимых в НССЗ РА.

По мнению К.Моги, 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 [12].

Анализ многолетних данных, полученных за последние десятилетия на отдельных мониторинговых станциях ИГИС АН Арм. ССР, ВСЕГИНГЕО и Управления геологии Арм. ССР, АрмГЕОХИ и, в особенности, Национальной сети наблюдений НССЗ за последние 11 лет, позволил нам впервые целенаправленно протестировать практически все сильные региональные и местные ощутимые землетрясения, произошедшие за последние 20 лет.

Впервые составлен Каталог аномалий-предвестников 18-и протестированных землетрясений по 15-и параметрам мониторинга. Представлены электрические, электромагнитные, гидрогеодинамические, радоновые, геохимические, геомагнитные, ионосферные, биологические предвестники и, конечно, комплекс различных предвестников. Не рассмотрено большое семейство сейсмических и геодезических предвестников землетрясений, поскольку при тестировании сейсмических событий эти параметры нами не рассматривались.

Отдельные предвестники были выделены и опубликованы ранее в работах различных исследователей, в том числе и сотрудников НССЗ [2 - 5, 7, 16, 26 и др.], однако подавляющее большинство тестовых предвестников выделено нами и впервые представлено в работе [17].

Анализ комплекса физических полей значительно повышает однозначность и надежность выявления прогностических признаков. Об этом говорят и результаты изучения комплекса предвестников, представленные в работах [16, 25, 28, 29, 36, 37], а также опыт оперативных действий НССЗ во время Ашоцкого (09.06.1996г., $M=4.1$), Паракарс-

кого (01.03.1997г., $M=3.7$), Ноемберянского (18.07.1997г., $M=4.4$) и других ощутимых землетрясений, произошедших в Армении.

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 вызвали некоторую панику среди местного населения, повреждения зданий и сооружений. В частности, Паракарские (Ереванские) землетрясения, будучи относительно слабыми, тем не менее каждый раз вызвали 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 не-сильные, но ощутимые* землетрясения с $3.7 < M < 5.0$ [16, 36].

Тесты сильных и местных ощутимых землетрясений ежедневно используются в работе оперативных подразделений НССЗ Армении. Они позволяют: оперативно оценивать текущую сейсмическую опасность, качество поступающей с наблюдательных пунктов НССЗ информации, информативность наблюдательных сетей, реагируемость на подготовку сейсмических событий пунктов наблюдений и проявляемость различных типов предвестников. Результаты тестирования землетрясений являются методической основой развития и оптимизации Национальной многопараметровой наблюдательной сети НССЗ Армении.

Выражаю искреннюю признательность доктору технических наук, профессору С.Ю.Баласаняну за постановку проблемы и ценные советы. Благодарен кандидату геологических наук Р.Т.Мириджаняну за любовь, привитую к геофизике. Признателен доктору физико-математических наук, профессору С.М.Оганесяну и доктору геологических наук, профессору Р.С.Минасяну за полезные советы и ценные консультации. Глубоко признателен сотрудникам Геофизического и Оперативного отделов НССЗ, всем коллегам за поддержку, оказанную при выполнении работы. Особую благодарность выражаю Элеоноре Варданян за большую помощь в оформлении и подготовке к печати данной монографии.

ГЛАВА I. СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

I.1. Основные принципы развертывания сетей

Для обеспечения наибольшей информативности станций наблюдения при создании Многопараметровой сети наблюдений НССЗ были учтены известные основные принципы развертывания наблюдательных сетей:

- установка станций в известных чувствительных точках местности, таких как пункты Каджаран, Карчахпюр, Ехегнадзор и др.;
- охват зон основных активных разломов и узлов их сочленения;
- создание комплексных (многопараметровых) пунктов наблюдения для повышения однозначности и надежности выделения прогностических признаков;
- равномерность и достаточная плотность размещения на территории республики станций мониторинга.

I.2. Гидрогеодинамические наблюдения (ГГД-поле)

Уровень подземных вод в Армении измеряется в 15-и скважинах, а в первых 6-и скважинах измерения начаты в 1986г. Сеть ГГД-мониторинга и реагируемость станций на подготовку и реализацию землетрясений показаны на рис. 1. Измерения пьезометрического уровня подземных вод в скважинах ГГД-сети в настоящее время проводятся электроуровнемерами ЭУМ-1, разработанными и изготовленными в конструкторском бюро НССЗ. Погрешность измерений не превышает 5 мм. Опрос ведется круглосуточно каждый час, а данные ежедневно передаются в отдел сбора и оперативной обработки данных.

I.3. Гидрогеохимический мониторинг

Региональная геохимическая сеть НССЗ, где регулярно ведется сбор, химический анализ и обработка данных о содержании химических компонентов в подземных минерализованных водах, в настоящее время состоит из 6-и наблюдательных пунктов (скважин) (рис. 2). Первая скважина (Арарат) действует с июля 1978г. Все скважины – самоизливающиеся. Пробы воды берутся 1 раз в сутки и анализируются на содержание Cl , HCO_3 , He , pH и других (всего 14) компонентов. Среднеарифметические погрешности анализа при определении основных компонентов и параметров таковы: Cl -3,5%, HCO_3 -2,5%, He -7,5%, pH -0,4%. Кроме станций региональной сети, установлены еще 4 станции по программе READINESS в пунктах Ахурик, Каджаран, Саратовка и

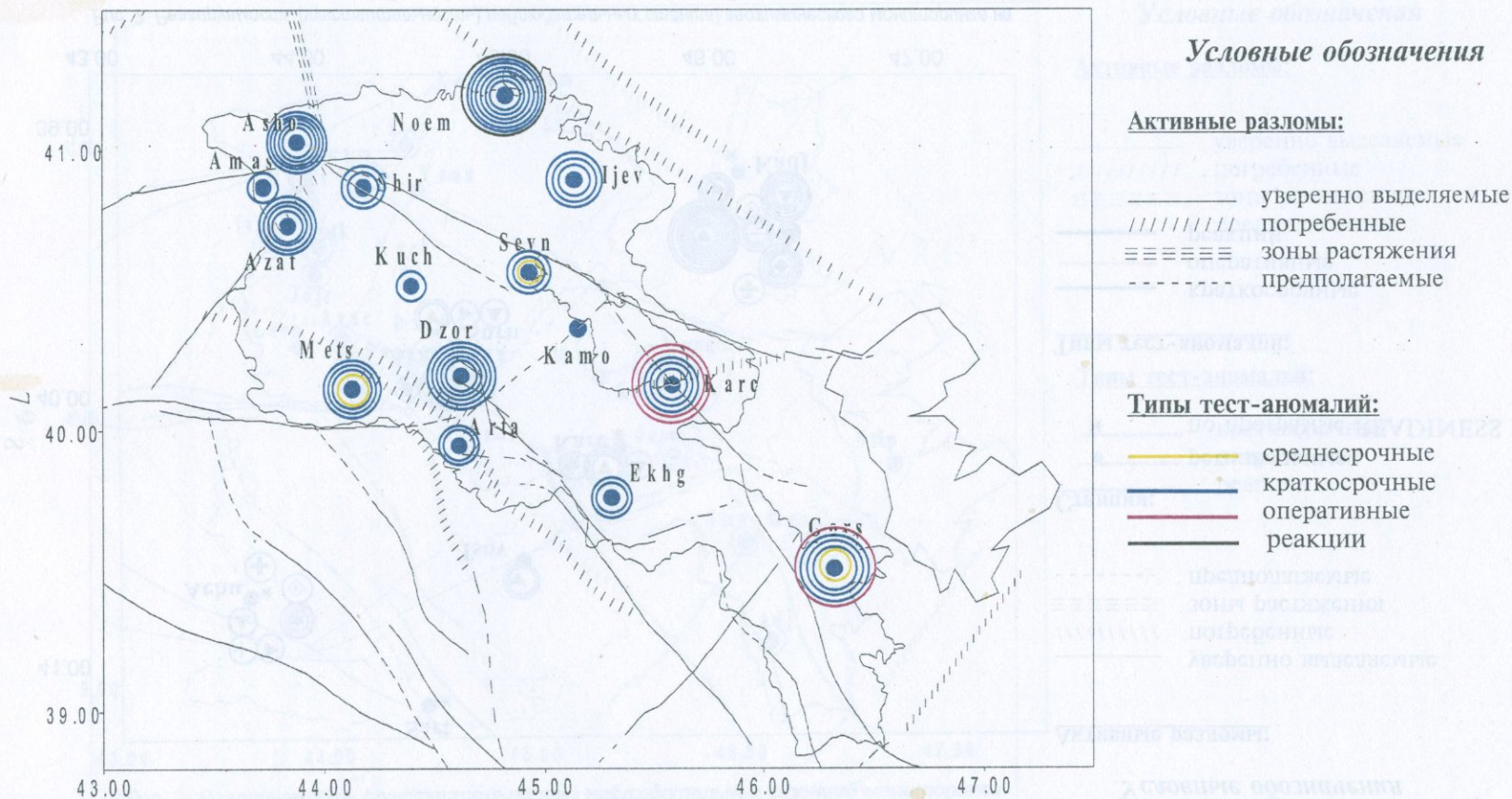
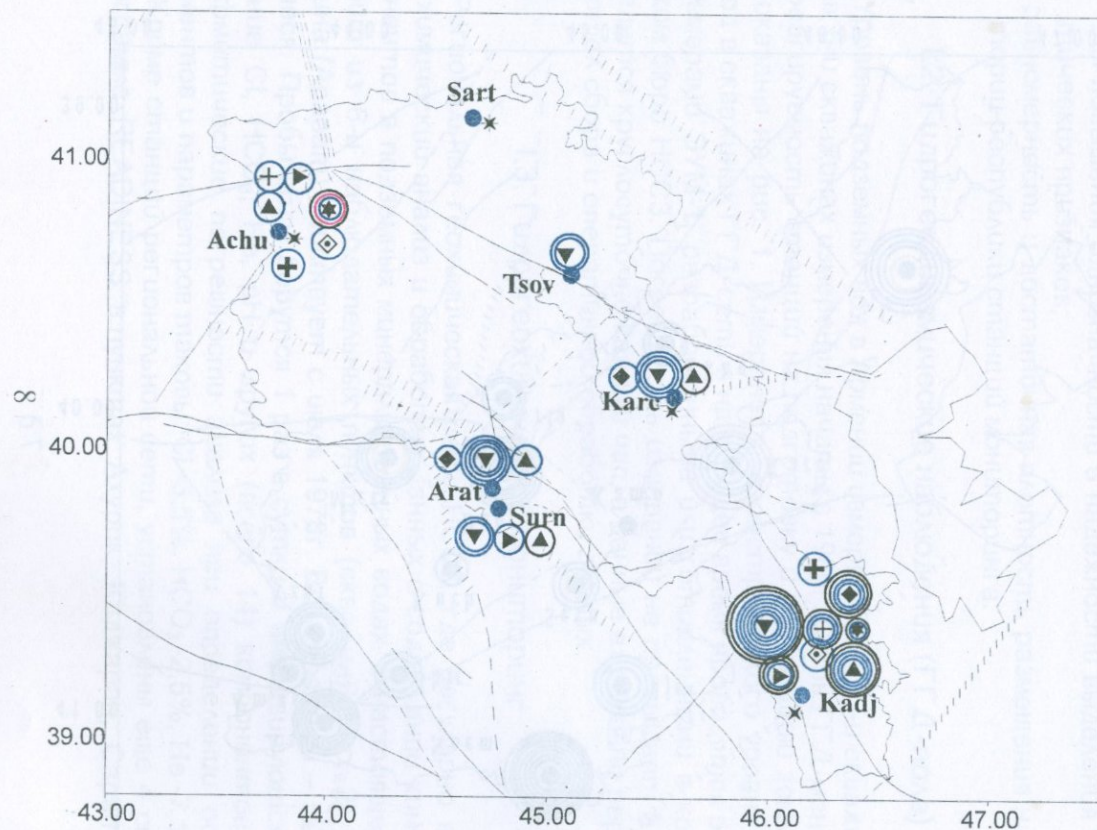


Рис. 1. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций ГГД-мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений.



Условные обозначения

Активные разломы:

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

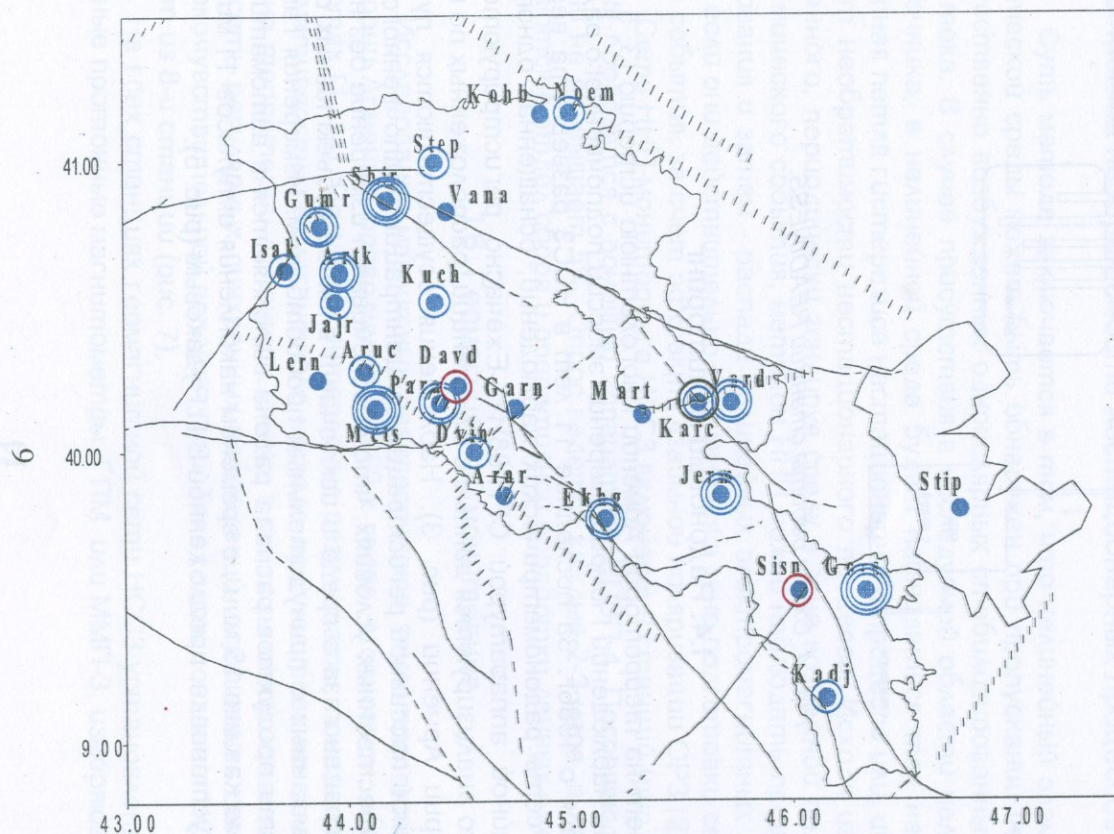
Станции:

- региональные
- * по программе READINESS

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- оперативные
- реакции

Рис. 2. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций геохимического мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений



Условные обозначения

Активные разломы:

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

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- оперативные
- реакции

Рис. 3. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций мониторинга подпочвенного района на подготовку и реализацию землетрясений.

Карцахпюр. Эти станции многопараметровые, полностью автоматические и оснащены спутниковой системой передачи данных в центр по сбору и анализу информации. Это позволяет проводить комплексный мониторинг по геохимическим, геофизическим и гидрогеологическим параметрам в реальном времени и ежедневно использовать данные READINESS при оценке текущей сейсмической опасности (рис. 4).

Сведения о дебите, температуре, величине общей минерализации вод, типе вод по составу и т.д., методико-технические вопросы отбора и анализа проб приведены в работах [4, 28].

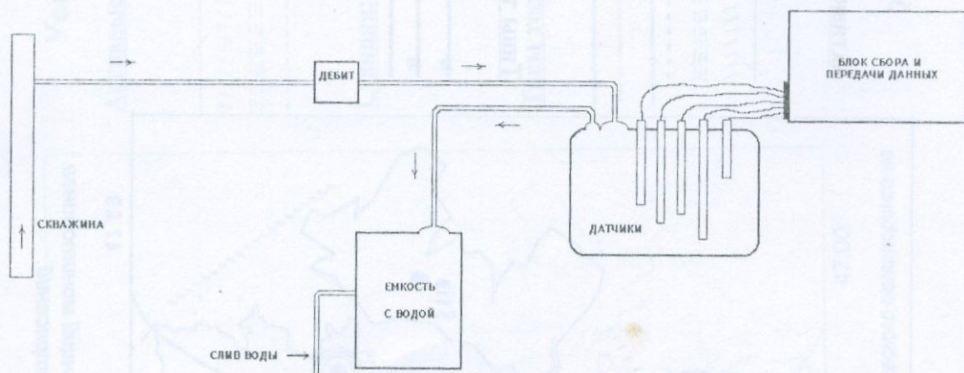


Рис. 4. Схема работы станции READINESS.

1.4. Радонный мониторинг

Имеет на территории Армении многолетнюю историю [3, 5, 32]. На пункте наблюдений Гюмри измерения эмиссии подпочвенного радона проводятся с 1986г. За последние 11 лет в НССЗ развернута весьма плотная сеть радонометрических наблюдений, оснащенная однотипной серийной аппаратурой СРП-88Н1. Ежечасно регистрируются и ежедневно анализируются данные с 27 станций, расположенных по всей территории Армении (рис. 3). Наблюдения осуществляются путем непрерывной пассивной регистрации концентрации подпочвенного радона в естественных условиях, что обеспечивает измерение без нарушения миграции газа в среде и исключает влияние субъективных факторов, связанных с принудительным пробоотбором. Измерения гамма-активности продуктов распада радона выполняются в автоматическом режиме каждые 15 мин., с временем накопления импульсов 11 мин., с помощью установки, предложенной В.П.Рудаковым (рис. 5).

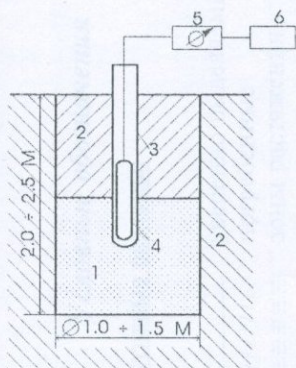


Рис. 5. Схема установки для измерения вариаций концентрации подпочвенного радона в "насыщенном по гамма-излучению слое".

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

1.5. Метод необратимости нестационарных процессов (ННП)

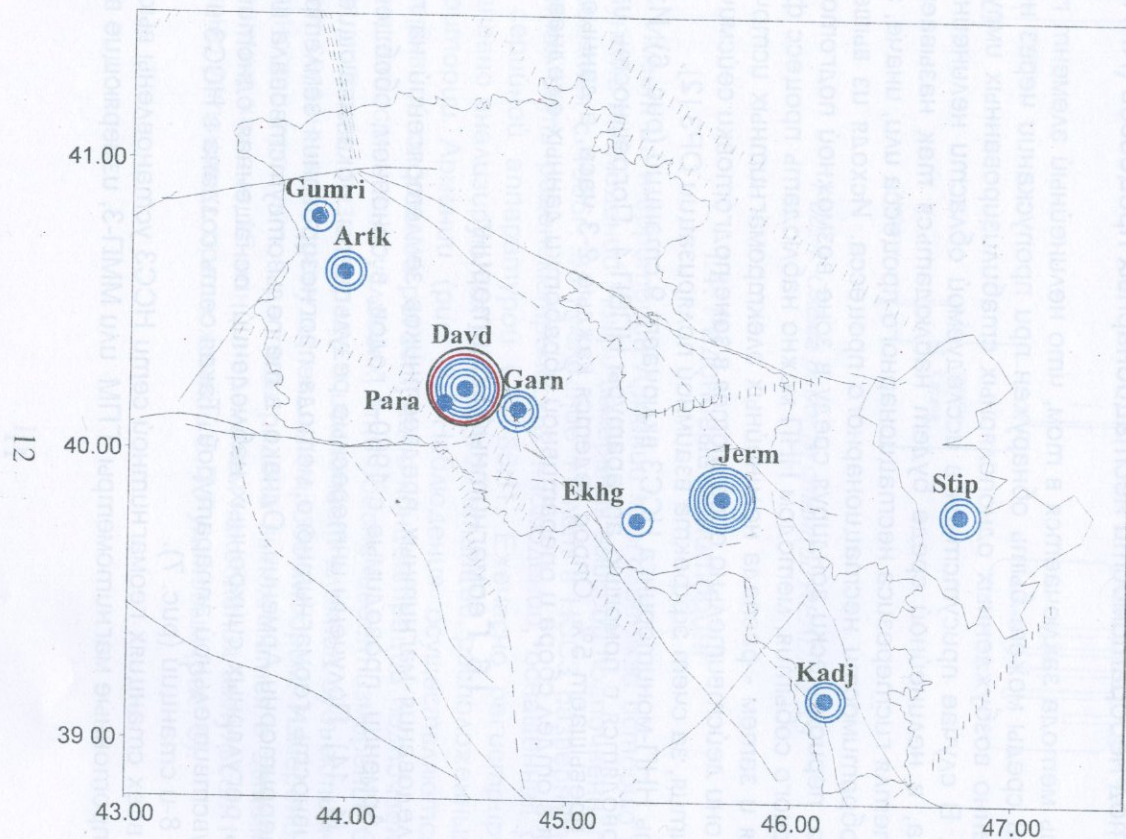
Суть метода заключается в том, что нелинейный элемент геологической среды может быть обнаружен при пропускании через него искусственно возбужденных однополярных стабилизированных импульсов тока. В случае присутствия в исследуемой области нелинейного источника, в нелинейной среде будет наблюдаться так называемая частная петля гистерезиса нестационарного процесса или, иначе, эффект необратимости нестационарного процесса. Исходя из вышеизложенного, периодически зондируя среду в зоне возможной подготовки сейсмического события, методом ННП можно наблюдать процесс формирования и затем - распада нелинейных электромагнитных источников, если они действительно образуются в зоне подготовки сейсмического события, за счет эффекта взаимной поляризации ОРЗ [2].

Сеть ННП-мониторинга НССЗ включает 9 станций (рис. 6). Измерения проводятся с помощью аппаратуры НПВП-4. Погрешность измерений не превышает 5%. Опрос ведется каждые 2-3 часа, а данные передаются в отдел сбора и оперативной обработки данных ежедневно.

1.6. Геомагнитный мониторинг

Исследования магнитных предвестников землетрясений на территории Армении, проводимые с 1960-х годов, в основном, обобщены в работах [1, 14]. Получены интересные результаты, показывающие информативность геомагнитного метода прогнозирования землетрясений на территории Армении. Однако, в те годы отсутствовала широкая сеть регулярных синхронных наблюдений, оснащенная однотипной высокочувствительной аппаратурой. Такая сеть создана в НССЗ и состоит из 8-и станций (рис. 7).

На всех станциях геомагнитной сети НССЗ установлены высокоточные протонные магнитометры ГПМ или ММП-3, измеряющие вели-



Условные обозначения

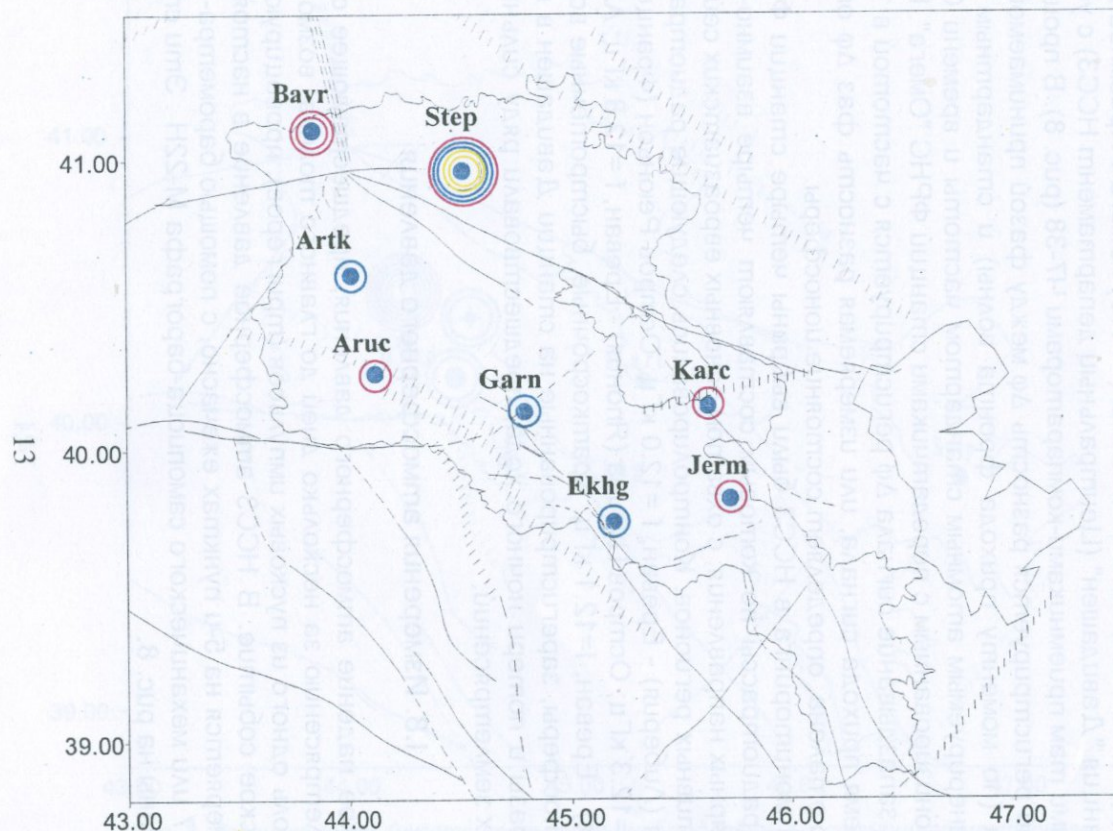
Активные разломы:

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

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- оперативные
- реакции

Рис. 6. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций ННП-мониторинга на подготовку и реализацию землетрясени



Условные обозначения

Активные разломы:

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

Типы тест-аномалий:

- среднесрочные
- краткосрочные
- оперативные

Рис. 7. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций геомагнитного мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений.

чину полного вектора напряженности геомагнитного поля T в автоматическом режиме измерений с циклом записи каждые 5 минут. Одновременно, визуально регистрируется отсчет прибора через каждый час. Абсолютная погрешность измерений не превышает ± 1 нТл.

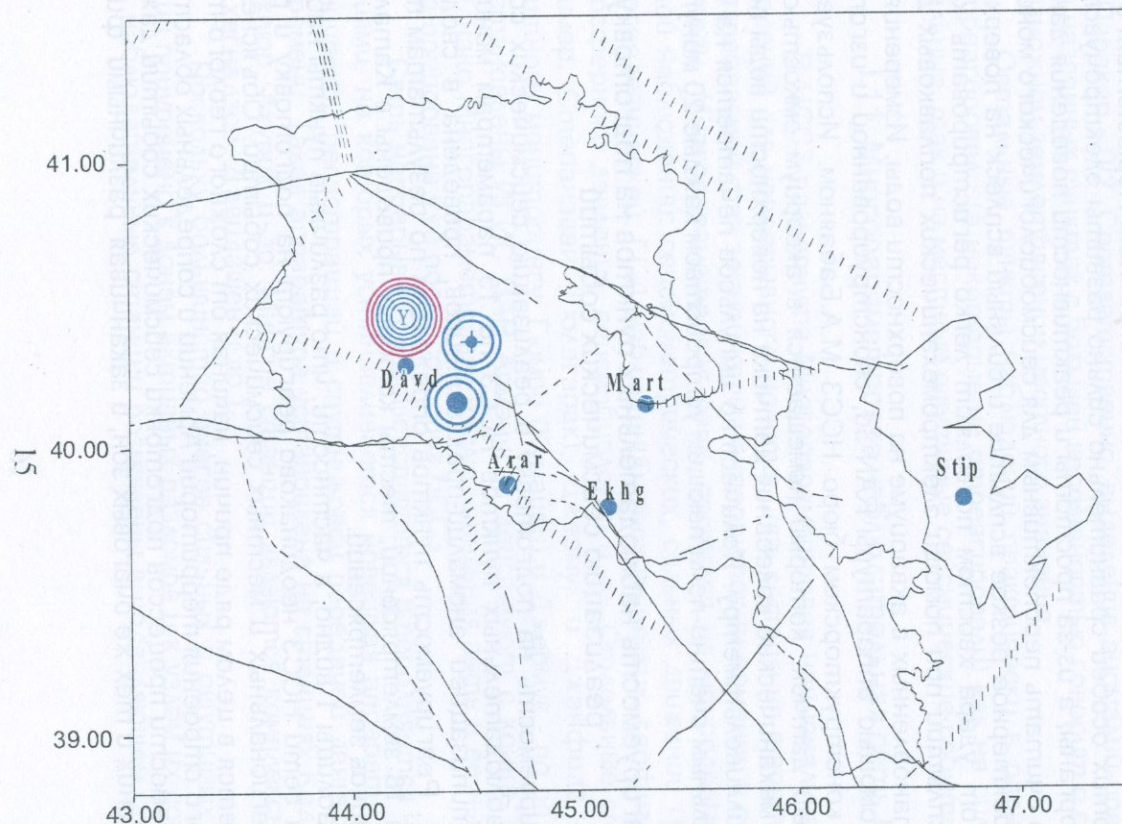
1.7. Наклонное зондирование ионосферы

Наблюдения за состоянием ионосферы методом наклонного зондирования проводятся в Армении (НССЗ), начиная с 1992г. В процессе наблюдений контролируется распространение сверхдлинных радиоволн (СДРВ) по трассам, пересекающим различные сейсмоактивные регионы планеты. Трассами являются области распространения радиоволн от передатчика к приемнику. Передающими являются опорные станции фазовой радионавигационной системы (ФРНС) "Омега". Приемной является станция "Давидашен" (Центральный департамент НССЗ) с установленными там приемниками-компараторами Ч7-38 (рис. 8). В процессе измерений регистрируется разность $\Delta\phi$ между фазой принимаемой радиоволны (по моменту прихода фронта волны) и стандартным сигналом, генерируемым атомным стандартом частоты и времени СЧВ-74, синхронизированным с передатчиками станций ФРНС "Омега". В измерениях запаздывание сигнала $\Delta\phi$ регистрируется с частотой в 1 минуту. Время прихода сигнала, или измеряемая разность фаз $\Delta\phi$ относительно эталона, определяет состояние ионосферы.

Для мониторинга в НССЗ были выбраны четыре станции ФРНС "Омега", радиотрассы по которым составляют четыре взаимно-перпендикулярных направления, с охватом основных евроазиатских сейсмически активных регионов. Контролировались следующие радиотрассы: Монровия (Либерия) - Ереван, $f = 12.0$ кГц; Остров Реюньон (Франция) - Ереван, $f = 12.3$ кГц; Остров Цусима (Япония) - Ереван, $f = 12.8$ кГц; Алдра (Норвегия) - Ереван, $f = 12.1$ кГц. Краткосрочные, быстротечные возмущения ионосферы, зарегистрированные на станции Давидашен в виде срывов фазы и потери ночного хода, предшествовали ряду сильных и ощутимых землетрясений.

1.8. Измерения атмосферного давления

Резкое падение атмосферного давления, предшествующее сильному землетрясению за несколько дней до главного толчка, возможно, играет роль одного из пусковых импульсов (триггеров), провоцирующих сейсмическое событие. В НССЗ атмосферное давление в настоящее время измеряется на 5-и пунктах ежедневно, с помощью барометра-анероида М67 или механического самописца-барографа М-22Н. Эти станции показаны на рис. 8.



Условные обозначения

Активные разломы:

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

Станции мониторинга:

- атмосферного давления
- ⊕ сейсмобиологического
- Y СДРВ (ионосфера)

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- оперативные

Рис. 8. Реагируемость (чувствительность) наблюдательных станций атмосферного давления, сейсмобиологического и СДРВ (ионосфера) мониторинга на подготовку и реализацию землетрясений.

1.9. Сейсмобиологический мониторинг

С древнейших времен известно, что перед сильными и ощутимыми землетрясениями поведение животных становится неестественным. В частности, перед Спитакским землетрясением 1988г. отмечались многочисленные биопредвестники (лай собак, массовый уход кошек, беспокойство рыб). Столь очевидная взаимосвязь между активностью биологических организмов и сейсмическими событиями диктует необходимость их использования для прогнозирования возможных сейсмических событий.

Сейсмобиологический мониторинг проводится в НССЗ, начиная с 1992г. на комплексном наблюдательном пункте Давидашен (вблизи г.Ереван) (рис. 8). В качестве предвестника землетрясений используется активность панцирных донных сомоков вида *Hoplosternum thoracatum*. У этих особей сравнительно сильно развиты электрочувствительные органы, а из-за простоты и реактивности поведения данный вид можно считать перспективным для сейсмобиологического мониторинга. Характерное резкое всплытие и сильный всплеск на поверхности воды от удара хвостом позволяют легко регистрировать количество всплытий при помощи электромеханических поплавковых датчиков, установленных в аквариуме на поверхности воды. Измерения ведутся с помощью аппаратуры RAN-3d, сконструированной и изготовленной в конструкторском бюро НССЗ М.А.Бабаяном. Используется поплавок-датчик, который помещается в аквариум емкостью 60 литров, а механические колебания датчика на поверхности воды передаются милливольтметру. Количество импульсов печатается на ленту специальным счетно-печатающим устройством каждые 20 минут.

1.10. Реагируемость наблюдательных пунктов на подготовку и реализацию сейсмических событий

Реагируемость на подготовку и реализацию сейсмических событий 40 наблюдательных пунктов НССЗ по 15 параметрам мониторинга, с типизацией аномалий-предвестников, приведена в сводной таблице 1. Реагируемость пунктов определена по результатам тестирования 18 землетрясений, тесты которых приведены в Каталоге предвестников землетрясений.

Из таблицы 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 физи-

РЕАГИРУЕМОСТЬ (ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ) НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ
НССЗ НА ПОДГОТОВКУ И РЕАЛИЗАЦИЮ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Таблица 1

Название пункта наблюдений	Землетрясения с $M \geq 6.0$								Землетрясения с $M \geq 3.7$										Примечания
	Нарман 30.10.83 M=6.8	Синтак 07.12.88 M=7.0	Рудбар 20.06.90 M=7.7	Рача 29.04.91 M=7.1	Эрзннджан 13.03.92 M=6.9	Барисахо 24.10.92 M=6.4	Ардебиль 28.02.97 M=6.7	Пизмт 17.08.99 M=7.4	Болу 12.11.99 M=6.2	Баку 25.11.00 M=6.5	Болладин 03.02.02 M=6.2	Мартуни 10.12.92 M=5.0	Цонагюх 19.02.93 M=3.8	Баяра 18.05.94 M=4.2	Анонк 09.06.96 M=4.1	Паракар 01.03.97 M=3.7	Посмберян 18.07.97 M=4.4	Джалахет 15.01.99 M=4.3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
СД									Ш										Методы и параметры:
1. Азатан						▲							▲	▲	▲				△ ГГД - поле
2. Амасия														▲					Геохимия:
3. Артик								□		◇	◇								▲ pH
4. Ахурик								+		◇	◇								◆ ПСО ₂
5. Анонк								▲			◇				◇		▲		► Cl
6. Баяра								◇											▼ Ne
7. Ванадзор								◇											✚ c° воды
8. Гюмри		◇								◇							◇		★ дебит
9. Джаджур															◇				✚ э/проводим.
10. Пдженан								▲		▲								▲	◇ радон в воде
11. Исаакян						◇													◇ радон п/почв.
12. Кюхб																			▷ ННП
13. Носмберян		▲	▲					▲		◇	▲		▲				▲	▲	□ геомагн. поле
14. Степанаван	□	□		□						◇	◇						□		У СДРВ
15. Ширакмут								◇	▲	◇	◇								▽ аквар. рыбки
16. Саратовка																			λ атм. давление
ЮД																			Типы аномалий:
17. Горис		▲	▲			▲	◇	◇				△		◇					с/срочные —
18. Каджаран	▼	◇	◇	▼	▼	▼		✚	◇	◇	◇						◇	+	к/срочные —
19. Сиснан		◇	◇					✚			◇								оперативн. —
ИД																			реакции —
20. Арташат															▲		▲		
21. Арарат	▼	▲						▼		▼							▼	▼	
22. Аруч											◇						◇	◇	
23. Варденис									◇								◇		
24. Гарни						◇	◇	◇		◇		◇		◇					
25. Давидашен						Y	Y	Y	◇	◇		Y	Y	◇			◇	◇	
26. Двин								◇	◇			◇					◇	◇	
27. Джермук			◇	◇					◇	◇	◇	◇			◇		◇		
28. Дзорохпюр		▲	▲			▲						▲	▲						
29. Ехегнадзор							▲	▲						◇	◇		◇		
30. Камо								▲											
31. Каряхпюр								▲		▲	▲	△	△	▼	▼	▲	▲		
32. Кучак								▲			◇								
33. Лернагор																			
34. Мартуни																			
35. Метамор		▲	▲					▲							▲	◇		◇	
36. Паракар													◇	◇					
37. Сепан		▲									▲								
38. Суренаван	▼	◇	▲			▼													
39. Цонагюх									▼				▼						
НКРД																			
40. Степанакерт										◇								◇	

15
6

27

9

8

1

5

ко-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 наблюдений практически в равной степени отреагировали (а некоторые не отреагировали) как на сильные региональные, так и на местные ощутимые сейсмические события.

1.11. Многопараметровая наблюдательная сеть НССЗ

В НССЗ развернута Многопараметровая национальная сеть наблюдений для непрерывного мониторинга состояния твердой, жидкой и газообразной фаз земной коры на территории Армении и сопредельных стран. Многопараметровая сеть состоит из монопараметровых сетей наблюдений: сейсмометрических, сильных движений грунта, сейсмогеодезической, ГГД-наблюдений, геохимических, геофизических, атмосферного давления, сейсмобиологии и др. Отдельные станции (например, Степанаван (Гюлагарак), Джермук и Джанфида - по геомагнитному мониторингу; Гюмри (Кумаири) и Джермук - по радонометрии) установлены ИГИС НАН Армении и действуют с конца 1970-х годов. Однако Многопараметровая наблюдательная сеть в ее нынешнем виде сформирована уже после создания НССЗ.

Сеть непрерывно совершенствуется и пополняется новыми станциями, на которых устанавливается новейшая аппаратура с автоматической регистрацией и спутниковой передачей данных в реальном времени. Такая аппаратура установлена на станциях Каджаран, Карчахпюр, Ахурик и др. Многие станции являются комплексными (Гюмри; Ехегнадзор, Давидашен и др.).

Поскольку большинство очагов сильных и ощутимых землетрясений приурочено к зонам активных разломов и к узлам их сочленения, то и наблюдательные станции размещены в подавляющем большинстве в

этих зонах и в узлах их стыковки, что увеличивает чувствительность станций. Последние охватывают практически все крупные активные разломы на территории РА. Однако, некоторые станции (например, Арктик - геомагнитный мониторинг, Кучак - ГГД-поле, Давидашен - радонометрия и метод ННП) установлены в межразломном пространстве внутри тектонических блоков. Это позволяет проводить сравнительный анализ поступающих данных и более определенно интерпретировать результаты анализа.

ГЛАВА II.

Оперативная обработка временных рядов включает последовательное выполнение следующих операций:

1. отбраковка техногенных аномалий и выделение полезных аномалий;
2. определение графических образов, параметров и характерных особенностей полезных аномалий;
3. учет годовых циклов вариаций;
4. получение синхронных разностей временных рядов (при геомагнитных наблюдениях) с попарно выбранных пунктов наблюдений;
5. проведение сравнительного анализа аномалий по различным параметрам на комплексных пунктах наблюдений;
6. сравнительный анализ данных из разных пунктов наблюдений и по различным параметрам.

II.1. Отбраковка техногенных аномалий и выделение полезных аномалий

Выделение полезных аномалий проводилось по известному критерию двух среднеквадратичных отклонений. Однако, вначале отбраковывались техногенные аномалии. Примеры типичных техногенных аномалий приведены на рис. 9 и 10.

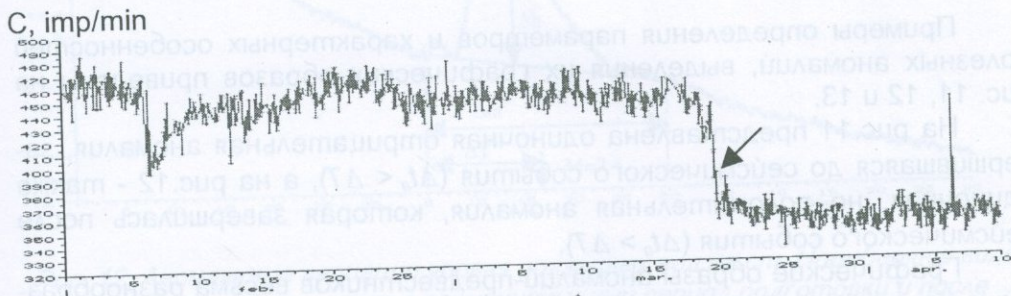


Рис. 9. Пример техногенной аномалии на радонометрическом пункте Кучак.

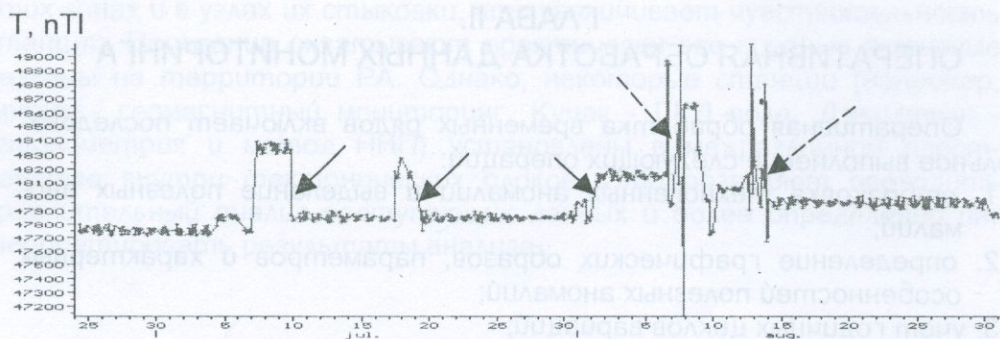


Рис. 10. Пример техногенной аномалии на пункте геомагнитного мониторинга Ехегнадзор.

В первом случае на радонометрическом пункте Кучак наблюдалось скачкообразное уменьшение (отмечено стрелкой) содержания подпочвенного радона ($Rn-222$) в результате его растворения в селевой воде, попавшей на место заложения шурфа; при этом сама обсадная труба и датчик остались сухими. Во втором случае на пункте геомагнитного мониторинга Ехегнадзор кривая T искажена в период строительства теплицы с металлическим каркасом в 15-и метрах от датчика (указано сплошными стрелками) и во время сварочных работ (пунктирные стрелки).

II.2. Определение графических образов, параметров и характерных особенностей полезных аномалий

Примеры определения параметров и характерных особенностей полезных аномалий, выделения их графических образов приведены на рис. 11, 12 и 13.

На рис.11 представлена одиночная отрицательная аномалия, завершившаяся до сейсмического события ($\Delta t_a < \Delta T$), а на рис.12 - также одиночная, но положительная аномалия, которая завершилась после сейсмического события ($\Delta t_a > \Delta T$).

Графические образы аномалий-предвестников весьма разнообразны и не ограничиваются, естественно, одиночными четко выраженными аномалиями. Полностью графические образы представлены в главе III.2. Здесь же приведем пример единой аномалии в виде серии локальных аномалий (рис. 13).

He, ml/l

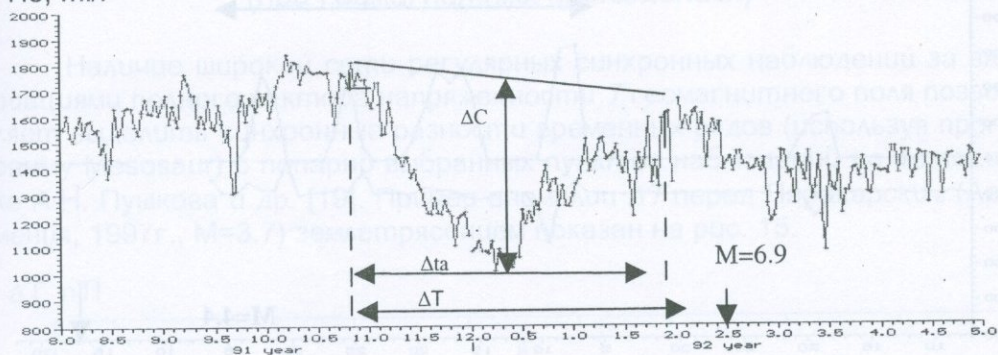


Рис. 11. Аномальные концентрации гелия (10^{-6}) в скв. Каджаран в виде минимума перед Эрзинджанским (Турция, 1992г., $M=6.9$) землетрясением: ΔC - амплитуда аномалии, Δt_a - ее продолжительность, ΔT - время проявления аномалии-предвестника.

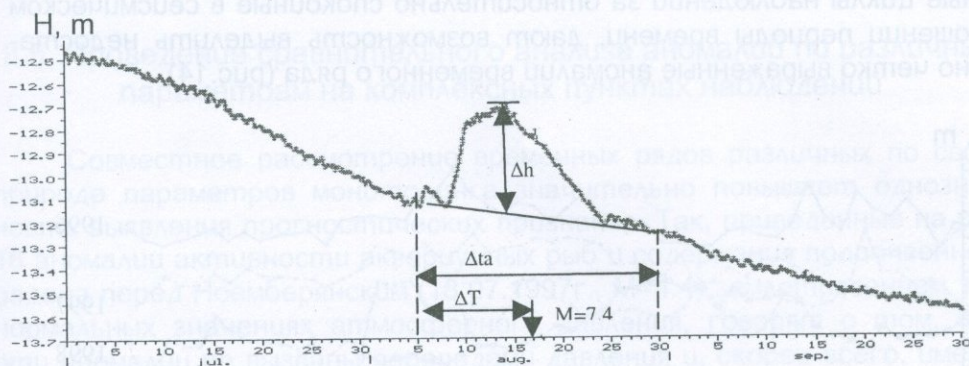


Рис. 12. Аномальные вариации уровня подземных вод на ст. Ноемберян в виде максимума, наблюдаемого в заключительный период подготовки и после майншока Измитского (Турция, 1999г., $M=7.4$) землетрясения: Δh - амплитуда аномалии, Δt_a - ее продолжительность, ΔT - время проявления аномалии.

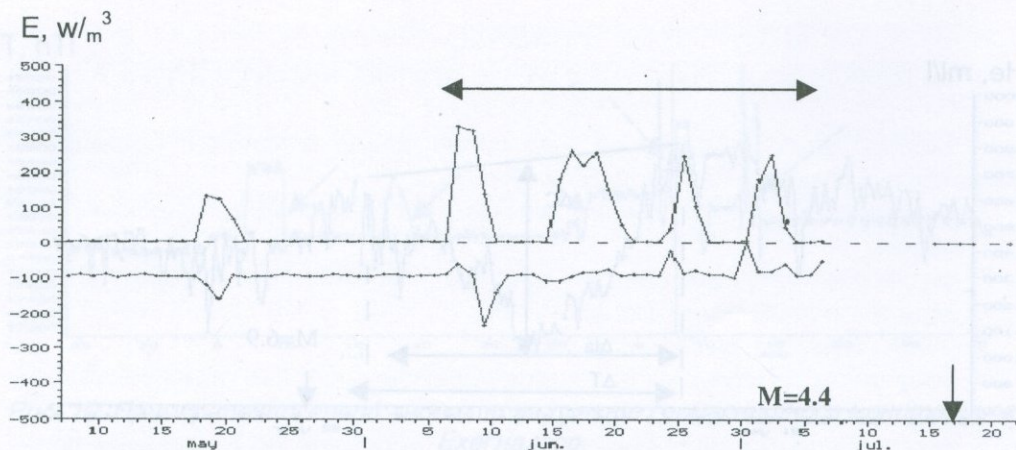


Рис. 13. Серия аномалий параметра $E \pm$ метода ННП на ст. Ехегнадзор в виде чередующихся "всплесков" с большой амплитудой, за 40 дней до Ноемберянского (Армения, 1997г., $M=4.4$) землетрясения.

II.3. Учет годовичных циклов вариаций

Осреднение получаемых с наблюдательных пунктов данных и их сравнение с "нормальными" осредненными кривыми, отражающими годовичные циклы наблюдений за относительно спокойные в сейсмическом отношении периоды времени, дают возможность выделить недостаточно четко выраженные аномалии временного ряда (рис. 14).

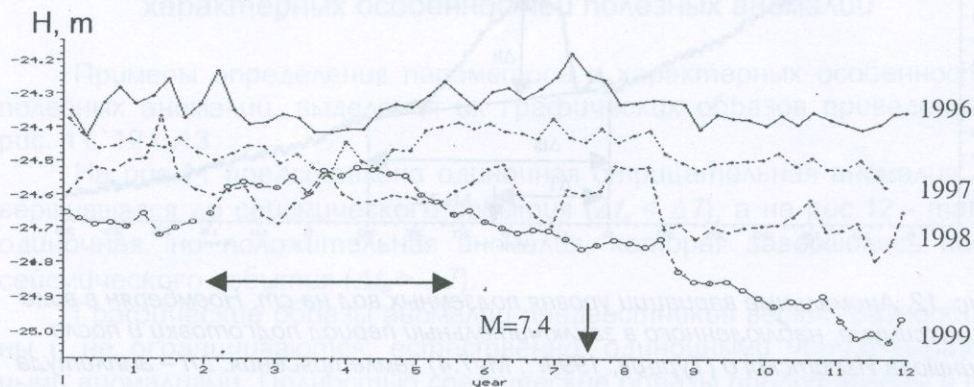


Рис. 14. Выделение краткосрочного ГГД-предвестника Измитского (Турция, 1999г., $M=7.4$) землетрясения на ст. Кукак путем сравнения временных рядов, отражающих годовичные циклы вариаций (недельное осреднение данных).

II.4. Синхронные разности временных рядов (при геомагнитных наблюдениях)

Наличие широкой сети регулярных синхронных наблюдений за вариациями полного вектора напряженности T геомагнитного поля позволяет выделить синхронные разности временных рядов (используя программу Mesosaur) с попарно выбранных пунктов наблюдений по методике А.Н. Пушкова и др. [19]. Пример аномалии ΔT перед Паракарским (Армения, 1997г., $M=3.7$) землетрясением показан на рис. 15.

$\Delta T, \text{nTl}$

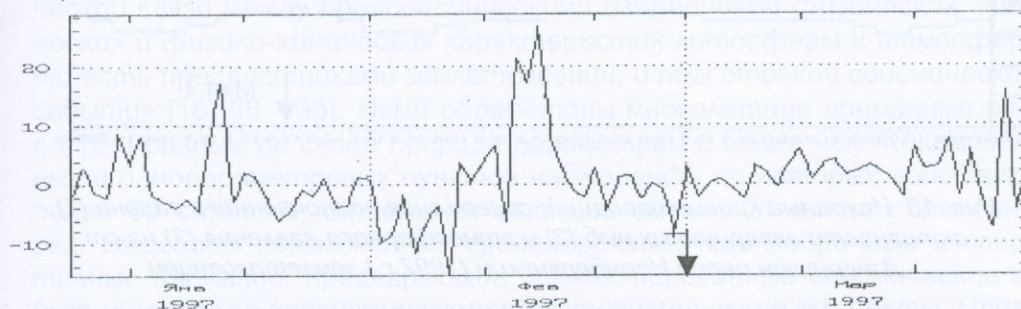
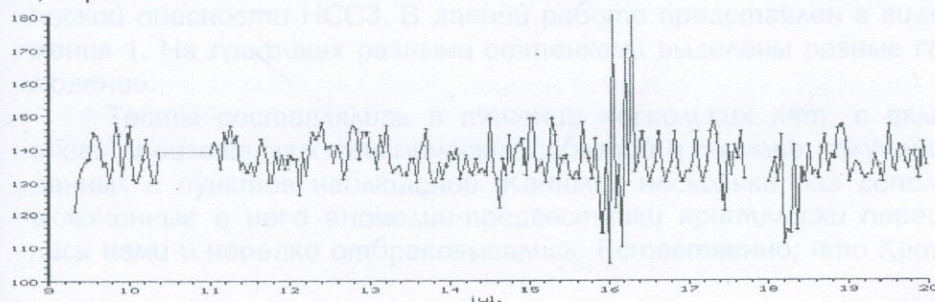


Рис. 15. График ΔT синхронной разности значений T на ст. Степанаван и ст. Джермук перед Паракарским (Армения, 1997г., $M=3.7$) землетрясением.

II.5. Проведение сравнительного анализа аномалий по различным параметрам на комплексных пунктах наблюдений

Совместное рассмотрение временных рядов различных по своей природе параметров мониторинга значительно повышает однозначность выявления прогностических признаков. Так, приведенные на рис. 16 аномалии активности аквариумных рыб и содержания почвенного радона перед Ноемберянским (18.07.1997г., $M=4.4$) землетрясением, при нормальных значениях атмосферного давления, говорят о том, что эти аномалии не вызваны перепадами давления и, скорее всего, имеют сейсмогенную природу.

$C, \text{imp/min}$



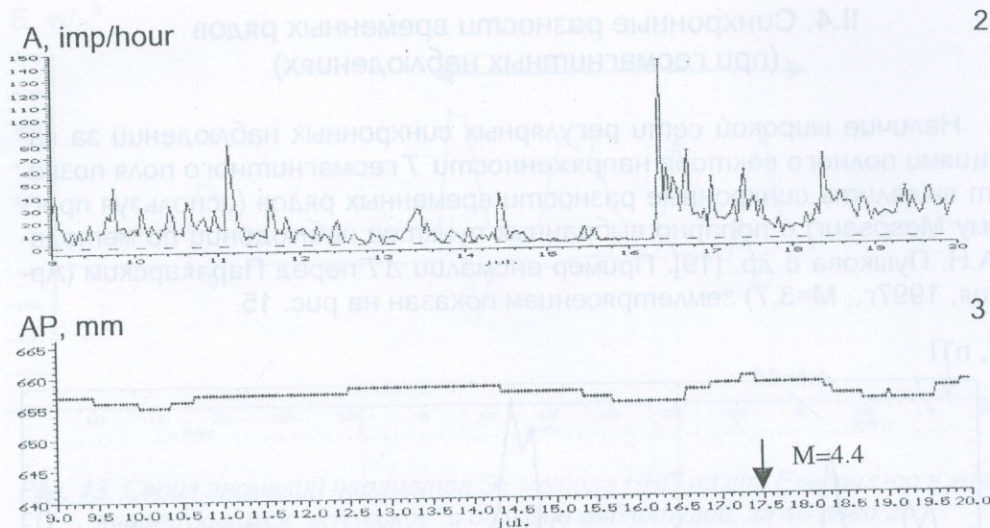


Рис. 16. Исходные кривые вариаций: содержания почвенного радона (1), активности аквариумных рыб (2) и атмосферного давления (3) на ст. Давидашен перед Ноемберским (1997 г.) землетрясением.

II.6. Сравнительный анализ данных из разных пунктов наблюдений и по различным параметрам

Такой анализ дает возможность определения пространственно-временных закономерностей проявления предвестников, о чем сказано ниже в главе III.6.

ГЛАВА III. ЭЛЕМЕНТЫ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

III.1. Методика тестирования землетрясений. Основные сведения о Каталоге аномалий-предвестников протестированных землетрясений

Впервые построенные нами тесты землетрясений созданы на основе ретроспективного анализа многодисциплинарных наблюдений в исследуемой сейсмоактивной зоне 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 [16, 36 - 38]. 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; отдельные станции имеют 24-летний временной ряд. Выделены сейсмогенные 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 и 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.

Каталог включает 167 тестовых аномалий-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. Каталог ежедневно используется при оценке текущей сейсмической опасности в Комплексном центре оценки сейсмической опасности НССЗ. В данной работе представлен в виде Приложения 1. На графиках разными оттенками выделены разные годы наблюдений.

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. Естественно, что Каталог бу-

дет дополняться тестами будущих сильных региональных и ощутимых местных землетрясений.

III.2. Формы проявления тестовых аномалий

Формы проявления (графические образы) тестовых аномалий-предвестников на станциях НССЗ самые разнообразные. Наибольшим разнообразием форм аномалий (и их количеством) отмечены вариации уровня подземных вод, содержания почвенного радона и гидрогеохимических параметров, наименьшим – изменения активности аквариумных рыб и атмосферного давления. Наиболее часто наблюдаемые и характерные формы проявления, к примеру, аномалий вариаций уровня подземных вод и содержания почвенного радона, вне зависимости от силы землетрясения, станции наблюдения и вероятности сейсмической реализации аномалий, имеют графические образы, представленные на рис. 17 и 18.

Знание графических образов предвестников по различным мониторинговым параметрам, временные ряды которых ежедневно и в большом количестве обрабатываются в НССЗ, значительно облегчает и ускоряет первичную обработку данных и выделение возможно сейсмогенных аномалий. Аналогично, знание форм проявления техногенных аномалий, примеры которых приведены на рис. 9 и 10, дает возможность легко и быстро отбраковать техногенные аномалии.

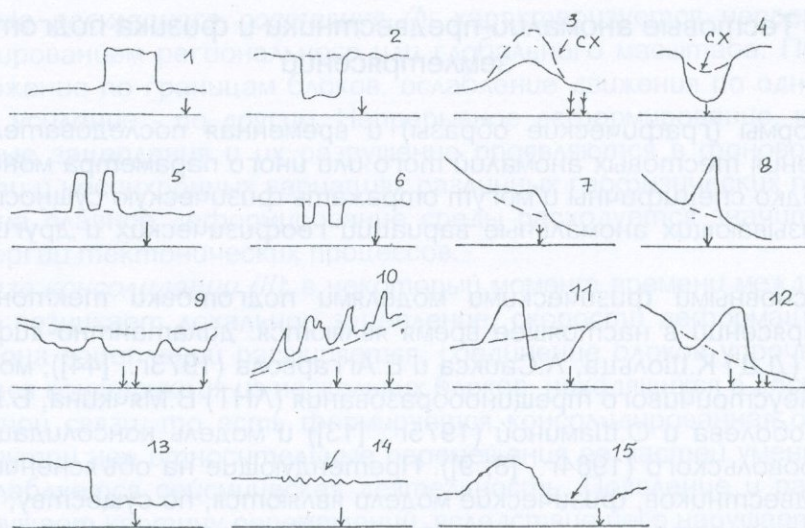


Рис. 17. Основные формы проявления вариаций уровня подземных вод на станциях НССЗ: 1 и 2 - одиночные локальные аномалии; 3 и 4 - нарушения сезонного хода; 5 и 6 - двойные локальные аномалии; 7 и 8 - одиночные положительные аномалии на фоне падения уровня воды; 9 и 10 - серии отрицательных и положительных аномалий; 11 и 12 - знакопеременные аномалии; 13 - ступенеобразная аномалия; неамплитудные аномалии в виде увеличения (14) и полной потери (15) фоновой дисперсии. Вертикальными стрелками отмечены моменты землетрясений.

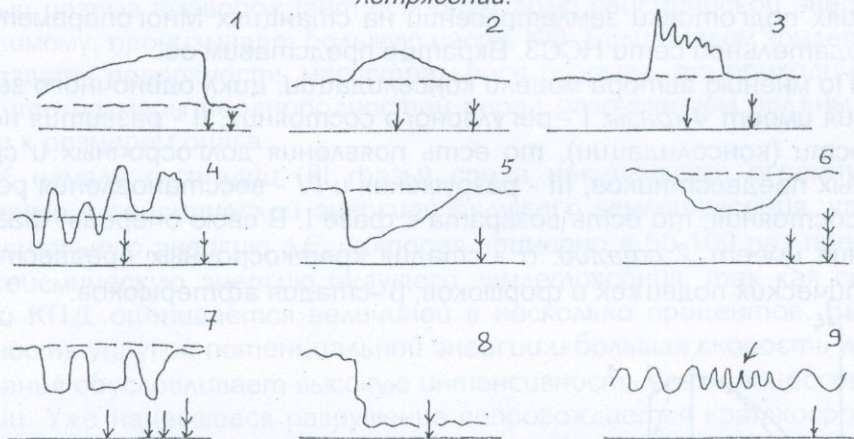


Рис. 18. Аномалии подпочвенного радона: 1 - постепенное увеличение значений с последующим резким спадом; плавная (2) и скачкообразная (3) положительные симметричные аномалии; 4 - знакопеременная пилообразная аномалия; 5 - резкий спад с последующим постепенным восстановлением фоновых значений; 6 - плавная отрицательная аномалия; 7 - серия отрицательных аномалий; 8 - ступенеобразная аномалия; 9 - неамплитудная аномалия в виде увеличения частоты колебаний перед сейсмическим событием.

III.3. Тестовые аномалии-предвестники и физика подготовки землетрясений

Формы (графические образы) и временная последовательность проявления тестовых аномалий того или иного параметра мониторинга нередко специфичны и могут отражать физическую сущность явлений, вызывающих аномальные вариации геофизических и других полей [15].

Основными физическими моделями подготовки тектонических землетрясений в настоящее время являются: дилатантно-диффузная модель (Д.Д) К.Шольца, Л.Сайкса и Е.Аггарвола (1973г., [44]), модель лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) В.Мячкина, Б.Кострова, Г.Соболева и О.Шапиной (1975г., [13]) и модель консолидации (МК) И.Добровольского (1984г., [8, 9]). Претендующие на объяснение природы предвестников, физические модели являются, по существу, гипотезами, а сами авторы, представляя свои модели и выделяя их достоинства, одновременно обращают внимание и на недостатки. Имеется ввиду, что наблюдающиеся в действительных условиях подготовки землетрясений определенные явления и фактические данные трудно объяснимы, если исходить из представлений той или иной модели.

Модель консолидации И.П.Добровольского (рис. 19), как нам кажется, имеет более универсальный характер и дает нам большую возможность для интерпретации аномальных вариаций широкого комплекса параметров (1,5 десятка), зарегистрированных в действительных условиях подготовки землетрясений на станциях Многопараметровой наблюдательной сети НССЗ. Вкратце представим ее.

По мнению автора модели консолидации, цикл одиночного землетрясения имеет 4 фазы. I - регулярного состояния, II - развития неоднородности (консолидации), то есть появления долгосрочных и среднесрочных предвестников, III - разрушения и IV - восстановления регулярного состояния, то есть возврата к фазе I. В свою очередь, фаза разрушения имеет 2 стадии. α - стадия краткосрочных предвестников, пластических подвижек и форшоков; β - стадия афтершоков.

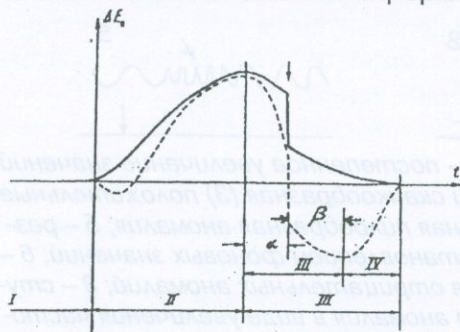


Рис. 19. Схема модели консолидации подготовки землетрясений.

Фаза регулярного состояния (I): характеризуется непрерывным деформированием регионального или глобального масштаба. Происходит движение по границам блоков, ослабление движения по одним разломам и усиление - по другим. Непрерывное деформирование, кратковременные зацепления и их разрушение проявляются в фоновой сейсмичности и несинхронных вариациях различных геофизических полей. В *фазе I* на плавное деформирование среды расходуется значительная доля энергии тектонических процессов.

Фаза консолидации (II): в некоторый момент времени между двумя блоками возникает локальное зацепление, скорости деформаций убывают, зона зацеплений расширяется, соединение блоков упрочняется, создается конструкция из нескольких блоков, находящихся в достаточно прочной связи, то есть формируется консолидированная область (КО). Внутри нее относительные перемещения ее частей уменьшаются и ослабляется сейсмическая деятельность. Появление и развитие КО возмущает картину перемещений, вследствие чего нарушается сложившаяся регулярность фоновых вариаций геофизических полей. В окрестности КО растет упругая потенциальная энергия.

Фаза разрушения (III): рост КО на некотором этапе прекращается. Именно ее разрушение магистральным разрывом и вызывает землетрясение. Эта область неоднородна, пронизана системой ослабленных зон и подвержена действию значительных механических напряжений. Ее распад происходит в фазе разрушения, по границам блоков, путем пластических подвижек, форшоков, разрыва и афтершоков. Магистральный разрыв высвобождает основную долю сейсмической энергии и, по-видимому, пронизывает большую часть КО. Если очагом землетрясения назвать поверхность магистрального разрыва, то приходим к выводу, что размеры неоднородностей перед разрушением должны быть близки к размерам очага.

К началу α -стадии (III фазы) среда накапливает огромную, по сравнению с сейсмической энергией будущего землетрясения, упругую потенциальную энергию ΔE_0 , которая примерно в 50-100 раз превосходит сейсмическую энергию будущего землетрясения, так как сейсмический КПД оценивается величиной в несколько процентов. Высокая плотность упругой потенциальной энергии и большая скорость деформирования обуславливает высокую интенсивность всех процессов на α -стадии. Уже начавшееся разрушение сопровождается краткосрочными предвестниками землетрясения.

На β -стадии той же фазы происходит доразрушение КО, уменьшается общая упругая потенциальная энергия среды, и интенсивность афтершоковой деятельности медленно падает.

По окончании *фазы разрушения IV* среда в основных чертах возвращается к состоянию перед началом фазы II. Таким образом, вновь

наступает фаза регулярного состояния, и цикл одиночного землетрясения (или роя землетрясений) замыкается.

Опираясь на графические образы тестовых аномалий и сами аномалии, включенные в Каталог предвестников, а также используя модель консолидации, разработанную И.П.Добровольским в 1984г. [8, 9], попытаемся на нескольких примерах объяснить появление некоторых предвестников с точки зрения физики подготовки землетрясений.

Первые предвестники (среднесрочные, с временем проявления ΔT более 1 года) проявились в изменениях уровня подземных вод (ГГД-поле) и вариациях полного вектора T геомагнитного поля. В них отразилась подготовка только сильных землетрясений регионального масштаба: Нарман (1983, $M=6.8$) и Спитак (1988, $M=7.0$) - в геомагнитном поле (рис. 20); Спитак и Болвадин (2002, $M=6.2$) - в ГГД-поле (рис.21). Аномальные вариации геомагнитного поля имеют форму положительного тренда и бухтообразного минимума, а ГГД-поля -- резких нарушений сезонного хода. Появление этих предвестников связано с началом формирования неоднородности и консолидированной области (КО) в очаговой зоне готовящегося землетрясения. Начало формирования и развития КО приводит к нарушению регулярности фоновых вариаций геофизических полей и появлению первых аномалий.

$\Delta T, nTl$

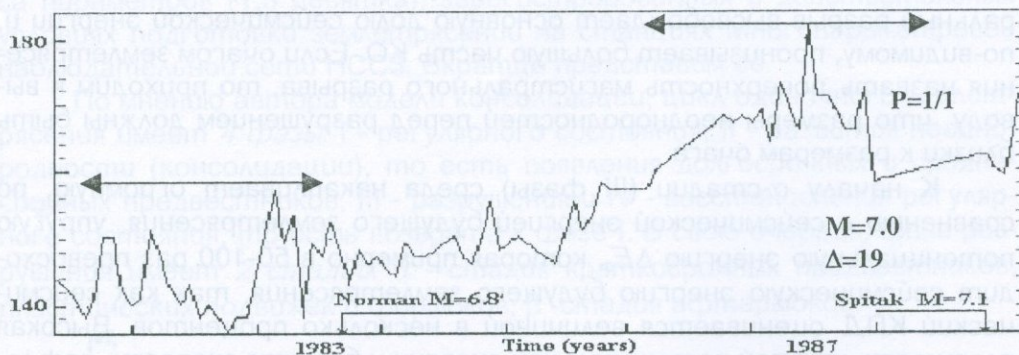


Рис. 20. Вариации синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT на ст. Степанаван (Гюлагарак) (по отношению к ст. Джермук) в период подготовки и реализации Нарманского (Турция, 30.10.1983г., $M=6.8$) и Спитакского (Армения, 07.12.1988г., $M=7.0$) землетрясений.

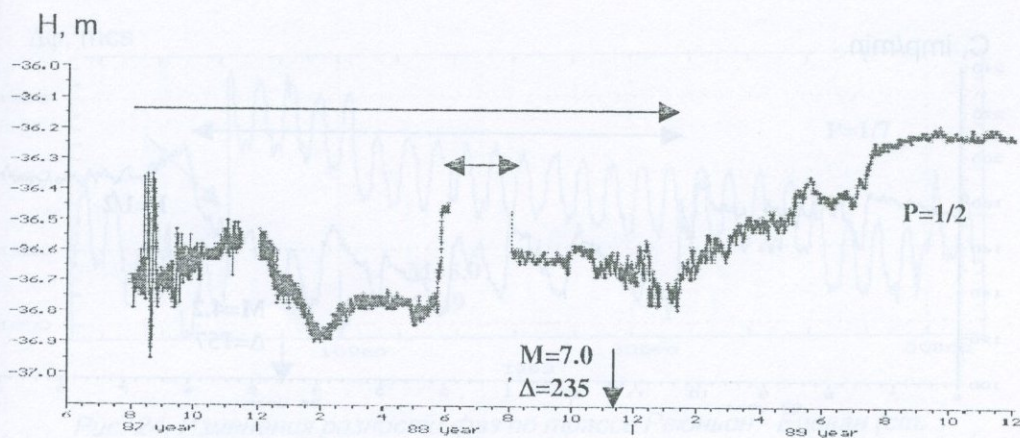


Рис. 21. Вариации уровня подземных вод на ст. Горис. Спитакское землетрясение.

Ранние краткосрочные предвестники (ΔT более 3 месяцев и менее 1 года) проявились в основном в вариациях геохимических параметров минерализованных вод (концентрация He , Cl , HCO_3 , величина pH), содержания подпочвенного радона и уровня подземных вод. В них отразилась подготовка в первую очередь сильных региональных землетрясений: Спитак (1988, $M=7.0$), Баку (2000, $M=6.5$) - рис.22 - и других, а также местных ощутимых: Бавра (1994, $M=4.2$) - рис.23, Ноемберян (1997, $M=4.4$) и других.

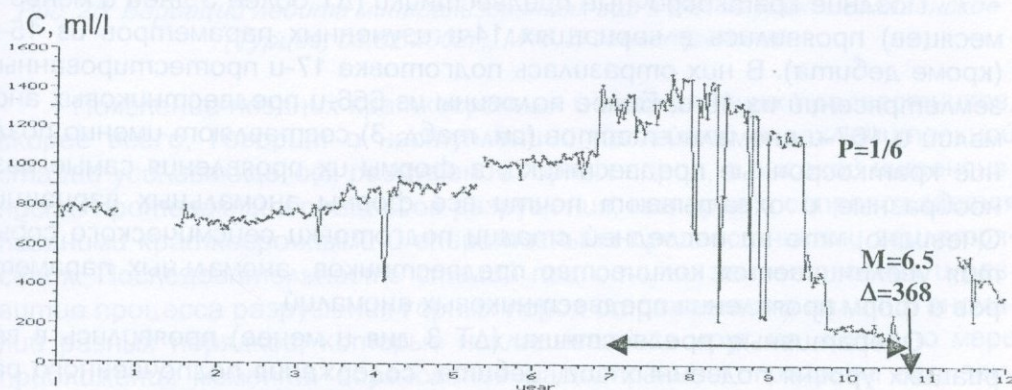


Рис. 22. Изменение концентрации гелия на ст. Карцахпюр. Бакинское (Азербайджан, 25.11.2000г., $M=6.5$) землетрясение.

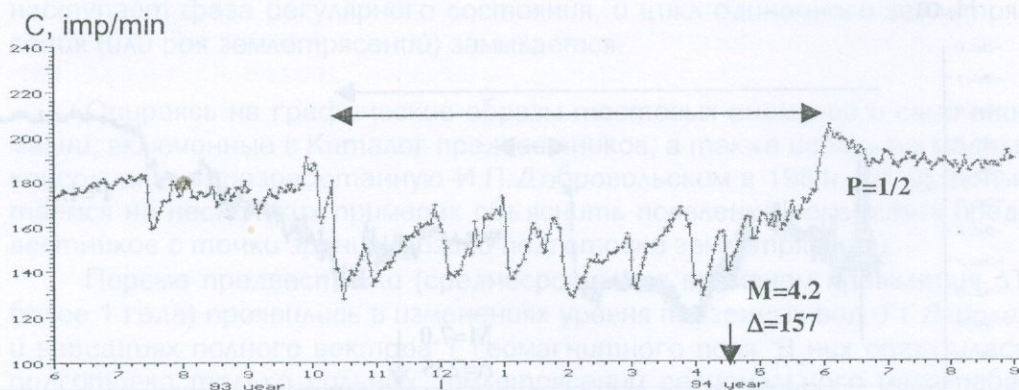


Рис. 23. Изменения содержания почвенного радона на ст. Ехегнадзор. Бавринское (Армения, 18.05.1994г., $M=4.2$) землетрясение.

Как видим, графические образы проявления этих аномальных вариаций разнообразны (см. рис. 17 и 18). Возникновение этих предвестников обусловлено, видимо, началом усиливающегося процесса распада КО в фазе разрушения путем пластических подвижек и форшоков. В результате происходит рост концентрации He , HCO_3 и увеличение pH, падение содержания Cl , изменение (увеличение или уменьшение) содержания почвенного радона и падение уровня воды в скважинах.

На фоне ранних краткосрочных вариаций геофизических и других полей довольно часто проявляются поздние краткосрочные вариации, а на фоне последних – оперативные предвестники.

Поздние краткосрочные предвестники (ΔT более 3 дней и менее 3 месяцев) проявились в вариациях 14-и изученных параметров из 15-и (кроме дебита). В них отразилась подготовка 17-и протестированных землетрясений из 18-и. Более половины из 656-и предвестниковых аномалий и 167-и аномалий-тестов (см. табл. 3) составляют именно поздние краткосрочные предвестники, а формы их проявления самые разнообразные и охватывают почти все формы аномальных вариаций. Очевидно, что на последней стадии подготовки сейсмического события увеличивается количество предвестников, аномальных параметров и форм проявления предвестниковых аномалий.

Оперативные предвестники (ΔT 3 дня и менее) проявились в вариациях уровня подземных вод, дебита, содержания почвенного радона, разности фаз при ионосферных (СДРВ) наблюдениях, других параметров. В оперативных аномалиях отразилась заключительная стадия процесса подготовки как местных ощутимых, так и сильных региональных сейсмических событий (примеры на рис. 24, 25). Для этих аномалий характерны резкие перепады значений и короткая продолжительность (от нескольких часов до 1-2 дней).

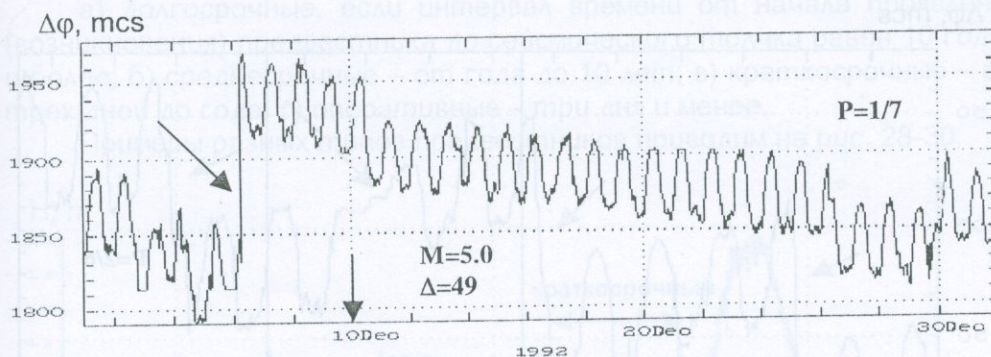


Рис. 24. Изменения разности фаз по трассе Реюньон - Ереван (ст. Давидашен). Мартунинское (Армения, 10.12.1992 г., $M=5.0$) землетрясение.

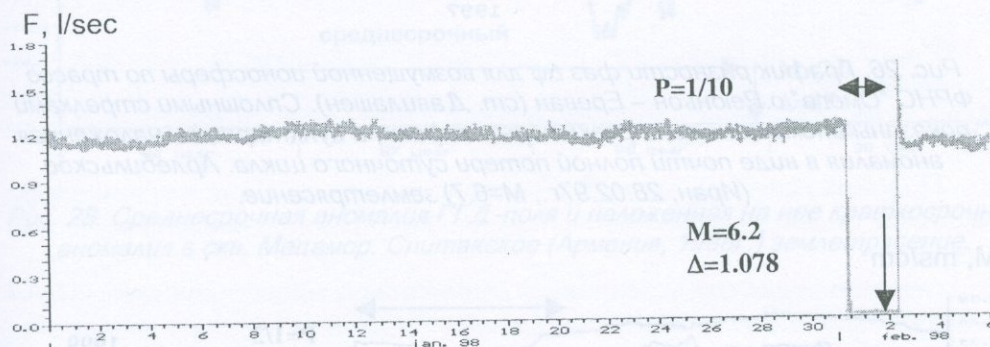


Рис. 25. Вариации дебита минерализованных вод в скв. Ахурик. Болвадинское (Турция, 03.02.2002г., $M=6.2$) землетрясение.

Появление поздних краткосрочных и оперативных предвестников, скорее всего, говорит о наступлении последней и заключительной стадии усиливающегося разрушения горных пород, о высокой интенсивности протекающих процессов разрушения, которое и сопровождается поздними краткосрочными и оперативными предвестниками землетрясения. 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. Наличие же пред-, ко-, постсейсмических аномальных вариаций отражает процесс подготовки будущего сильного землетрясения. Примеры наложения аномалий разных порядков показаны на рис. 20-22, 26, 28, 30, 31-1, а примеры наличия пред-, ко- и постсейсмических эффектов - на рис. 27, 29, 31-2, 31-3.

$\Delta\varphi$, mcs

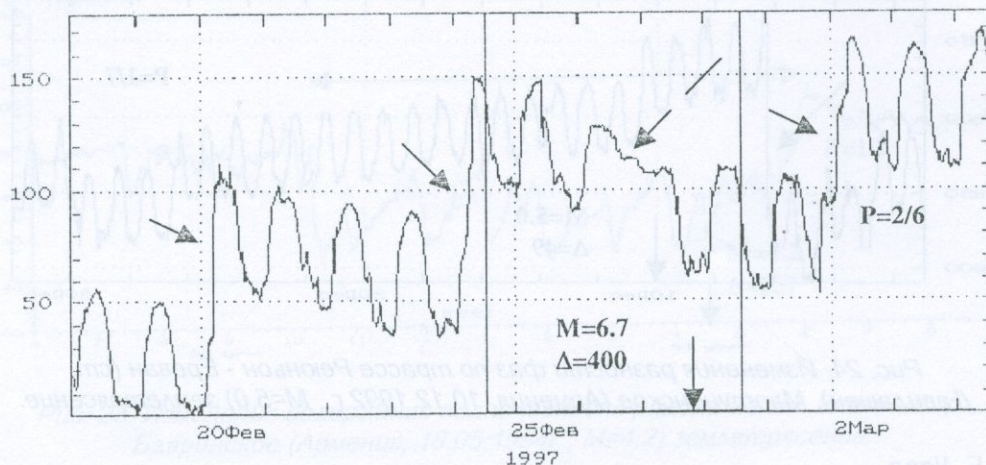


Рис. 26. График разности фаз $\Delta\varphi$ для возмущенной ионосферы по трассе ФРНС "Омега" о.Реюньон – Ереван (ст. Давидашен). Сплошными стрелками показаны аномалии в виде резких срывов фазы, а пунктирной – наложенная аномалия в виде почти полной потери суточного цикла. Ардебильское (Иран, 28.02.97г., $M=6.7$) землетрясение.

M , ms/cm

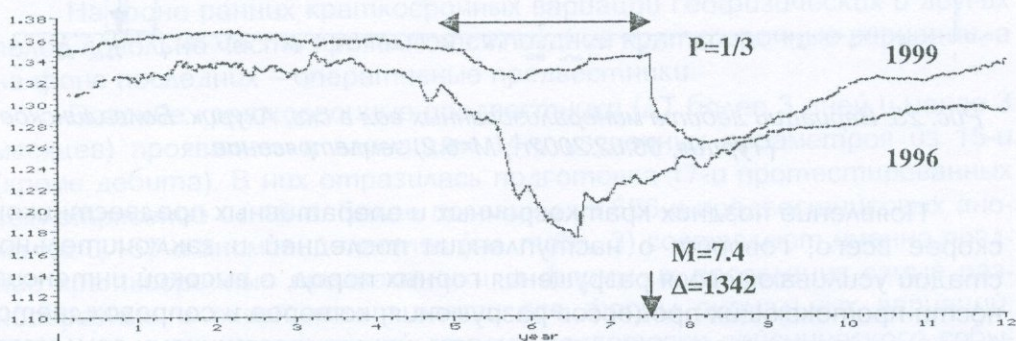


Рис. 27. Пред-, ко- и постсейсмические вариации электропроводности воды в скв. Каджаран. Измитское (Турция, 17.08.1999г., $M=7.4$) землетрясение.

III.4. Типизация 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.

Примеры разных типов предвестников приводим на рис. 28-30.



Рис. 28. Среднесрочная аномалия ГГД-поля и наложенная на нее краткосрочная аномалия в скв. Мецамор. Спитакское (Армения, 1988г.) землетрясение.

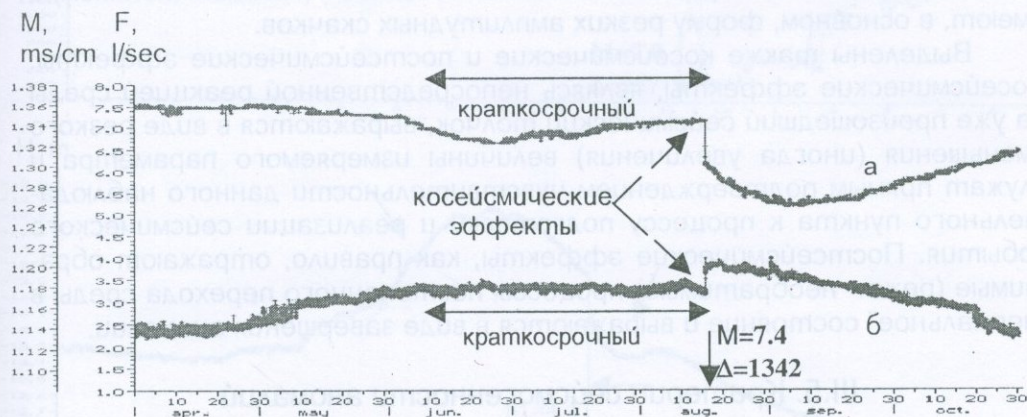


Рис. 29. Краткосрочные аномалии и косейсмические эффекты электропроводности (а) и дебита (б) минерализованных вод в скв. Каджаран. Измитское (Турция, 1999г.) землетрясение.

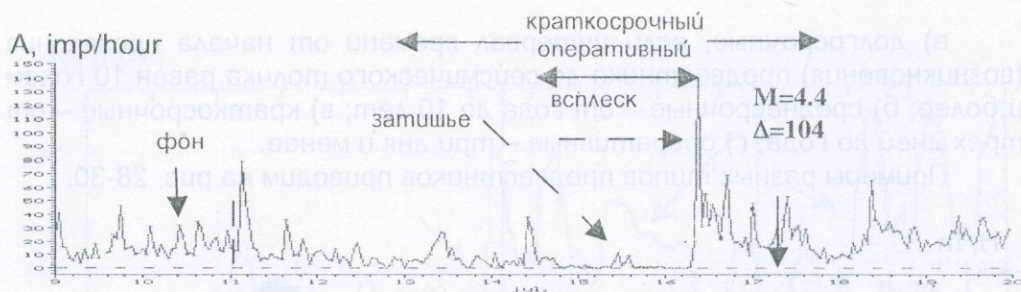


Рис. 30. Краткосрочная и оперативная аномалии активности аквариумных рыб на ст. Давидашен. Ноемберянское (Армения, 1997г.) землетрясение.

Количество разных типов предвестников неодинаковое. Ни одно из протестированных землетрясений не имеет долгосрочных предвестников, несмотря на то, что некоторые параметры имеют более чем 20-летние временные ряды.

Выделено несколько среднесрочных предвестников, которые проявлены как долгопериодные нарушения сезонного хода (ГГД-поле), а также 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.

III.5. Критерии сейсмогенности аномалий

Известно, что 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 [16, 36, 37 и др.], можно выделить четыре критерия сейсмогенности аномалий.

III.5.1. Наличие пред-, ко- и (или) постсейсмических периодов в наблюдаемых аномалиях

На рис. 31 приведены примеры выделения пред-, ко- и пост-сейсмических аномалий для трех сейсмических событий: сильного регионального (Баку, 2000г.), сильного местного (Спитак, 1988г.) и местного ощутимого (Ноемберян, 1997г.).

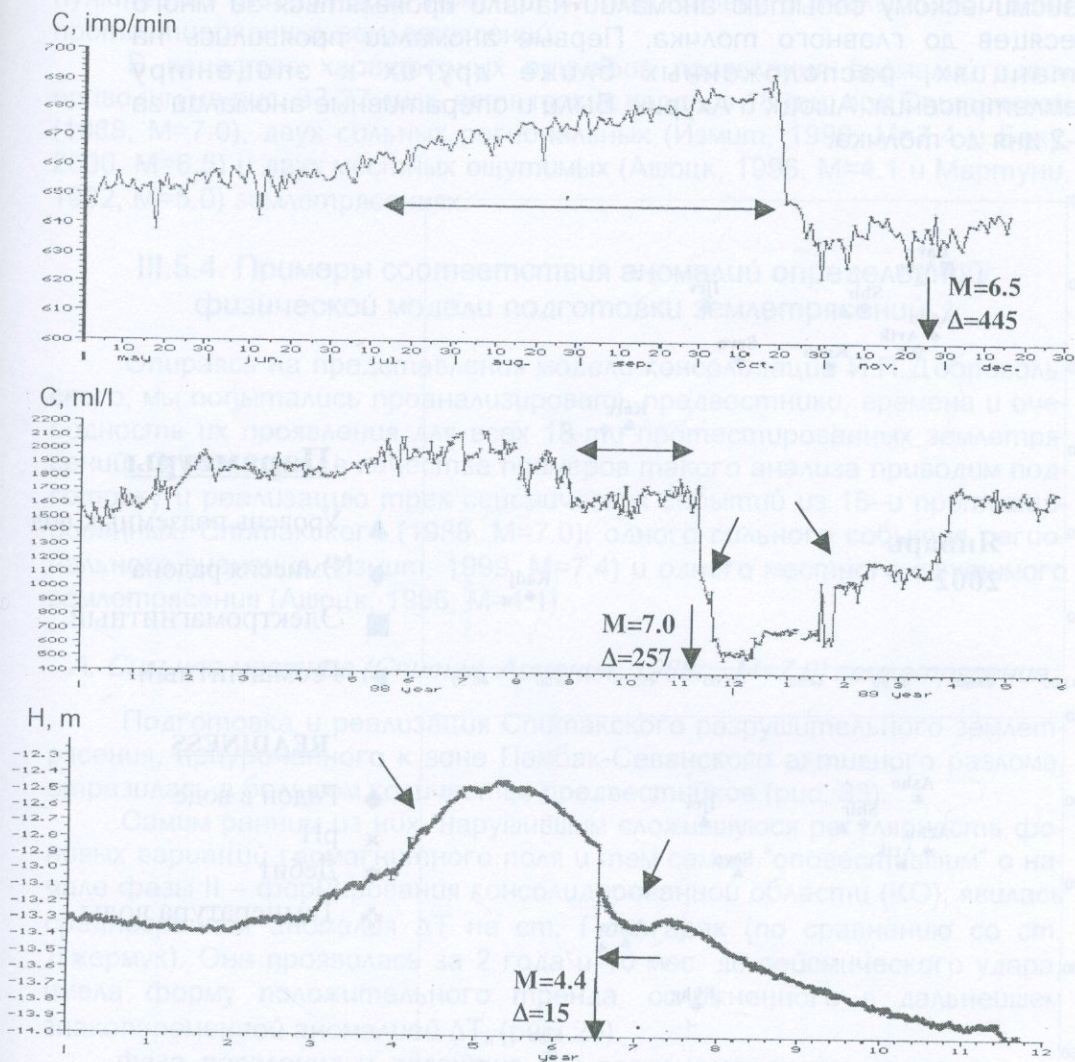


Рис. 31. Предсейсмическая аномалия содержания подпочвенного радона на ст. Ноемберян перед Бакинским (2000г., $M=6.5$) землетрясением (1); пред-, ко- и постсейсмические аномалии концентрации гелия на ст. Каджаран во время Спитакского (1988г., $M=7.0$) землетрясения (2) и уровня подземных вод на ст. Ноемберян во время Ноемберянского (1997г., $M=4.4$) землетрясения (3). Моменты сейсмических событий отмечены вертикальными, а аномалии – горизонтальными и наклонными стрелками.

III.5.2. Наличие аномалий в разных по своей природе полях

Пример проявления аномалий по восьми параметрам приведен на рис. 32. Кстати, в период подготовки Болвадинского (Турция, 2002г., $M=6.2$) землетрясения, которое было приурочено к зоне Северо-Анатолийского активного разлома, наибольшее количество аномалий было выделено по уровню подземных вод, радону и геохимическим параметрам. Предшествующие сейсмическому событию аномалии начали проявляться за много месяцев до главного толчка. Первые аномалии проявились на станциях, расположенных ближе других к эпицентру землетрясения: Ашоцк и Ахурик. Были и оперативные аномалии за 1-2 дня до толчка.

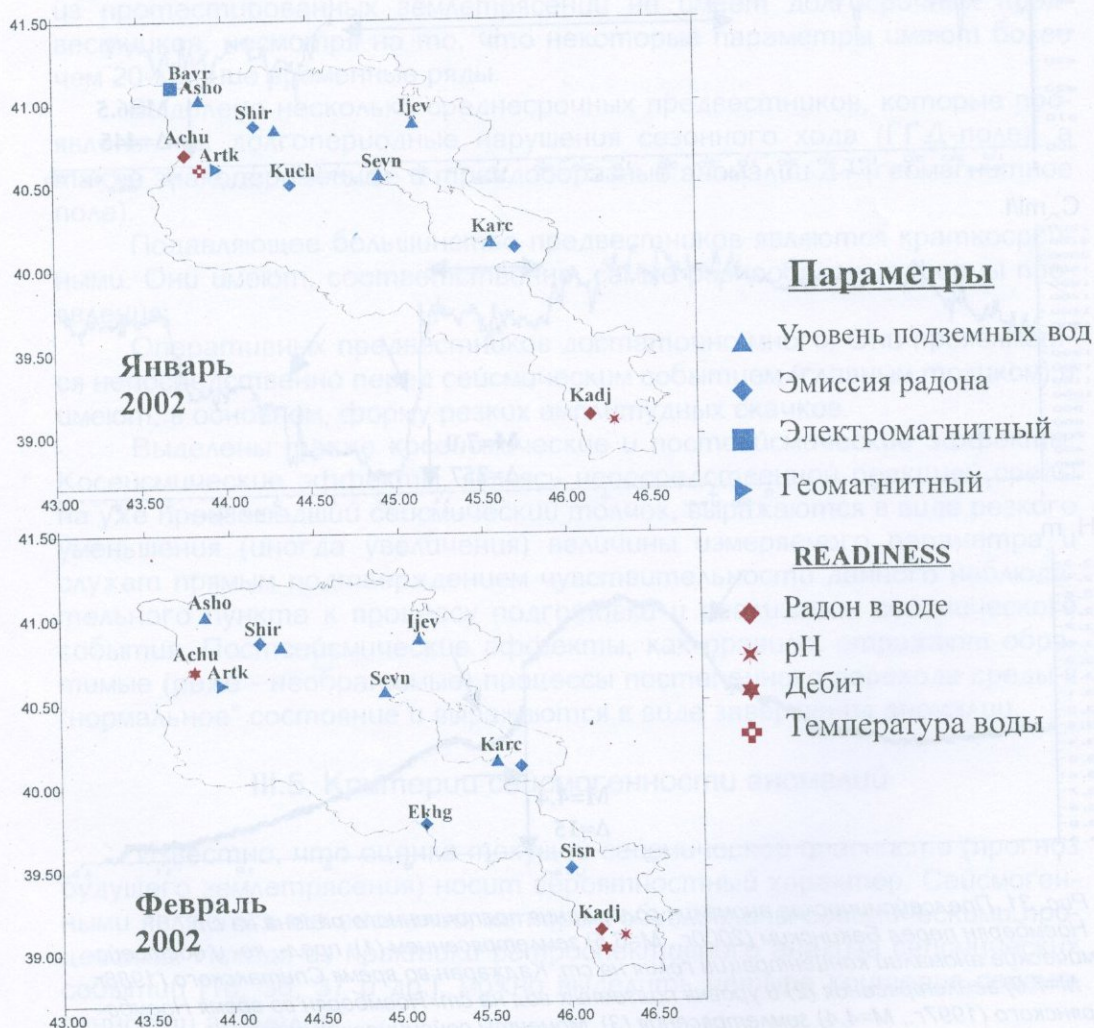


Рис. 32. Реакция многопараметровой наблюдательной сети НССЗ на подготовку и реализацию Болвадинского (Турция, 2002г., $M=6.2$) землетрясения.

III.5.3. Наличие аномалий 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 и ряд других закономерностей хорошо видны на построенных нами картах реагируемости наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию 18-ти протестированных землетрясений.

В качестве характерных примеров проявления аномалий здесь приводим на рис. 33-37 лишь пять таких карт из 18-ти: при Спитакском (1988, $M=7.0$), двух сильных региональных (Измит, 1999, $M=7.4$ и Баку, 2000, $M=6.5$) и двух местных ощутимых (Ашоцк, 1996, $M=4.1$ и Мартуни, 1992, $M=5.0$) землетрясениях.

III.5.4. Примеры соответствия аномалий определенной физической модели подготовки землетрясений

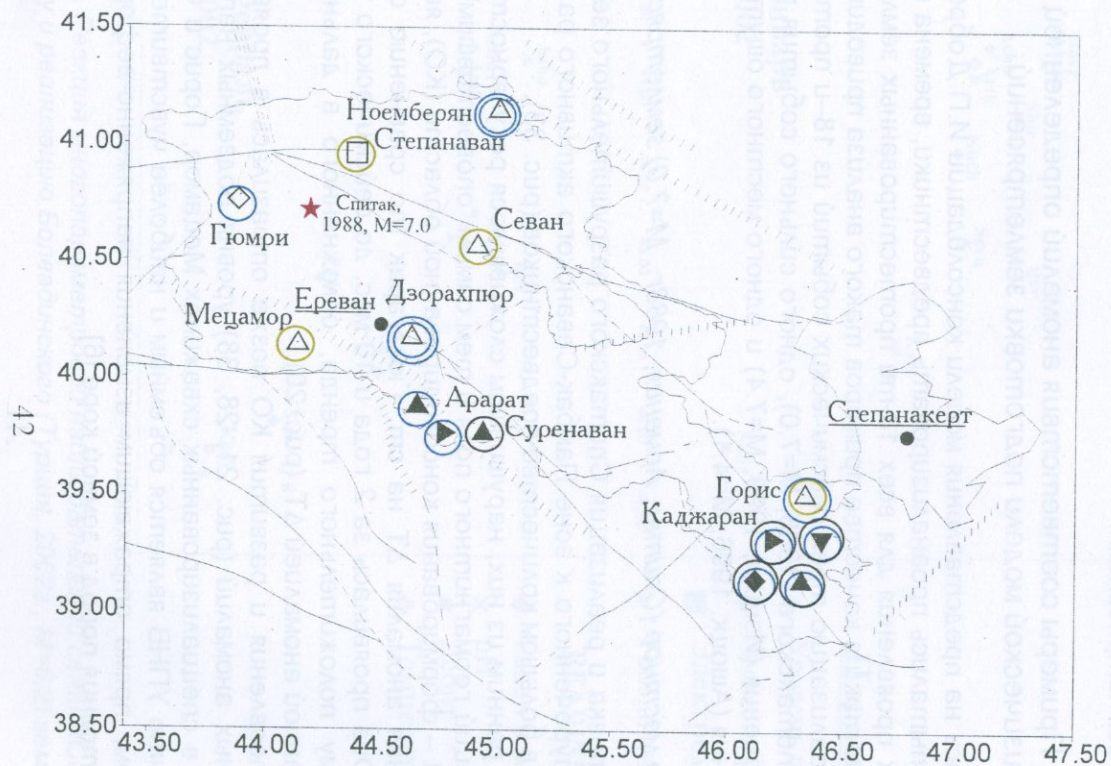
Опираясь на представления модели консолидации И.П.Добровольского, мы попытались проанализировать предвестники, времена и очередность их проявления для всех 18-ти протестированных землетрясений. Опять-таки в качестве примеров такого анализа приводим подготовку и реализацию трех сейсмических событий из 18-и протестированных: Спитакского (1988, $M=7.0$), одного сильного события регионального значения (Измит, 1999, $M=7.4$) и одного местного ощутимого землетрясения (Ашоцк, 1996, $M=4.1$).

А. Сильное местное (Спитак, Армения, 1988г., $M=7.0$) землетрясение

Подготовка и реализация Спитакского разрушительного землетрясения, приуроченного к зоне Памбак-Севанского активного разлома, отразилась в большом количестве предвестников (рис. 33).

Самым ранним из них, нарушившим сложившуюся регулярность фоновых вариаций геомагнитного поля и тем самым "оповестившим" о начале фазы II – формирования консолидированной области (КО), явилась среднесрочная аномалия ΔT на ст. Гюлагарак (по сравнению со ст. Джермук). Она проявилась за 2 года и 10 мес. до сейсмического удара, имела форму положительного тренда, осложненного в дальнейшем знакопеременной аномалией ΔT_a (рис. 20).

Фаза появления и развития КО позже отразилась в проявлении среднесрочных аномалий (рис. 21, 28, 38) уровня подземных напорных вод (УПНВ) в специализированных скважинах Мецамор, Горис и Севан. Известно, что УПНВ является объемным и наиболее чувствительным индикатором, прямо отражающим изменения напряженно-деформированного состояния пород в земной коре [6].



Условные обозначения

Активные разломы:

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

★ эпицентр землетрясения

● Ереван - города

Методы и параметры мониторинга:

- △ ГГД
- ◇ радон подпочвенный
- геомагнитное поле

Геохимия минерализованной воды:

- ▲ pH
- ◆ HCO₃
- ▶ Cl
- ▼ Ne

Типы тест-аномалий:

- среднесрочные
- краткосрочные
- реакции

Рис. 33. Реагируемость наблюдательных пунктов на территории Армении на подготовку и реализацию Спитакского (Армения, 1988г.) землетрясения.

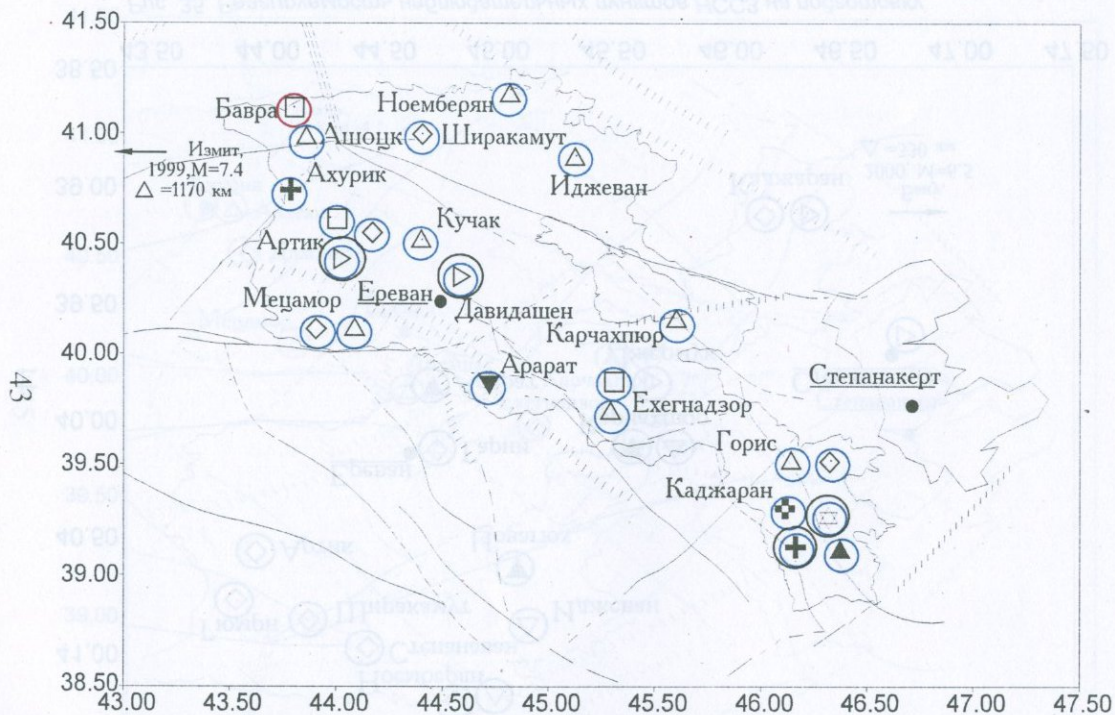


Рис. 34. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Измитского (Турция, 1999г.) землетрясения.

Условные обозначения

Активные разломы:

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

- Ереван - города
- ← направление эпицентра

Методы и параметры мониторинга:

- ◇ радон подпочвенный
- △ ГГД
- ▷ ННП
- геомагнитное поле

Геохимия минерализованной воды:

- ▲ pH
- ▼ Не
- ✱ t° воды
- ☆ дебит
- + электропроводимость

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- оперативные
- реакции

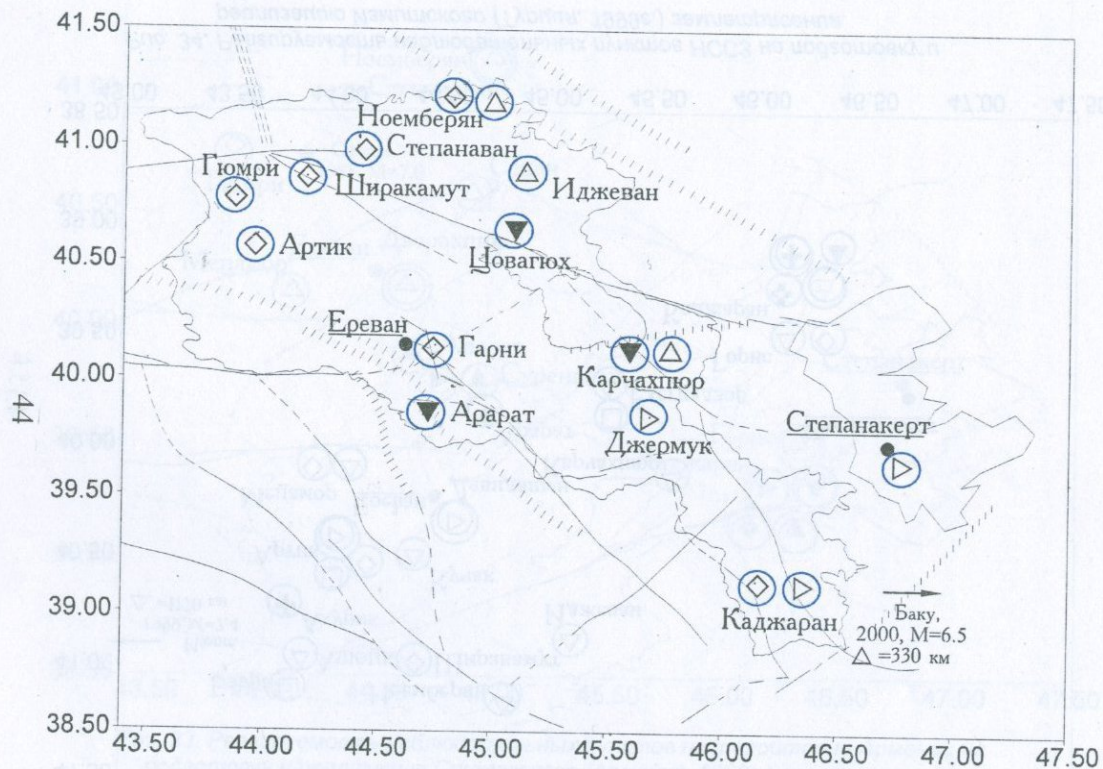


Рис. 35. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Бакинского (Азербайджан, 2000г.) землетрясения.

Условные обозначения

Активные разломы:

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

- Ереван - города
- ➔ направление эпицентра

Методы и параметры мониторинга:

- △ ГГД
- ◇ радон почвенный
- ▷ ННП

Геохимия минерализованной воды:

- ▼ Не

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные

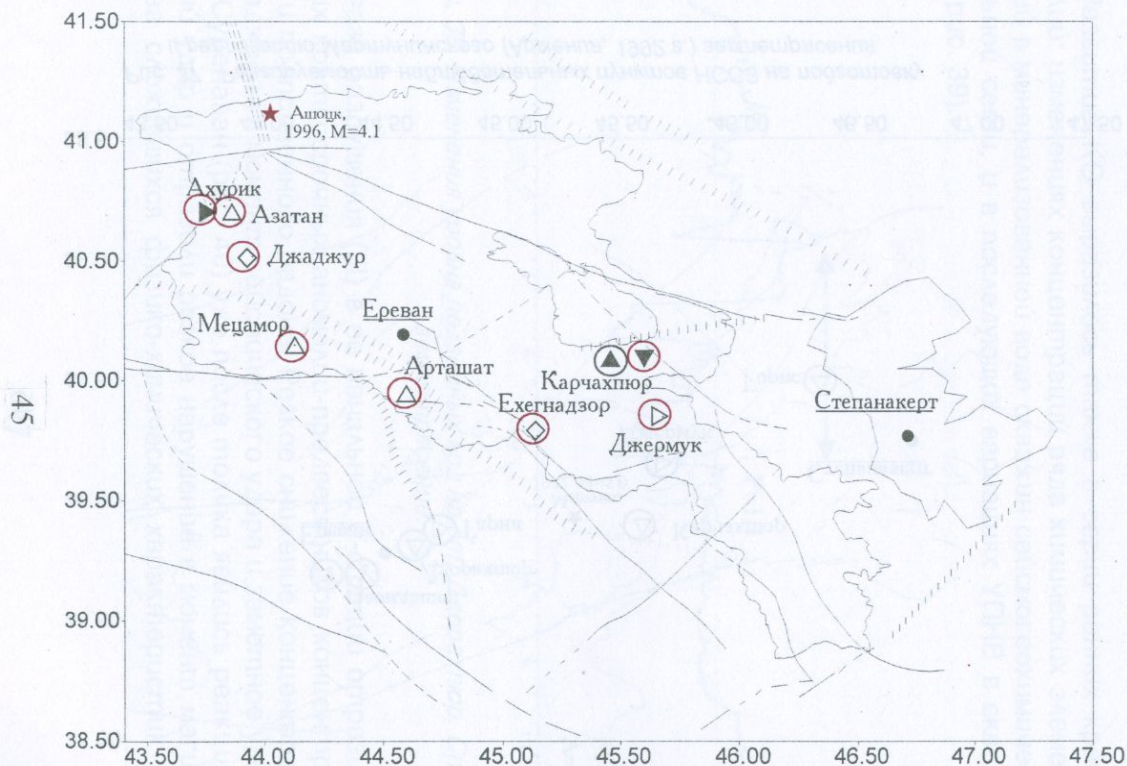


Рис. 36. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Ашоцкого (Армения, 1996г.) землетрясения.

Условные обозначения

Активные разломы:

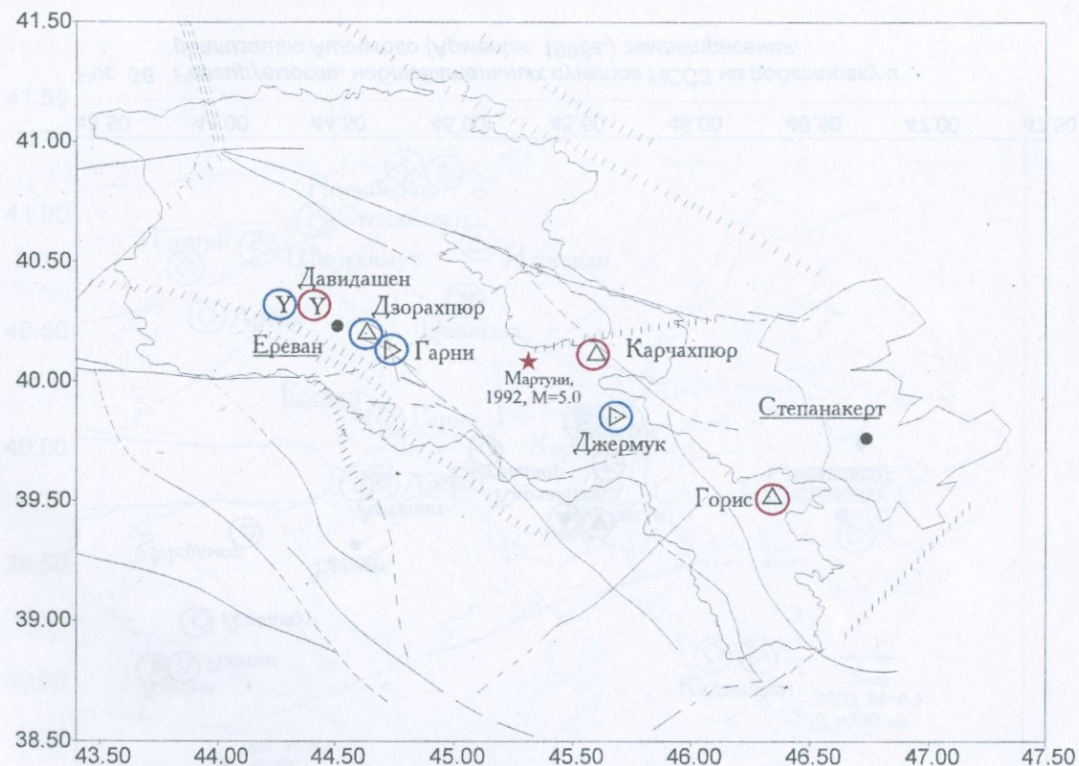
- уверенно выделяемые
- ////////// погребенные
- предполагаемые
- ===== зоны растяжения
- ★ эпицентр землетрясения
- Ереван - города

Методы и параметры мониторинга:

- △ ГГД
- ◇ радон почвенный
- ▷ ННП
- Геохимия минерализованной воды:
- ▲ pH
- ▶ Cl
- ▼ Ne

Типы тест-аномалий:

- краткосрочные
- реакции



Условные обозначения

Активные разломы:

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

★ эпицентр землетрясения

● Ереван - города

Методы и параметры мониторинга:

△ ГГД

▷ ННП

У СДРВ (ионосфера)

Типы тест-аномалий:

○ краткосрочные

○ оперативные

Рис. 37. Реагируемость наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию Мартунинского (Армения, 1992 г.) землетрясения.

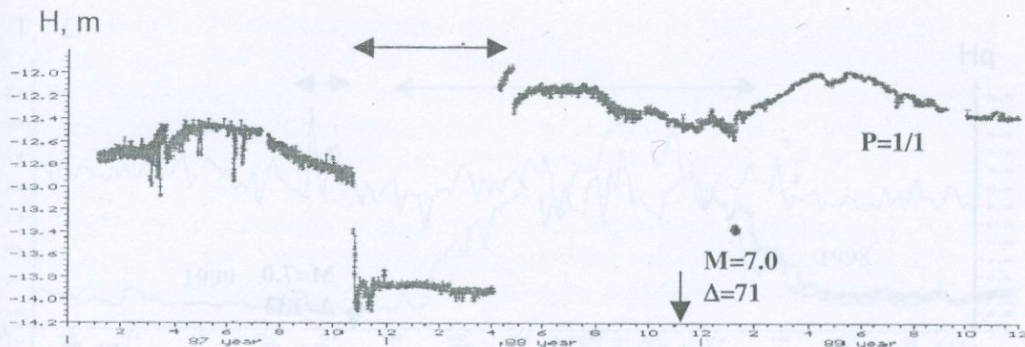


Рис. 38. Изменения уровня подземных вод на ст. Севан. Спитакское землетрясение.

Развитие КО выразилось также в серии ранних краткосрочных аномалий: изменениях концентраций ряда химических элементов и соединений в минерализованной воде скважин сейсмогеохимической наблюдательной сети, и в последующих вариациях УПНВ в скважинах ГГД-сети (рис. 39).

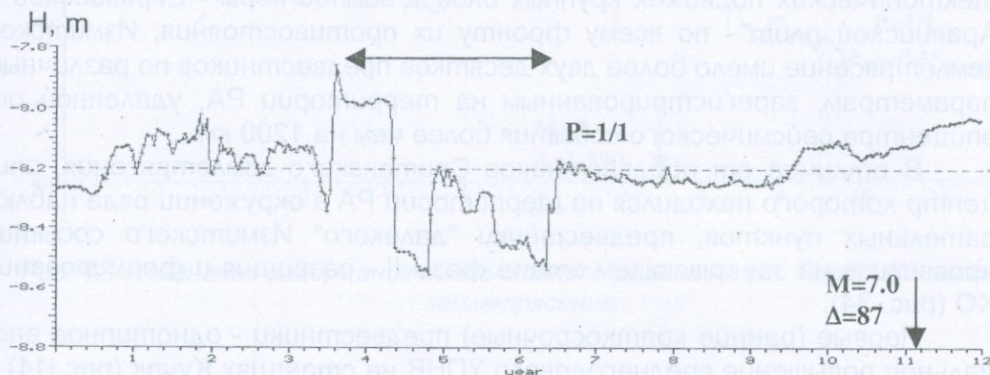


Рис. 39. Изменения уровня подземных вод на ст. Дзорахпюр. Спитакское землетрясение.

Фаза разрушения (III) в ее начальной α -стадии отразилась в ряде поздних краткосрочных аномалий-предвестников концентрации гелия, УПНВ и подпочвенного радона. Резкое снижение концентрации гелия в скв. Каджаран в момент сейсмического удара и заметное увеличение pH в скв. Суренаван (рис. 40) уже после толчка явились реакцией среды на главный удар и отразили резкое нарушение в момент магистрального разрыва сложившихся физико-химических характеристик массива пород.

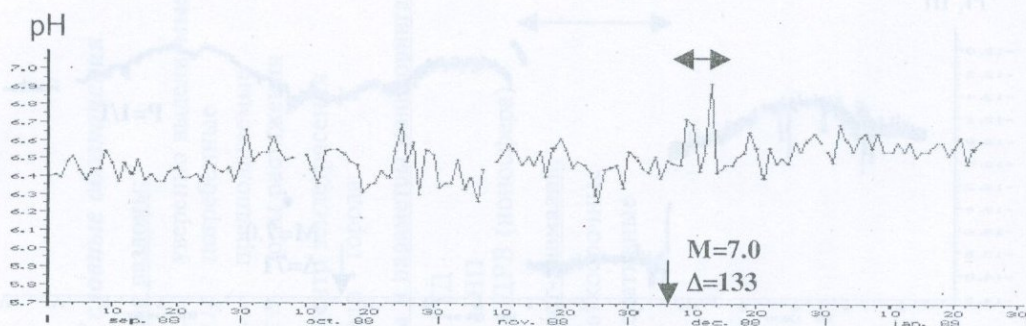


Рис. 40. Изменения величины параметра pH на ст. Суренаван. Спитакское землетрясение.

Б. Сильное региональное (Измит, Турция, 1999г., $M=7.4$) землетрясение

Эпицентр Измитского (17.08.1999г., $M=7.4$) землетрясения, унесшего много человеческих жизней и причинившего большие разрушения, находился в зоне Северо-Анатолийского близширотного активного разлома, на западе Турции. Являясь, как и Спитакское событие, итогом тектонических подвижек крупных блоков земной коры - Евразийской и Аравийской плит - по всему фронту их противостояния, Измитское землетрясение имело более двух десятков предвестников по различным параметрам, зарегистрированным на территории РА, удаленной от эпицентра сейсмического события более чем на 1200 км.

В отличие от предвестников Спитакского землетрясения, эпицентр которого находился на территории РА в окружении ряда наблюдательных пунктов, предвестники "далекого" Измитского события проявились на завершающем этапе фазы II - развития и формирования КО (рис. 34).

Первые (ранние краткосрочные) предвестники - однотипное аномальное повышение среднегодового УПНВ на станциях Кучак (рис. 14) и Мецамор, нарушение среднесезонных значений содержания подпочвенного радона в виде корытообразной аномалии на ст. Артик - проявились за 5,5 - 4,5 мес. до главного удара. Аномально нарушился ход сезонного поднятия УПНВ на ст. Иджеван. Почти вдвое увеличился дебит и заметно повысилась (на 5-6°C) температура минерализованной воды (рис. 41) в скв. Каджаран. (Впоследствии, в момент главного удара, было зарегистрировано косейсмическое скачкообразное увеличение дебита и уменьшение специальной электропроводимости (рис. 29). Одновременное увеличение и дебита, и температуры воды объясняется, вероятно, притоком дополнительного потока более теплой воды по вновь образованным трещинам в пространство вокруг создающейся КО.

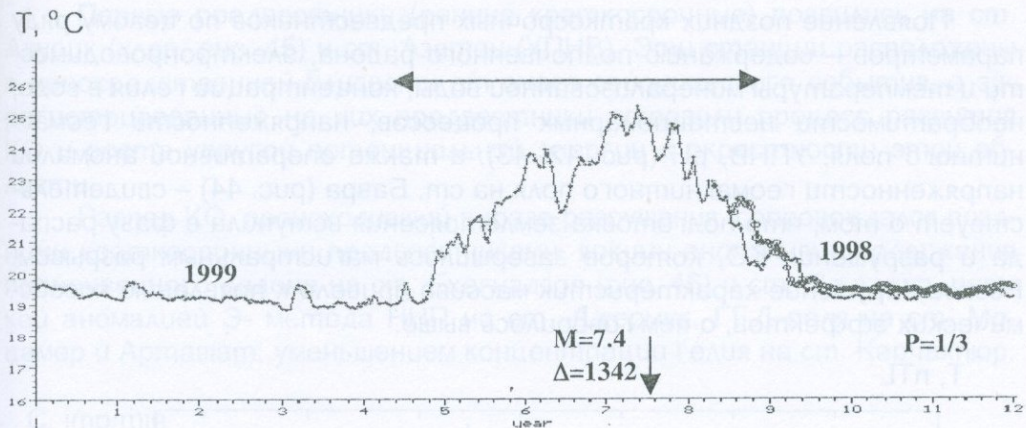


Рис. 41. Вариации температуры воды в скв. Каджаран. Измитское землетрясение.

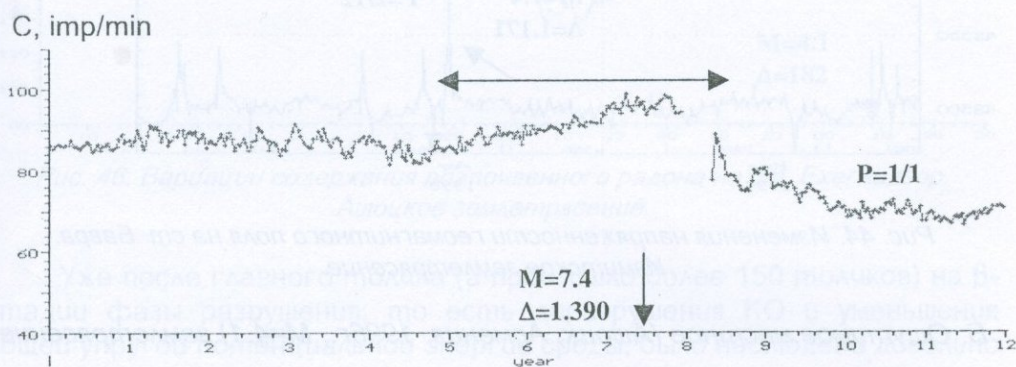


Рис. 42. Изменения содержания почвенного радона на ст. Горис. Измитское землетрясение.

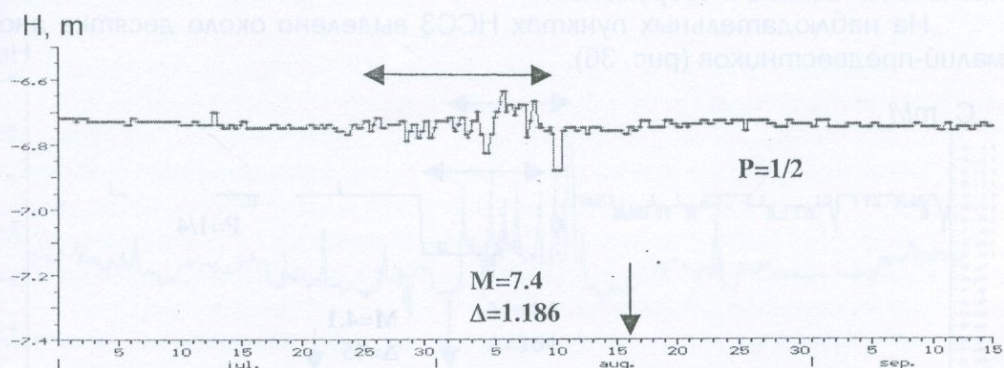


Рис. 43. Вариации уровня подземных вод на станции Ашоцк. Измитское землетрясение.

Появление поздних краткосрочных предвестников по целому ряду параметров – содержанию подпочвенного радона, электропроводимости и температуры минерализованной воды, концентрации гелия в воде, необратимости нестационарных процессов, напряженности геомагнитного поля, УПНВ, pH (рис. 42, 43), а также оперативной аномалии напряженности геомагнитного поля на ст. Бавра (рис. 44) – свидетельствует о том, что подготовка землетрясения вступила в фазу распада и разрушения КО, которое завершилось магистральным разрывом. Резкое нарушение характеристик массива привело к появлению косейсмических эффектов, о чем говорилось выше.

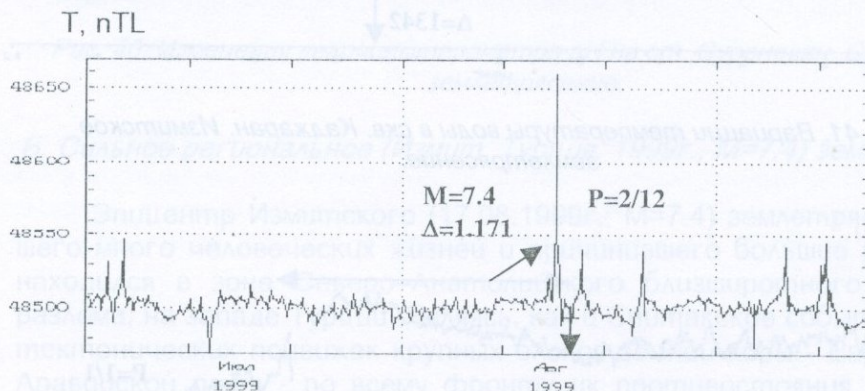


Рис. 44. Изменения напряженности геомагнитного поля на ст. Бавра. Измитское землетрясение.

В. Ощутимое местное (Ашоцк, Армения, 1996г., $M=4.1$) землетрясение

Ашоцкое землетрясение (09.06.1996г., $M=4.1$) произошло на севере Армении и было приурочено к Джавахетской зоне растяжения. Оно вызвало панику среди местного населения и явилось причиной повреждений нескольких зданий и сооружений.

На наблюдательных пунктах НССЗ выделено около десятка аномалий-предвестников (рис. 36).

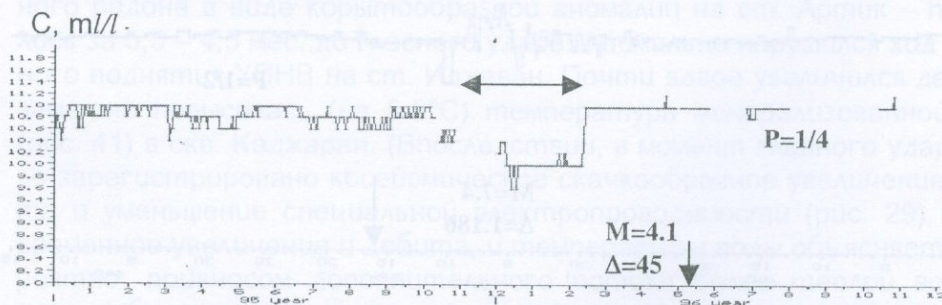


Рис. 45. Вариации концентрации растворенного в минерализованной воде хлора в скв. Ахурик. Ашоцкое землетрясение.

Первые предвестники (ранние краткосрочные) появились на ст. Ахурик (хлор, рис. 45) и ст. Азатан (УПНВ). Эти станции расположены в непосредственной близости от очага сейсмического события, а зарегистрированные на них предвестники отразили процесс развития КО и роста упругой потенциальной энергии в окрестности этой области.

Распад КО, происходивший в фазе разрушения, сопровождался поздними краткосрочными предвестниками: яркими аномалиями содержания подпочвенного радона на ст. Ехегнадзор (рис. 46) и ст. Джаджур, четкой аномалией Э-метода ННП на ст. Джермук, ГГД-поля на ст. Мецамор и Арташат, уменьшением концентрации гелия на ст. Карцахпюр.

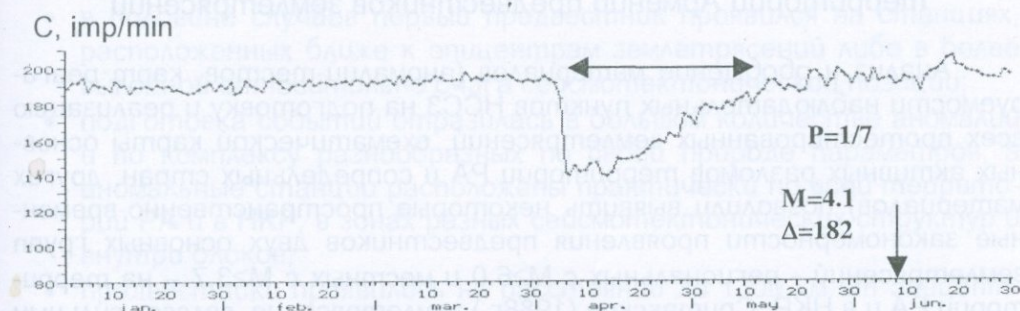


Рис. 46. Вариации содержания подпочвенного радона на ст. Ехегнадзор. Ашоцкое землетрясение.

Уже после главного толчка (а произошло более 150 толчков) на β -стадии фазы разрушения, то есть доразрушения КО и уменьшения общей упругой потенциальной энергии среды, было observed довольно продолжительное ($\approx 1,5$ мес.) во времени заметное увеличение pH на ст. Карцахпюр (рис. 47). Такая длительность гидрогеохимической аномалии отражает, видимо, активность афтершокового периода и относительно долгое доразрушение консолидированной области.

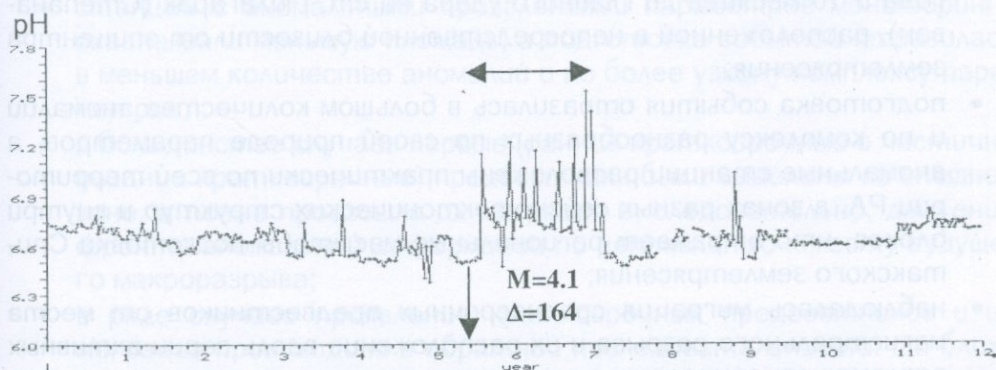


Рис. 47. Вариации величины pH на ст. Карцахпюр. Ашоцкое землетрясение.

Таким образом, критерии сейсмогенности аномалий, о которых мы говорили выше, следующие:

1. Наличие пред-, ко- и (или) постсейсмических периодов в наблюдаемых аномалиях.
2. Наличие аномалий в разных по своей природе полях.
3. Наличие аномалий на относительно большой территории.
4. Соответствие аномалий определенной физической модели подготовки землетрясений.

III.6. Пространственно-временные закономерности проявления на территории Армении предвестников землетрясений

Анализ и обобщение материалов (аномалий-тестов, карт реактуемости наблюдательных пунктов НССЗ на подготовку и реализацию всех протестированных землетрясений, схематической карты основных активных разломов территории РА и сопредельных стран, других материалов) позволили выявить некоторые пространственно-временные закономерности проявления предвестников двух основных групп землетрясений - региональных с $M \geq 6.0$ и местных с $M \geq 3.7$ - на территории РА и в НКР. Спитакское (1988г.) землетрясение, являясь сильным и местным одновременно, принадлежит к обеим основным группам и требует отдельного рассмотрения.

Каковы же общие пространственно-временные закономерности проявления предвестников протестированных сейсмических событий (характерные примеры см. на рис. 33 - 37).

А. Спитакское (1988г., $M=7.0$) 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 сеймотектонических 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.

Б. 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 за несколько месяцев до событий;
- в половине случаев первый предвестник проявился на станциях, расположенных ближе к эпицентрам землетрясений либо в более выгодной относительно очага сейсмотектонической 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 сейсмотектонических структур и внутри блоков;
- предвестники проявились на расстоянии до 1300 км от эпицентра землетрясения (Измит, 1999);
- последовательность проявления предвестников не обусловлена удаленностью станций от эпицентра события;
- сказанное подтверждает региональные масштабы подготовки сильных землетрясений по всему фронту противостояния крупных блоков земной коры.

В. Ощутимые местные землетрясения с $M \geq 3.7$

- самые ранние предвестники проявились за 4 - 9 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 (ранние краткосрочные и частично поздние краткосрочные) 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.

ГЛАВА IV. ВЕРОЯТНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДВЕСТНИКОВ

IV.1. Вероятность по каждому методу (параметру) для каждого типа аномалии

Как сказано в гл. III.1, определена вероятность сейсмической реализации P аномалий, наблюдавшихся на данной станции и по данному параметру, которая выражена отношением m/n , где m - количество реализовавшихся аномалий, т.е. тех аномалий, после которых произошли протестированные сейсмические события, n - общее количество подобных аномалий на данной станции и по данному параметру [16]. Для этого аномалии, предвещающие сейсмические события, были сгруппированы по методам (параметрам), станциям наблюдений и типам (среднесрочные, краткосрочные, оперативные).

Результаты определения величины P всех аномалий-тестов представлены в таблице 2.

Таблица 2

N	Тип предвестника	Общее колич. аномалий	Колич. аномалий- тестов	$P_{\min}$	$P_{\max}$	$P_{\text{ср}}$
1	Долгосрочные	0	0	---	---	---
2	Среднесрочные	7	5	1/2	1/1	0.8
3	Краткосрочные, в том числе:	562	150	1/22	1/1	0.38
	- ГГД	142	43	1/15	1/1	0.51
	- Геохимия (регион. сеть)	140	28	1/22	1/1	0.29
	- Геохимия (READINESS)	60	11	1/12	1/1	0.30
	- Радон почвенный	128	31	1/13	1/1	0.40
	- Метод ННП	46	20	1/8	1/1	0.40
	- Геомагнитное поле	15	5	1/5	1/2	0.37
	- Вертик. зондирование ионосферы	19	10	1/5	3/5	0.44
	- Активность аквариум- ных рыб	5	1	2/5	2/5	0.4
	- Атмосферное давление	7	1	2/7	2/7	0.29
4	Оперативные	87	12	1/15	1/1	0.25
	ИТОГО	656	167	1/22	1/1	0.48

Как видим, из общего количества протестированных аномалий (656) подавляющее большинство (562) приходится на краткосрочные предвестники, то есть те, которые проявились в течение последнего

года подготовки сейсмического события. Далее идут оперативные предвестники (87), которые проявились в последние 3 дня до землетрясения. Совсем мало среднесрочных предвестников (7) и не выделено долгосрочных, несмотря на наличие многолетних временных рядов на некоторых станциях по отдельным параметрам. Такая же очередность наблюдается и по количеству тестовых аномалий для различных типов предвестников: краткосрочные - 150, оперативные - 12, среднесрочные - 5 и долгосрочные - 0.

Среди методов (параметров) наибольшее количество краткосрочных аномалий и тестов выделено по ГГД-полю (142/43), гидрогеохимии по региональной сети (140/28), подпочвенному радону (128/31), гидрогеохимии по сети READINESS (60/11), методу ННП (46/20) и т.д. Количество выделенных по конкретному методу и параметру аномалий в большой мере зависит от длины временного ряда и количества станций наблюдения, а соотношение аномалия-тест - от сейсмогенности аномалий.

По разбросу значений ($P_{max} - P_{min}$) разные типы предвестников располагаются в соответствии с количеством выделенных аномалий: краткосрочные - 1/22 - 1/1, оперативные - 1/15 - 1/1, среднесрочные - 1/2 - 1/1, что обусловлено, видимо, их количественным соотношением.

По разбросу значений ($P_{max} - P_{min}$) среди методов и параметров по краткосрочным предвестникам имеем такую очередность: гидрогеохимия по региональной сети - 1/22-1/1, ГГД-поле - 1/15-1/1, подпочвенный радон - 1/13-1/1, гидрогеохимия по сети READINESS - 1/12 -1/1, метод ННП - 1/8 -1/1, и т.д. Разброс значений максимальной и минимальной вероятностей сейсмической реализации аномалий по отдельным методам и параметрам в значительной мере обусловлен количеством выделенных по данному методу или параметру аномалий. Количество же аномалий, как сказано выше, во многом зависит от объема первичных данных.

Обращаясь к величине $P_{ср}$, отметим, что средняя вероятность сейсмической реализации $P_{ср}$ заметно убывает по мере приближения сейсмического события: $P_{ср}$ среднесрочных предвестников равна 0,8, краткосрочных - 0,38, оперативных - 0,25. Такая закономерность уменьшает достоверность прогноза готовящегося землетрясения, то есть определения его силы, места и времени, сохраняя прогноз землетрясения как вероятностную категорию.

IV.2. Вероятность по всем типам аномалий для каждого метода (параметра), отдельно для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$

Значения средних вероятностей $P_{ср}$ по каждому методу (параметру) для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$ отдельно, а также для всех протестированных землетрясений в целом приведены в таблице 3.

Таблица 3

N	Метод (параметр)	Регион. землетряс. $M \geq 6.0$		Местные землетряс. $M \geq 3.7$		P_{cp} для всех земл.
		Колич. местов	P_{cp}	Колич. местов	P_{cp}	
1	ГГД	33	0.52	15	0.47	0.50
2	Геохимия (READINESS):	10	0.27	2	0.29	0.27
	- дебит воды	3	0.17	---	---	0.17
	- температура	2	0.67	---	---	0.67
	- электрическая проводи- мость	2	0.33	2	0.29	0.31
	- радон	2	0.10	---	---	0.10
	- pH	1	0.08	---	---	0.08
3	Геохимия (региональная сеть):	20	0.31	8	0.27	0.30
	- pH	3	0.26	1	0.33	0.28
	- HCO_3	2	0.27	2	0.35	0.31
	- Cl	2	0.23	1	0.25	0.24
	- Ne	13	0.48	4	0.15	0.39
4	Радон почвенный	21	0.40	12	0.35	0.38
5	Метод ННП	10	0.30	11	0.47	0.39
6	Геомагнитное поле	7	0.45	2	0.50	0.46
7	Вертик. зондирование ионосферы	10	0.43	2	0.32	0.41
8	Активность аквариумных рыб	---	---	2	0.40	0.40
9	Атмосферное давление	1	0.29	---	---	0.29

Сравнительный анализ методов и параметров мониторинга по вероятности сейсмической реализации всех типов аномалий приводит к следующим выводам.

Наибольшую вероятность имеет ГГД предвестник (0,50). Судя как по количеству местов (33), так и по величине P_{cp} (0,52) ГГД-поле лучше реагирует на подготовку сильных региональных землетрясений, чем местных. Высокая информативность ГГД-поля объясняется тем, что колебания уровня подземных вод являются прямым и наиболее чувствительным индикатором геодинамических процессов.

Аналогичная картина с почвенным радоном и особенно растворенным в минерализованной воде гелием: и по количеству местов, и по величине P_{cp} эти параметры лучше чувствуют подготовку сильных региональных сейсмических событий.

Гидрогеохимические предвестники в целом как по региональной сети, так и по сети READINESS имеют много общего: они заметно лучше реагируют (судя по количеству местов) на региональные сильные землетрясения. Однако, в целом по обоим гидрогеохимическим се-

тям величины P_{cp} для обеих групп землетрясений ненамного отличаются друг от друга, как и для всех протестированных сейсмических событий в целом (0.27 и 0.30).

С методом ННП несколько иная картина. Здесь имеется почти равное количество аномалий-тестов для обеих групп землетрясений, однако вероятность сейсмической реализации, в отличие от упомянутых выше параметров, значительно выше именно при местных землетрясениях. Объяснение кроется, видимо, в методико-технических особенностях метода, поскольку здесь измеряется *искусственно* вызванное поле в отличие от других используемых нами параметров, где идет пассивная регистрация естественных полей разной природы.

Недостаточное для статистических расчетов количество мест-аномалий по методам и параметрам, расположенным в нижней части таблицы, не позволяет делать более или менее достоверные выводы. Тем не менее, и здесь заметны некоторые закономерности. Так, большинство ионосферных аномалий и резкие перепады атмосферного давления при подготовке сильных региональных землетрясений объясняются региональным характером процессов, протекающих в атмосфере и ионосфере. Аномальные вариации геомагнитного поля, вероятно, сейсмогенной природы, также чаще наблюдались при подготовке сильных региональных землетрясений, хотя P_{cp} при региональных землетрясениях (0.45) несколько меньше, чем при местных землетрясениях (0.50). Аквариумные рыбки "почувствовали" приближение двух местных ощутимых землетрясений с $M = 4.4$ и 3.4 .

Таким образом:

1. Наблюдается довольно высокая вероятность сейсмической реализации предвестников основной группы параметров, имеющих достаточное для расчетов количество тестов; величины P_{cp} здесь варьируют от 0.27 до 0.50.

2. Предвестники по параметрам основной группы в большем количестве проявились при подготовке сильных региональных сейсмических событий, нежели местных ощутимых; исключение составляет метод ННП, по которому выделено почти равное количество предвестников при подготовке обеих групп сейсмических событий.

3. Вероятность сейсмической реализации по всем типам аномалий для одних методов и параметров выше при региональных ($M \geq 6.0$), а для других - при местных ($M \geq 3.7$) землетрясениях.

IV.3. Вероятность по комплексу предвестников для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$

В таблице 4 приведены значения средних вероятностей P_{cp} по комплексу предвестников для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$.

Таблица 4

N	Землетрясения	Колич. местов	P_{cp}
А. Сильные региональные ($M \geq 6.0$):			
1	Ардебиль $M=6.7$, 1997г.	5	0.27
2	Баку $M=6.5$, 2000г.	16	0.57
3	Барисахо $M=6.4$, 1992г.	11	0.53
4	Болу $M=6.2$, 1999г.	5	0.32
5	Болвадин $M=6.2$, 2002г.	16	0.37
6	Измит $M=7.4$, 1999г.	23	0.38
7	Нарман $M=6.8$, 1983г.	4	0.69
8	Рача $M=7.1$, 1991г.	3	0.29
9	Рудбар $M=7.7$, 1990г.	6	0.52
10	Спитак $M=7.0$, 1998г.	16	0.54
11	Эрзинджан $M=6.9$, 1992г.	5	0.48
	В среднем по регион. землетрясениям	10	0.45
Б. Местные ощутимые ($M \geq 3.7$):			
1	Ашоцк $M=4.1$, 1996г.	8	0.57
2	Бавра $M=4.2$, 1994г.	7	0.49
3	Джавахет $M=4.3$, 1999г.	7	0.33
4	Мартуни $M=5.0$, 1992г.	7	0.48
5	Ноемберян $M=4.4$, 1997г.	14	0.38
6	Паракар $M=3.7$, 1997г.	4	0.46
7	Цовагюх $M=3.8$, 1993г.	8	0.49
	В среднем по местным землетрясениям	7.9	0.46

Проявления подготовки региональных и местных землетрясений в комплексе предвестников имеют как общие, так и отличительные черты.

Общее состоит в том, что средние значения вероятности P_{cp} в целом по региональным и местным землетрясениям почти одинаковы и равны, как видно из таблицы 4, соответственно 0,45 и 0,46. Этот важный вывод является свидетельством того, что действующая Многопараметровая мониторинговая сеть НССЗ способна в равной степени реагировать на подготовку как местных ощутимых, так и сильных землетрясений регионального масштаба. Другими словами, она в целом универсальна в смысле использования поступающих данных при оценке текущей сейсмической опасности.

Отличие в том, что при подготовке региональных землетрясений наблюдается большой разброс в количестве тестов (от 3 до 23), в то время как при подготовке местных землетрясений этот разброс меньше (от 4 до 14). Это объясняется наличием множества факторов: приуроченностью очагов региональных землетрясений к разным сеймотектоническим системам, часто не связанным с активными разломами на территории РА; различными сеймотектоническими, физическими и

механическими условиями подготовки сильных землетрясений регионального масштаба; разной удаленностью очагов и различными азимутами эпицентров этих землетрясений от территории РА, и др. Еще одно отличие в том, что среднее количество предвестников региональных землетрясений (10) заметно больше, чем местных (7,9), что объясняется большой территорией подготовки сильных землетрясений и региональными масштабами изменений напряженно-деформированного состояния земной коры.

Таким образом:

1. Средняя вероятность сейсмической реализации предвестников в целом по местным ощутимым и, сильным региональным землетрясениям почти одинакова.

2. При подготовке региональных землетрясений наблюдается больший разброс в количестве предвестников, чем при подготовке местных сейсмических событий.

3. Среднее количество предвестников региональных землетрясений заметно больше, чем местных.

ГЛАВА V

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ АНОМАЛИЙ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Научные исследования по предсказанию землетрясений, по мнению К.Касахары, находятся все еще на стадии, когда существенную роль играет эмпиризм. Поэтому важное значение имеет документирование уже произошедших сейсмических событий. В статистическом подходе к прогнозированию землетрясений основная роль отводится периодичности последовательности землетрясений, а также корреляции между землетрясениями и другими явлениями [11].

Как сказано выше, мы изучили более 650 аномалий различных параметров, которые отражены в более чем 150 тестовых аномалиях-предвестниках 18 землетрясений с M от 3.7 до 7.7. Сводная таблица с параметрами землетрясений и тестов представлена в конце Приложения 1, а примеры разных типов предвестников – в главах II и III. Каждая из статистически изученных аномалий отражает свойства в среднем более чем 4-х аномалий, следовательно, являющиеся предметами изучения предвестниковые тест-аномалии статистически значимые.

Нами изучены эмпирические зависимости времени проявления аномалий ΔT и амплитуды предвестника A от магнитуды землетрясения M и эпицентрального расстояния Δ наблюдательного пункта, а также ареалы распространения предвестников в зависимости от M . Для этого предвестники дифференцированы по видам (методам и параметрам) и типам (среднесрочные - ΔT более 1 года, ранние краткосрочные - ΔT более 3-х месяцев и менее 1 года, поздние краткосрочные - ΔT более 3-х дней и менее 3-х месяцев, оперативные - ΔT 3 дня и менее). Посчитаны коэффициенты корреляции между параметрами эмпирических зависимостей и постоянные регрессионных уравнений.

Основные результаты большого количества построений и расчетов представлены ниже на рисунках и в виде сводных таблиц.

V.1. Зависимости времени проявления предвестника от магнитуды землетрясения

Зависимости (уравнения регрессии) и коэффициенты корреляции ρ определяются для прогноза места и силы будущего землетрясения. Ниже приводим результаты определения этой зависимости для пяти видов и трех типов предвестников, проявленных на территории РА. Для этого использованы формулы, приведенные в [24]:

$$M = a \cdot \lg \Delta T + b, \quad (1)$$

а также с поправкой на эпицентральное расстояние Δ :

$$M = A \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + B, \quad (2)$$

где a, b, A, B – константы, ΔT измерено в сутках, Δ – в км.

На рис. 48 - 52 показаны зависимости времени проявления ΔT различных видов предвестников и времени проявления с поправкой на эпицентральное расстояние $\Delta T \cdot \Delta$ от магнитуды землетрясения, а на рис. 53 - 55 – те же зависимости для разных типов предвестников. Пунктирными линиями выделена полоса разброса точек, а средняя сплошная линия внутри полосы проведена для линейной аппроксимации зависимости. Приводимые ниже формулы – это формулы средней линии (рис. 48 - 55).

По видам предвестников получены такие зависимости.

1. Уровень подземных вод (количество использованных в расчетах местовых аномалий n равно 39), рис. 48:

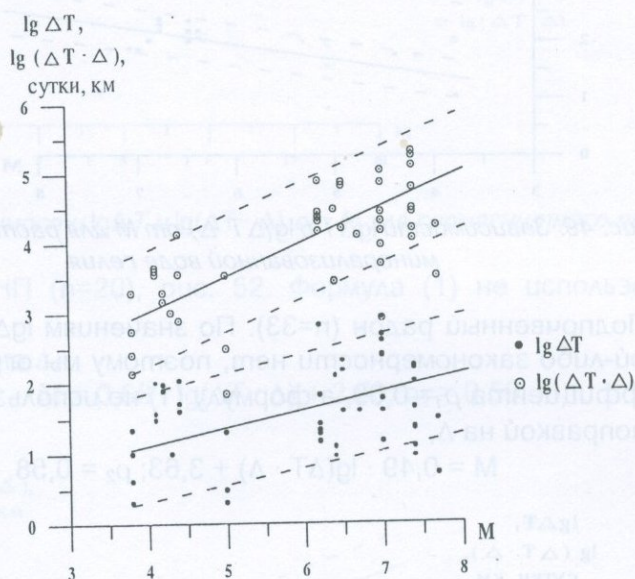


Рис. 48. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для уровня подземных вод.

$$M = 2,99 \cdot \lg \Delta T + 0,88; \rho_1 = 0,32.$$

С поправкой на эпицентральное расстояние Δ ,

$$M = 0,79 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 2,55; \rho_2 = 0,51.$$

Как пишет Г.А.Соболев [24], учет эпицентрального расстояния Δ улучшает корреляцию, что свидетельствует о связи места возникновения предвестника с очагом готовящегося землетрясения; при этом, разброс точек после учета Δ и применения формулы (2) значительно уменьшается по сравнению с зависимостью типа (1), а коэффициент корреляции возрастает. Как увидим далее, сказанное справедливо и для предвестников, выделенных нами на территории Армении. Это хорошо видно на рисунках 48 - 56 и из таблицы 5.

2. Растворенный в воде гелий ($n=17$), рис. 49:

$$M = 2,55 \cdot \lg \Delta T + 1,24; \rho_1 = 0,70.$$

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,78 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 2,90; \rho_2 = 0,67.$$

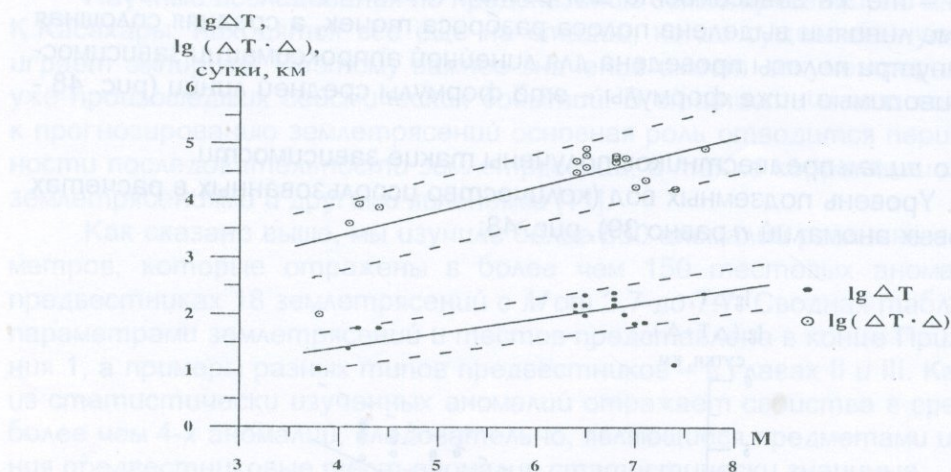


Рис. 49. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для растворенного в минерализованной воде гелия.

3. Подпочвенный радон ($n=33$). По значениям $\lg \Delta T$ (рис. 50) видно, что какой-либо закономерности нет, поэтому мы ограничились расчетом коэффициента $\rho_1 = -0,09$, а формулу (1) не использовали.

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,49 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 3,63; \rho_2 = 0,58.$$

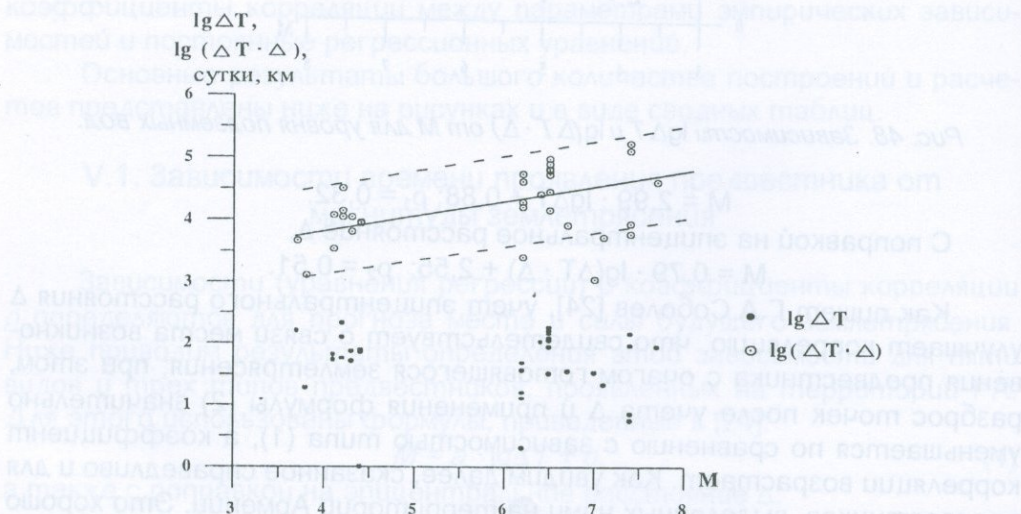


Рис. 50. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для подпочвенного радона.

4. Геомагнитное поле ($n=8$), рис. 51. Формула (1) не использована, а $\rho_{\bar{r}}=0,19$.

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,63 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 3,27; \rho_2 = 0,23.$$

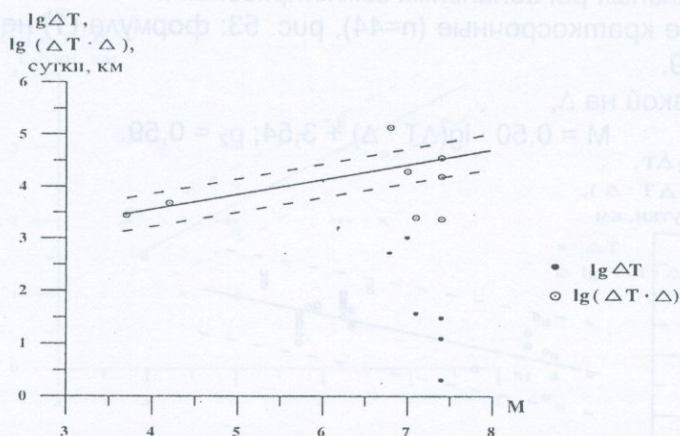


Рис. 51. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для геомагнитного поля.

5. Метод ННП ($n=20$), рис. 52. Формула (1) не использована, а $\rho_{\bar{r}}=0,01$.

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,68 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 2,60; \rho_2 = 0,59.$$

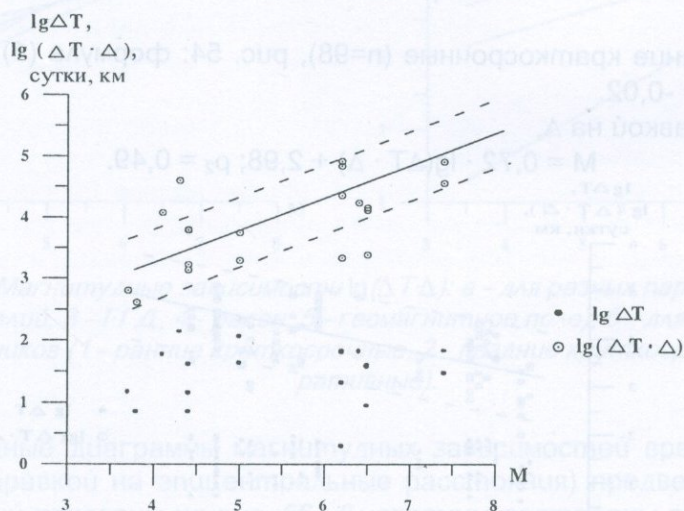


Рис. 52. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для необратимости нестационарных процессов.

По *типам* предвестников получены следующие зависимости.

1. Среднесрочные: данных недостаточно, так как наблюдается всего 7 аномалий, которые выделены в 5 тестов. Среднесрочные предвестники проявились по геомагнитному полю и уровню подземных вод и только при сильных региональных землетрясениях.

2. Ранние краткосрочные ($n=44$), рис. 53: формула (1) не использована, а $\rho_f=0,19$.

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,50 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 3,54; \rho_2 = 0,59.$$

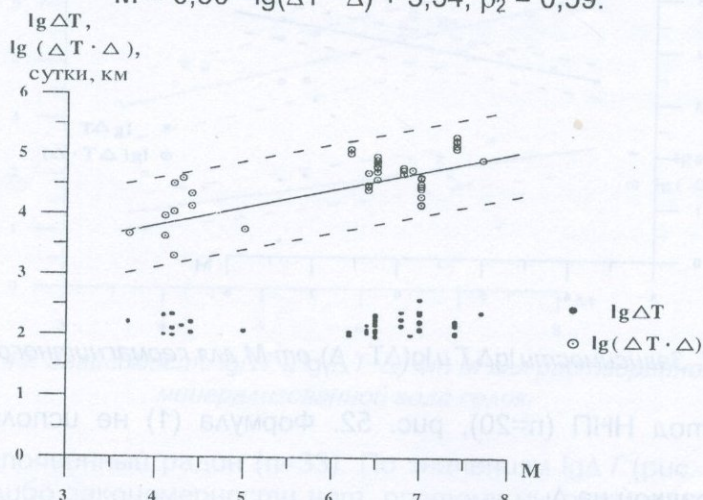


Рис. 53. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для ранних краткосрочных предвестников.

1. Поздние краткосрочные ($n=98$), рис. 54: формула (1) не использована, а $\rho_f=-0,02$.

С поправкой на Δ ,

$$M = 0,72 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 2,98; \rho_2 = 0,49.$$

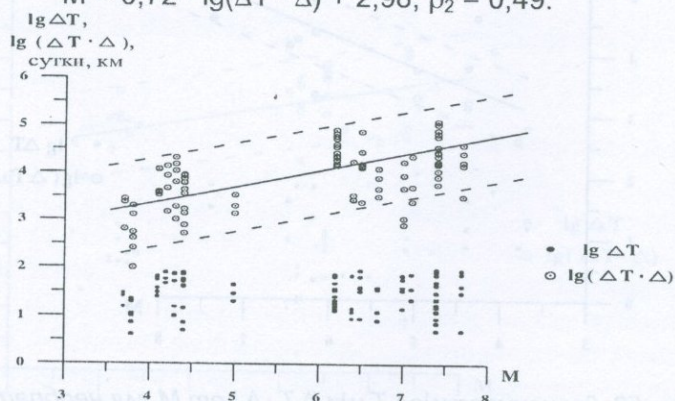


Рис. 54. Зависимости $\lg \Delta T$ и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для поздних краткосрочных предвестников.

4. Оперативные ($n=10$), рис. 55: формула (1) не использована, а $\rho_1=0,13$.

С поправкой на Δ ,

$$M = 1,79 \cdot \lg(\Delta T \cdot \Delta) + 1,0; \quad \rho_2 = 0,80.$$

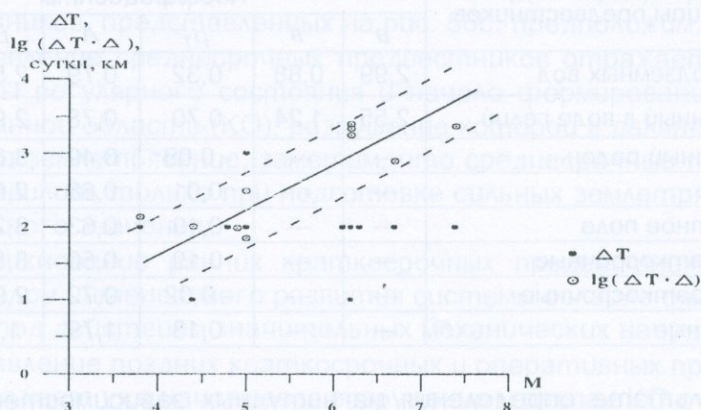


Рис. 55. Зависимости ΔT и $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$ от M для оперативных предвестников.

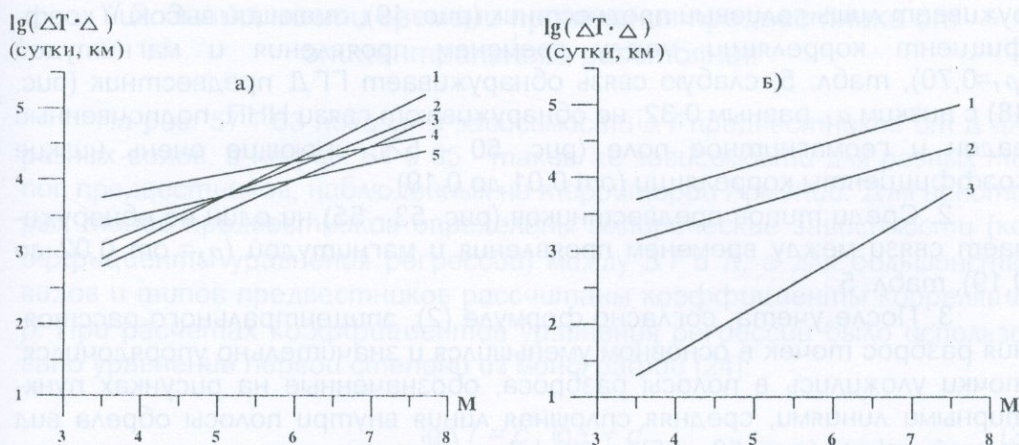


Рис. 56. Магнитудные зависимости $\lg(\Delta T \cdot \Delta)$: а - для разных параметров (1 - ННП, 2 - гелий, 3 - ГГД, 4 - радон, 5 - геомагнитное поле), б - для разных типов предвестников (1 - ранние краткосрочные, 2 - поздние краткосрочные, 3 - оперативные).

Сводные диаграммы магнитудных зависимостей времен проявления (с поправкой на эпицентральные расстояния) предвестников землетрясений показаны на рис. 56. Диаграммы построены по средним линиям, взятым с рисунков 48 - 55.

В сводной табл. 5 представлены коэффициенты регрессионных уравнений и корреляции. По другим видам (параметрам) и по средне-

срочным предвестникам коэффициенты корреляции не посчитаны за недостаточностью данных.

Таблица 5

N	Виды и типы предвестников	Коэффициенты					
		a	b	ρ_1	A	B	ρ_2
1	Уровень подземных вод	2,99	0,88	0,32	0,79	2,55	0,51
2	Растворенный в воде гелий	2,55	1,24	0,70	0,78	2,90	0,67
3	Подпочвенный радон	---	---	- 0,09	0,49	3,63	0,58
4	ННП	---	---	0,01	0,68	2,60	0,59
5	Геомагнитное поле	---	---	0,19	0,63	3,27	0,23
6	Ранние краткосрочные	---	---	0,19	0,50	3,54	0,59
7	Поздние краткосрочные	---	---	- 0,02	0,72	2,98	0,49
8	Оперативные	---	---	0,13	1,79	1,0	0,80

В результате определения магнитудных зависимостей времени проявления предвестников можно сделать следующие выводы:

1. Среди параметров мониторинга (видов предвестников) устойчивую связь с магнитудой землетрясения, согласно формуле (1), обнаруживает лишь гелиевый предвестник (рис. 49), имеющий высокий коэффициент корреляции между временем проявления и магнитудой ($\rho_1=0,70$), табл. 5; слабую связь обнаруживает ГГД предвестник (рис. 48) с низким ρ_1 , равным 0,32; не обнаруживают связи ННП, подпочвенный радон и геомагнитное поле (рис. 50 - 52), имеющие очень низкие коэффициенты корреляции (от 0,01 до 0,19).

2. Среди типов предвестников (рис. 53 - 55) ни один не обнаруживает связи между временем проявления и магнитудой (ρ_1 от 0,02 до 0,19), табл. 5.

3. После учета, согласно формуле (2), эпицентрального расстояния разброс точек в основном уменьшился и значительно упорядочился: точки уложились в полосы разброса, обозначенные на рисунках пунктирными линиями, средняя сплошная линия внутри полосы обрела вид прямой $y=kx+b$ (рис. 50 - 55), а коэффициент корреляции в основном заметно возрос (табл. 5).

4. После учета эпицентрального расстояния времени проявления предвестников тесно коррелируются с магнитудой землетрясения: они возрастают с ростом магнитуды по различным закономерностям для разных видов (рис. 56а) и типов (рис. 56б) предвестников. Слабо связаны с магнитудой лишь геомагнитные ($\rho_2=0,23$) и поздние краткосрочные ($\rho_2=0,49$) предвестники (табл. 5), а наиболее устойчивая связь у оперативных предвестников ($\rho_2=0,80$) (рис. 56б и табл. 5).

5. Множитель $\Delta T \cdot \Delta$ в формуле (2) означает, что с увеличением Δ уменьшается ΔT . Чем дальше от эпицентра землетрясения находится

пункт наблюдения, тем позже проявляется предвестник, то есть фронт предвестников, за некоторым исключением, перемещается от очага сейсмического события во внешнюю зону.

6. Опираясь на модель консолидации И.П.Добровольского и пытаясь объяснить магнитудные зависимости $\lg(\Delta T \Delta)$ для разных типов предвестников, представленных на рис. 56б, предположим, что:

- проявление среднесрочных предвестников отражает завершение фазы регулярного состояния и начало формирования консолидированной области (КО), разрушение которой в дальнейшем и вызывает землетрясение; заметим, что среднесрочные предвестники проявились только при подготовке сильных землетрясений регионального значения;
- возникновение ранних краткосрочных предвестников связано с началом интенсивного развития системы ослабленных зон внутри КО под действием значительных механических напряжений;
- проявление поздних краткосрочных и оперативных предвестников отражает уже начавшееся разрушение и распад КО в виде пластических подвижек, форшоков, магистрального разрыва и афтершоков.

V.2. Зависимости времени проявления предвестника от эпицентрального расстояния

На рис. 57 - 63 показаны зависимости ΔT предвестников от Δ для разных видов, а на рис. 64 и 65 - такие же зависимости для разных типов предвестников, наблюдаемых на территории Армении. Для некоторых типов предвестников определены эмпирические зависимости (коэффициенты уравнения регрессии) между ΔT и Δ , а для большинства видов и типов предвестников рассчитаны коэффициенты корреляции ρ . При расчетах коэффициентов уравнения регрессии было использовано уравнение первой степени из монографии [24]:

$$\lg \Delta T = c \cdot \lg \Delta + d, \quad (3)$$

где c, d — константы, ΔT измерено в сутках, Δ — в км.

По видам предвестников наблюдается такая картина.

1. Уровень подземных вод: для ранних краткосрочных предвестников при $M=6.2-7.7$, $\rho = -0.62$ ($n=9$), рис. 57. Для поздних краткосрочных предвестников при $M=6.2-7.7$ $\rho = -0.36$ ($n = 17$), рис. 58, и при $M=3.7-5.0$ $\rho = -0.46$ ($n=10$), рис. 59 (слева направо).

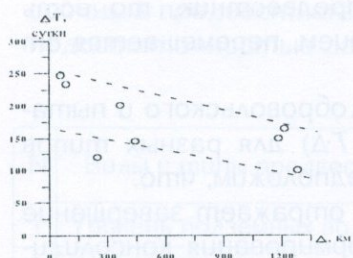


Рис. 57. Зависимость времени проявления ГГД предвестника (ранние краткосрочные) от эпицентрального расстояния, $M=6.2-7.7$.

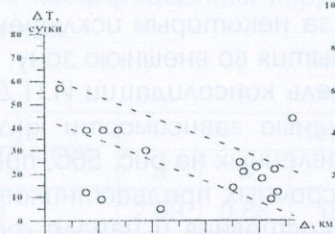


Рис. 58. Зависимость времени проявления ГГД предвестника (поздние краткосрочные) от эпицентрального расстояния, $M=6.2-7.7$.

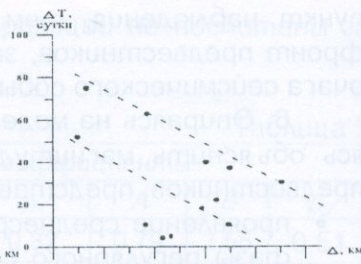


Рис. 59. Зависимость времени проявления ГГД предвестника (поздние краткосрочные) от эпицентрального расстояния, $M=3.7-5.0$.

По среднесрочным и оперативным ГГД-предвестникам данных очень мало.

По всем ГГД-предвестникам, без разделения по типам, для обеих основных групп землетрясений - местных ощутимых с $M=3.7-5.0$ и сильных региональных с $M=6.2-7.7$ - результаты показаны на рис. 60.

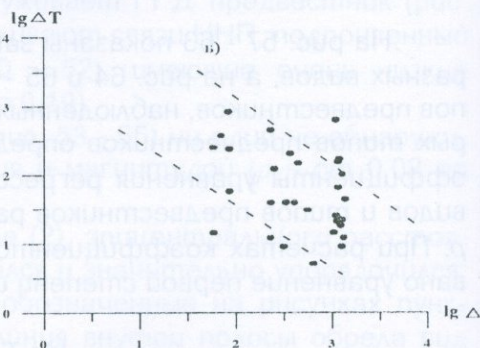
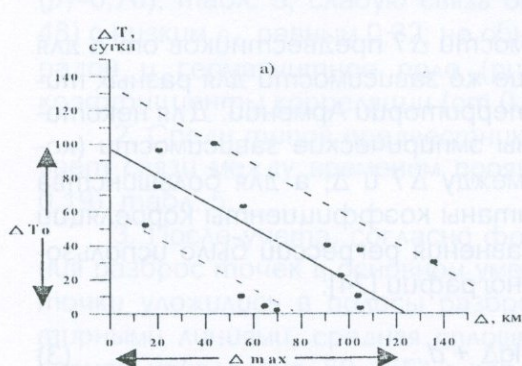


Рис. 60. Зависимости времени проявления ГГД предвестника от эпицентрального расстояния при $M=3.7-5.0$ (а) и $M=6.2-7.7$ (б).

Линейно аппроксимируя зависимости ΔT от Δ для $M=3.7-5.0$, приведенные на рис. 60а, можно определить величины ΔT_0 и Δ_{max} , где ΔT_0 - эпицентральное время предвестника (время проявления предвестника в эпицентре), а Δ_{max} - максимальное расстояние проявления предвестника от эпицентра. Для землетрясений с $M=3.7-5.0$ $\rho = -0.60$ ($n=14$),

$\Delta T_0 = 100-110$ суток, а $\Delta_{max} = 120-130$ км (рис. 60а). Для землетрясений с $M=6.2-7.7$ $\rho = -0,30$ ($n=31$), рис. 60б.

2. Растворенный в воде гелий: линейная зависимость вида $\Delta T \sim 1/\Delta$ наблюдается только для $M=6.4-6.9$, а $\rho = -0,57$ ($n=9$), рис. 61.

3. Подпочвенный радон. Для слабых землетрясений с $M=3.7-5.0$ получился низкий коэффициент $\rho = -0,08$ ($n=12$), рис. 62. При $M=6.2-7.7$ связь также отсутствует.

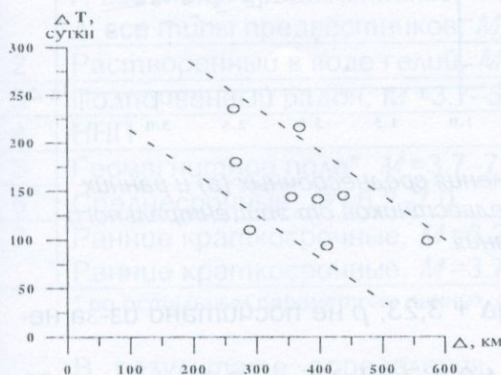


Рис. 61. Зависимость времени проявления гелиевого предвестника от эпицентрального расстояния при $M=6.4-6.9$.

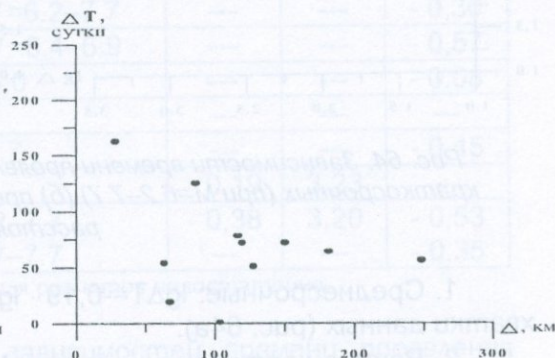


Рис. 62. Зависимость времени проявления радонового предвестника от эпицентрального расстояния при $M=3.7-5.0$.

4. Геомагнитное поле: для $M=3.7-7.7$ $\rho = -0,45$ ($n=8$), рис. 63.

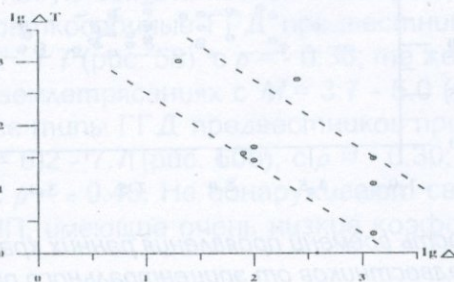


Рис. 63. Зависимость времени проявления геомагнитного предвестника от эпицентрального расстояния при $M=3.7-7.7$.

5. Метод ННП: какая-либо связь между ΔT и Δ не наблюдается.

По типам предвестников получены следующие зависимости.

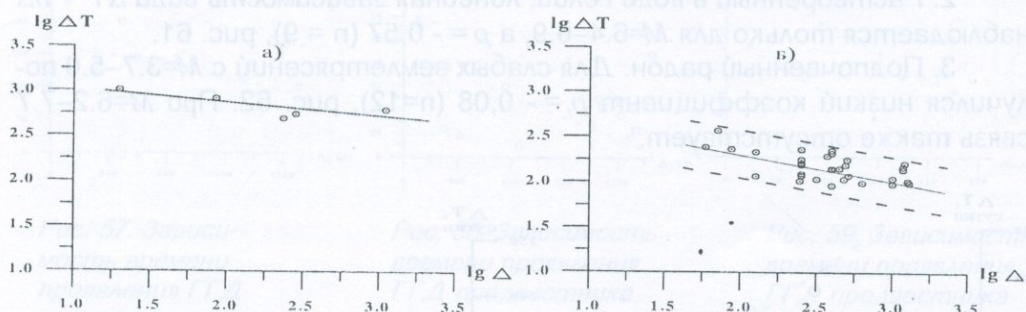


Рис. 64. Зависимости времени проявления среднесрочных (а) и ранних краткосрочных (при $M=6.2-7.7$) (б) предвестников от эпицентрального расстояния.

1. Среднесрочные: $\lg \Delta T = -0,19 \cdot \lg \Delta + 3,23$; ρ не посчитано из-за нехватки данных (рис. 64а).

2. Ранние краткосрочные: при $M=6.2-7.7$ $\lg \Delta T = -0,38 \cdot \lg \Delta + 3,20$, $\rho = -0,53$ ($n=31$), рис. 64б. При $M=3.7-5.0$ связи нет. При всех землетрясениях ($M=3.7-7.7$) наблюдается зависимость, близкая к $\Delta T \sim 1/\Delta$, а $\rho = -0,35$ ($n=41$), рис. 65.

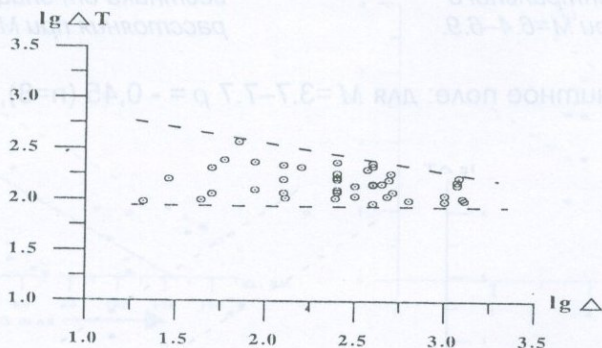


Рис. 65. Зависимость времени проявления ранних краткосрочных ($M=3.7-7.7$) предвестников от эпицентрального расстояния.

3. Для поздних краткосрочных и оперативных предвестников какая-либо связь между ΔT и Δ отсутствует.

Сводная табл. 6 зависимостей времен проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния представлена ниже.

Таблица 6

N	Виды и типы предвестников	Коэффициенты		
		c	d	ρ
1	Уровень подземных вод:			
	а. ранние краткосрочные, $M=6.2-7.7$	---	---	- 0,62
	б. поздние краткосрочные, $M=6.2-7.7$	---	---	- 0,36
	в. поздние краткосрочные, $M=3.7-5.0$	---	---	- 0,46
	г. все типы предвестников, $M=3.7-5.0$	---	---	- 0,60
	д. все типы предвестников, $M=6.2-7.7$	---	---	- 0,30
2	Растворенный в воде гелий, $M=6.4-6.9$	---	---	- 0,57
3	Подпочвенный радон, $M=3.7-5.0$	---	---	- 0,08
4	ННП	---	---	---
5	Геомагнитное поле*, $M=3.7-7.7$	---	---	- 0,45
6	Среднесрочные, $M=6.2-7.0$	- 0,19	3,23	---
7	Ранние краткосрочные, $M=6.2-7.7$	- 0,38	3,20	- 0,53
	Ранние краткосрочные, $M=3.7-7.7$	---	---	- 0,35

* по остальным параметрам данных для расчетов недостаточно.

В результате определения зависимостей времени проявления предвестников от эпицентрального расстояния приходим к следующим выводам:

1. Среди параметров мониторинга достаточно устойчивую связь времени проявления предвестника от эпицентрального расстояния обнаруживают (табл. 6): гелиевый предвестник (при $M = 6.4 - 6.9$) (рис. 61), с $\rho = - 0,57$; ранние краткосрочные ГГД предвестники при $M = 6.2 - 7.7$ (рис. 57) с $\rho = - 0,62$; все типы ГГД предвестников, но только при местных ощутимых сейсмических событиях с $M = 3.7 - 5.0$ (рис. 60а), с $\rho = - 0,60$. Слабую связь и низкие коэффициенты корреляции ρ имеют: поздние краткосрочные ГГД предвестники при сильных землетрясениях с $M = 6.2 - 7.7$ (рис. 58), с $\rho = - 0,36$; те же предвестники при местных ощутимых землетрясениях с $M = 3.7 - 5.0$ (рис. 59) и с более высоким $\rho = - 0,46$; все типы ГГД предвестников при сильных сейсмических событиях с $M = 6.2 - 7.7$ (рис. 60б), с $\rho = - 0,30$; геомагнитные предвестники (рис. 63) с $\rho = - 0,45$. Не обнаруживают связи подпочвенный радон (рис. 62) и ННП, имеющие очень низкие коэффициенты корреляции (до 0.08).

2. Удалось определить эпицентральное время предвестника ΔT_0 (т.е. время проявления предвестника в эпицентре) и максимальное расстояние проявления предвестника от эпицентра Δ_{max} только для ГГД предвестника и только при $M = 3.7 - 5.0$, т.е. при местных ощутимых сейсмических событиях (рис. 60а): $\Delta T_0 = 100 - 110$ суток, а $\Delta_{max} = 120 - 130$ км.

3. Среди типов предвестников (рис. 64, 65, табл. 6), согласно формуле (3), только по среднесрочным и ранним краткосрочным пред-

вестникам (при сильных региональных землетрясениях) удалось вывести уравнения регрессии и определить коэффициенты c и d . По среднесрочным предвестникам ρ не определено (всего 7 аномалий, выделенных в 5 местов), а по ранним краткосрочным предвестникам ρ выше при сильных землетрясениях, чем при местных ощутимых. Поздние краткосрочные и оперативные предвестники не обнаруживают связи между временем проявления предвестника и эпицентральной дистанцией. Отметим, что при подготовке местных ощутимых землетрясений ($M=3.7-5.0$) наибольший радиус проявления $\Delta_{\max}$ ранних краткосрочных предвестников равен ~ 150 км, а поздних краткосрочных ~ 300 км, т.е. вдвое больше. Эволюция исследуемой зависимости, полученная для разных типов предвестников от среднесрочных до оперативных, наблюдаемых на территории Армении, и закономерное уменьшение коэффициентов корреляции между временами предвестников и эпицентральной дистанцией можно объяснить, как пишет С.И.Зубков, "вероятностным характером процессов взаимодействия, роста и слияния многочисленных нарушений сплошности на последней стадии подготовки землетрясения" [10].

4. Сопоставление таблиц 5 и 6 и коэффициентов ρ показывает, что связи между временем проявления предвестника и эпицентральной дистанцией выражены слабее, чем между магнитудой и временем предвестника с поправкой на эпицентральной дистанцией. Такая поправка, по мнению Г.А.Соболева, улучшает корреляцию, что свидетельствует о связи места возникновения предвестника с очагом готовящегося землетрясения [18, 24].

5. По отрицательным значениям коэффициентов c и ρ видно, что с увеличением эпицентральной дистанции пункта наблюдения время проявления предвестников уменьшается. Иными словами, фронт проявления изученных нами среднесрочных и ранних краткосрочных предвестников движется от очага во внешнюю зону по мере развития процесса подготовки сейсмического события и перехода его в следующую стадию подготовки землетрясения.

V.3. Ареалы распространения предвестников в зависимости от магнитуды землетрясения

В некоторых статьях говорится о регистрации предвестников разных типов при $M > 7$ на расстоянии до 1000 км. В период подготовки Измитского (Турция, 1999г., $M=7.4$) землетрясения на территории Армении наблюдались предвестники по различным параметрам мониторинга (рис. 29, 34, 12, 14, 42, 41, 43, 44), а на станции Каджаран (рис. 29), расположенной на расстоянии около 1300 км от очага землетрясения, наблюдаются также и косейсмические эффекты по дебиту и электропроводности подземных минерализованных вод.

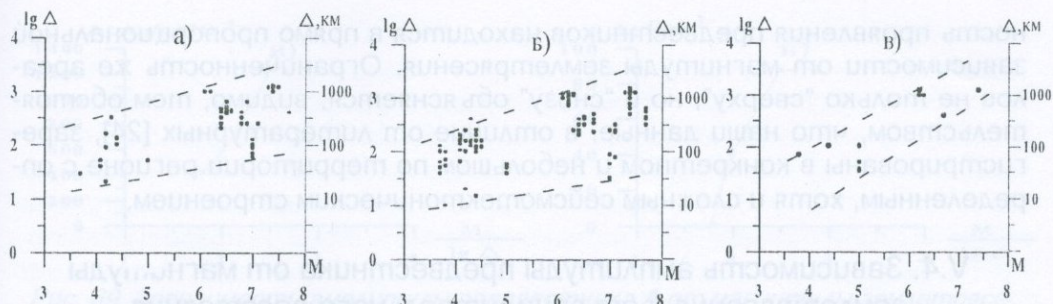


Рис. 66. Ареалы распространения предвестников в зависимости от M : а – ранние краткосрочные, б – поздние краткосрочные, в – оперативные предвестники.

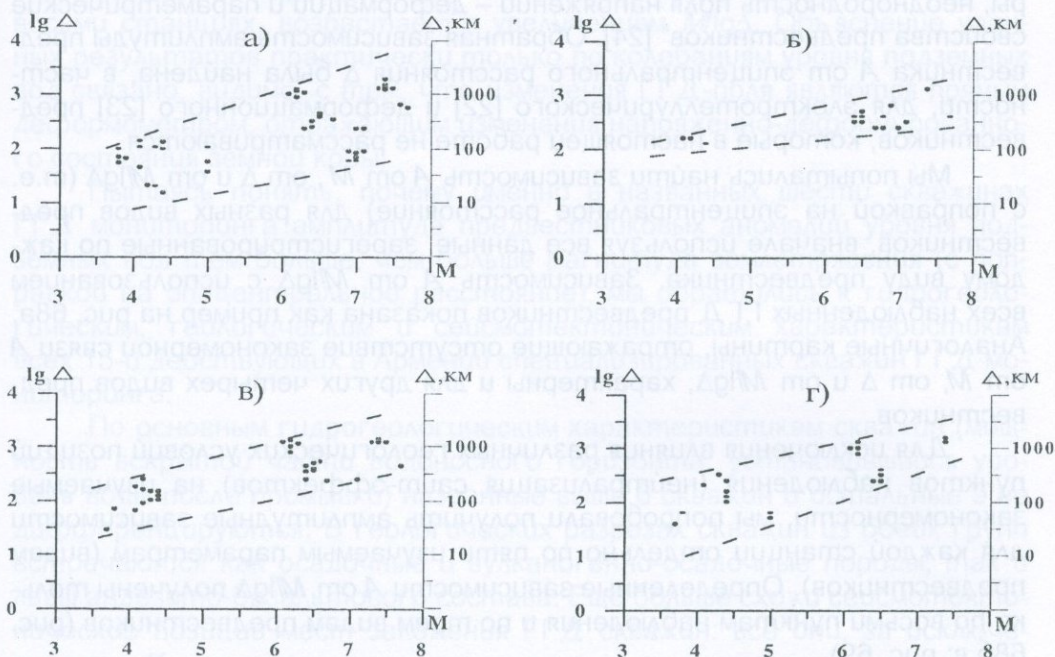


Рис. 67. Ареалы распространения предвестников в зависимости от M : а – уровень подземных вод, б – гелий, в – почвенный радон, г – необратимость нестационарных процессов

На рис. 66 приведены ареалы распространения некоторых типов предвестников в зависимости от магнитуды сейсмического события, а на рис. 67 – ареалы по видам предвестников, наблюдаемых на территории Армении. Ареалы предвестников разных видов и типов (по геомагнитным и среднесрочным предвестникам данных недостаточно) похожи: это зоны, ограниченные прямыми вида $y=kx+b$. Иначе говоря, как наибольший, так и наименьший радиусы проявления предвестников ограничены, различаясь для разных видов и типов предвестников. Даль-

ность проявления предвестников находится в прямо пропорциональной зависимости от магнитуды землетрясения. Ограниченность же ареалов не только “сверху”, но и “снизу” объясняется, видимо, тем обстоятельством, что наши данные, в отличие от литературных [24], зарегистрированы в конкретном и небольшом по территории регионе с определенным, хотя и сложным сейсмотектоническим строением.

V.4. Зависимость амплитуды предвестника от магнитуды землетрясения и от эпицентрального расстояния

Есть целый ряд факторов и условий, нарушающих картину связи A от M или от Δ . Это, в частности, “дискретность строения земной коры, неоднородность поля напряжений – деформаций и параметрические свойства предвестников” [24]. Обратная зависимость амплитуды предвестника A от эпицентрального расстояния Δ была найдена, в частности, для электротеллурического [22] и деформационного [23] предвестников, которые в настоящей работе не рассматриваются.

Мы попытались найти зависимость A от M , от Δ и от $M/\lg \Delta$ (т.е. с поправкой на эпицентральное расстояние) для разных видов предвестников, вначале используя все данные, зарегистрированные по каждому виду предвестника. Зависимость A от $M/\lg \Delta$ с использованием всех наблюдаемых ГГД предвестников показана как пример на рис. 68а. Аналогичные картины, отражающие отсутствие закономерной связи A от M , от Δ и от $M/\lg \Delta$, характерны и для других четырех видов предвестников.

Для исключения влияния различных геологических условий позиций пунктов наблюдения (нейтрализация сайт-эффектов) на изучаемые закономерности, мы попробовали получить амплитудные зависимости для каждой станции отдельно по пяти изучаемым параметрам (видам предвестников). Определенные зависимости A от $M/\lg \Delta$ получены только по восьми пунктам наблюдения и по трем видам предвестников (рис. 68б,в; рис. 69).

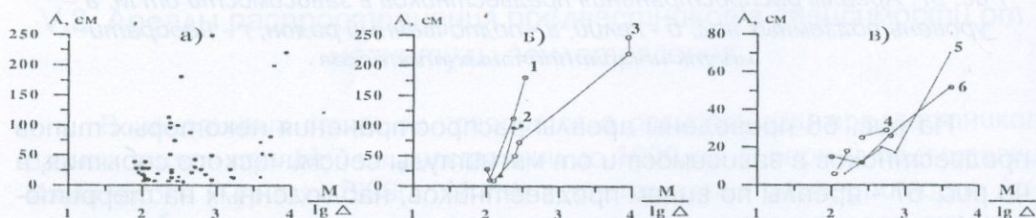


Рис. 68. Зависимости амплитуды A ГГД предвестника от магнитуды землетрясения M с поправкой на эпицентральное расстояние Δ для всех ГГД предвестников (а) и для отдельных станций (б,в): 1 - Карчахпюр, 2 - Иджеван, 3 - Ноемберян, 4 - Ашоцк, 5 - Дзорахпюр, 6 - Мецамор.

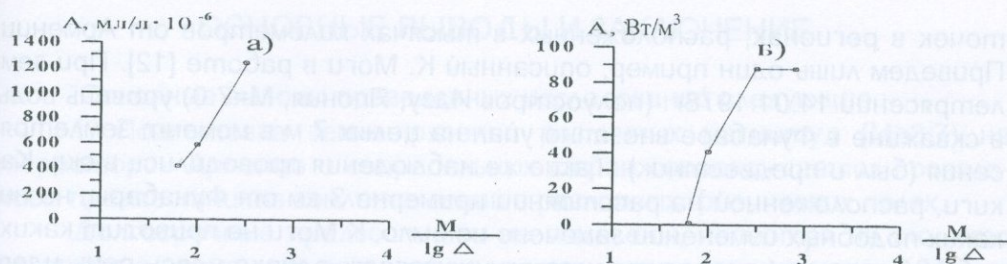


Рис. 69. Зависимости амплитуды предвестника A от магнитуды землетрясения M с поправкой на эпицентральное расстояние Δ для станций Карчакпюр, гелий (а) и Джермук, ННП (б).

Как видно на рисунках, амплитуда аномалий, выделенных на этих восьми станциях, возрастает с увеличением $M/\lg \Delta$. Объяснение удачных результатов практически только по колебаниям уровня подземных вод связано, видимо, с тем, что изменения ГГД-поля являются прямым деформометром, отражающим изменения напряженно-деформированного состояния земной коры.

Пытаясь понять, почему именно в названных шести скважинах ГГД мониторинга амплитуда предвестниковых аномалий уровня подземных вод тем больше, чем больше магнитуда землетрясения (с поправкой на эпицентральное расстояние), мы обратились к гидрогеологическим, геологическим и сейсмотектоническим характеристикам всех 15-и действующих в Армении специализированных скважин ГГД мониторинга.

По основным гидрогеологическим характеристикам скважин (мощность вскрытой части водоносного горизонта, установившийся уровень воды после промывки) названные выше 6 скважин и остальные 9 не дифференцируются. В геологических разрезах скважин из обеих групп встречаются как осадочные и вулканогенно-осадочные породы, так и лавы андезито-базальтового состава. Еще больше схожи сейсмотектонические позиции мест заложения ГГД скважин: все они, за исключением скв. Кучак, приурочены к зонам различных активных разломов или к узлам их сочленения. Заметим, что наблюдательные пункты Карчакпюр (гидрогеохимия) и Джермук (ННП и др. станции) также развернуты в зонах активных разломов, а в геологическом строении мест их заложения преобладают андезитовые и андезито-базальтовые лавы.

Прямая зависимость амплитуды предвестниковых аномалий от магнитуды землетрясения на некоторых пунктах (рис. 68 и 69) может быть объяснена, вероятно, особой чувствительностью этих пунктов к процессу подготовки сейсмических событий, которая отражает повышенную активность тех участков разломов, в пределах которых расположены эти пункты мониторинга. В научной литературе можно найти множество примеров, подтверждающих существование таких

точек в регионах, расположенных в тысячах километров от Армении. Приведем лишь один пример, описанный К. Моги в работе [12]. При землетрясении 14.01.1978г. (полуостров Идзу, Япония, $M=7.0$) уровень воды в скважине в Фунабаре внезапно упал на целых 7 м в момент землетрясения (был и предвестник). Такие же наблюдения проводились в скв. Какиги, расположенной на расстоянии примерно 3 км от Фунабары, но никаких подобных изменений замечено не было. К.Моги не приводит каких-либо объяснений относительно случившегося, однако здесь речь идет о высокочувствительной точке - скв. Фунабара, и пассивной точке - скв. Какиги.

Таким образом, основные результаты изучения статистических зависимостей параметров аномалий и землетрясений на территории Армении таковы:

1. Величины времени проявления гелиевого и ГГД предвестников возрастают с ростом магнитуды сейсмического события, а при учете эпицентрального расстояния такая зависимость наблюдается также и для радонового, ННП и геомагнитного параметров, а также для всех краткосрочных и оперативных предвестников.

2. Величины времени проявления гелиевого, геомагнитного и части ГГД предвестников уменьшаются с ростом эпицентрального расстояния станции наблюдения; не наблюдается какая-либо связь у радонового и ННП предвестников. У среднесрочных и ранних краткосрочных (ΔT – более 3-х месяцев и менее 1 года) предвестников наблюдается обратная зависимость между временем предвестника и эпицентральным расстоянием, а у поздних краткосрочных (ΔT – более 3-х дней и менее 3-х месяцев) и оперативных (ΔT – 3 дня и менее) предвестников какая-либо зависимость не обнаружена.

3. Фронт проявления среднесрочных и ранних краткосрочных предвестников движется от очага сейсмического события во внешнюю зону по мере развития и перехода в следующую стадию процесса подготовки землетрясения.

4. Дальность проявления предвестников находится в прямо пропорциональной зависимости от магнитуды землетрясения.

5. На некоторых особо чувствительных к процессу подготовки сейсмических событий пунктах наблюдений отмечена прямая зависимость амплитуды предвестниковых аномалий от магнитуды землетрясения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы проведенных исследований следующие.

1. Подготовка землетрясений различных магнитуд ($M \geq 3.7$) на территории Армении и сопредельных стран сопровождается проявлением предвестников землетрясений в различных физических полях.

Долгосрочные предвестники не выделены, несмотря на то, что некоторые временные ряды наблюдаются непрерывно уже около 24 лет и имеют средне- и краткосрочные предвестники. Это означает, что мы находимся внутри фазы долгосрочной сейсмической опасности. Тем более, что по сейсмологическим данным в южной Армении и прилегающих районах наблюдается сейсмическое затишье, начиная с 1968-го года, то есть после Зангезурского ($M=4.7$) землетрясения.

Среднесрочные предвестники выделены по геомагнитному полю и уровню подземных вод только при подготовке сильных землетрясений. Самый ранний из них проявился за 2 года и 8 месяцев до Спитакского (1988г.) разрушительного землетрясения по данным геомагнитных наблюдений.

Самые ранние предвестники (краткосрочные) местных ощутимых землетрясений ($3.7 \leq M \leq 5.0$) проявились за 7 месяцев до Бавринского (1994г., $M=4.2$) землетрясения по радоновому предвестнику и за 7 месяцев до Ашотского (1996г., $M=4.1$) землетрясения по гидрогеохимическому предвестнику (концентрация хлора).

2. Предвестники землетрясений и косейсмические эффекты проявляются на расстоянии до 1300 км от очага землетрясения с $M=7.4$. На последней стадии подготовки сейсмического события увеличивается количество предвестников и форм их проявления. 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. Формы проявления предвестников самые разнообразные: среднесрочные имеют форму многомесячного тренда или многомесячного резкого нарушения сезонного хода; краткосрочные имеют чаще всего форму непродолжительного (от нескольких недель до нескольких месяцев) нарушения сезонного хода, положительных или отрицательных плавных аномалий либо серии аномалий, ступеней, уменьшения или увеличения фоновой дисперсии; оперативные имеют обычно форму скачкообразных одиночных или знакопеременных импульсов продолжительностью от нескольких часов до 1-2 дней.

3. Между предвестниками землетрясений и сейсмическими событиями существуют определенные эмпирические связи: у среднесрочных и ранних краткосрочных предвестников наблюдается обратная зависимость между временем предвестника и эпицентральной дистанцией,

у поздних краткосрочных и оперативных предвестников какая-либо зависимость не обнаружена. Сопоставление коэффициентов корреляции ρ показывает, что связи между временем проявления предвестника и эпицентральной расстоянием выражены слабее, чем между магнитудой и временем проявления предвестника с поправкой на эпицентральное расстояние; такая поправка улучшает корреляцию, свидетельствуя о связи района возникновения предвестника с очагом будущего сейсмического события. Фронт проявления среднесрочных и ранних краткосрочных предвестников движется от очага сейсмического события во внешнюю зону по мере развития и перехода в следующую стадию процесса подготовки землетрясения.

4. Предвестники характеризуются следующими вероятностями сейсмической реализации:

- при землетрясениях с $M \geq 6.0$: гидрогеодинамический (средняя вероятность сейсмической реализации $P_{cp}=0.52$), все гидрогеохимические ($P_{cp}=0.29$), радоновый ($P_{cp}=0.40$), электромагнитный ($P_{cp}=0.30$), геомагнитный ($P_{cp}=0.45$), ионосферный ($P_{cp}=0.43$) предвестники и атмосферное давление ($P_{cp}=0.29$); не проявился только биологический предвестник;
- при землетрясениях с $M \geq 3.7$: гидрогеодинамический (средняя вероятность сейсмической реализации $P_{cp}=0.47$), большая часть гидрогеохимических ($P_{cp}=0.28$), радоновый ($P_{cp}=0.35$), электромагнитный ($P_{cp}=0.47$), геомагнитный ($P_{cp}=0.50$), ионосферный ($P_{cp}=0.32$) и биологический ($P_{cp}=0.40$) предвестники; не проявились меньшая часть гидрогеохимических предвестников и сейсмогенные аномалии атмосферного давления;
- P_{cp} предвестниковых аномалий в целом по местным и по региональным землетрясениям почти одинаковы (0.46 и 0.45 соответственно);
- P_{cp} среднесрочных предвестников равна 0.8, краткосрочных – 0.38, оперативных – 0.25; то есть P_{cp} убывает по мере приближения сейсмического события.

В заключение отметим, что желательно в дальнейшем:

1. Продолжить тестирование сильных региональных и ощутимых местных сейсмических событий и, после тщательной проверки и анализа данных, дополнить Каталог предвестников землетрясений тестами вновь произошедших сейсмических событий.

2. Дать оценку надежности предвестников не только по отдельным наблюдениям, но и по их комплексу, используя либо формулы полной вероятности и Байеса, либо теорию распознавания образов.

3. Провести анализ данных на соответствие их модели критичности, то есть степенному закону изменения интенсивности предвестника при приближении к моменту землетрясения.

КАТАЛОГ

аномалий-предвестников протестированных землетрясений:

1. Нарманское (Турция, 30.10.1983г., $M = 6.8$),
2. Спитакское (Армения, 07.12.1988г., $M = 7.0$),
3. Рудбарское (Иран, 20.06.1990г., $M = 7.7$),
4. Рачинское (Грузия, 29.04.1991г., $M = 7.1$),
5. Эрзинджанское (Турция, 13.03.1992 г., $M = 6.9$),
6. Барисахское (Грузия, 24.10.1992г., $M = 6.4$),
7. Мартунинское (Армения, 10.12.1992 г., $M = 5.0$),
8. Цовагюхское (Армения, 19.02.1993г., $M = 3.8$),
9. Бавринское (Армения, 18.05.1994г., $M = 4.2$),
10. Ашоцкое (Армения, 09.06.1996г., $M = 4.1$),
11. Ардебильское (Иран, 28.02.97г., $M = 6.7$),
12. Паракарское (Армения, 01.03.1997г., $M = 3.7$),
13. Ноемберянское (Армения, 18.07.1997г., $M = 4.4$),
14. Джавахетское (Армения, 15.01.1999г., $M = 4.3$),
15. Измитское (Турция, 17.08.1999г., $M = 7.4$),
16. Болуйское (Турция, 12.11.1999г., $M = 6.2$),
17. Бакинское (Азербайджан, 25.11.2000г., $M = 6.5$),
18. Болвадинское (Турция, 03.02.2002г., $M = 6.2$).

1. Нарманское (Турция, 30.10.1983г., $M = 6.8$) землетрясение

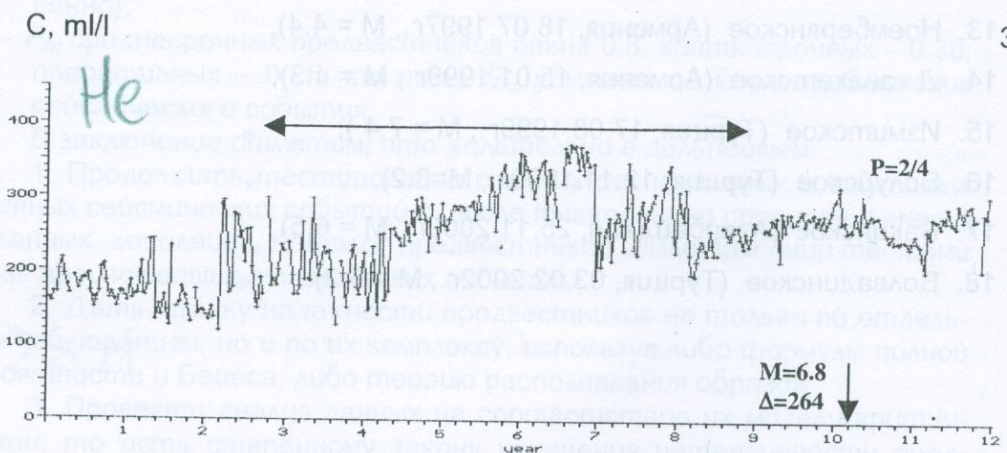
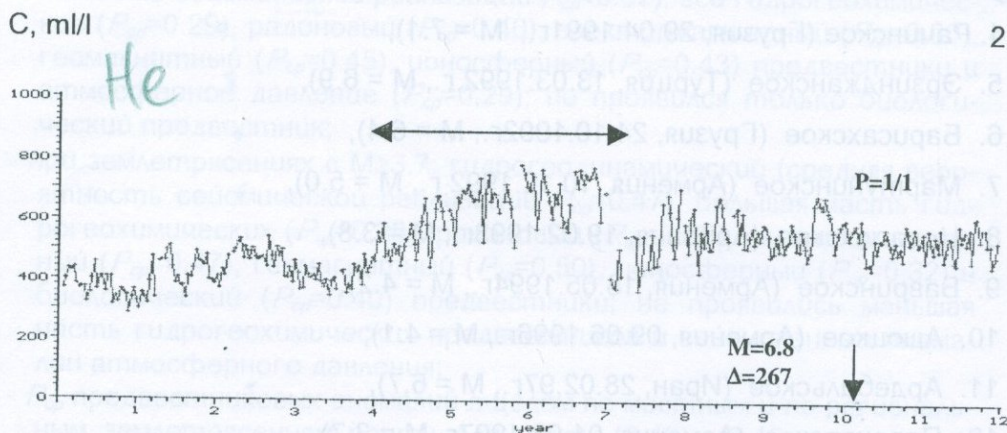
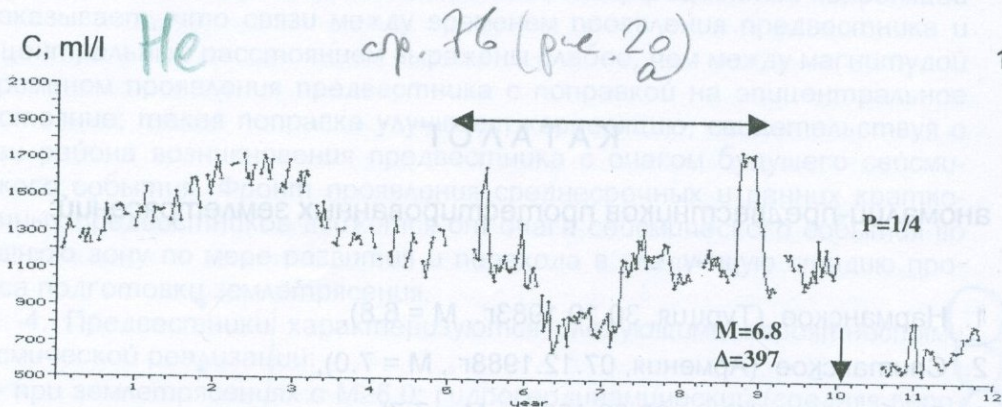


Рис. 1. Изменения концентрации ($\text{мл/л} \cdot 10^6$) растворенного в минерализованной воде гелия на станциях Каджаран (1), Суренаван (2) и Арарат (3).

Кагарен Армен

$\Delta T, nTL$

4

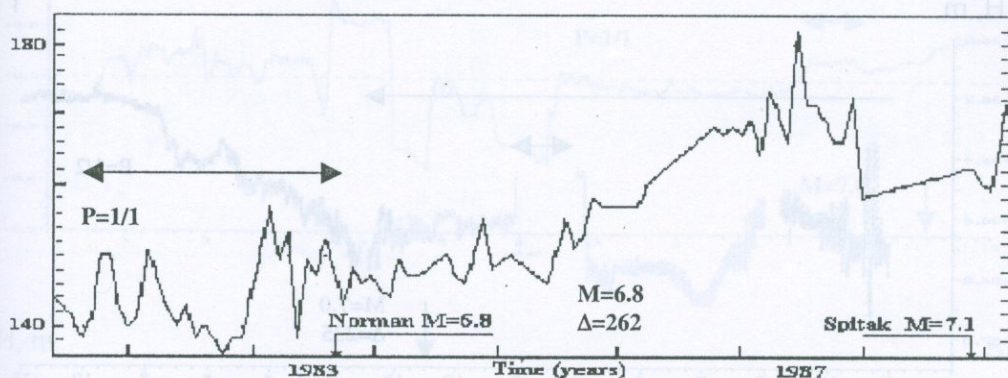


Рис. 2. Вариации синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT (4) на ст. Степанаван (Гюлагарак) (по отношению к ст. Джермук).

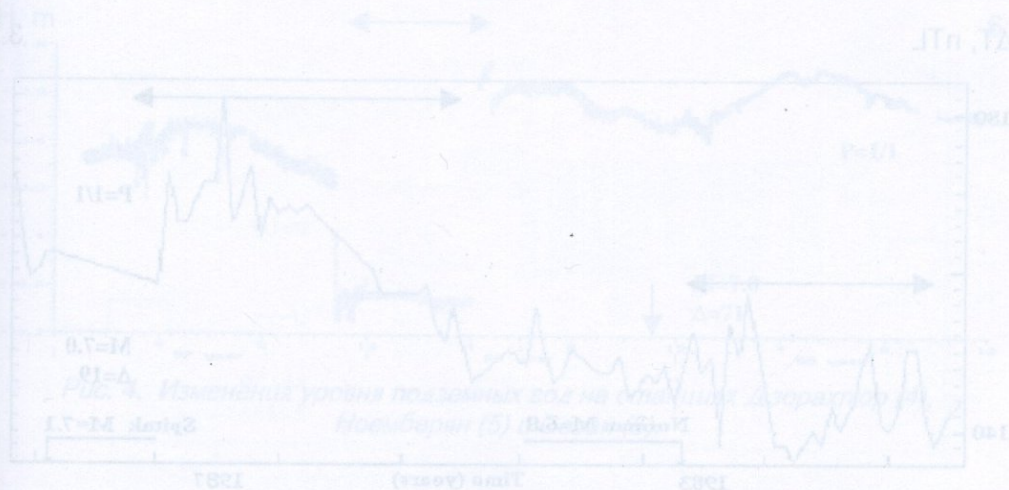


Рис. 3. Вариации уровня подземных вод на ст. Горис (1) и ст. Меламор (2) и синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT (3) на ст. Степанаван (Гюлагарак) (по отношению к ст. Джермук).

2. Спитакское (Армения, 07.12.1988г., $M = 7.0$) землетрясение

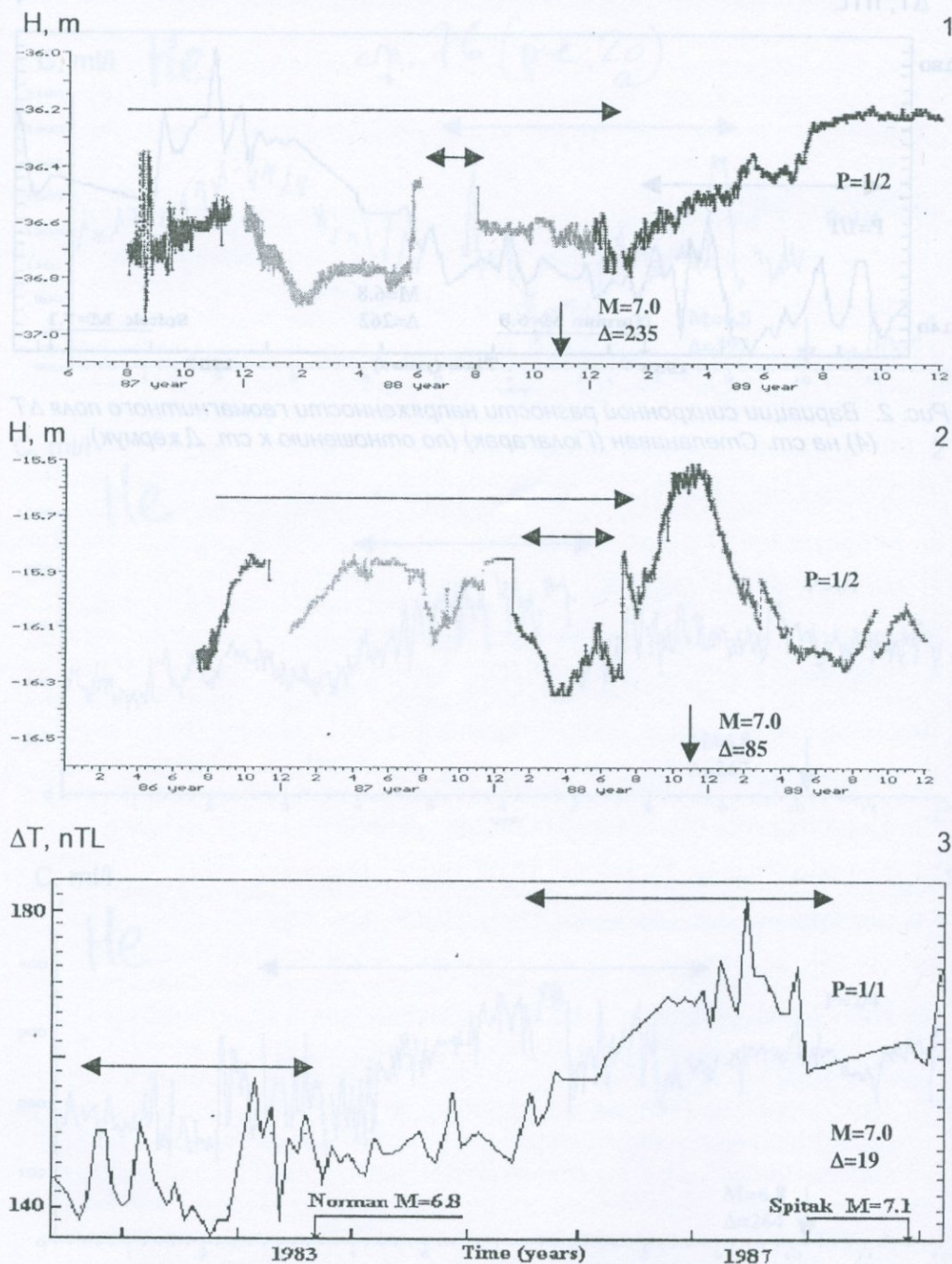


Рис. 3. Вариации: уровня подземных вод на ст. Горис (1) и ст. Мецмор (2) и синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT (3) на ст. Степанаван (Гюлагарак) (по отношению к ст. Джермук).

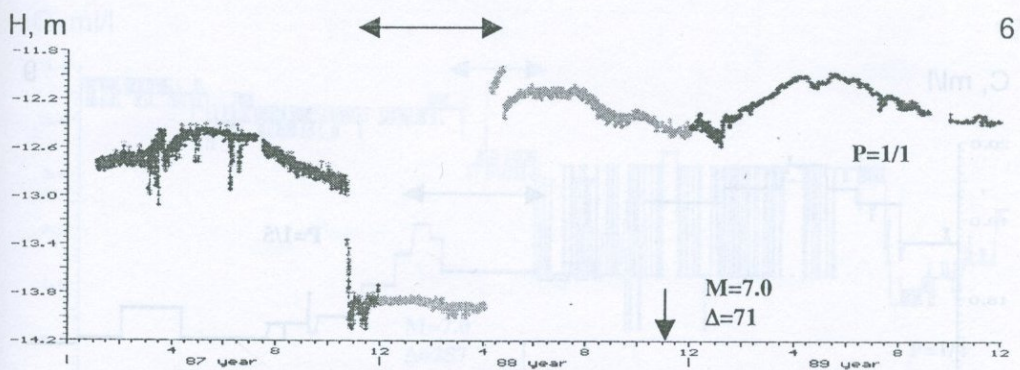
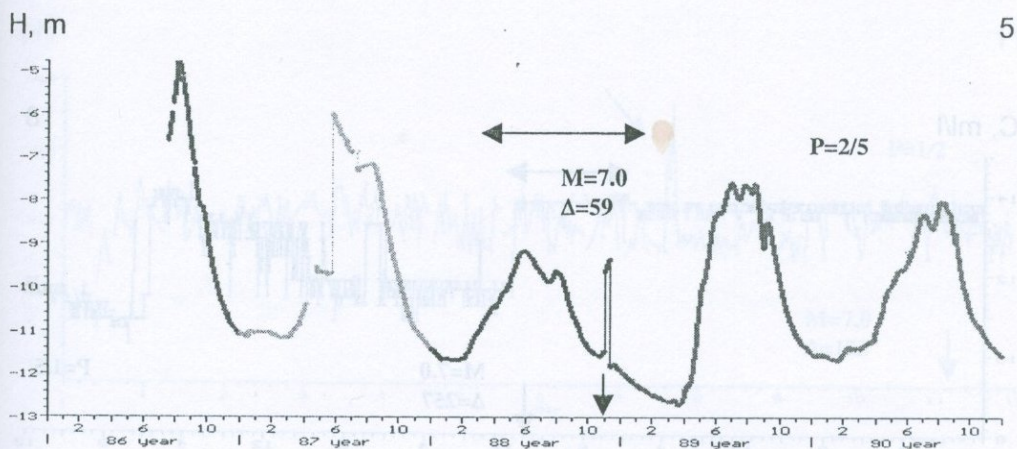
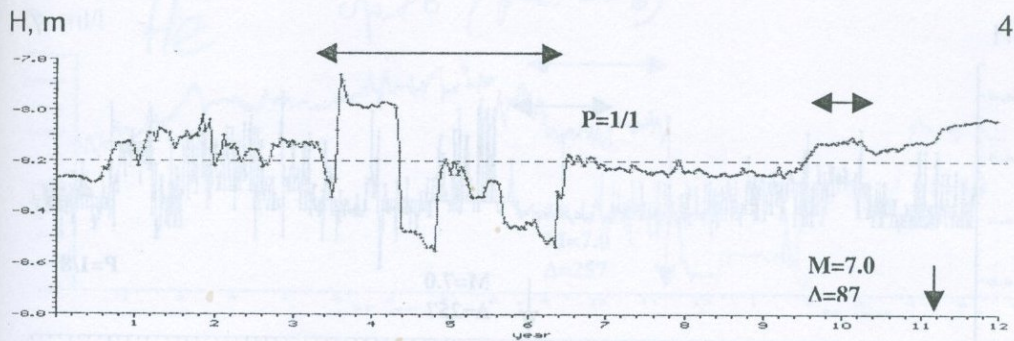


Рис. 4. Изменения уровня подземных вод на станциях Дзорахпюр (4),
Ноемберян (5) и Севан (6).

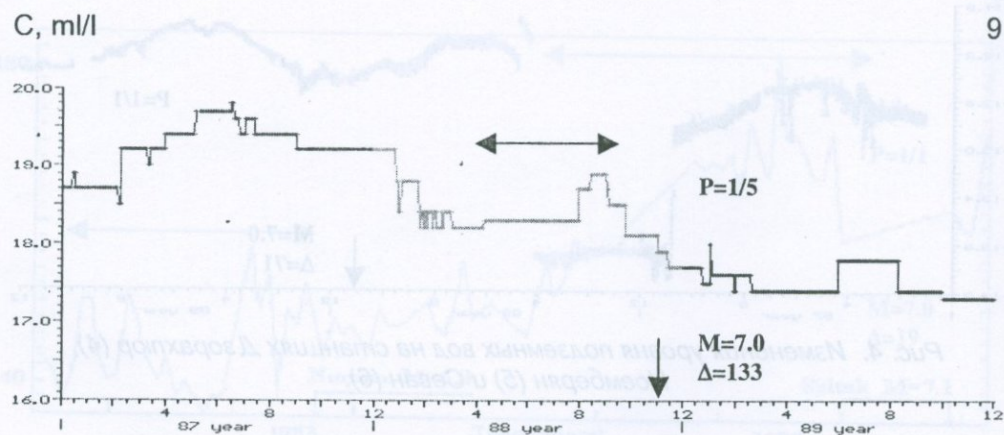
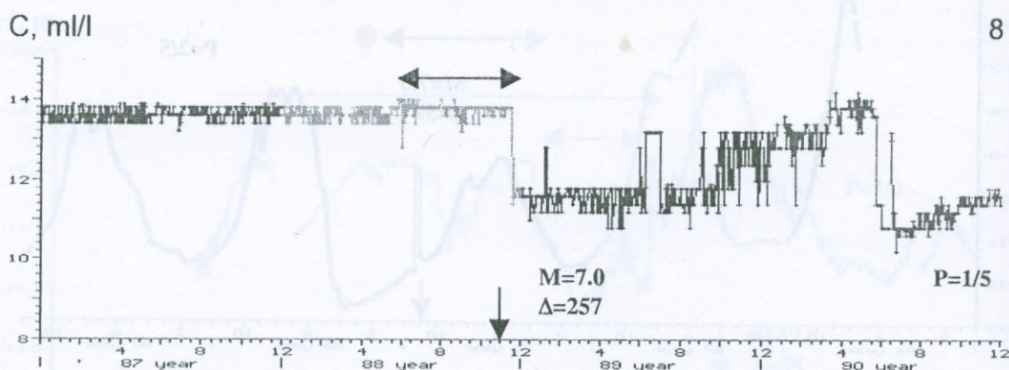
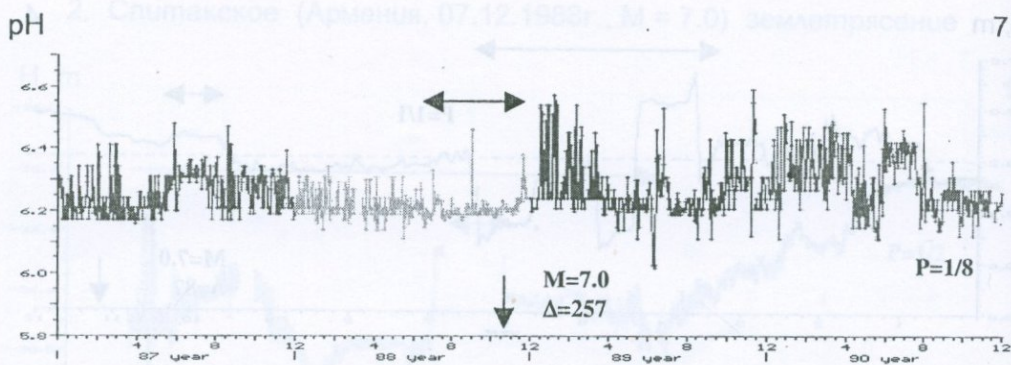


Рис. 5. Вариации: величины pH (7) и концентрации HCO_3^- (8) на ст. Каджаран и концентрации хлора на ст. Суренаван (9).

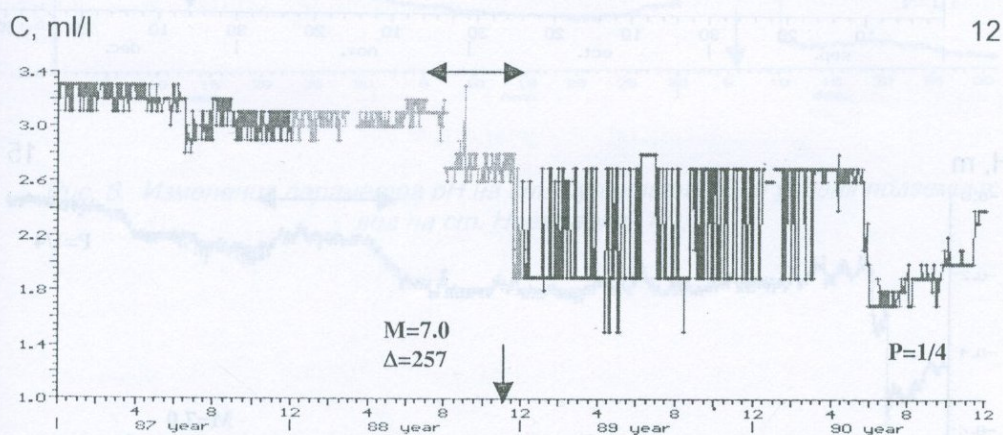
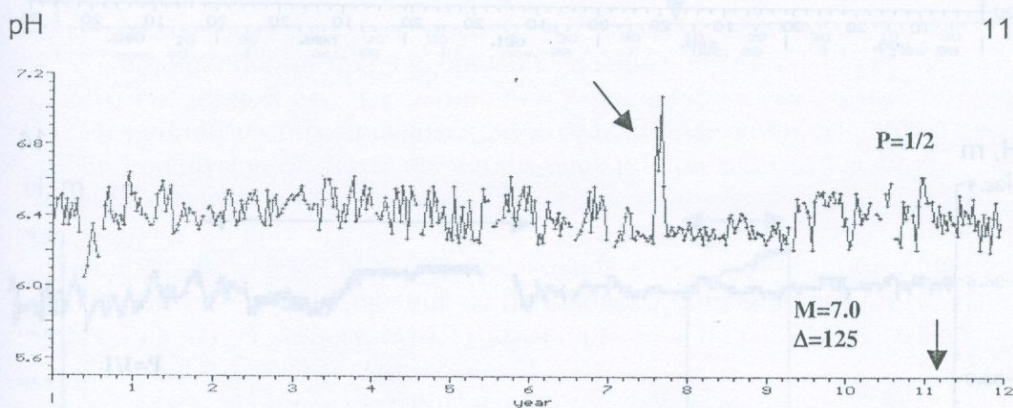
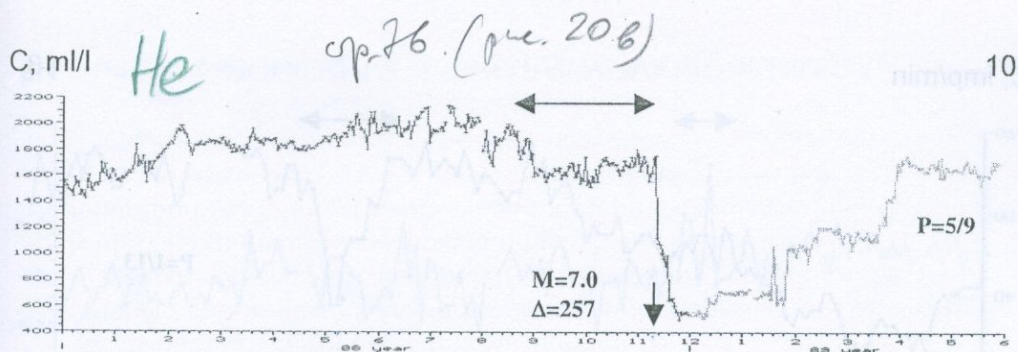
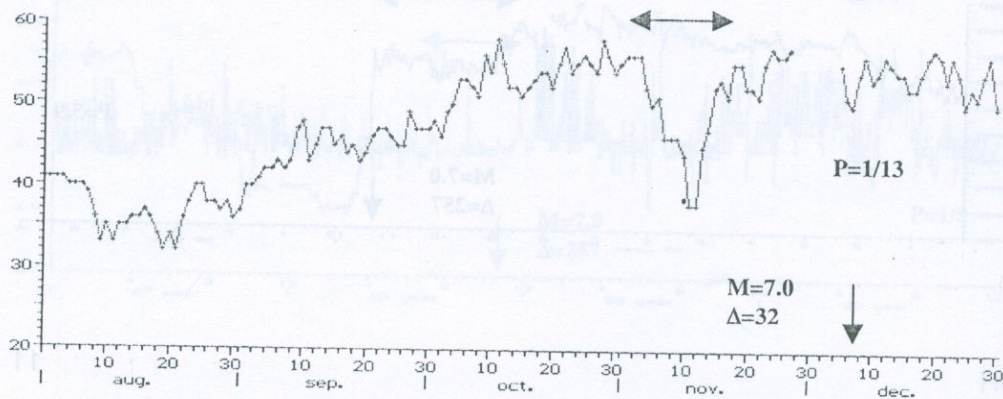


Рис. 6. Изменения: концентрации гелия на ст. Каджаран (10), величины pH на ст. Арарат (11) и концентрации хлора на ст. Каджаран (12).

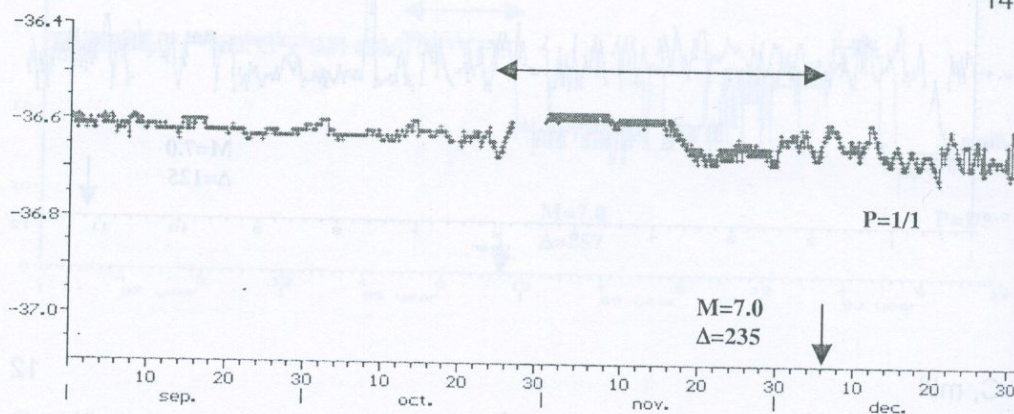
C, imp/min

13



H, m

14



H, m

15

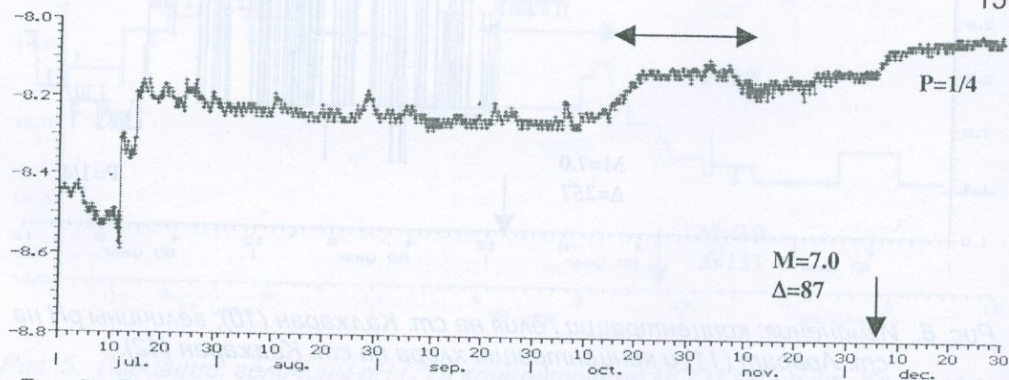


Рис. 7. Вариации: содержания почвенного радона на ст. Гюмри (Кумайри) (13) и уровня подземных вод на станциях Горис (14) и Дзорахпюр (15).

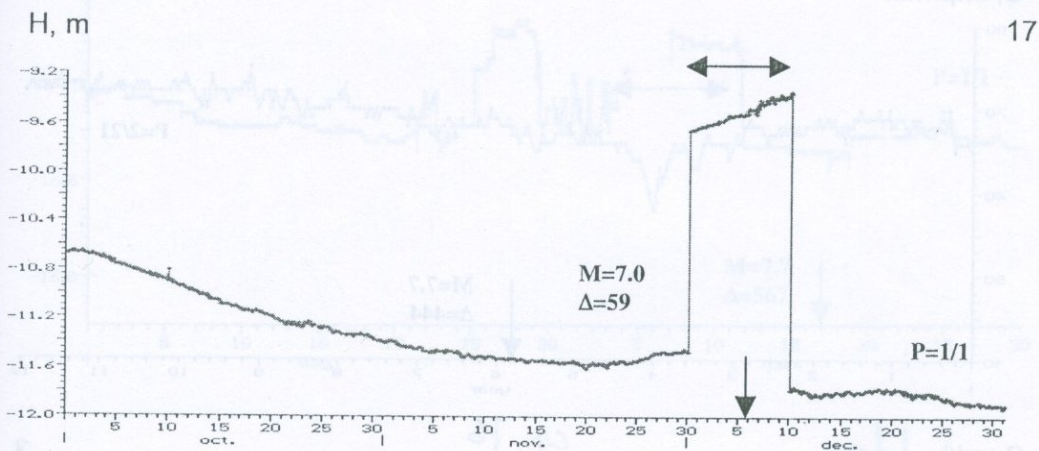
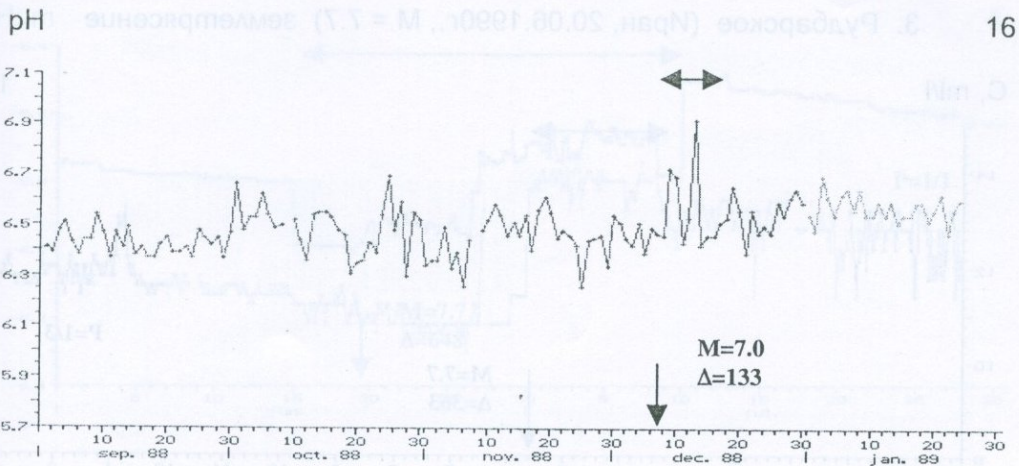
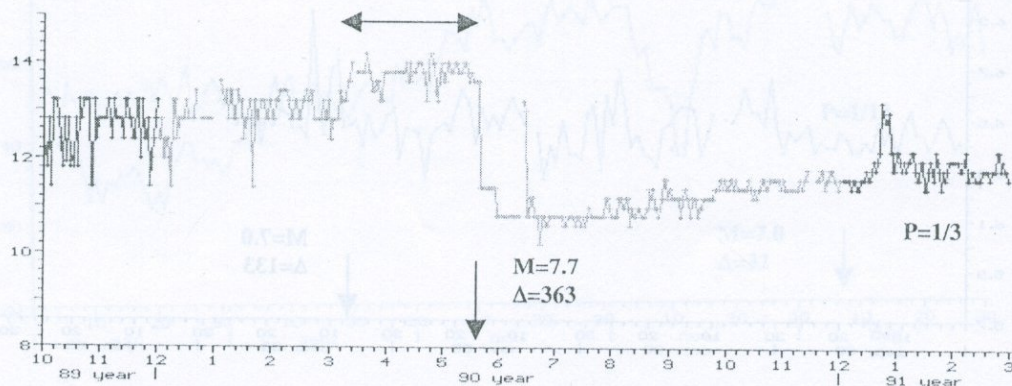


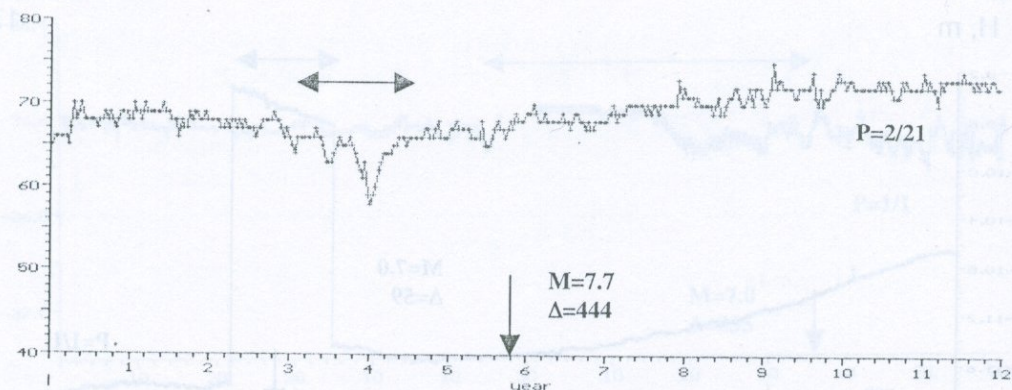
Рис. 8. Изменения параметра pH на ст. Суренаван (16) и уровня подземных вод на ст. Ноябрьян (17).

3. Рудбарское (Иран, 20.06.1990г., $M = 7.7$) землетрясение

C, ml/l



C, imp/min



C, ml/l

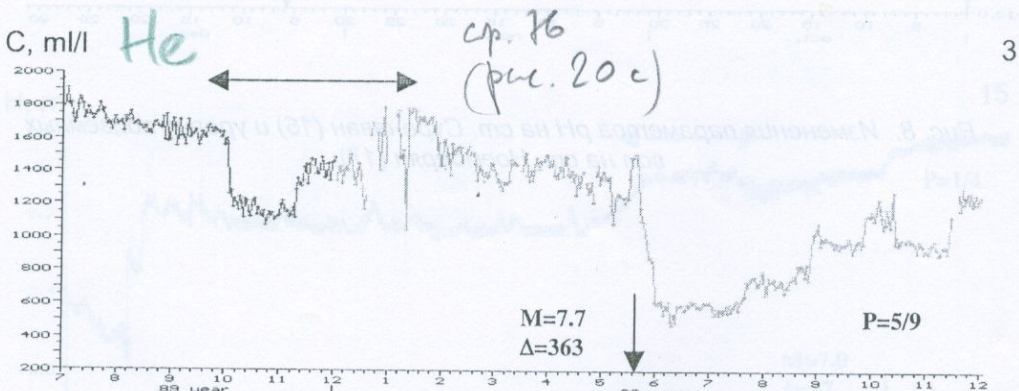


Рис. 9. Вариации: концентрации HCO_3 в минерализованной воде в кв. Каджаран (1), содержания подпочвенного радона на ст. Джермук (2) и концентрации гелия в минерализованной воде в кв. Каджаран (3).

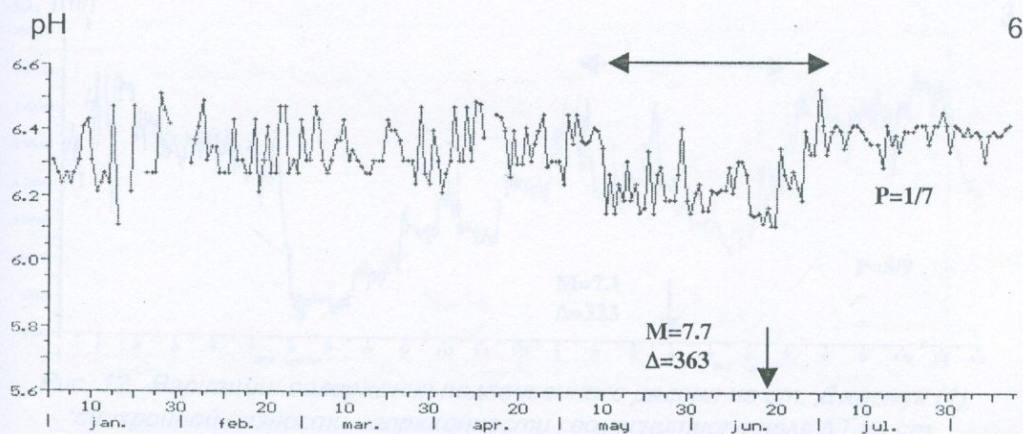
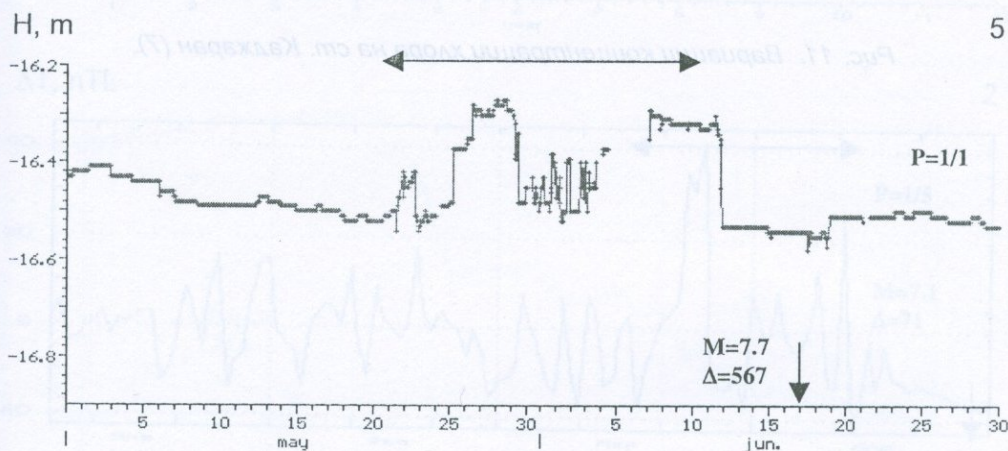
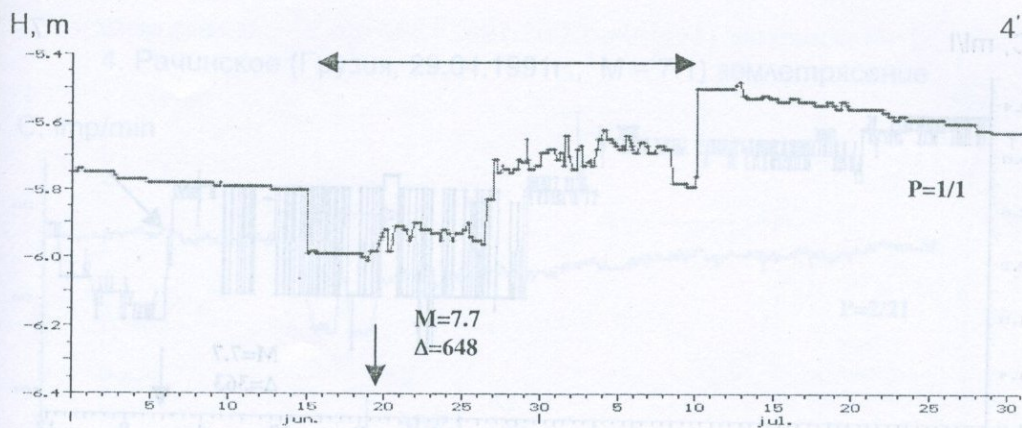


Рис. 10. Изменения: уровня подземных вод на станциях Ашоцк (4), Мецмор (5) и величины pH на ст. Каджаран (6).

C, ml/l

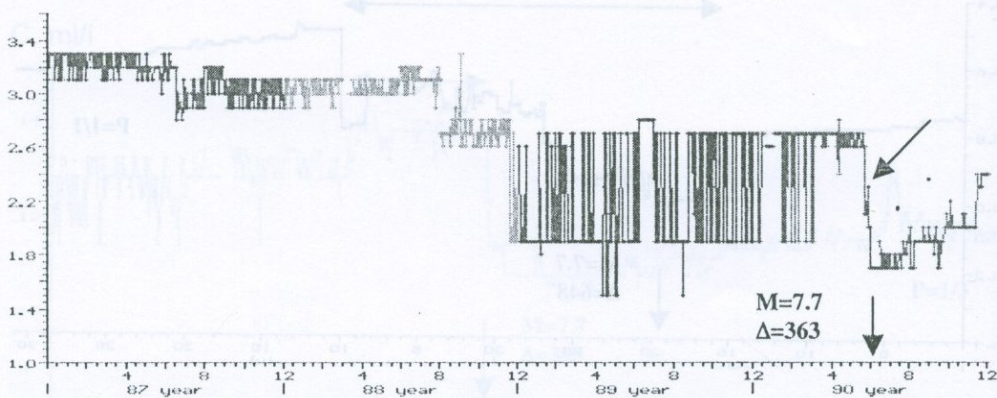
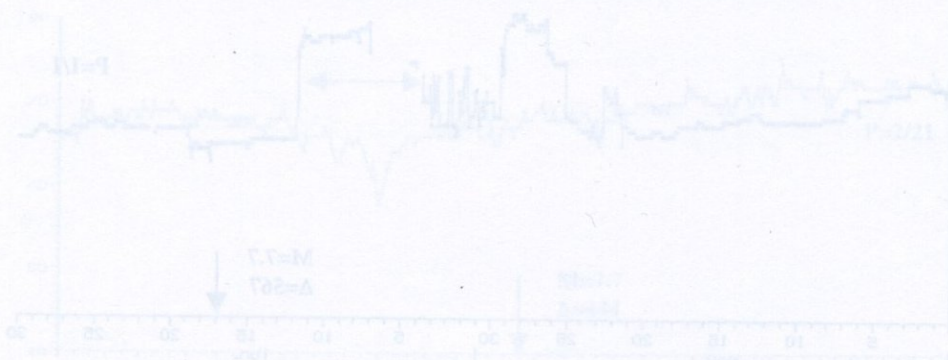


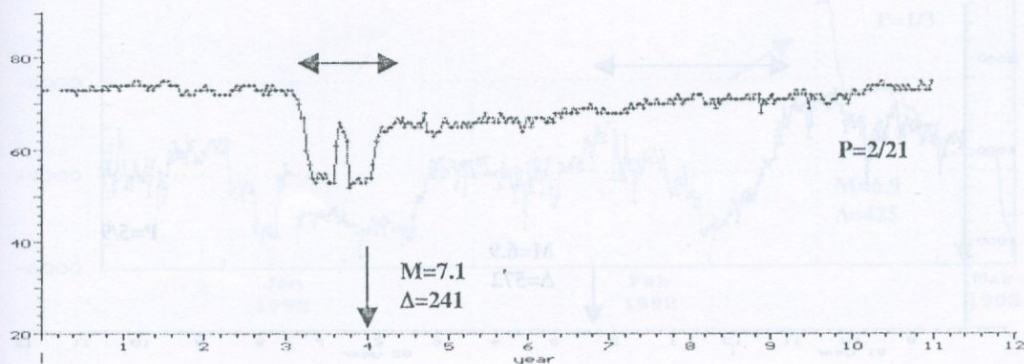
Рис. 11. Вариации концентрации хлора на ст. Каджаран (7).



4. Рачинское (Грузия, 29.04.1991г., $M = 7.1$) землетрясение

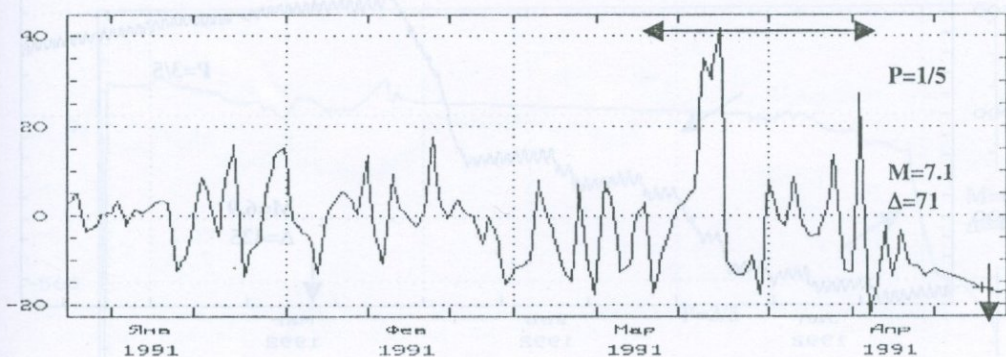
C, imp/min

1



ΔT , nTL

2



C, ml/l

3

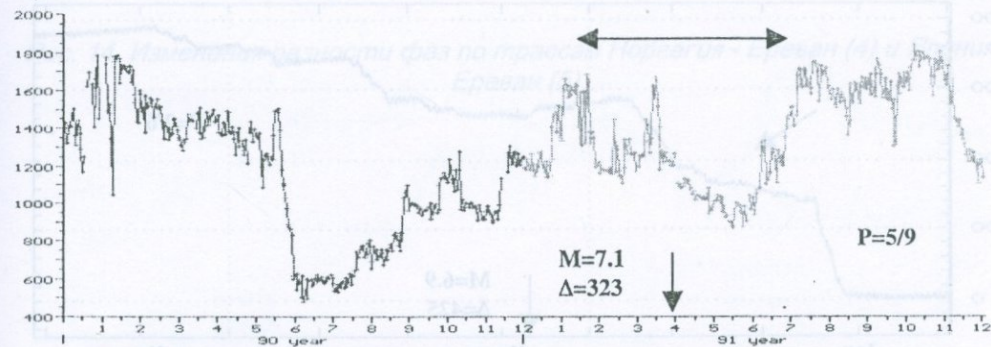
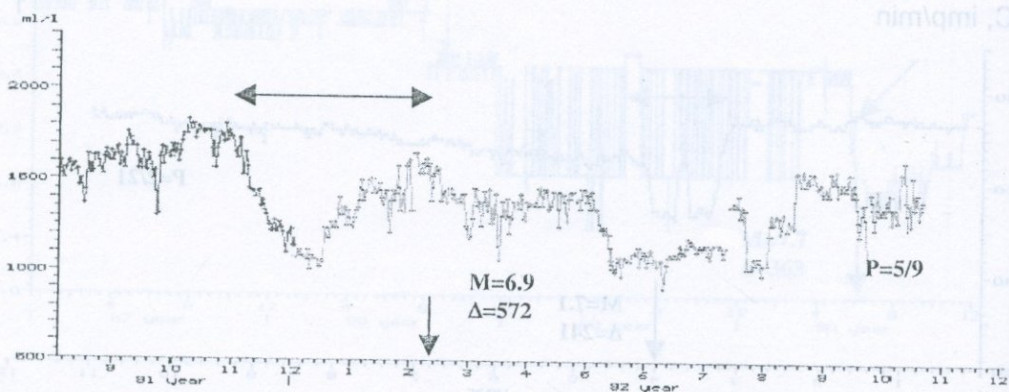


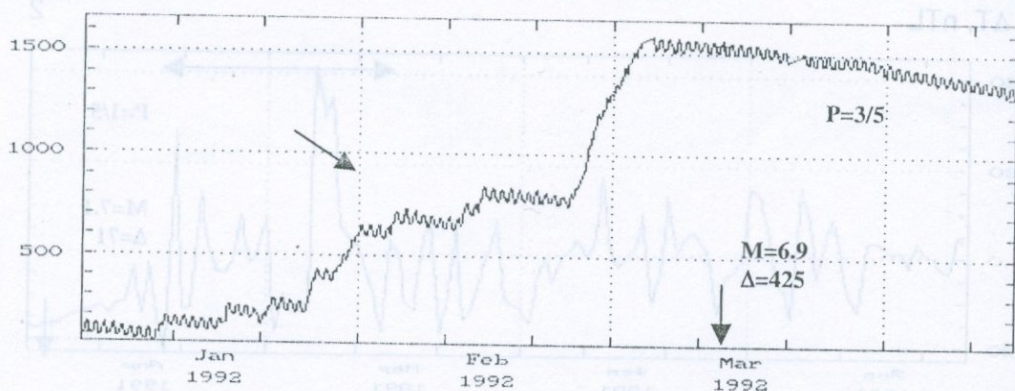
Рис. 12. Вариации: содержания подпочвенного радона на ст. Джермук (1), синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT на ст. Степанаван (по отношению к ст. Джермук) (2) и концентрации гелия в минерализованной воде в скв. Каджаран (3).

5. Эрзинджанское (Турция, 13.03.1992 г., $M = 6.9$) землетрясение

C, ml/l



$\Delta\phi$, mcs



$\Delta\phi$, mcs

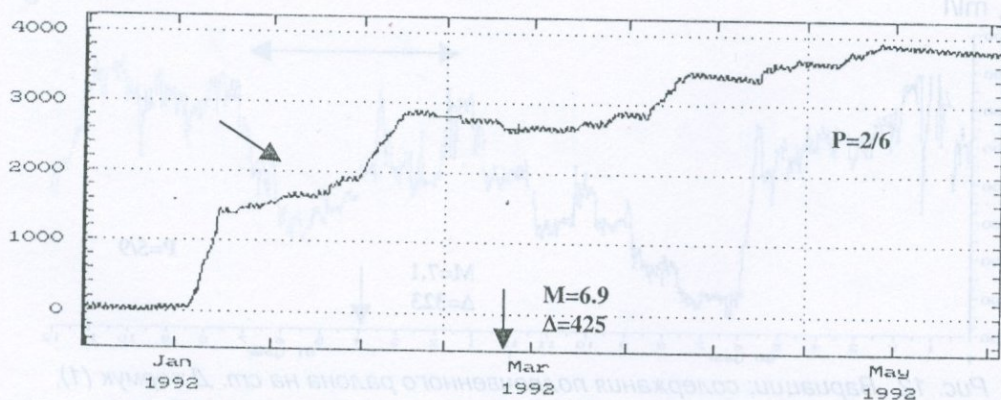
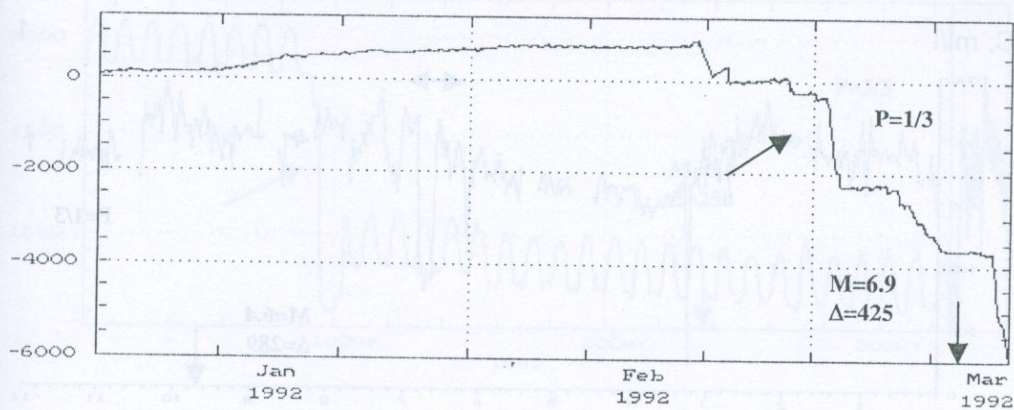


Рис. 13. Вариации концентрации ($\text{мл/л} \cdot 10^6$) гелия в минерализованной воде в скв. Каджаран (1), изменения разности фаз по трассам Реюньон - Ереван (2) и Либерия - Ереван (3).

$\Delta\phi$, mcs

4

 $\Delta\phi$, mcs

5

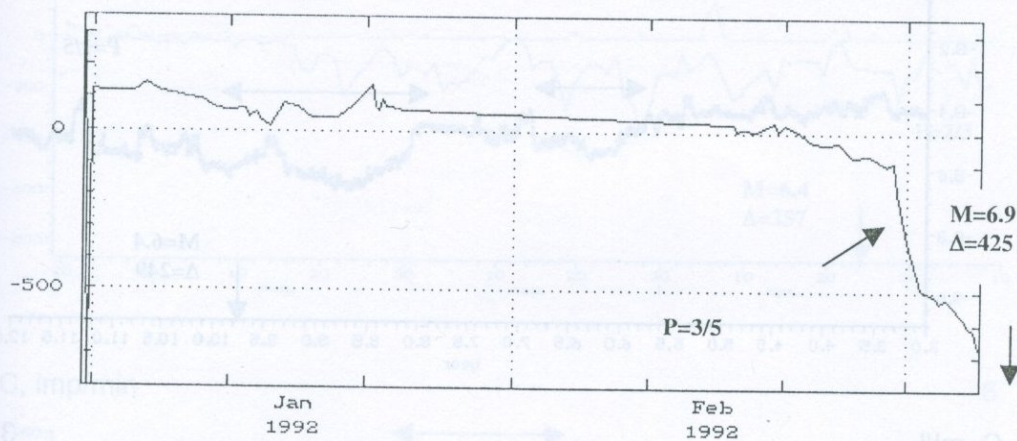
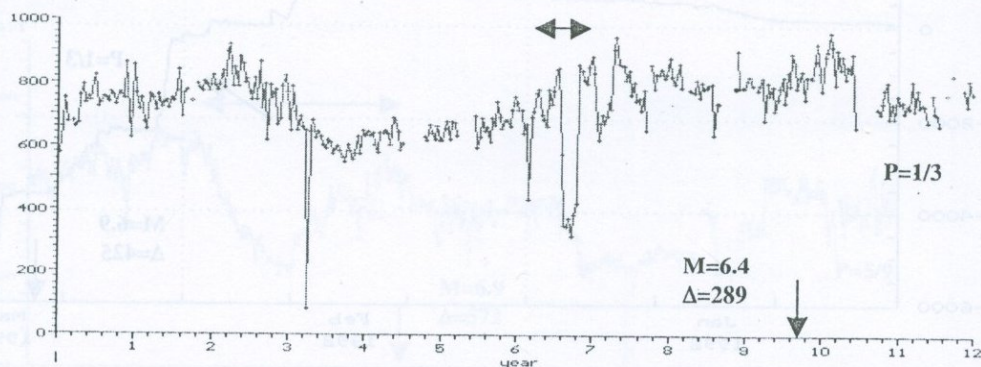


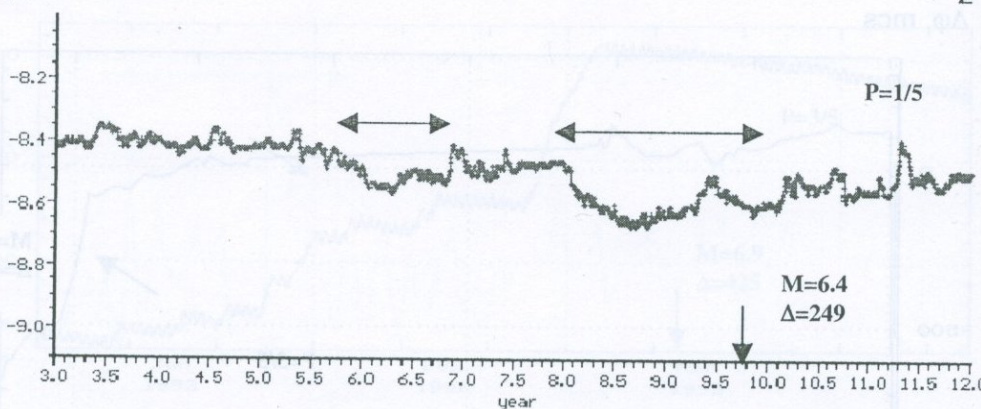
Рис. 14. Изменения разности фаз по трассам Норвегия - Ереван (4) и Япония - Ереван (5).

6. Барисахское (Грузия, 24.10.1992г., $M = 6.4$) землетрясение

C, ml/l



H, m



C, ml/l

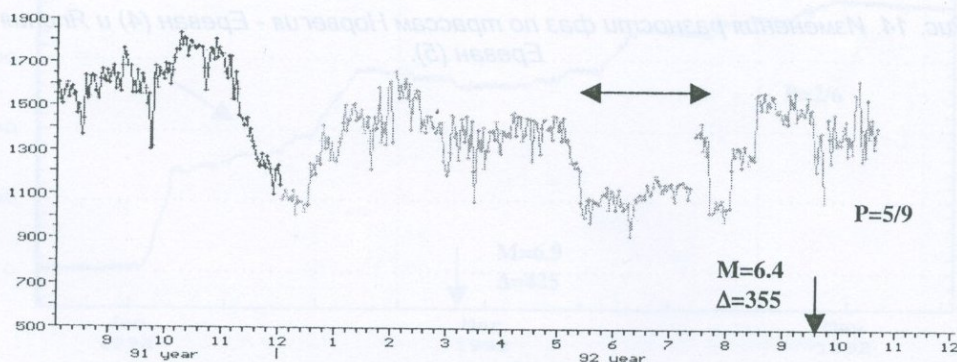
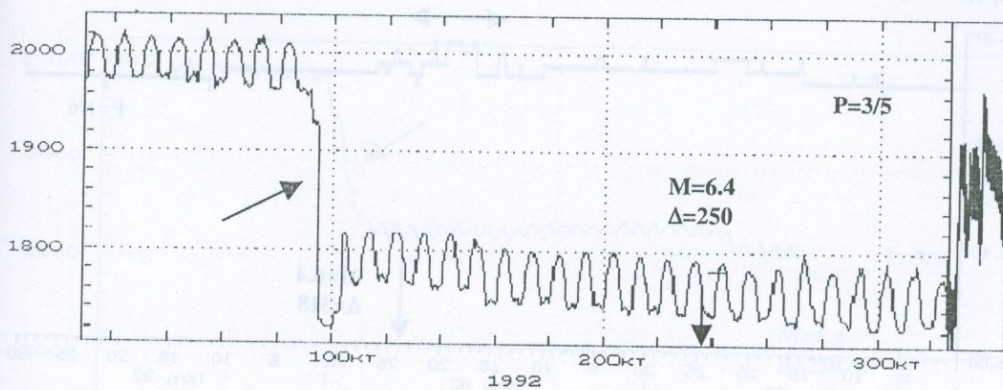


Рис. 15. Вариации: концентрации гелия на ст. Суренаван (1), уровня подземных вод на ст. Дзорахпюр (2) и концентрации гелия на ст. Каджаран (3).

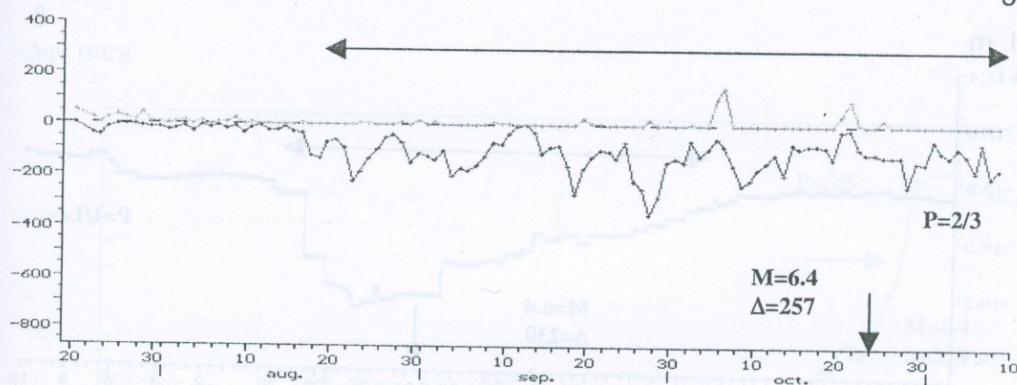
$\Delta\phi$, mcs

4



$E+(-)$, w/m³

5



C, imp/min

6

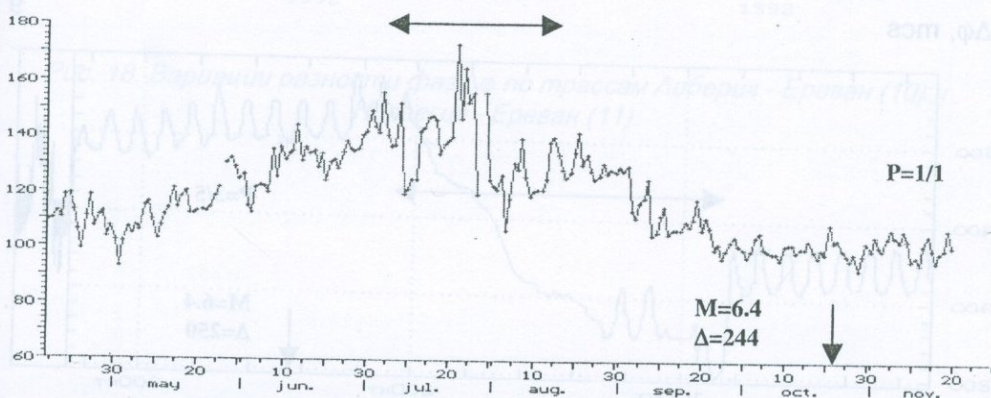


Рис. 16. Изменения: разности фаз $\Delta\phi$ по трассе о.Реюньон - Ереван (ст. Давидашен) (4), параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Гарни (5) и содержания подпочвенного радона на ст. Исаакян (6).

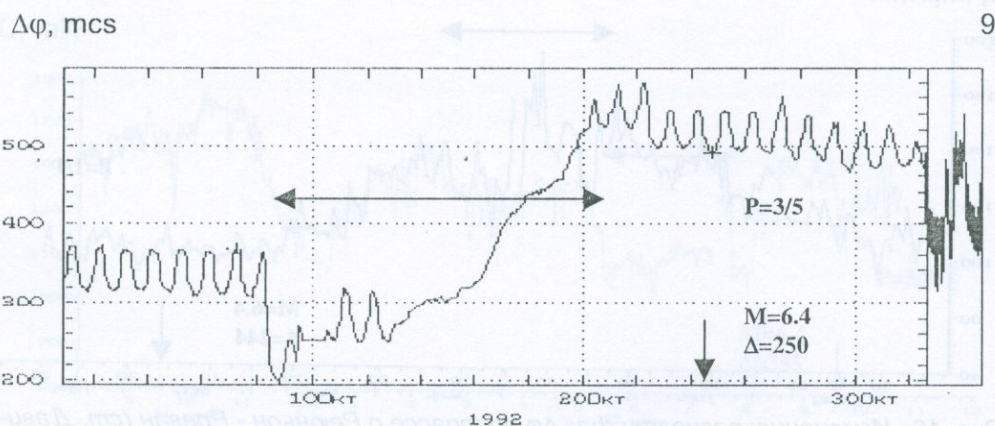
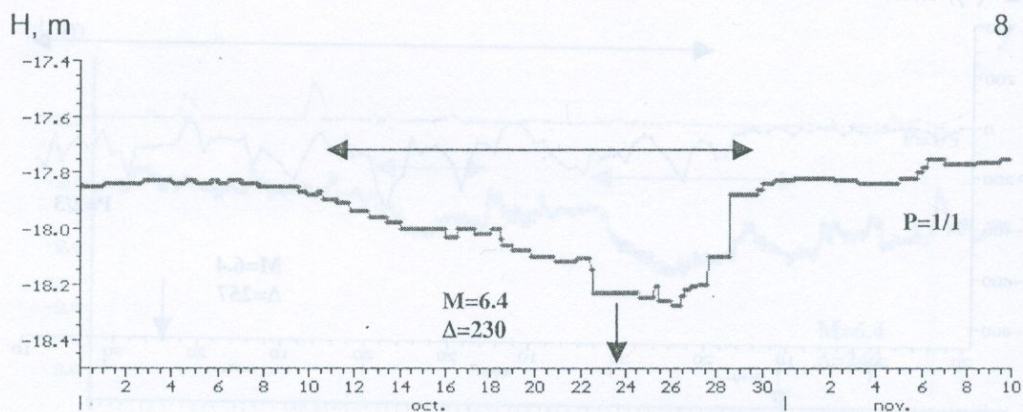
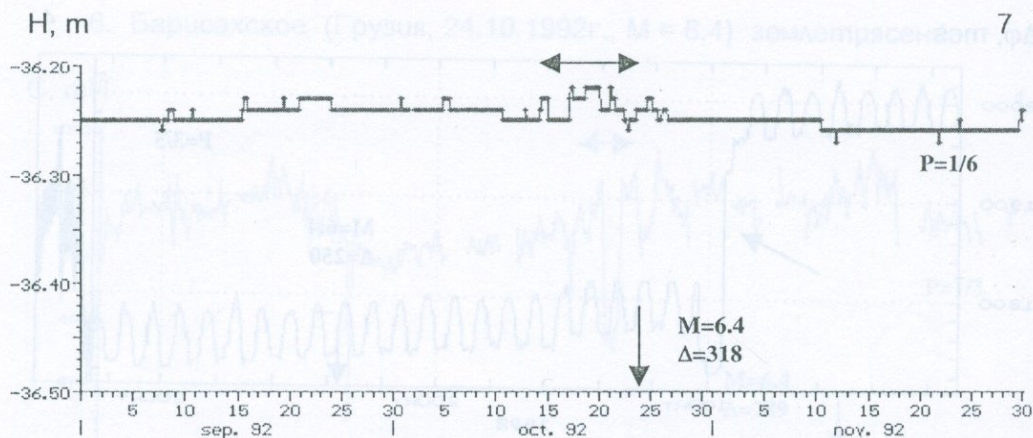


Рис. 17. Вариации: уровня подземных вод на ст. Горис (7) и на ст. Азатан (8), разности фаз $\Delta\phi$ по трассе Япония - Ереван (ст. Давидашен) (9).

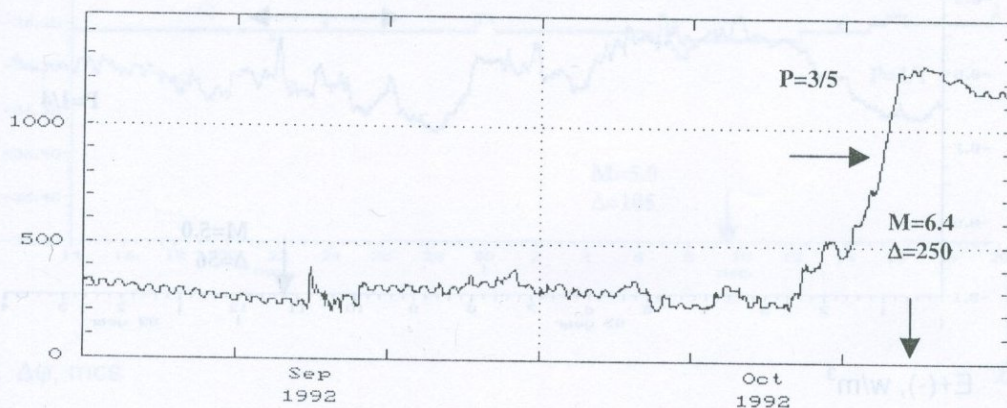
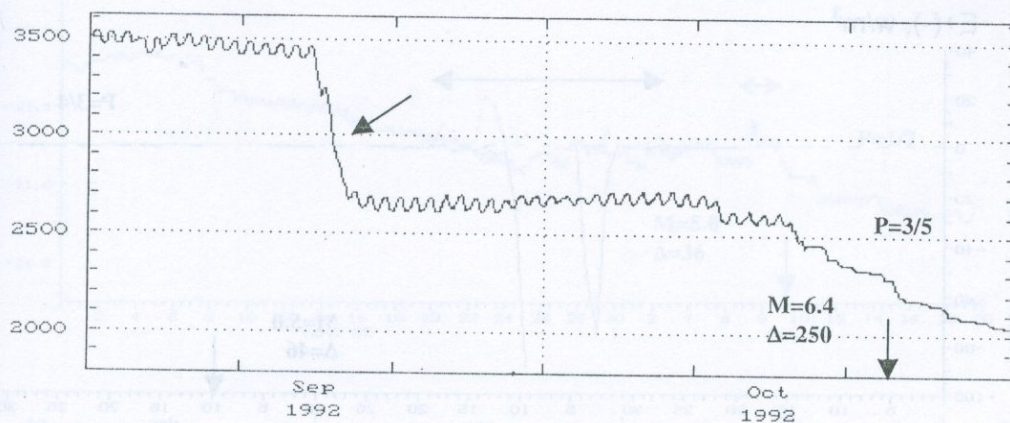


Рис. 18. Вариации разности фаз $\Delta\varphi$ по трассам Либерия - Ереван (10) и Норвегия - Ереван (11).

7. Мартунинское (Армения, 10.12.1992 г., $M = 5.0$) землетрясение

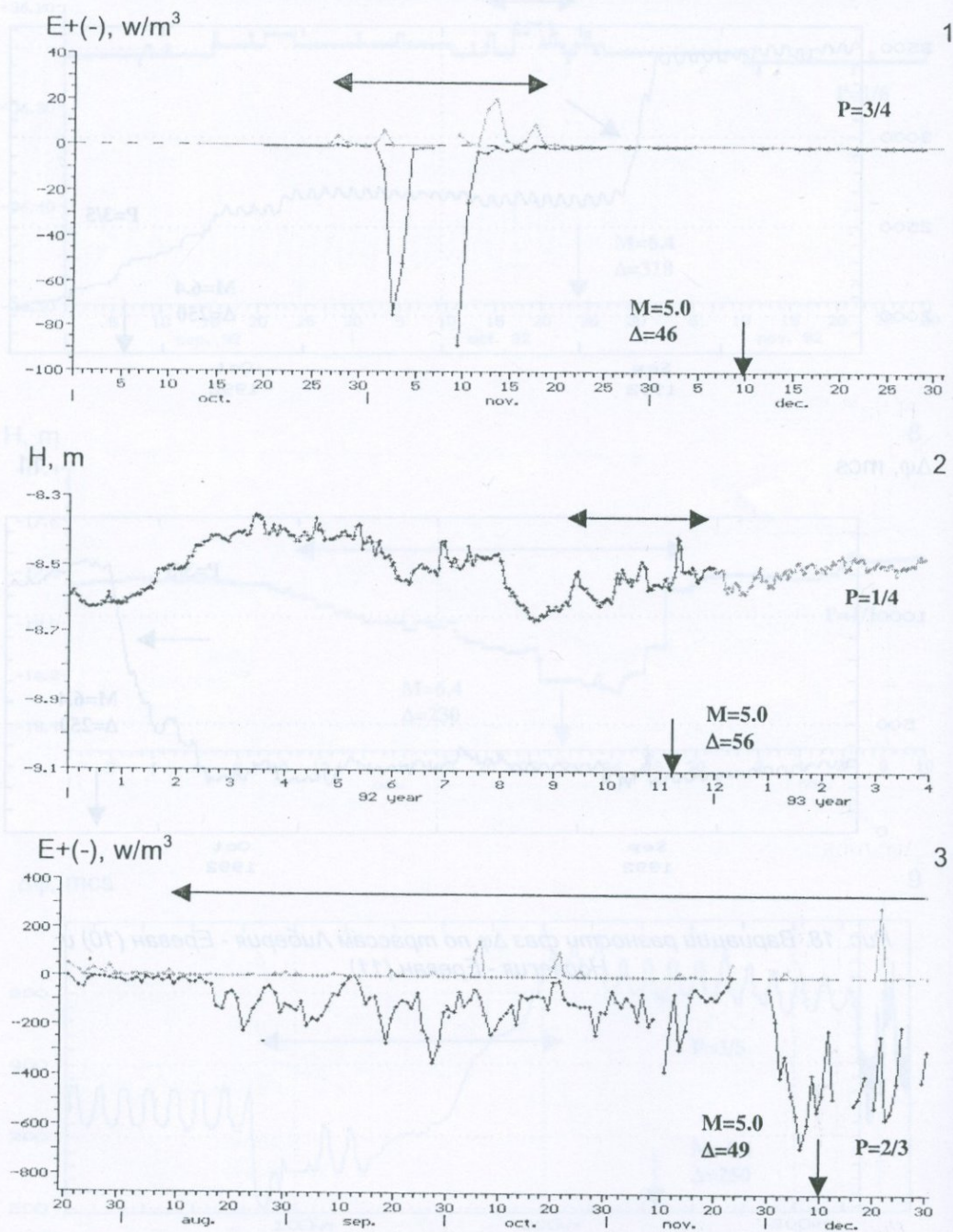
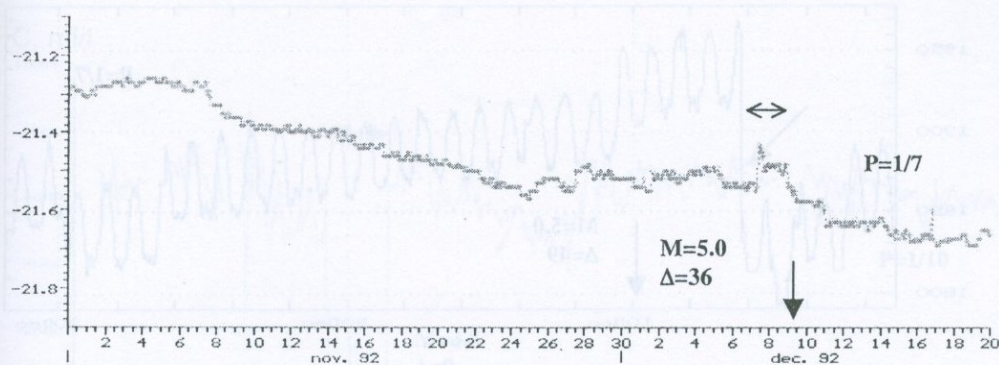
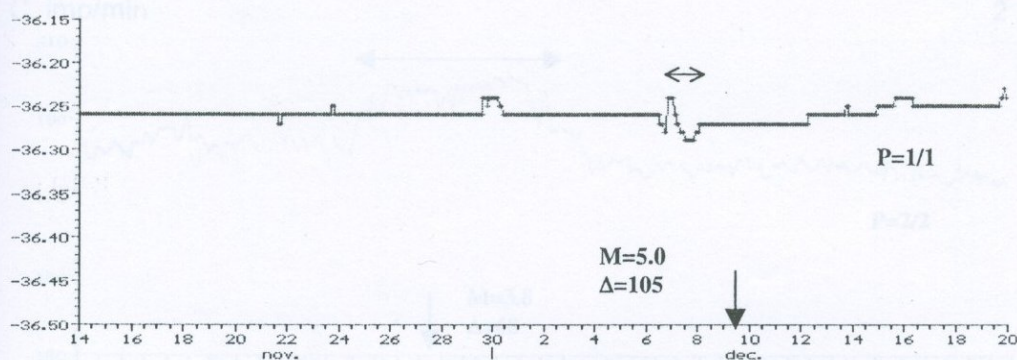


Рис. 19. Вариации параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Джермук (1), уровня подземных вод на ст. Дзорахпюр (2) и параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Гарни (3).

H, m 4



H, m 5



$\Delta\phi$, mcs 6

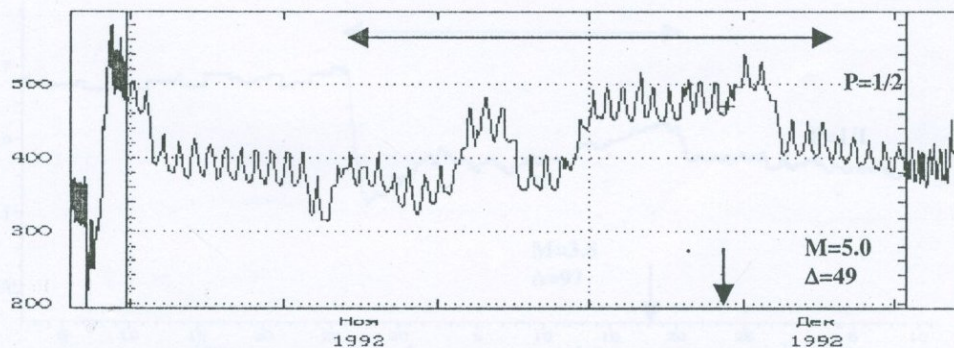


Рис. 20. Изменения: уровня подземных вод на ст. Карцахкюр (4) и Горис (5) и разности фаз по трассе Япония - Ереван (ст. Давидашен (6)).

$\Delta\varphi$, mcs

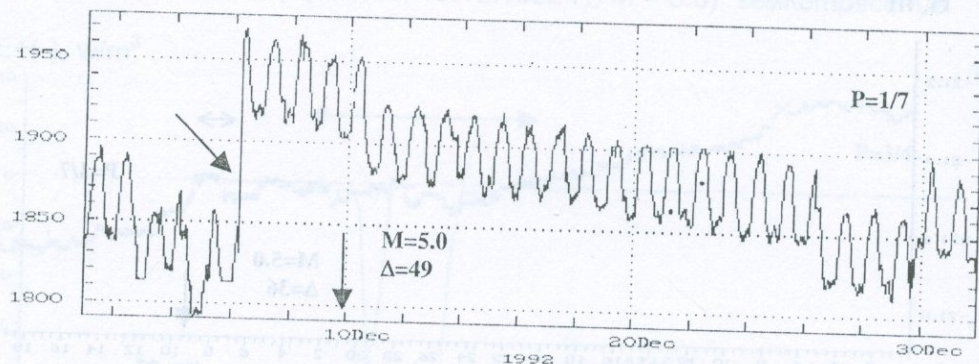
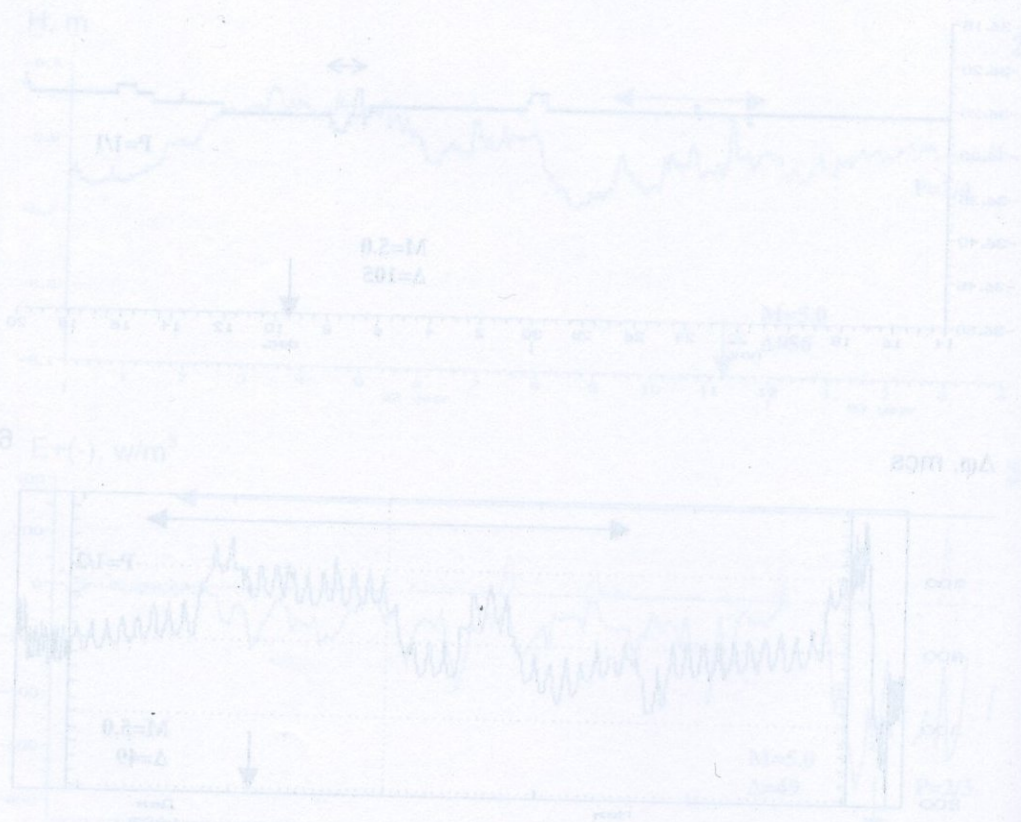
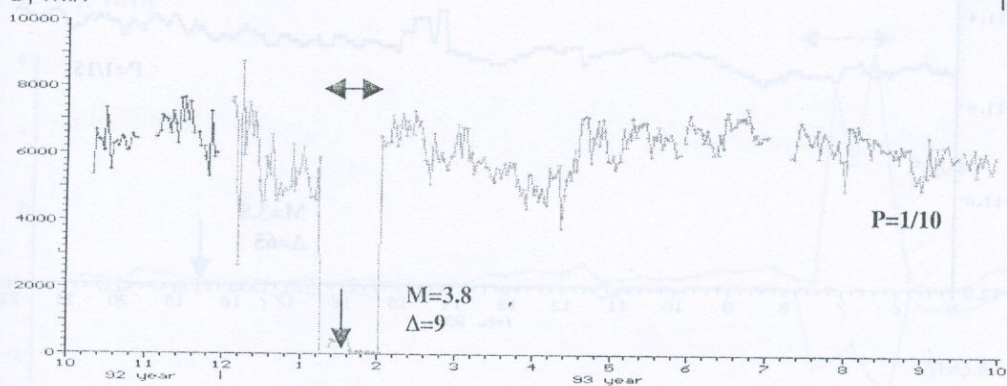


Рис. 21. Изменения разности фаз по трассе Режуньон - Ереван (ст. Давидашен) (7).



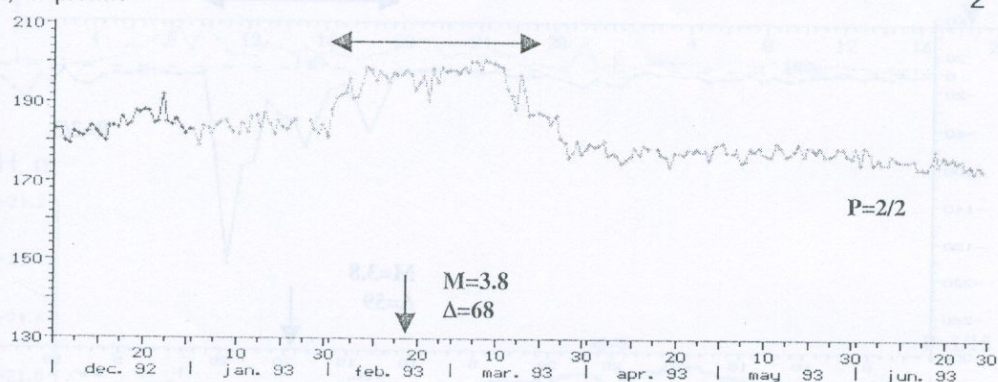
8. Цовагюхское (Армения, 19.02.1993г., $M = 3.8$) землетрясение

C, ml/l



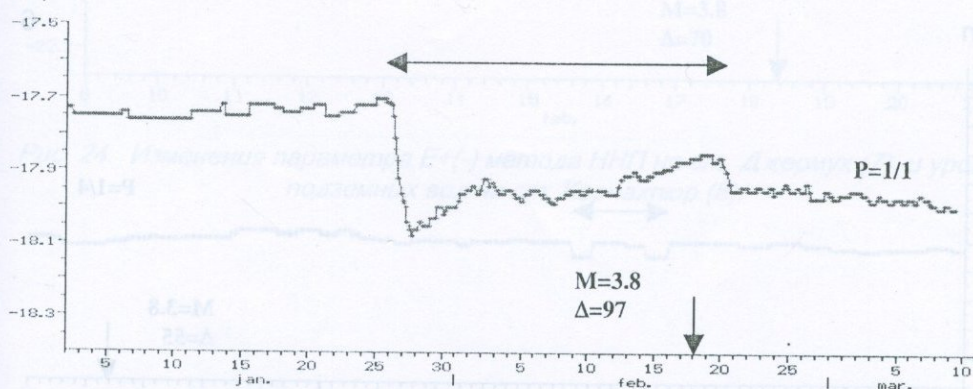
1

C, imp/min



2

H, m



3

Рис. 22. Вариации: концентрации гелия на ст. Цовагюх (1), содержания почвенного радона на ст. Паракар (2) и уровня подземных вод на ст. Азатан (3).

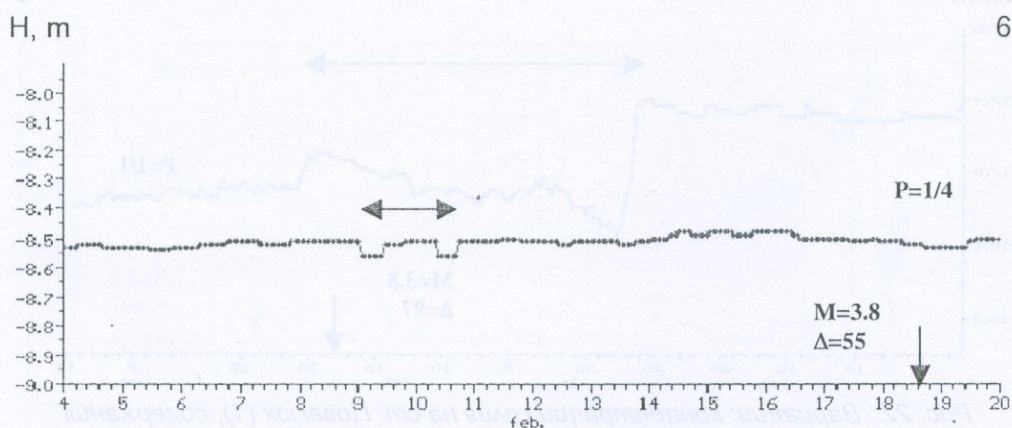
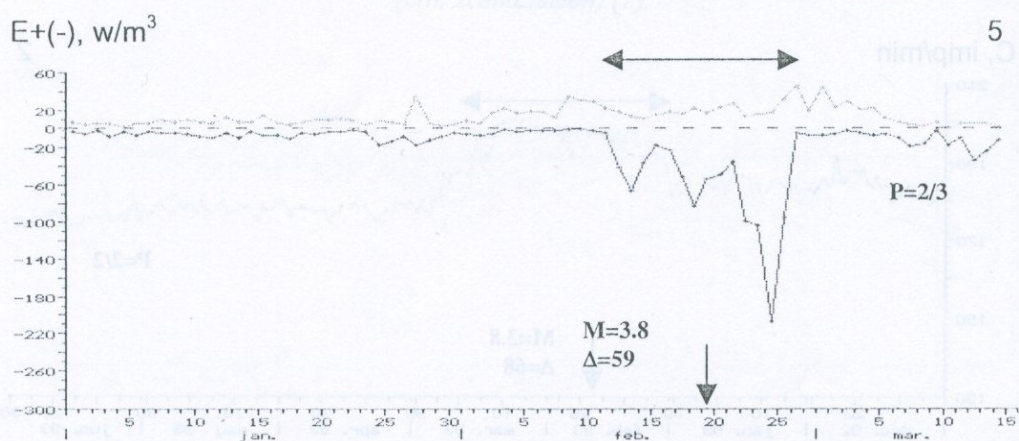
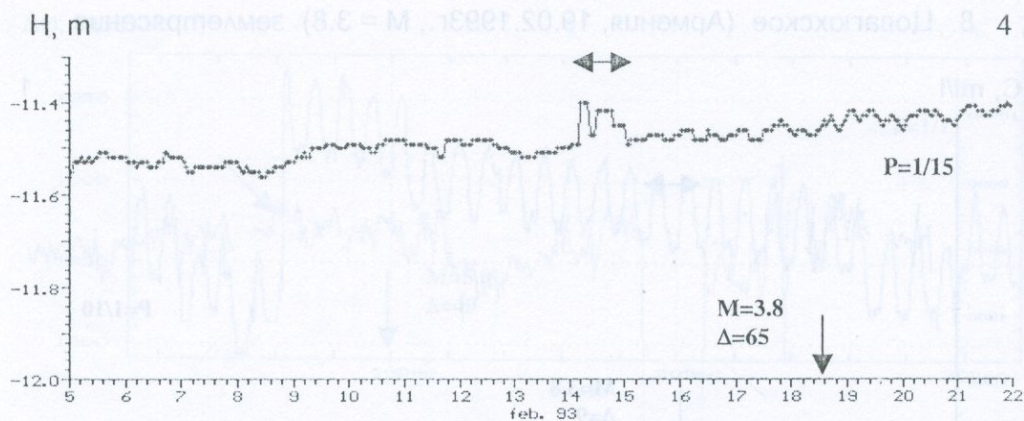
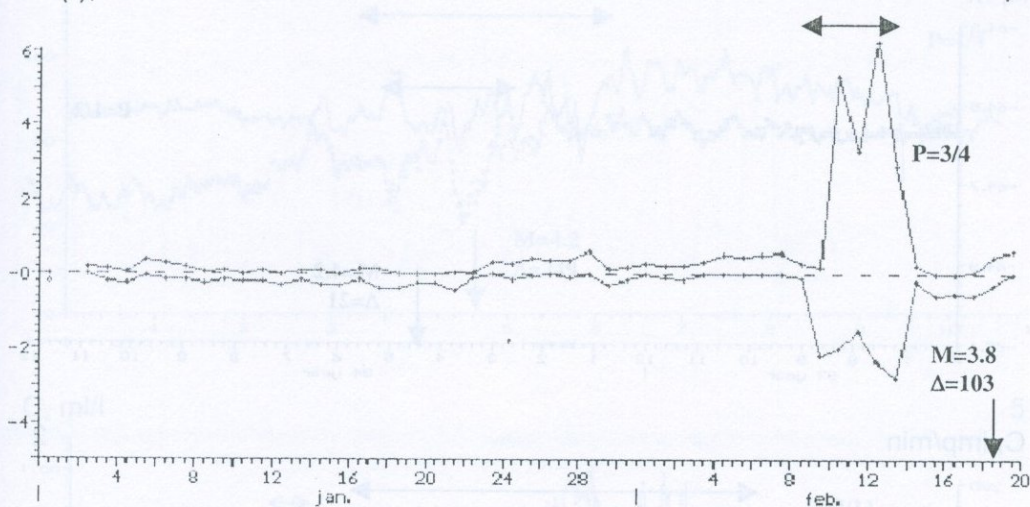


Рис. 23. Изменения: уровня подземных вод на ст. Ноембер'ян (4), параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Давидашен (5) и уровня подземных вод на ст. Дзоракхюр (6).

$E+(-), \text{w/m}^3$

7



H, m

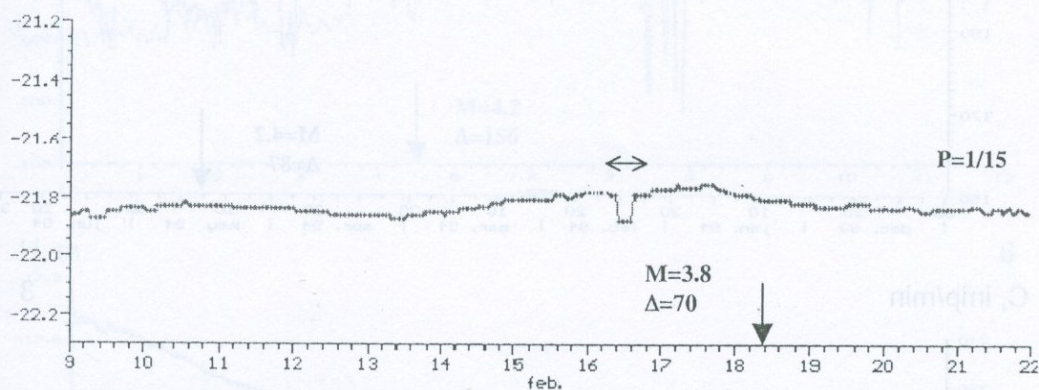


Рис. 24. Изменения параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Джермук (7) и уровня подземных вод на ст. Карчахпюр (8).

9. Бавринское (Армения, 18.05.1994г., $M = 4.2$) землетрясение

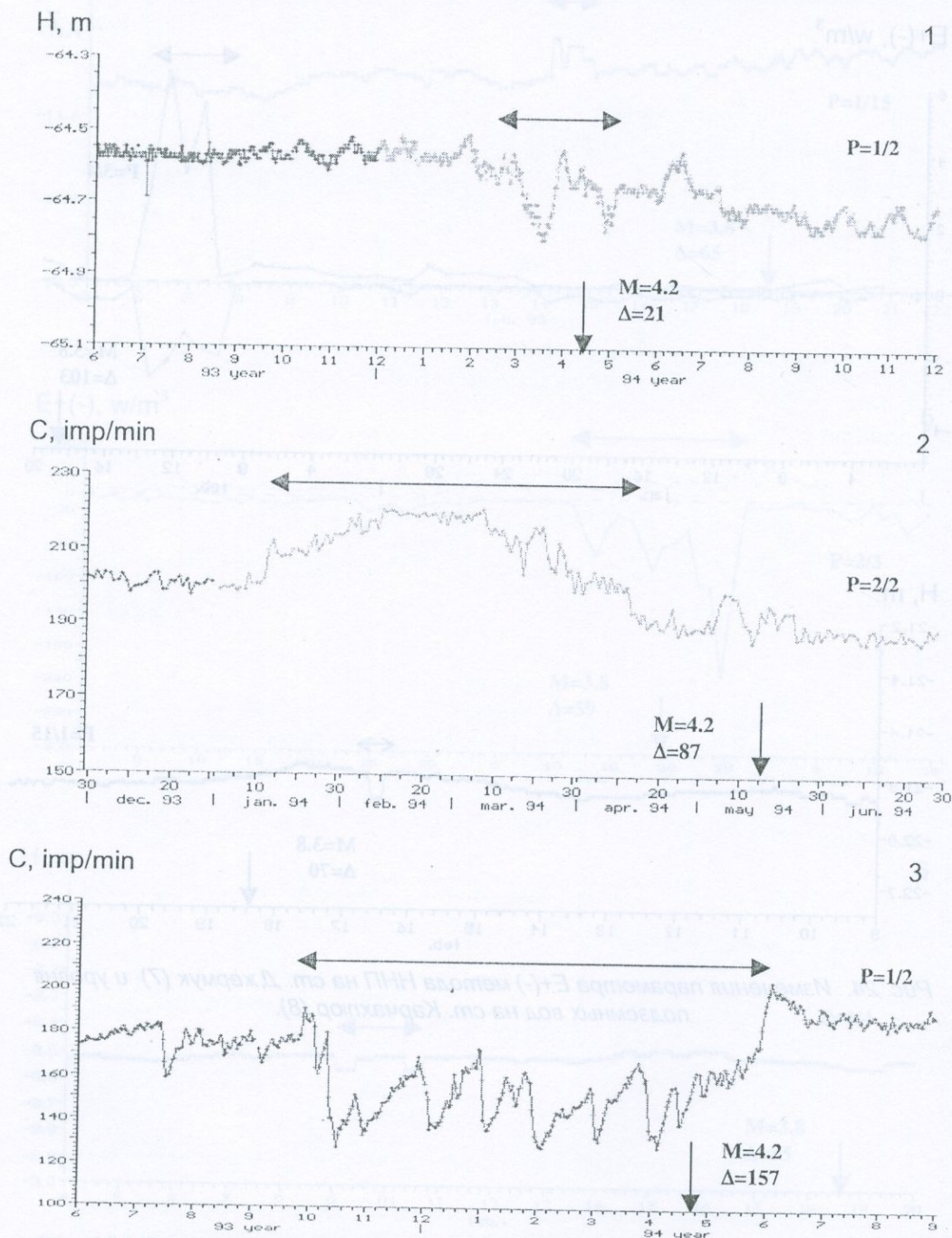
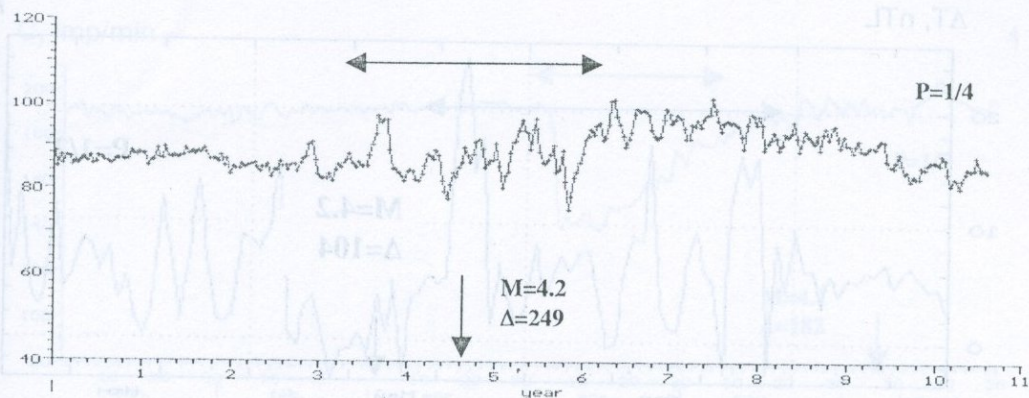


Рис. 25. Изменения: уровня подземных вод на ст. Амасия (1), содержания подпочвенного радона на ст. Паракар (2) и на ст. Ехегнадзор (3).

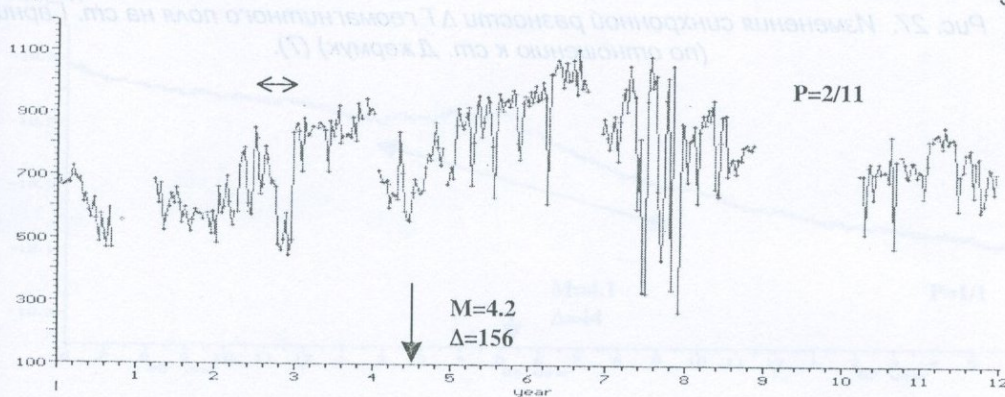
C, imp/min

4



C, ml/l

5



H, m

6

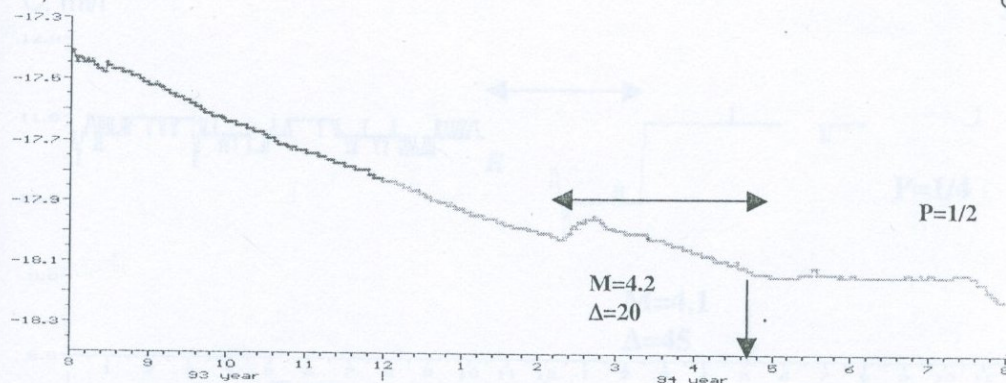


Рис. 26. Вариации: содержания подпочвенного радона на ст. Горис (4), концентрации гелия на ст. Карчапюр (5) и уровня подземных вод на ст. Азатан (6).

$\Delta T, \text{nTL}$

7

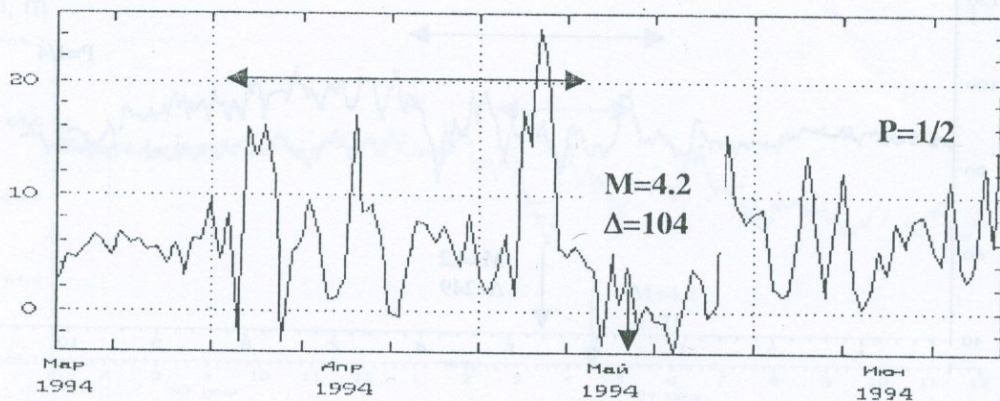
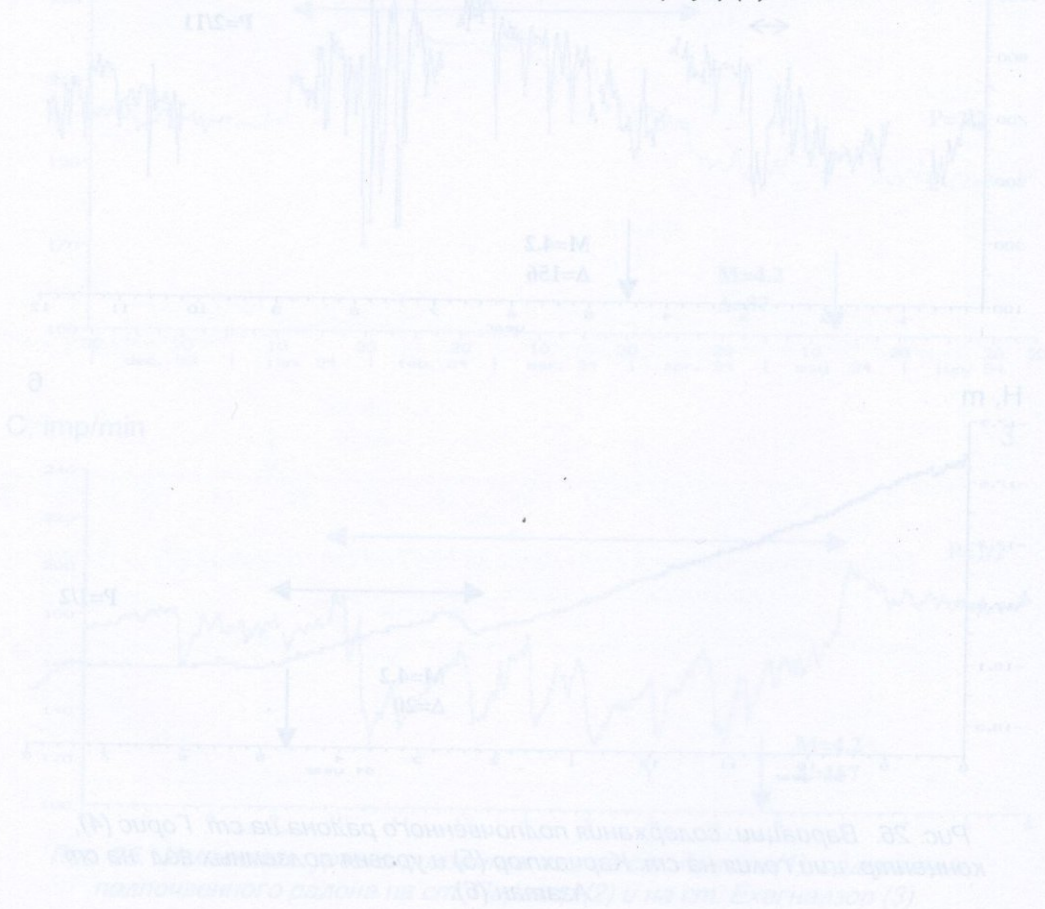
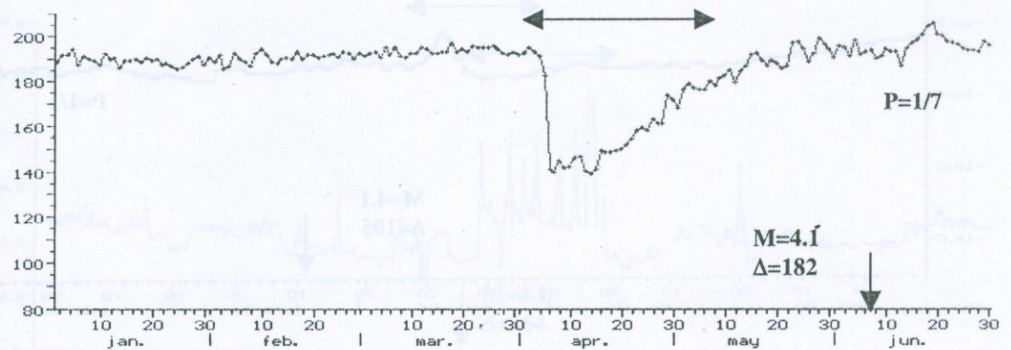


Рис. 27. Изменения синхронной разности ΔT геомагнитного поля на ст. Гарни (по отношению к ст. Джермук) (7).

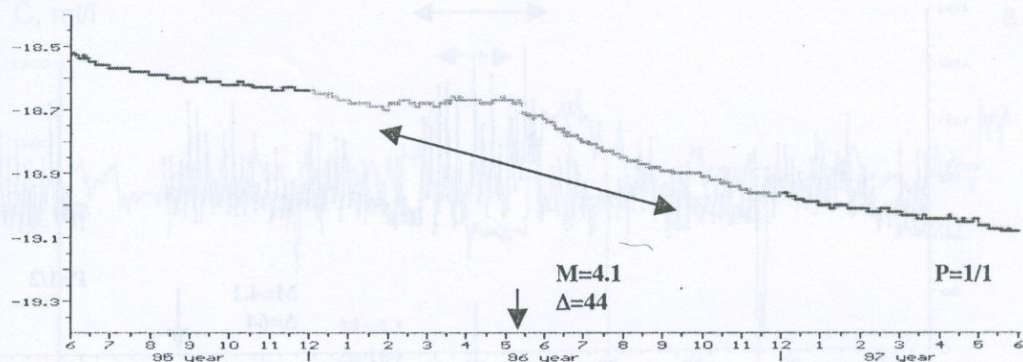


10. Ашотское (Армения, 09.06.1996г., $M = 4.1$) землетрясение

C, imp/min



H, m



C, ml/l

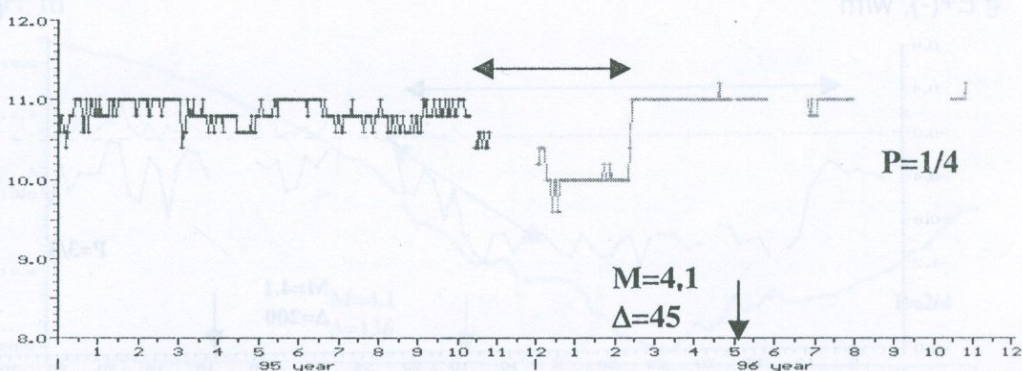


Рис. 28. Вариации: содержания почвенного радона на ст. Ехегнадзор (1), уровня подземных вод на ст. Азатан (2) и концентрации растворенного в минерализованной воде хлора в скв. Ахурик (3).

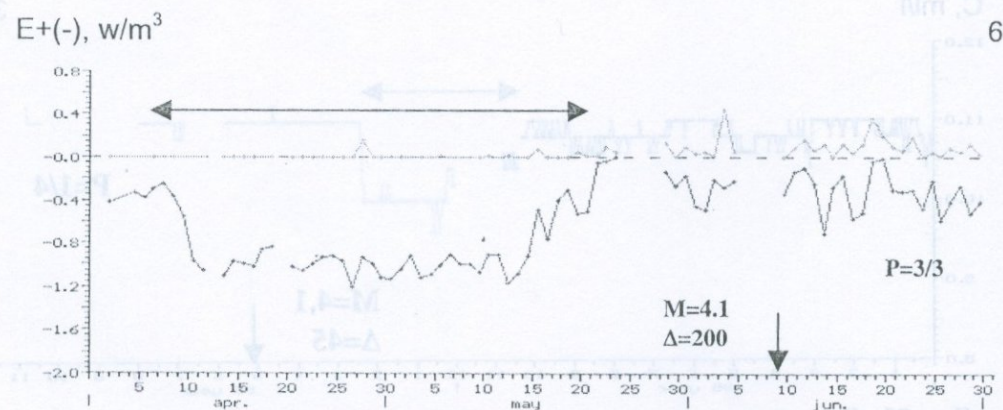
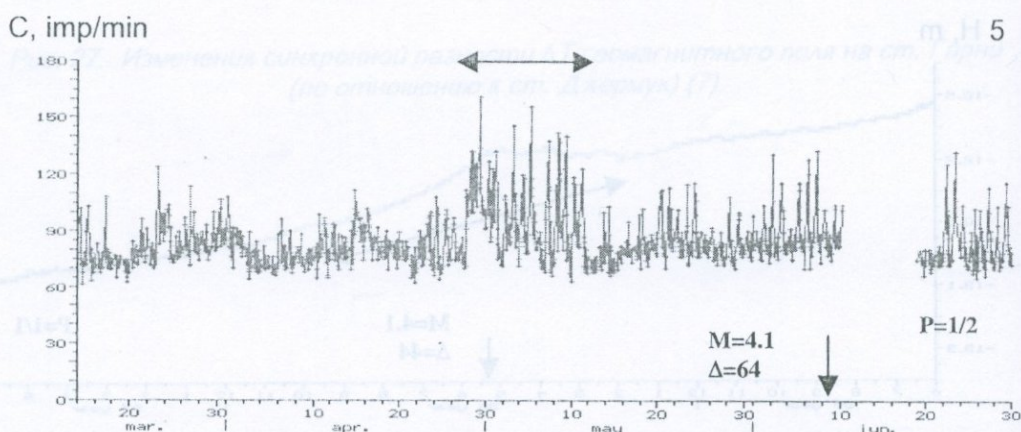
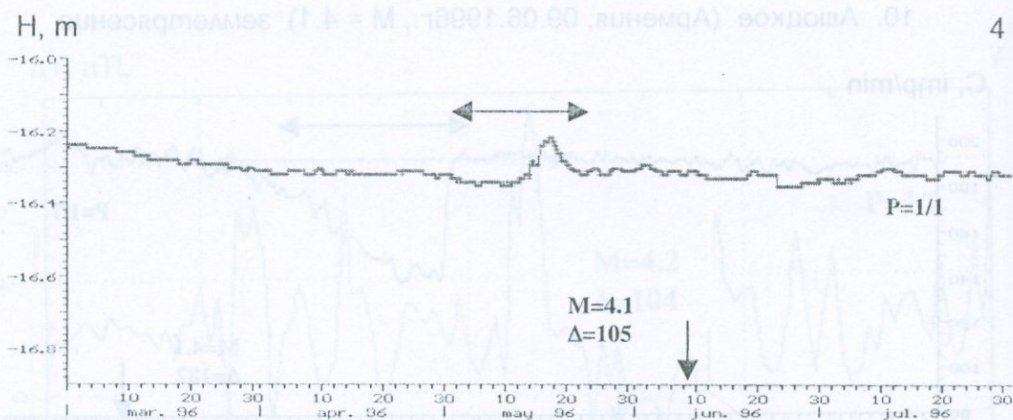


Рис. 29. Изменения: уровня подземных вод на ст. Мецмор (4), содержания почвенного радона на ст. Джаджур (5) и параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Джермук (6).

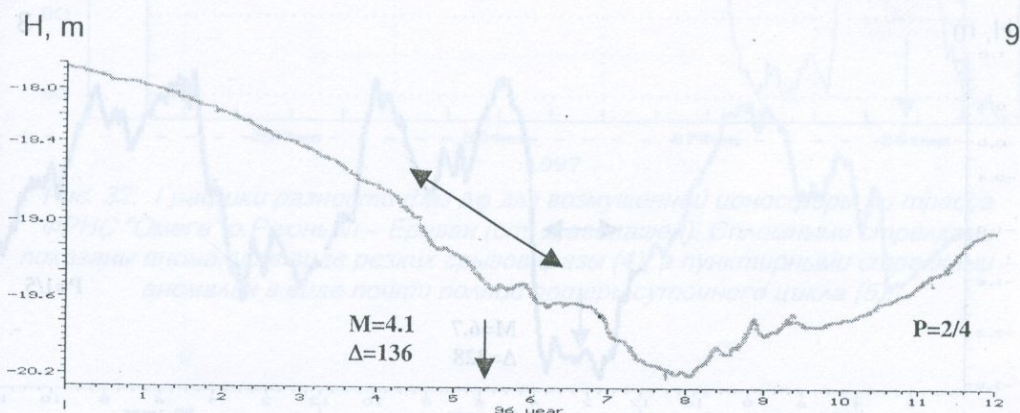
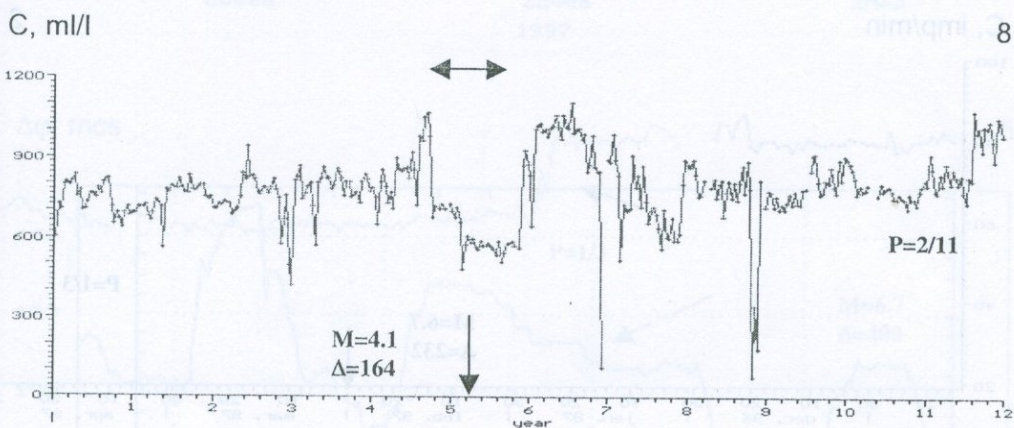
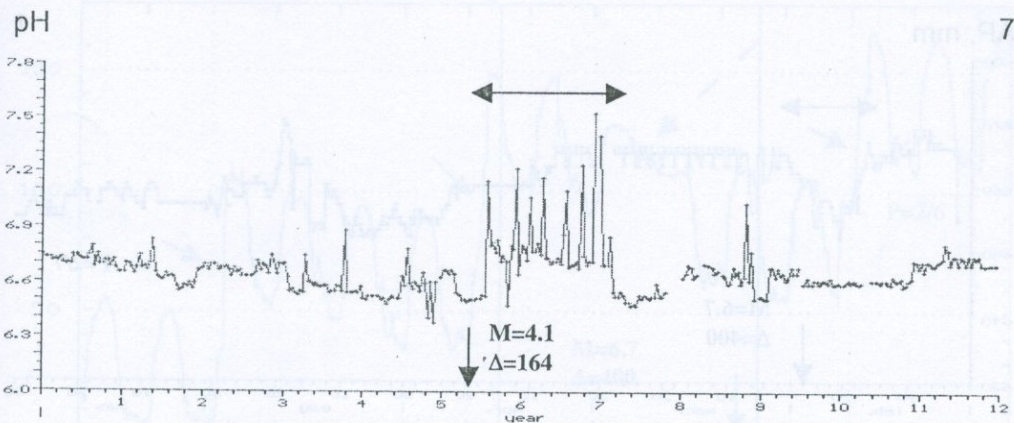
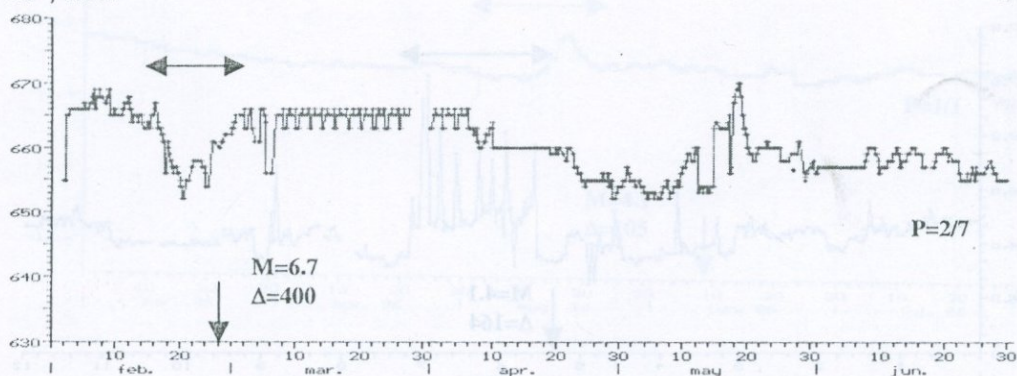


Рис. 30. Вариации: величины pH (7) и концентрации гелия (8) на ст. Карцахпюр, и уровня подземных вод на ст. Арташат (9).

11. Ардебильское (Иран, 28.02.97г., $M = 6.7$) землетрясение

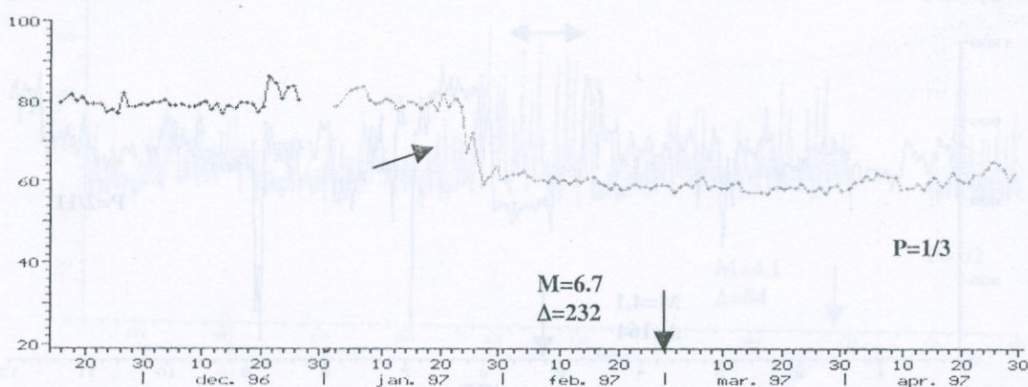
AP, mm

1



C, imp/min

2



H, m

3

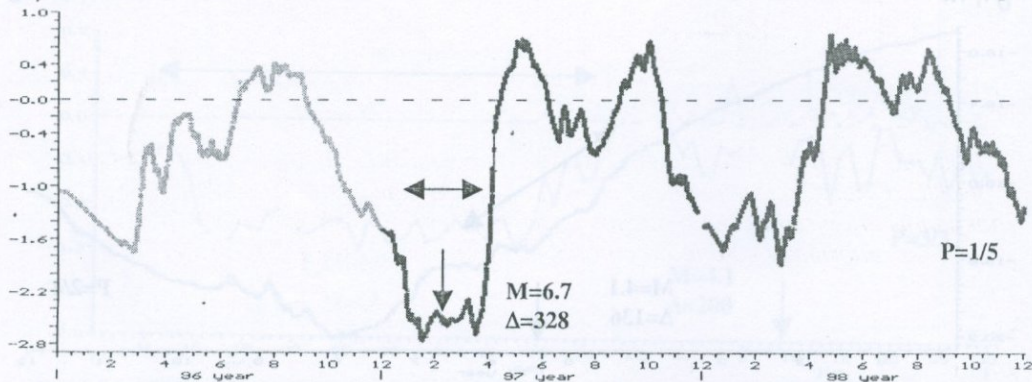
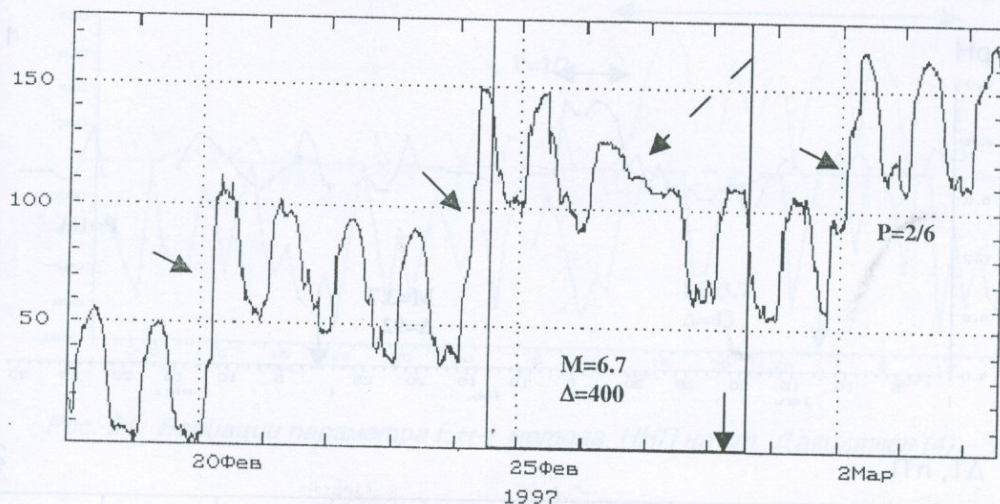


Рис. 31. Изменения: атмосферного давления на ст. Давидашен (1), содержания подпочвенного радона на ст. Горис (2), и уровня подземных вод на ст. Ехегнадзор (3).

$\Delta\phi$, mcs

4

 $\Delta\phi$, mcs

5

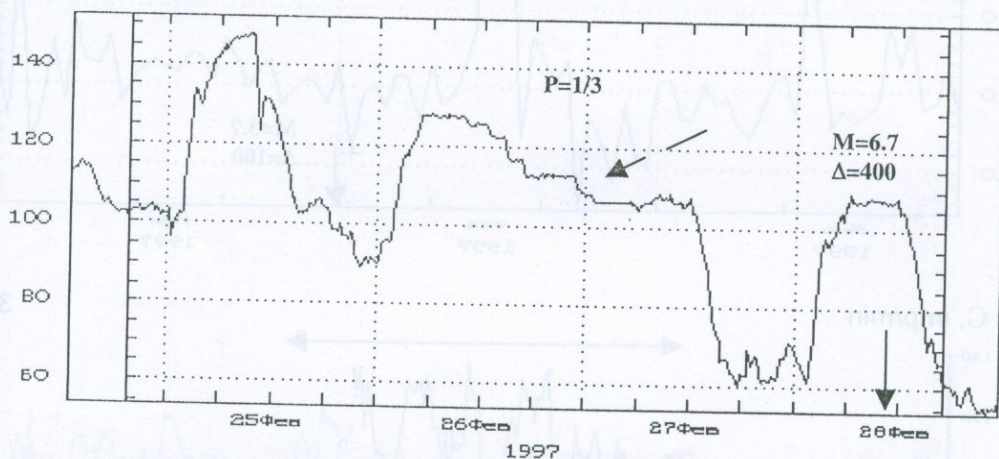


Рис. 32. Графики разности фаз $\Delta\phi$ для возмущенной ионосферы по трассе ФРНС "Омега" о.Реюньон – Ереван (ст. Давидашен). Сплошными стрелками показаны аномалии в виде резких срывов фазы (4), а пунктирными стрелками – аномалия в виде почти полной потери суточного цикла (5).

12. Паракарское (Армения, 01.03.1997г, $M = 3.7$) землетрясение

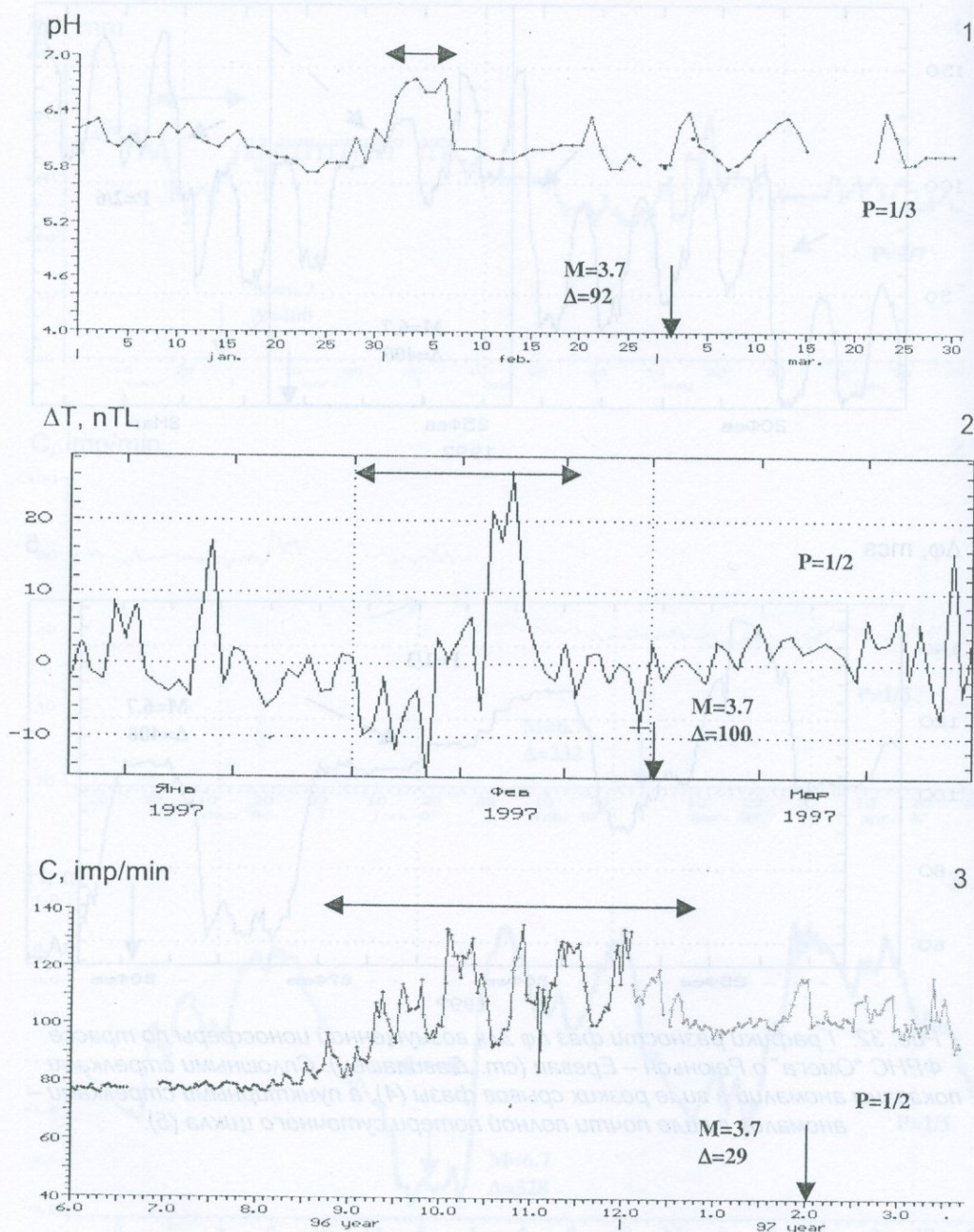


Рис. 33. Изменения: величины pH минерализованной воды в скв. Ахурик (1), синхронной разности напряженности геомагнитного поля ΔT на ст. Степанаван (по отношению к ст. Джермук) (2) и содержания почвенного радона на ст. Мецмор (3).

$E+(-), \text{w/m}^3$

4

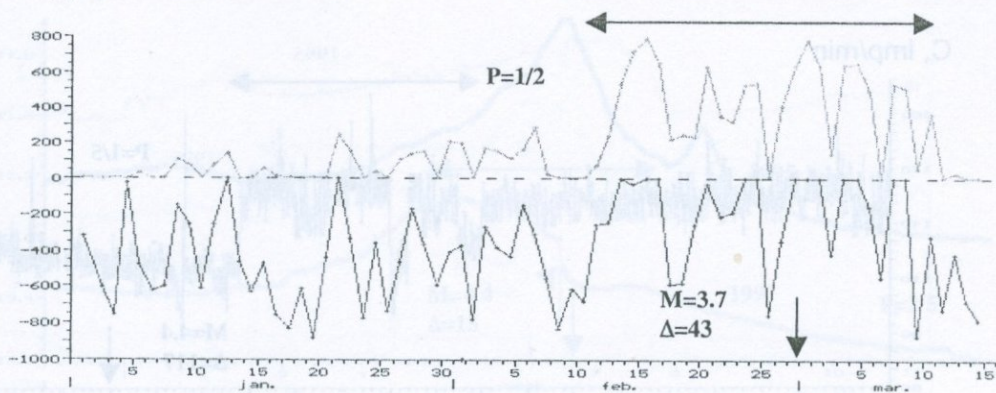


Рис. 34. Вариации параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Давидашен (4).

13. Ноемберянское (Армения, 18.07.1997г., $M = 4.4$) землетрясение

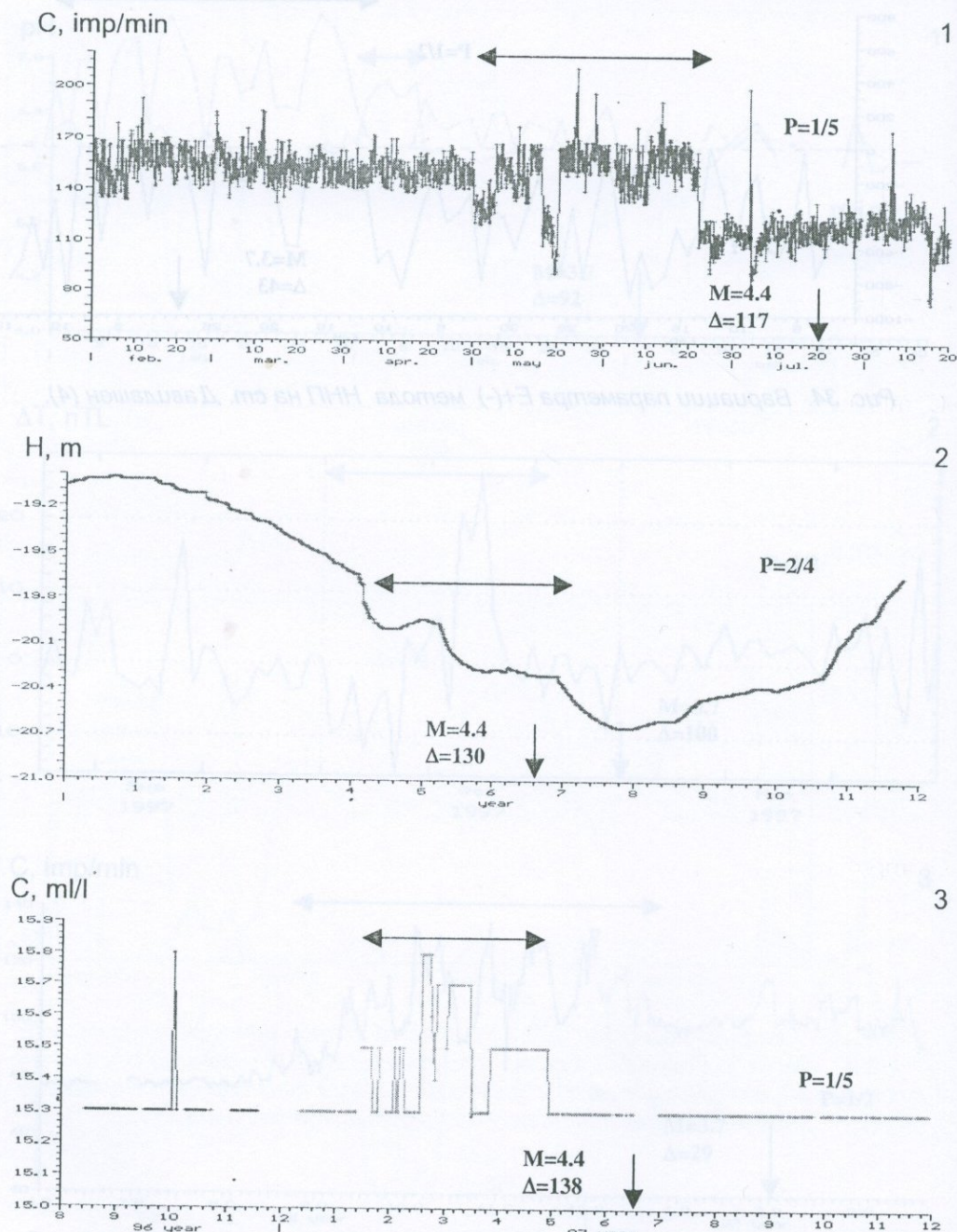
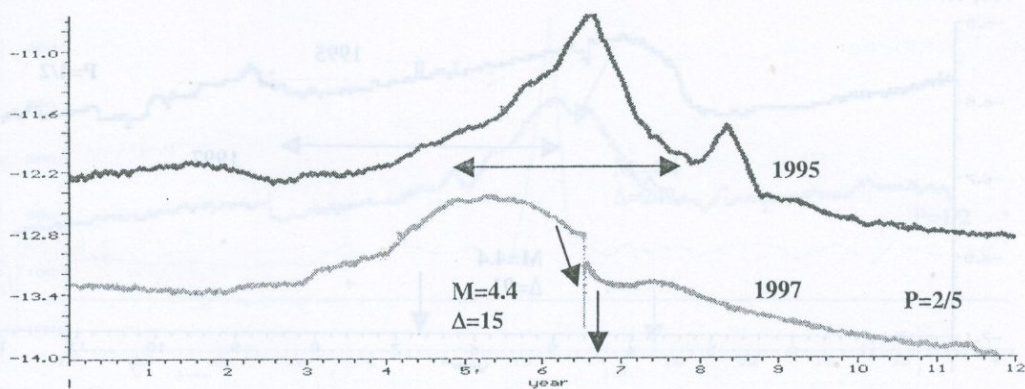


Рис. 35. Вариации: содержания почвенного радона на ст. Аруч (1), уровня подземных вод на ст. Арташат (2) и концентрации HCO_3 в минерализованной воде в скв. Арарат (3).

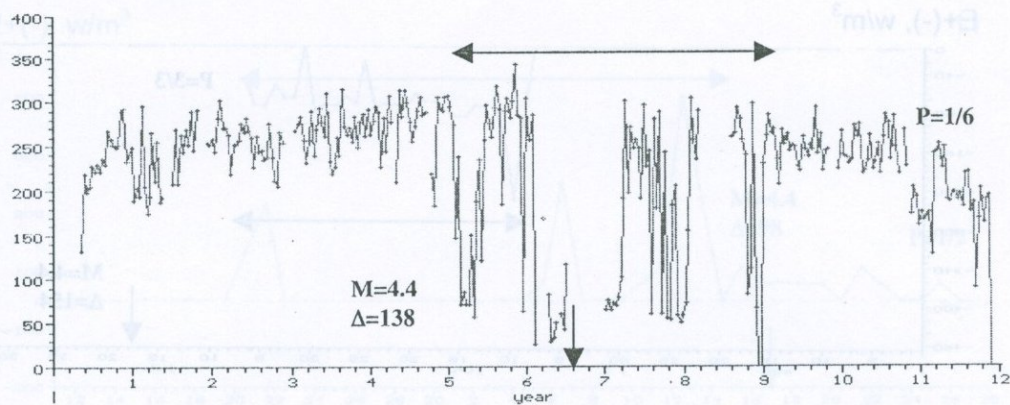
H, m

4



C, ml/l

5



C, imp/min

6

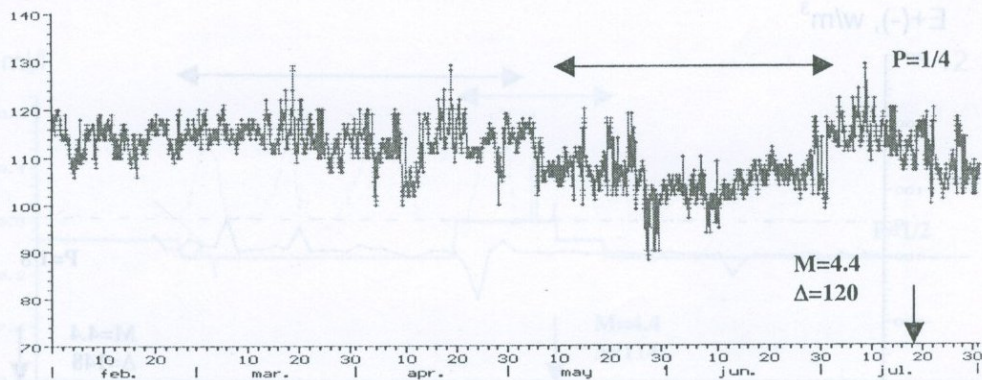


Рис. 36. Изменения: уровня подземных вод на ст. Ноемберян (4), концентрации гелия в минерализованной воде в скв. Арарат (5) и содержания почвенного радона на ст. Варденис (6).

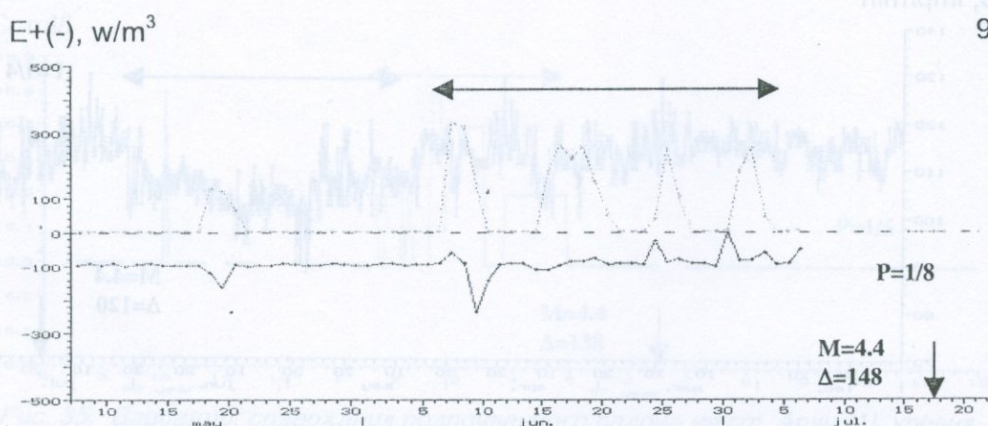
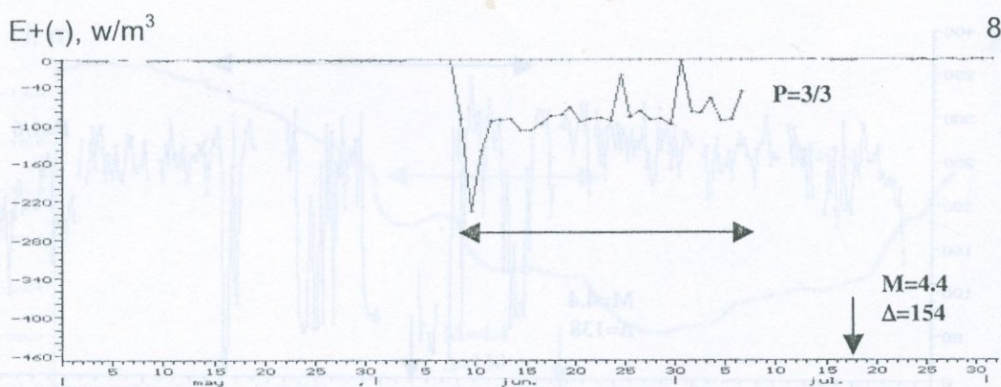
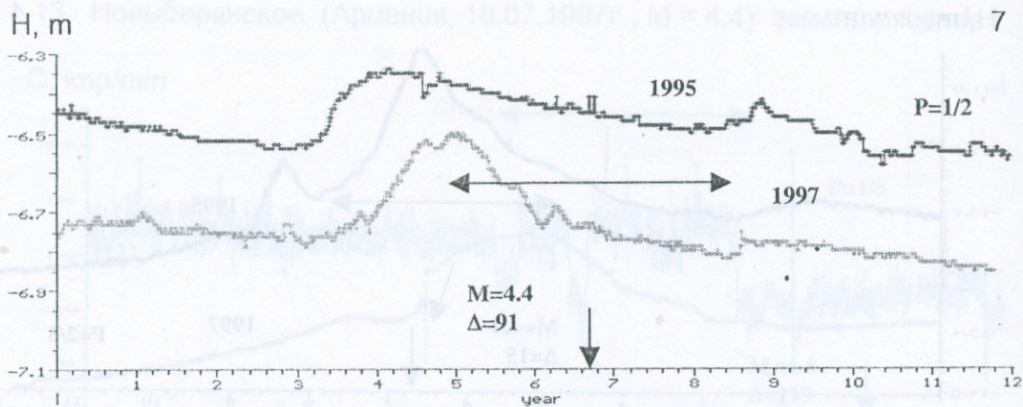


Рис. 37. Изменения: уровня подземных вод на ст. Ашоцк (7), параметра $E+(-)$ Метода ННП на ст. Джермук (8) и ст. Ехегнадзор (9).

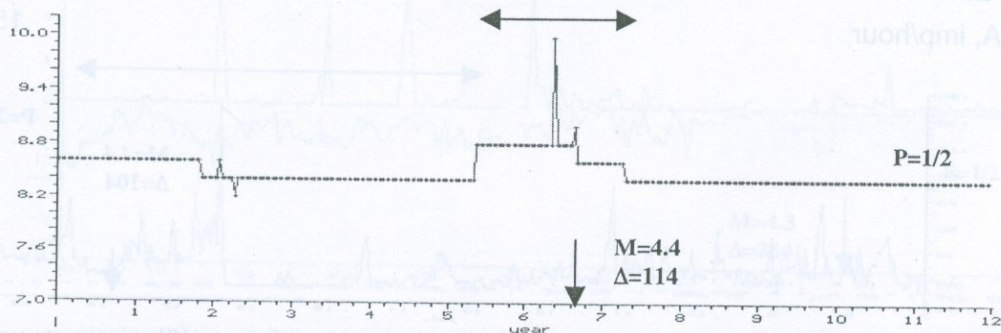
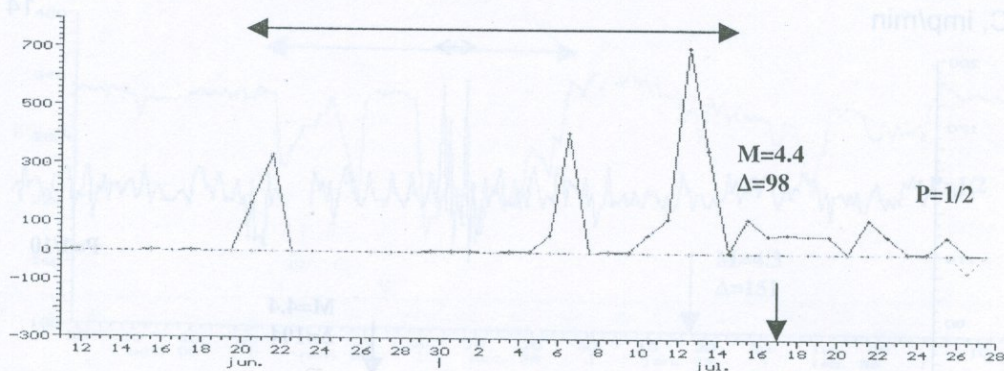
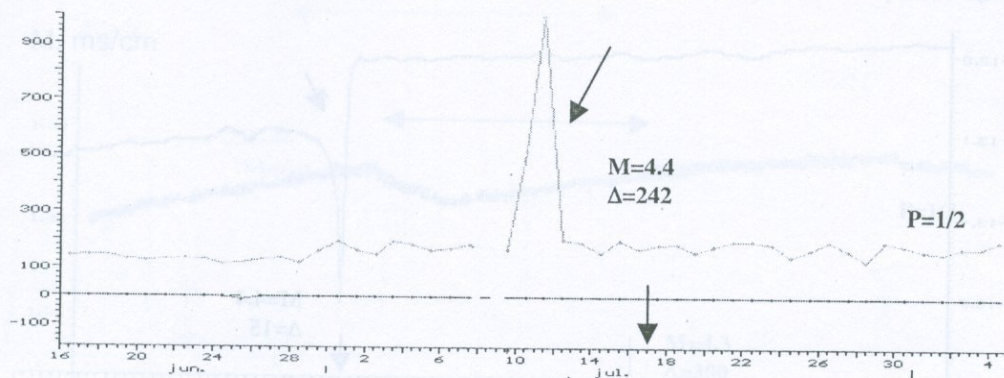
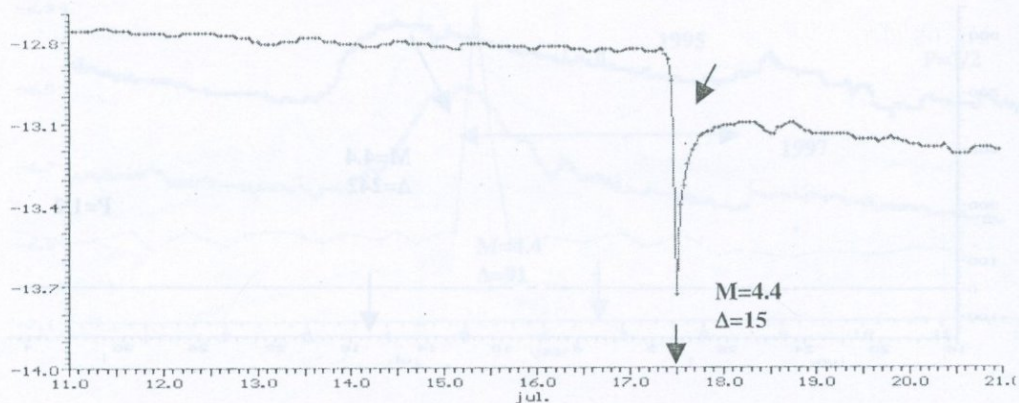


Рис. 38. Вариации: параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Каджаран (10) и ст. Гюмри (11) и концентрации хлора в минерализованной воде в скв. Карчахпюр (12).

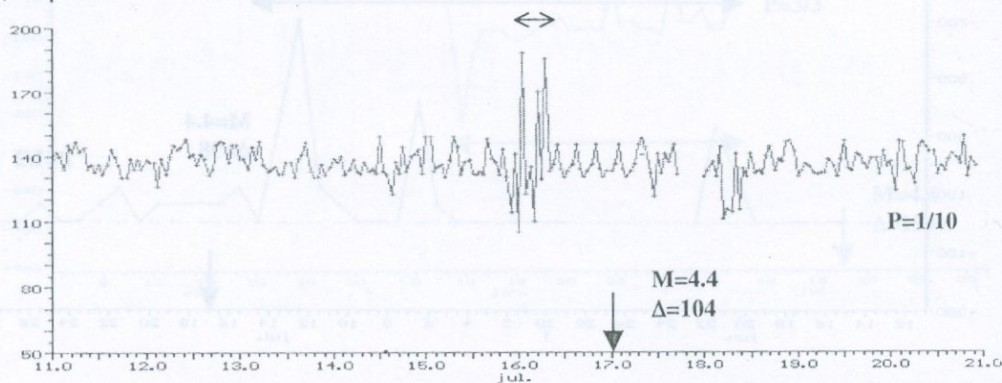
H, m

13



C, imp/min

14



A, imp/hour

15

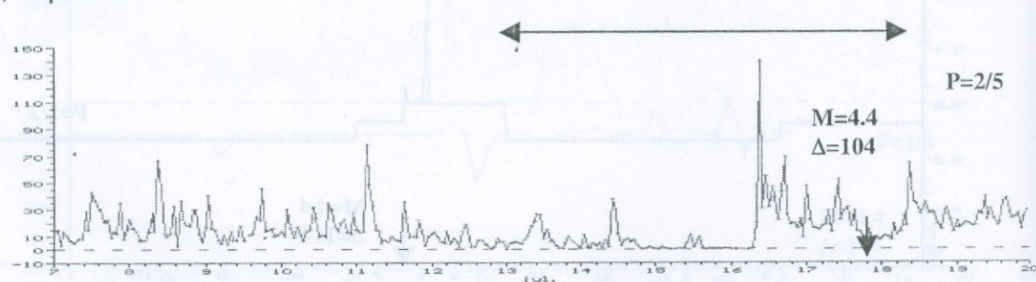


Рис. 39. Изменения: уровня подземных вод на ст. Ноемберян (13), содержания почвенного радона (14) и активности аквариумных рыб (15) на ст. Давидашен.

14. Джавахетское (Армения, 15.01.1999г., $M = 4.3$) землетрясение

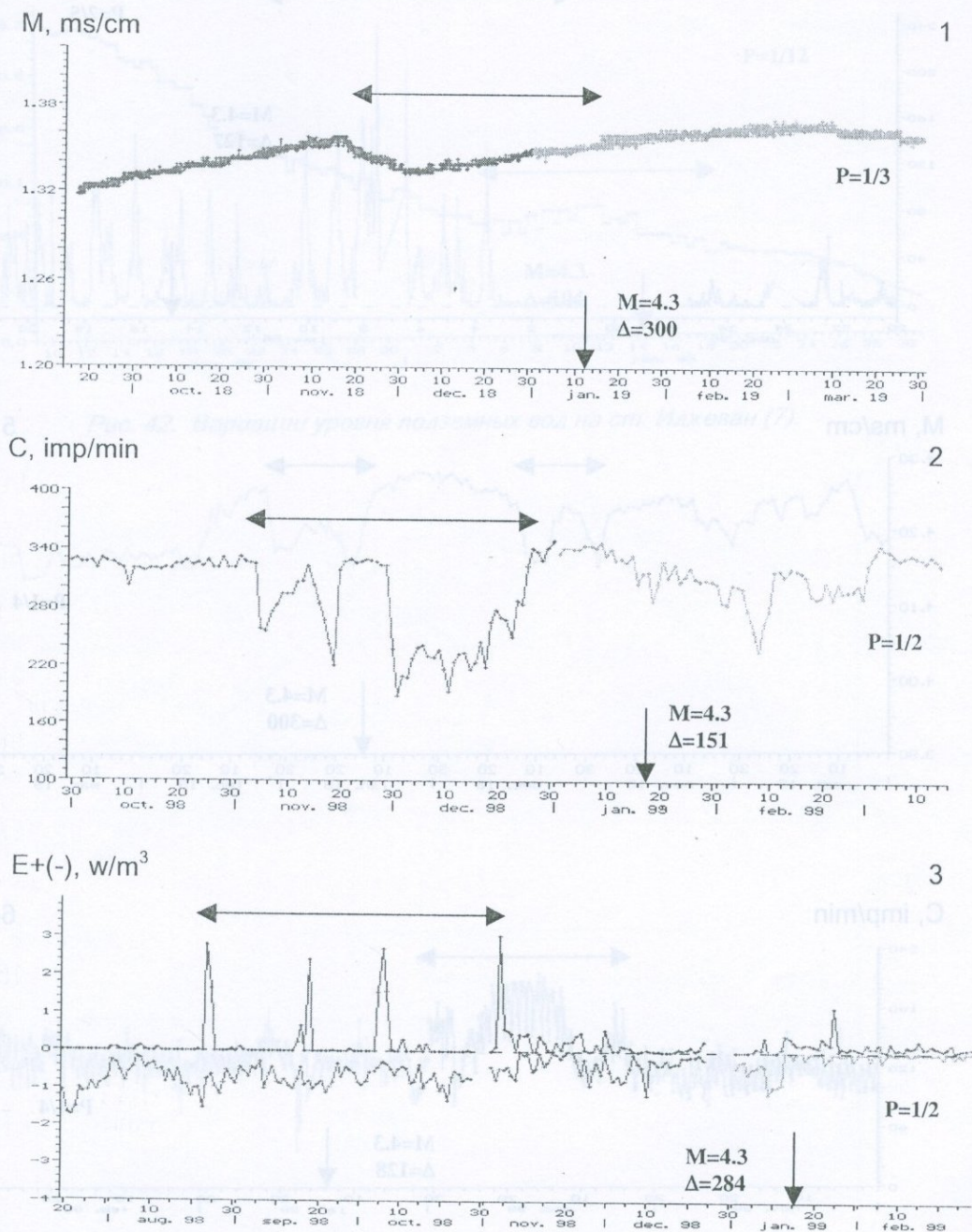


Рис. 40. Вариации: электропроводности минерализованной воды в скв. Каджаран-А (1), содержания почвенного радона на ст. Двин (2) и параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Степанакерт (3).

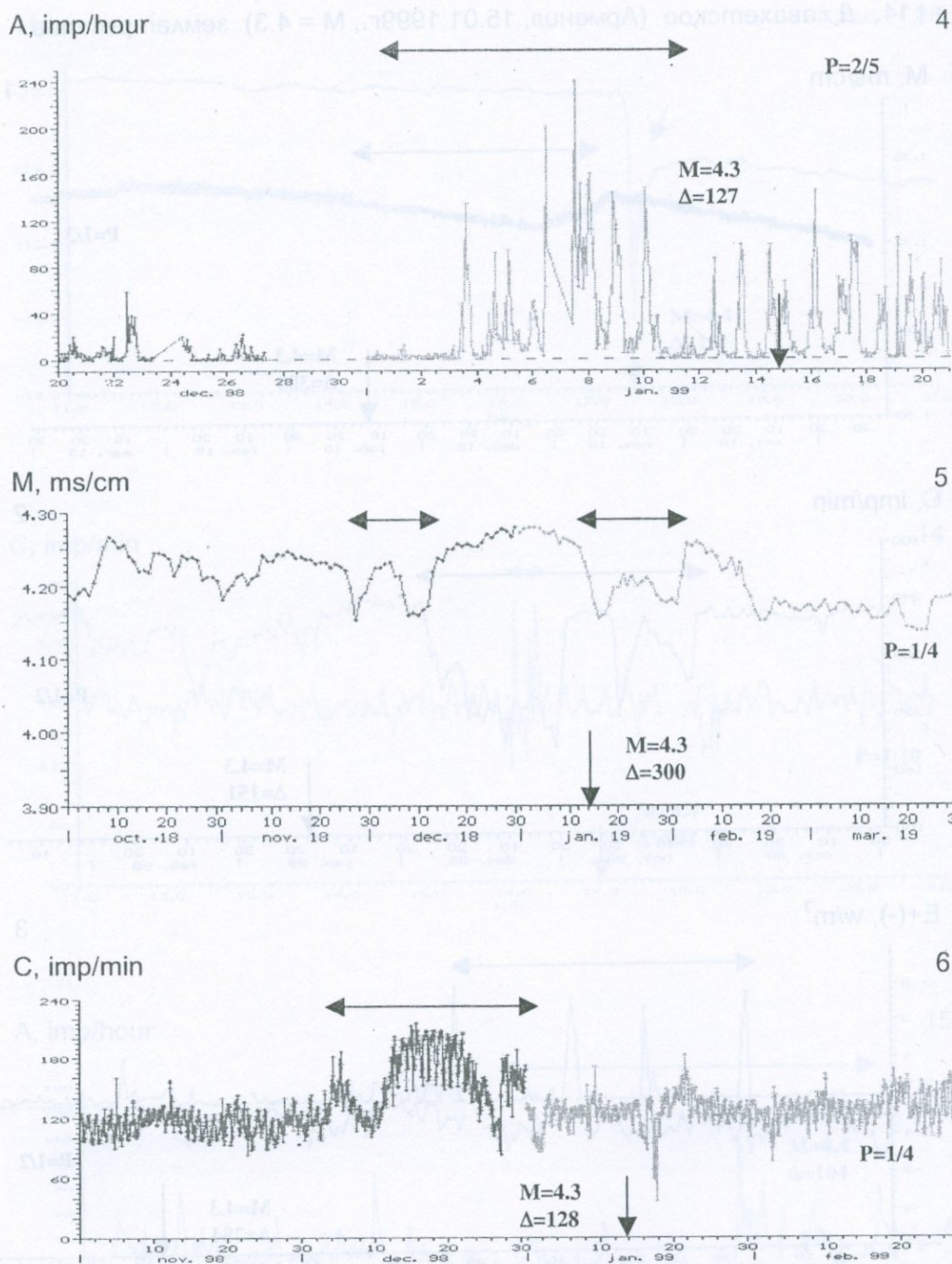


Рис. 41. Изменения: активности аквариумных рыб на ст. Давидашен (4), электропроводимости минерализованных вод в скв. Каджаран-В (5) и содержания почвенного радона на ст. Мецмор (6).

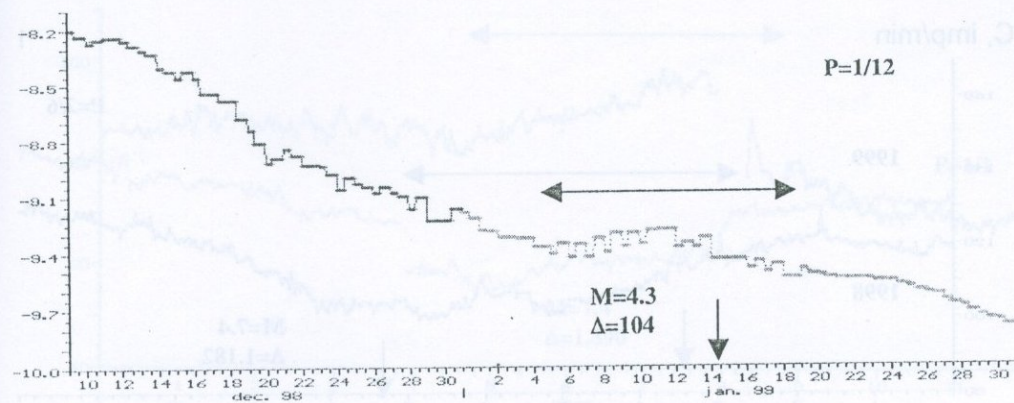
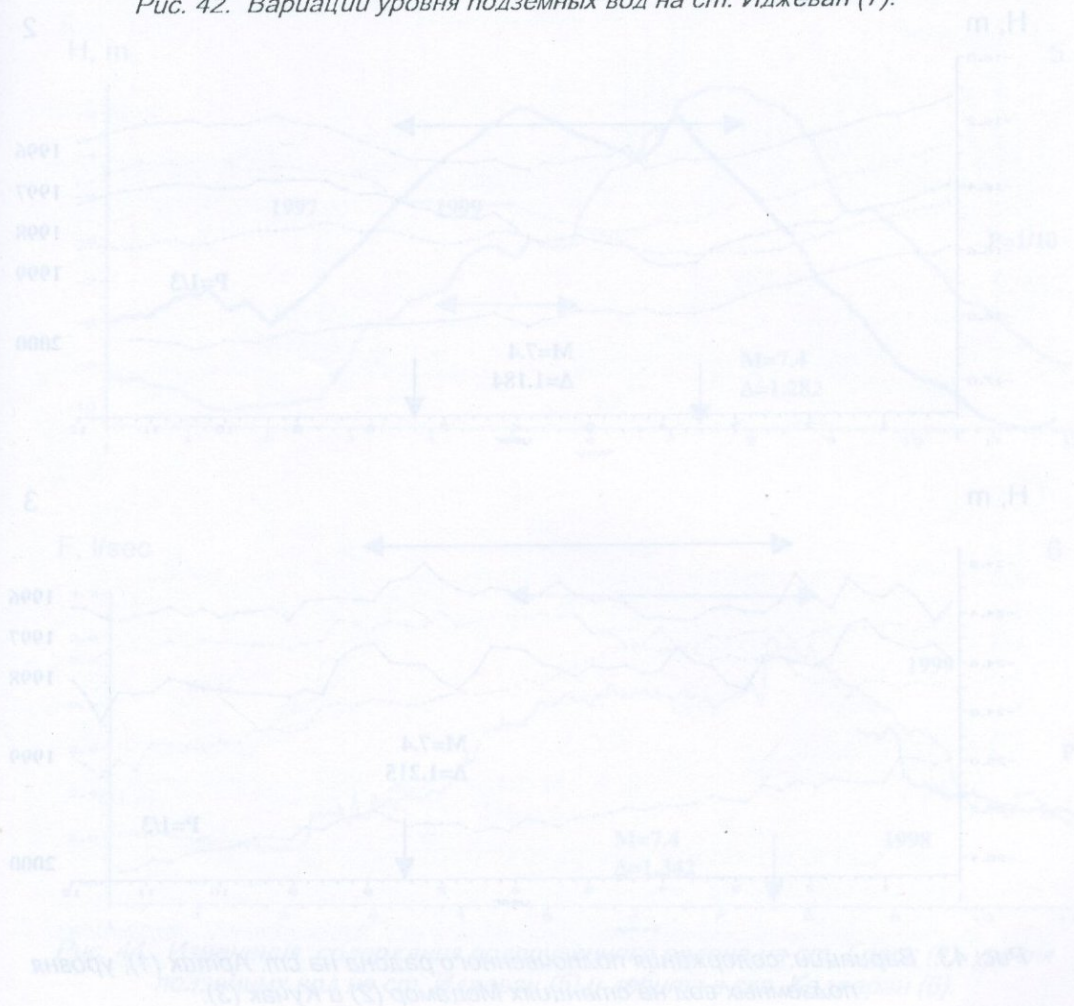
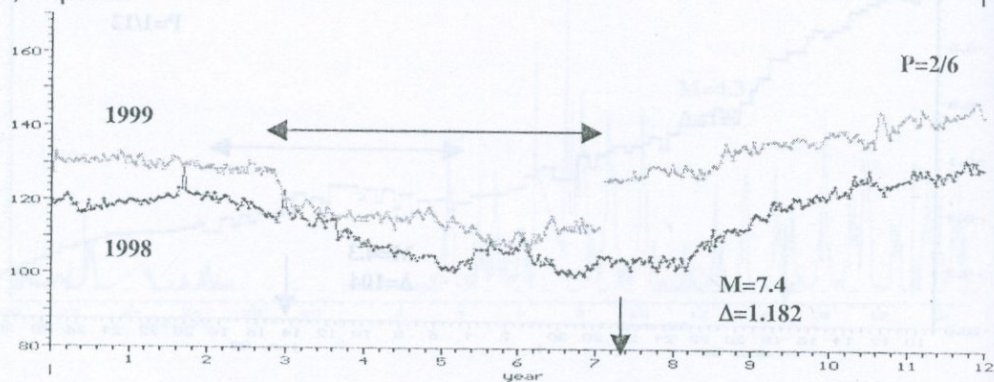


Рис. 42. Вариации уровня подземных вод на ст. Иджеван (7).

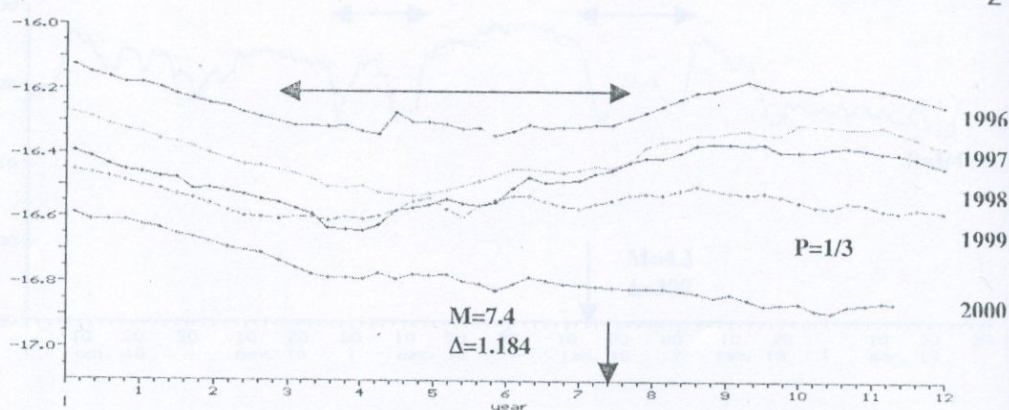


15. Измитское (Турция, 17.08.1999г., $M = 7.4$) землетрясение

C, imp/min



H, m



H, m

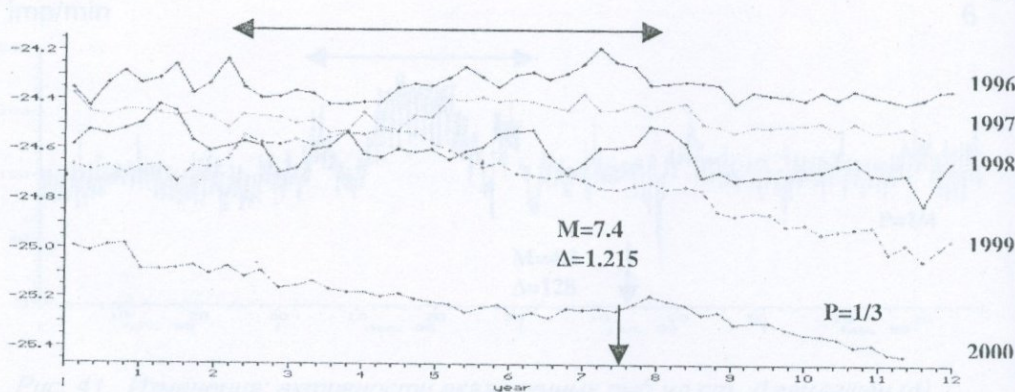
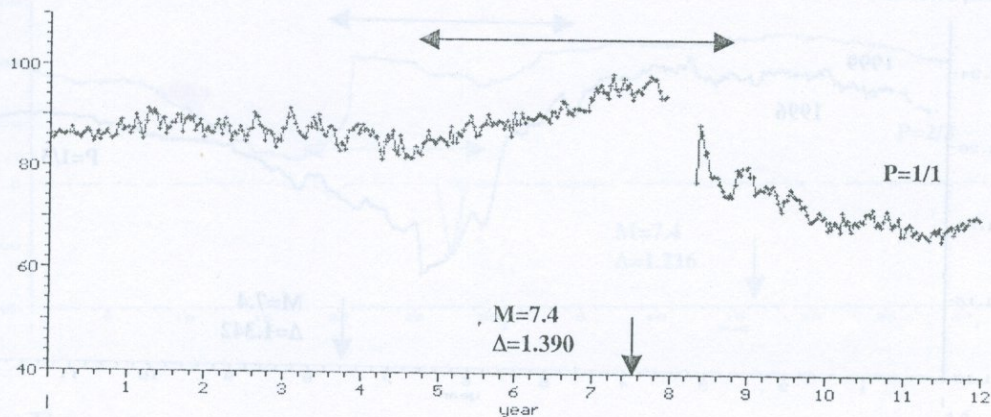


Рис. 43. Вариации: содержания почвенного радона на ст. Артик (1), уровня подземных вод на станциях Мецмор (2) и Кучак (3).

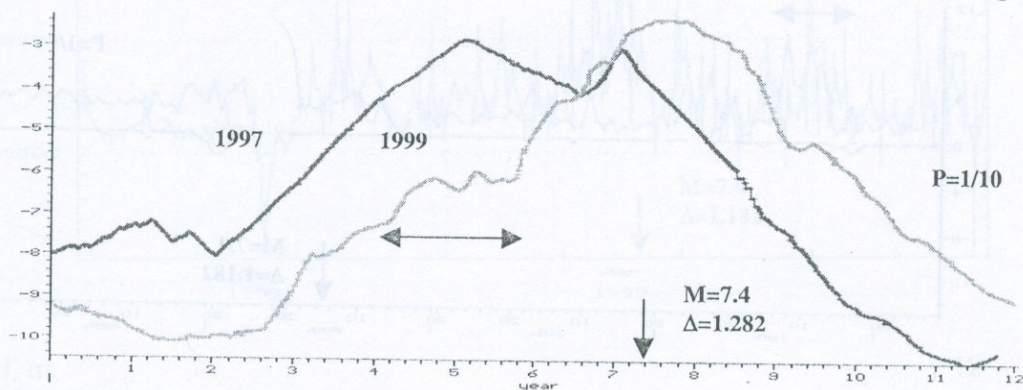
C, imp/min

4



H, m

5



F, l/sec

6

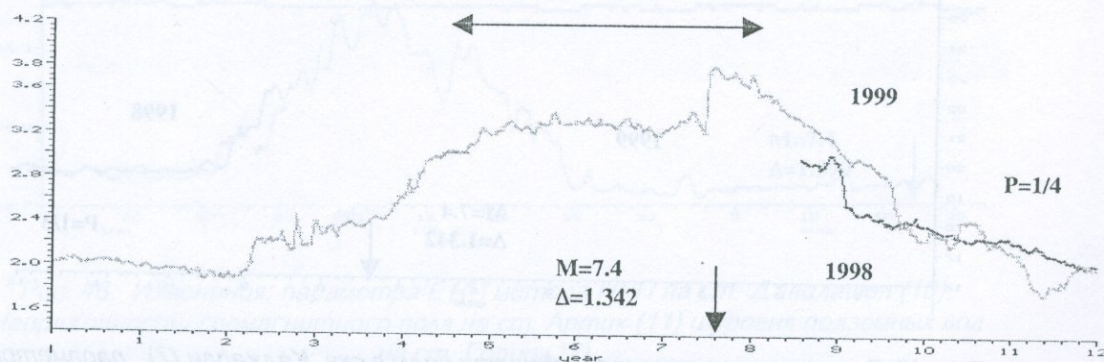


Рис. 44. Изменения: содержания подпочвенного радона на ст. Горис (4), уровня подземных вод на ст. Иджеван (5) и дебита в скв. Каджаран (6).

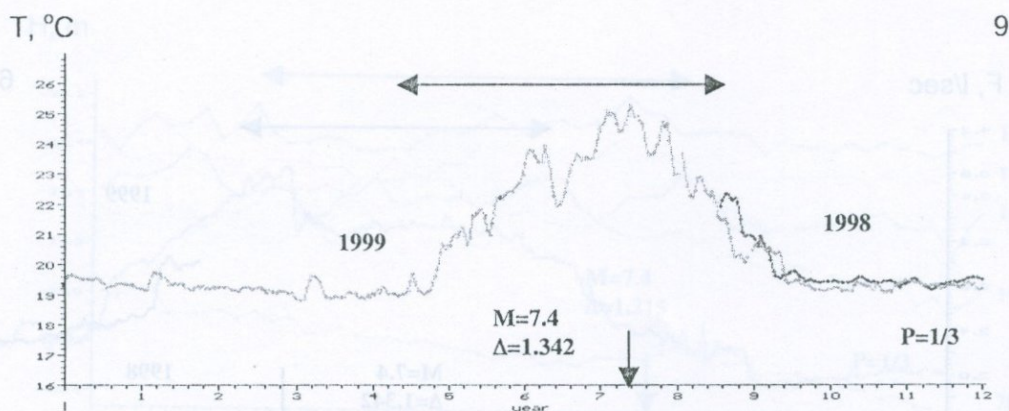
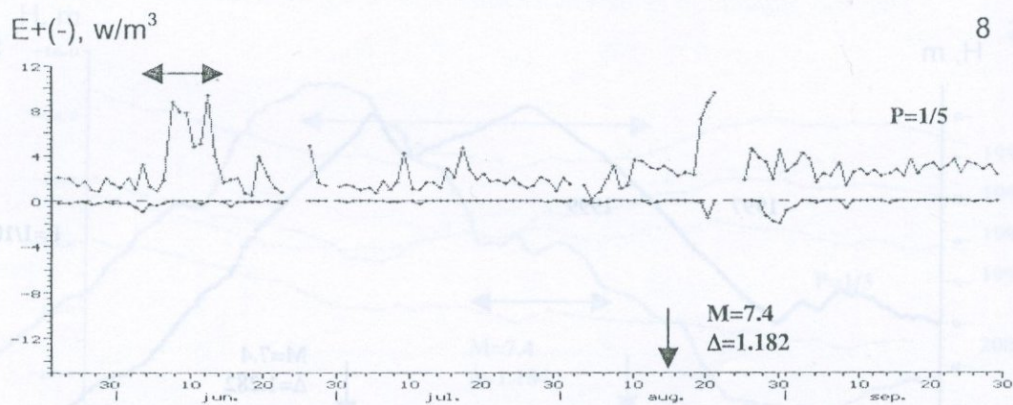
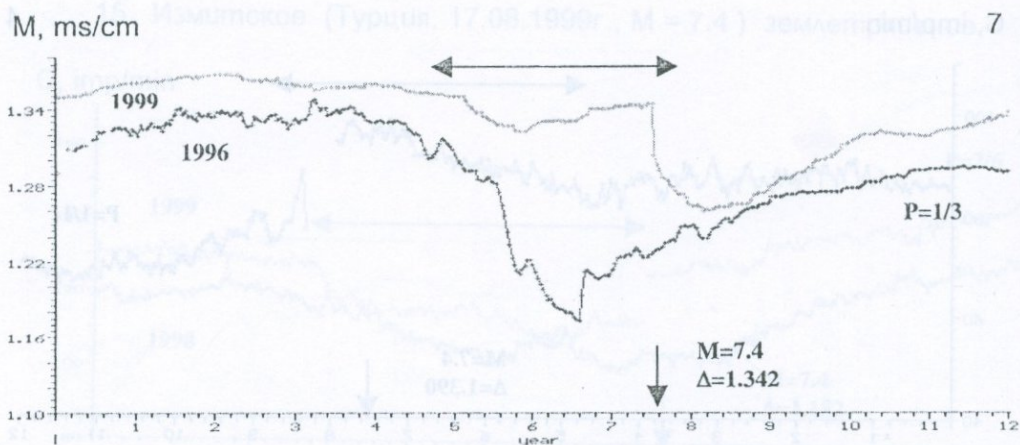
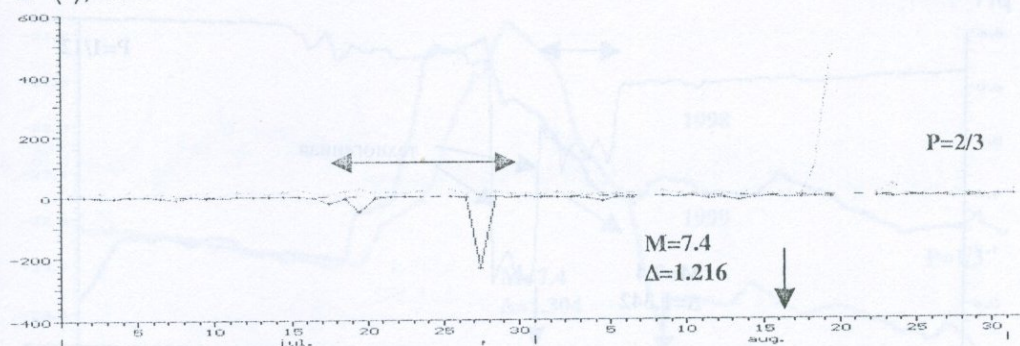


Рис. 45. Вариации: электропроводности воды в скв. Каджаран (7), параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Артик (8) и температуры воды в скв. Каджаран (9).

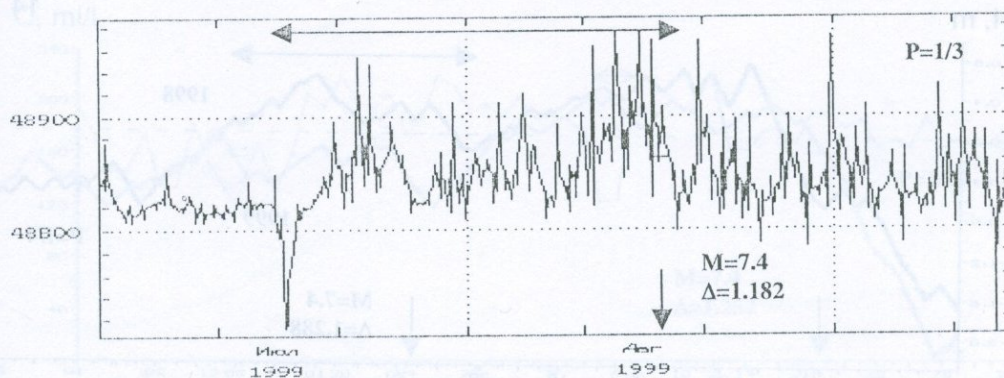
$E(+), w/m^3$

10



T, nTL

11



H, m

12

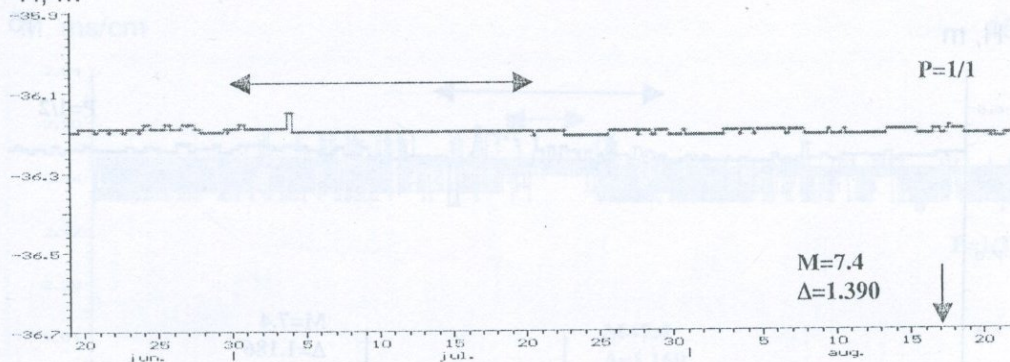


Рис. 46. Изменения: параметра $E(+)$ метода ННП на ст. Давидашен (10), Напряженности геомагнитного поля на ст. Арктик (11) и уровня подземных вод на ст. Горис (12).

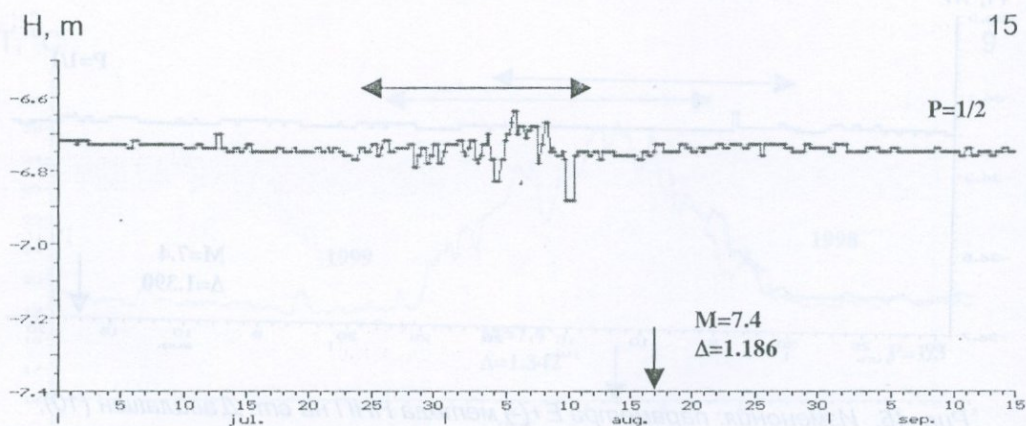
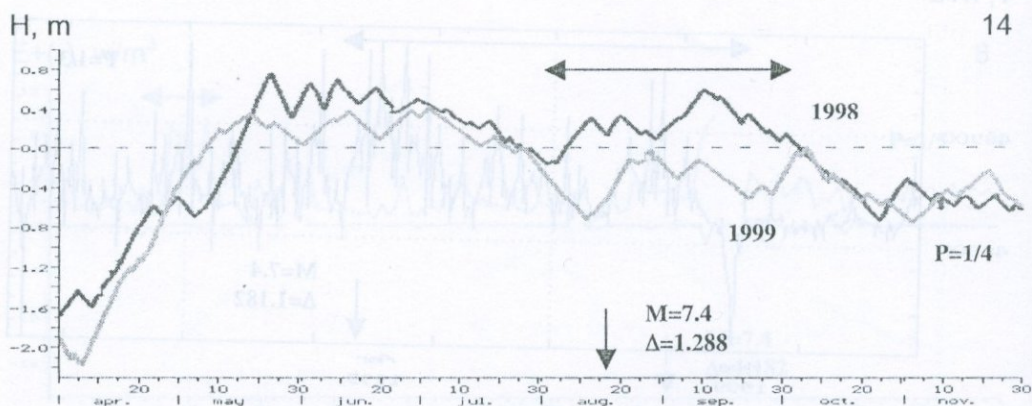
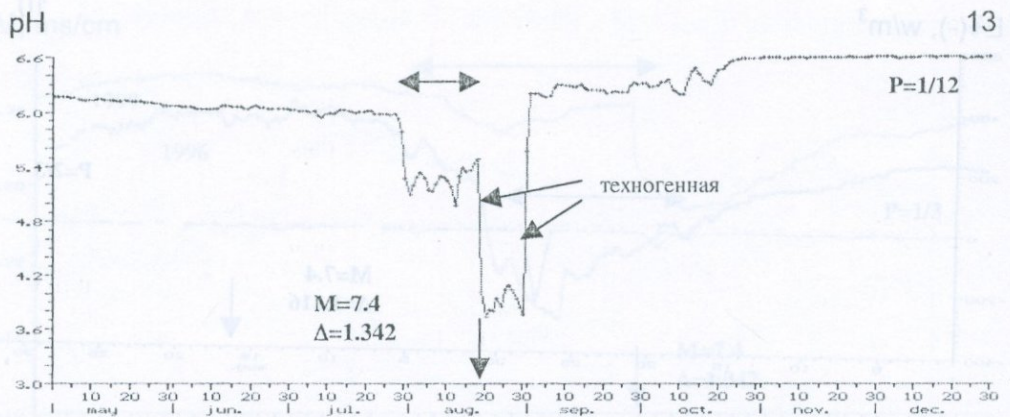
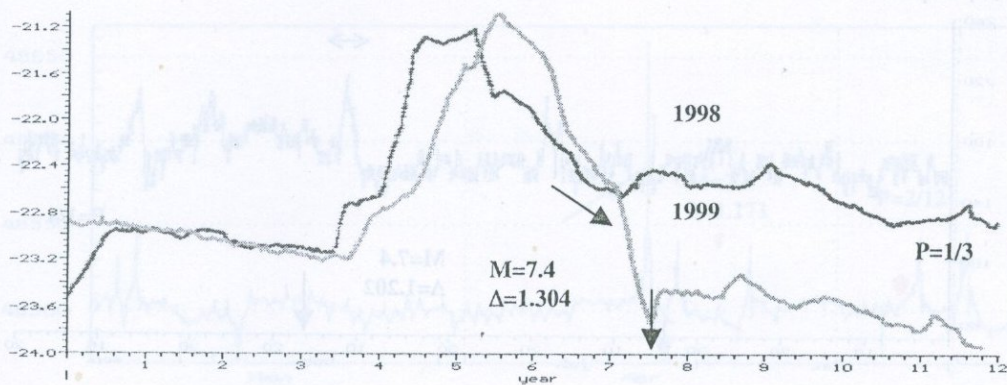


Рис. 47. Вариации: величины pH минерализованной воды в скв. Каджаран (13), уровня подземных вод на станциях Ехегнадзор (14) и Ашоцк (15).

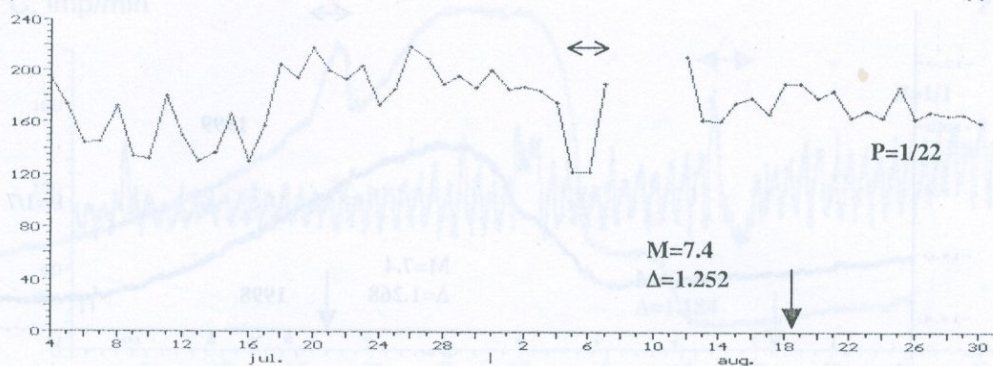
H, m

16



C, ml/l

17



M, ms/cm

18

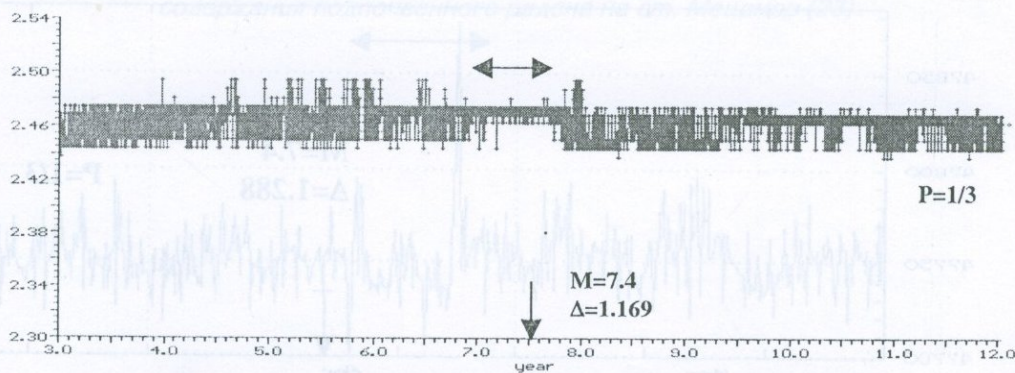
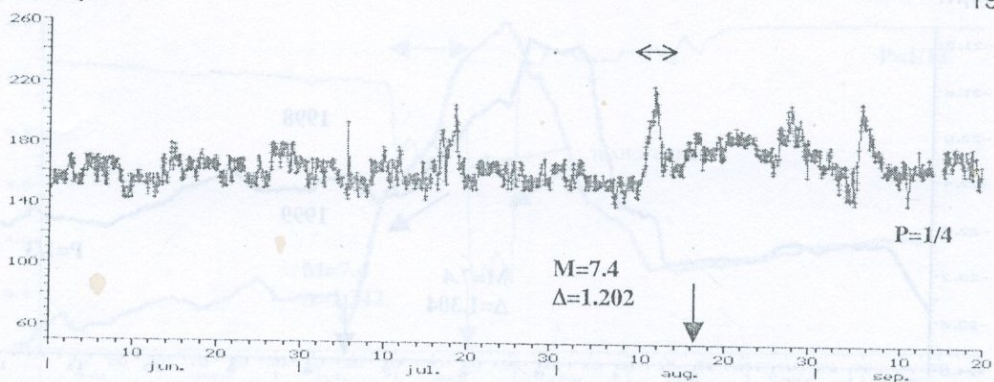


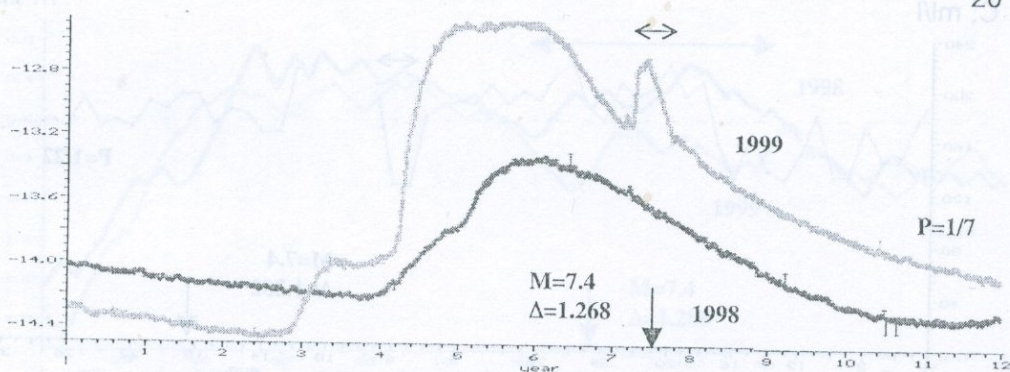
Рис. 48. Изменения: уровня подземных вод на ст. Карцахпюр (16), концентрация гелия в минерализованной воде в скв. Арарат (17) и электропроводности минерализованной воды в скв. Ахурик (18).

C, imp/min



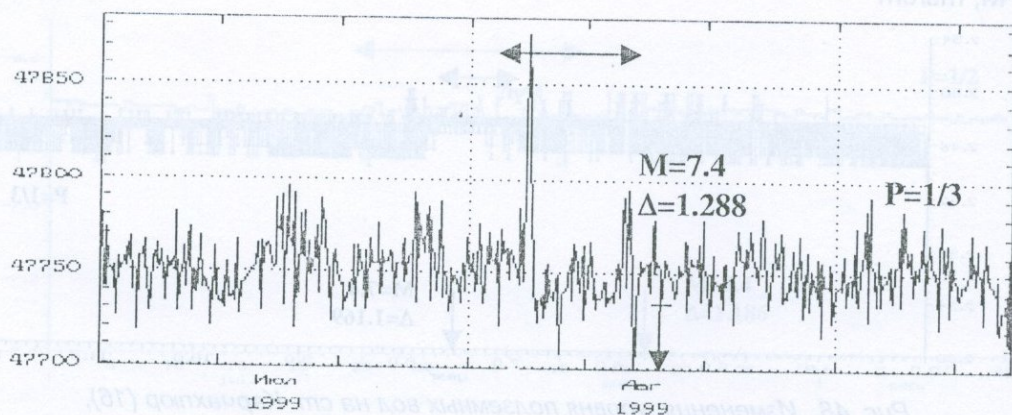
19

H, m



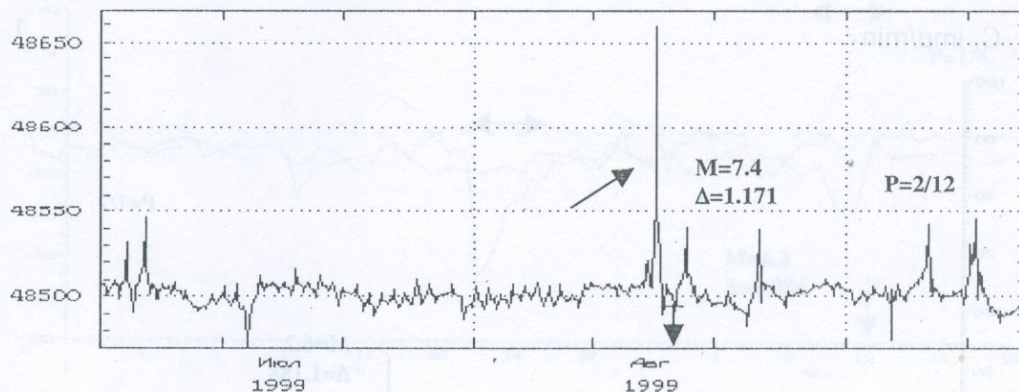
20

T, nTL



21

Рис. 49. Вариации: содержания подпочвенного радона на ст. Ши́ракамут (19), уровня подземных вод на ст. Ное́мберьян (20) и напряженности геомагнитного поля на ст. Е́хегнадзор (21).



C, imp/min

23

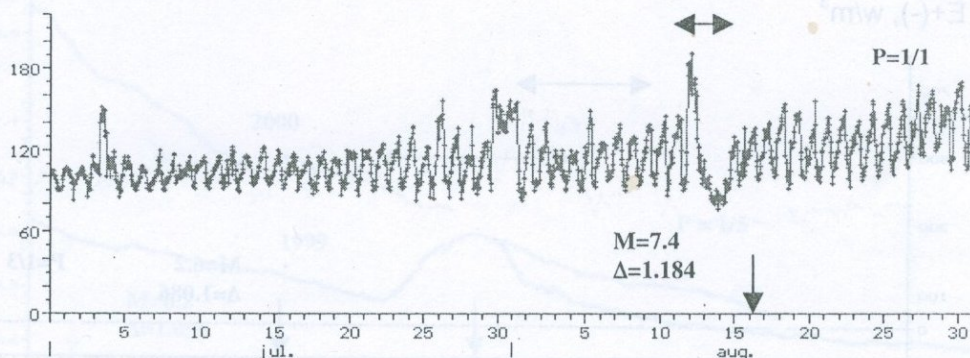


Рис. 50. Изменения: напряженности геомагнитного поля на ст. Бавра (22) и содержания подпочвенного радона на ст. Мецмор (23).

16. Болуйское (Турция, 12.11.1999г., $M=6.2$) землетрясение

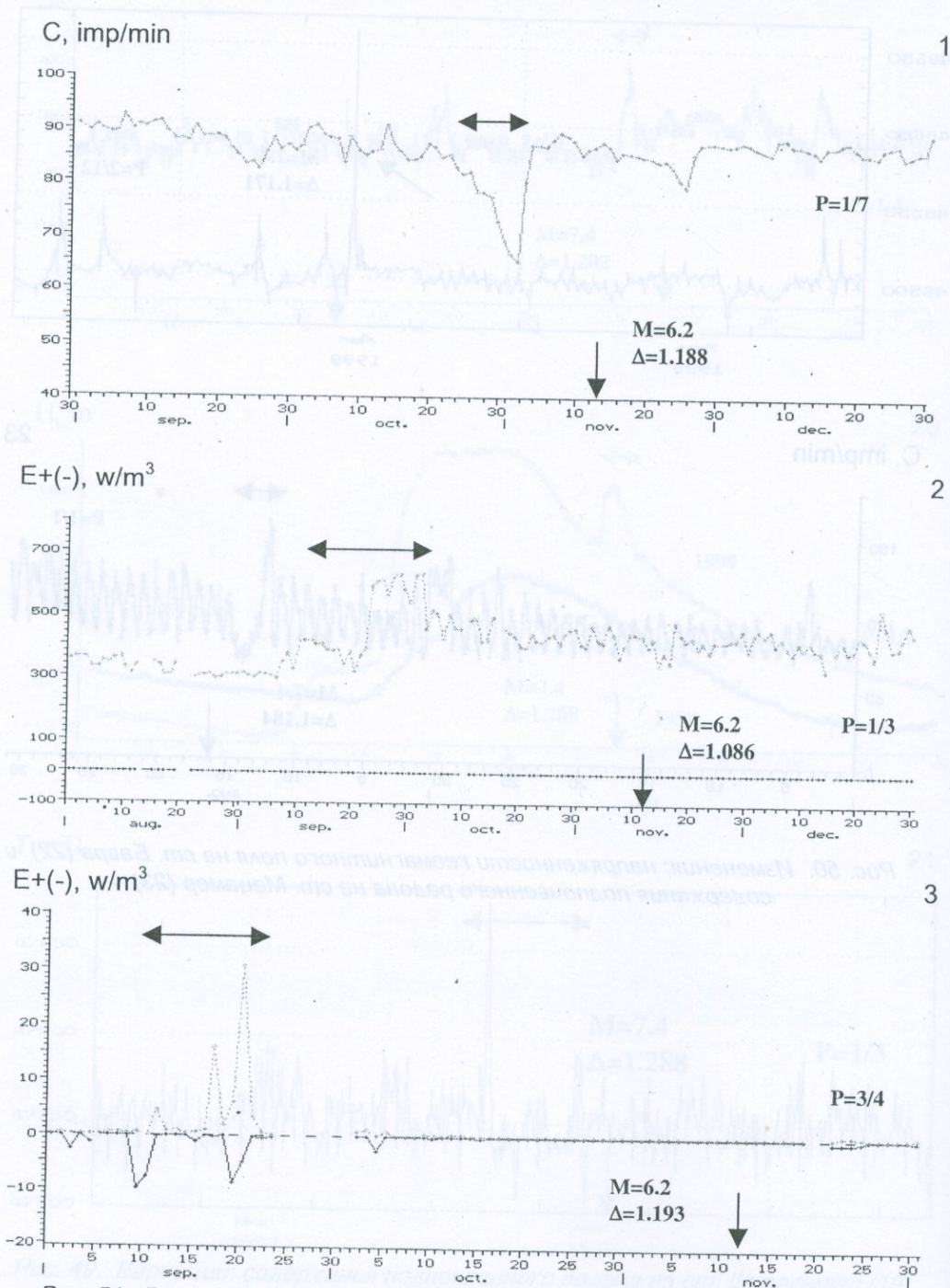


Рис. 51. Вариации: содержания подпочвенного радона на ст. Варденис (1), параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Давидашен (2) и на ст. Джермук (3).

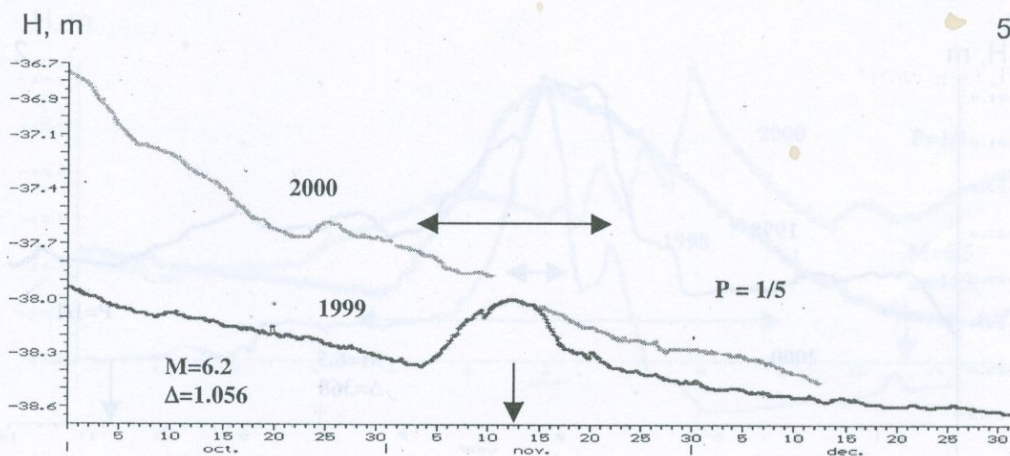
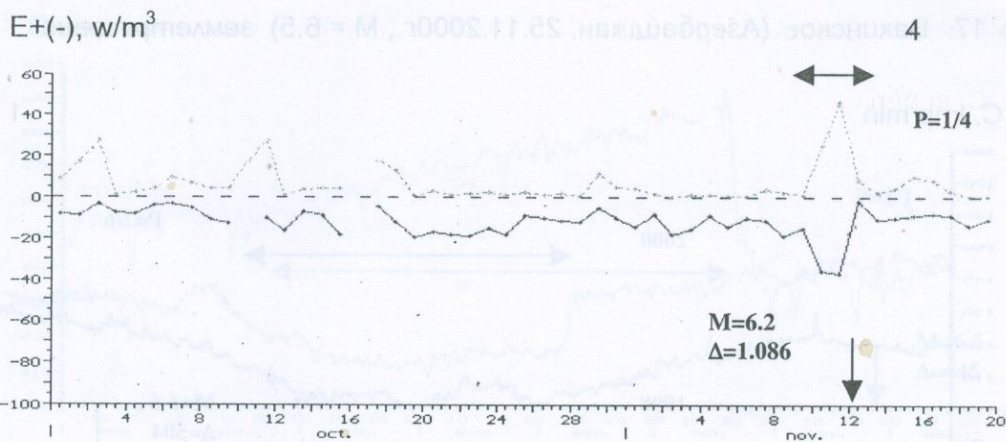
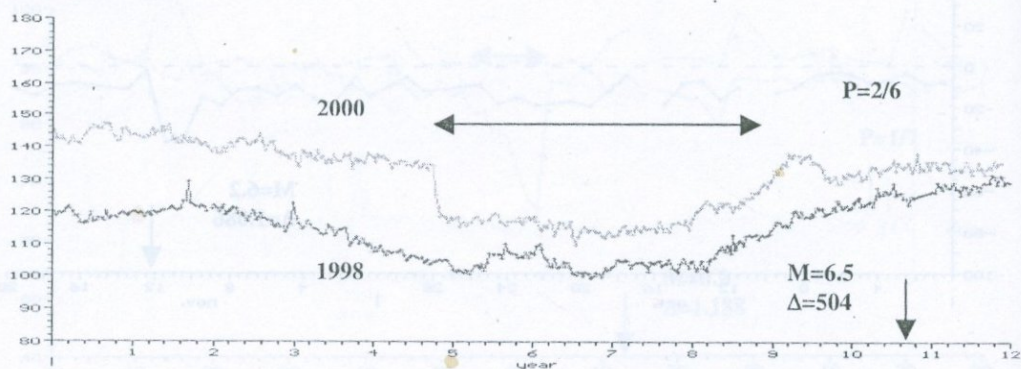


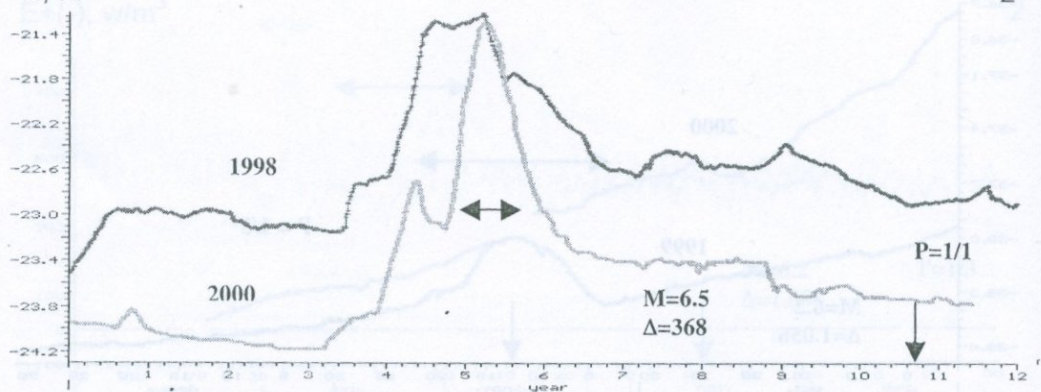
Рис. 52. Изменения: параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Давидашен (4) и уровня подземных вод на ст. Ширакамут (5).

17. Бакинское (Азербайджан, 25.11.2000г., $M = 6.5$) землетрясение

C, imp/min



H, m



C, ml/l

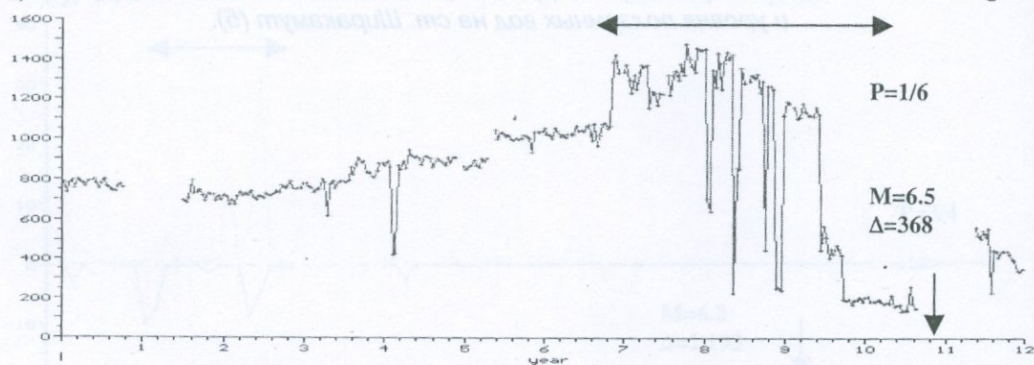
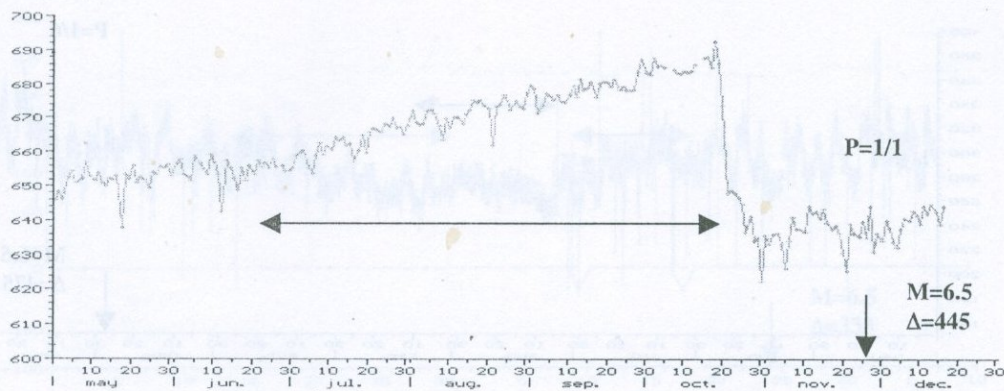


Рис. 53. Изменения: содержания почвенного радона на ст. Артик (1), уровня подземных вод на ст. Карчахпюр (2) и концентрации гелия на ст. Карчахпюр (3).

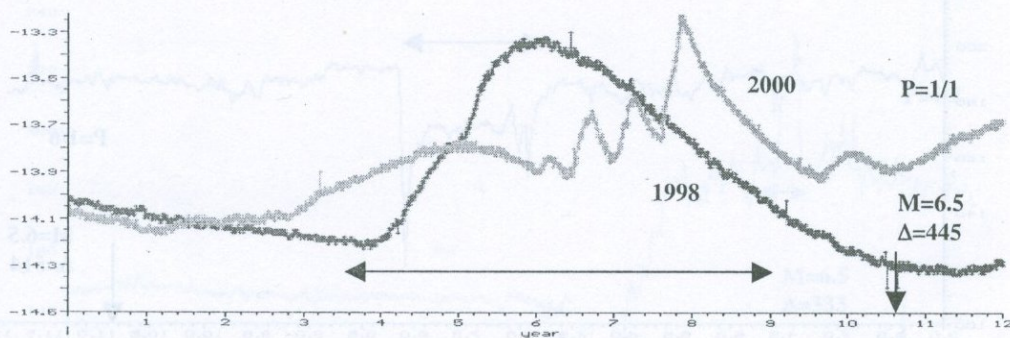
C, imp/min

4



H, m

5



C, imp/min

6

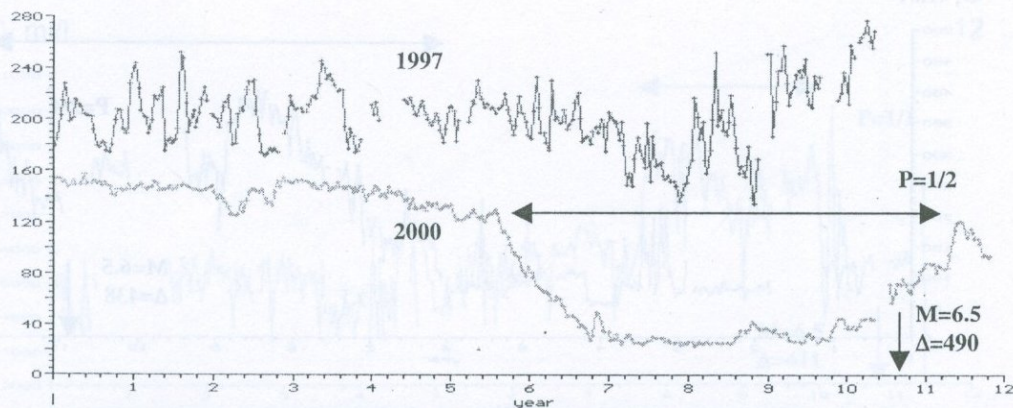
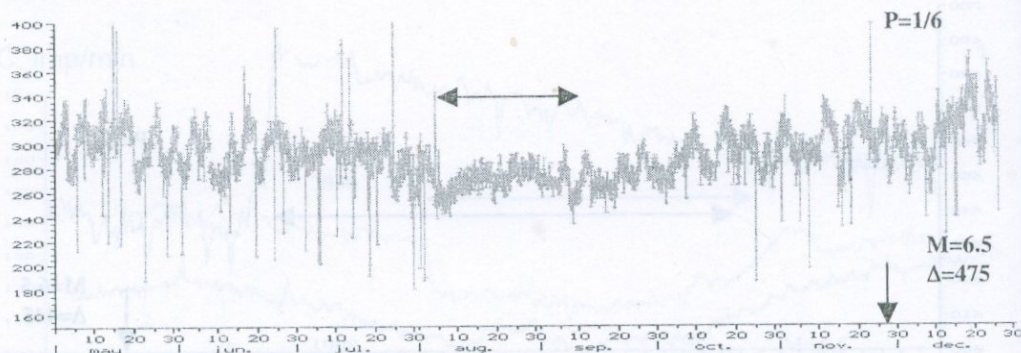
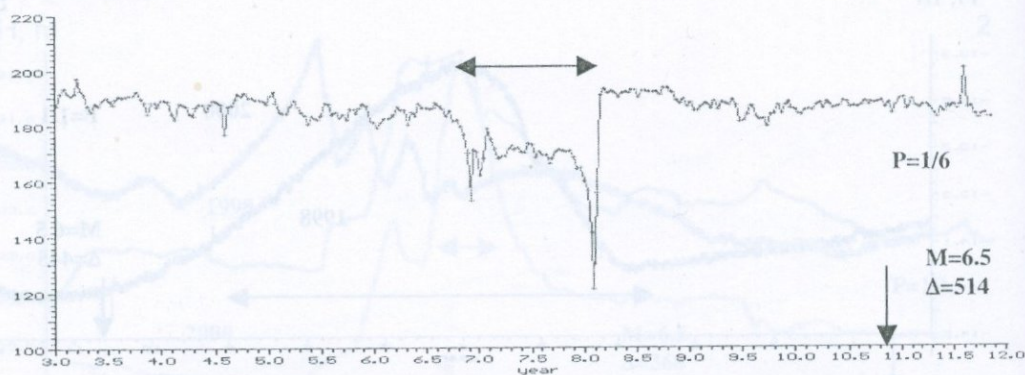


Рис. 54. Изменения: содержания почвенного радона (4) и уровня подземных вод (5) на ст. Ноябрьск, и содержания почвенного радона на ст. Ширакмут (6).

C, imp/min



C, imp/min



C, ml/l

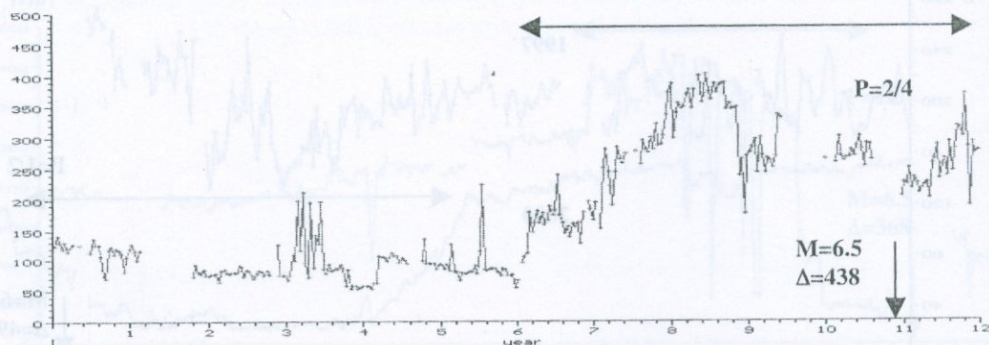
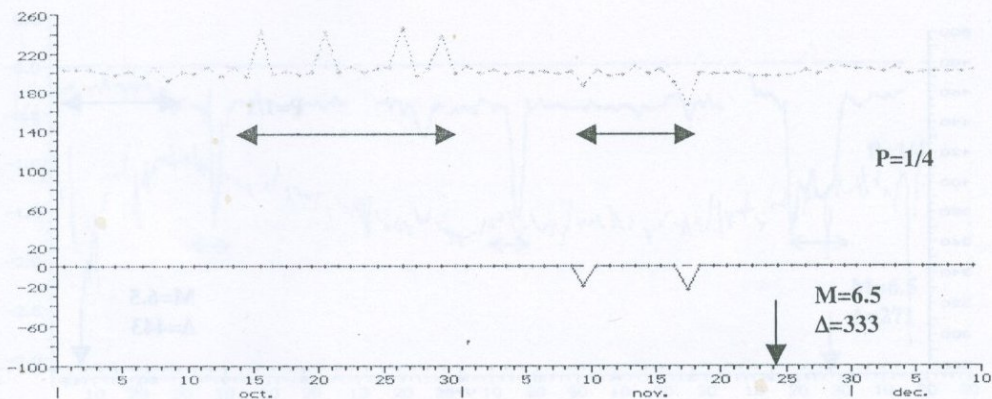
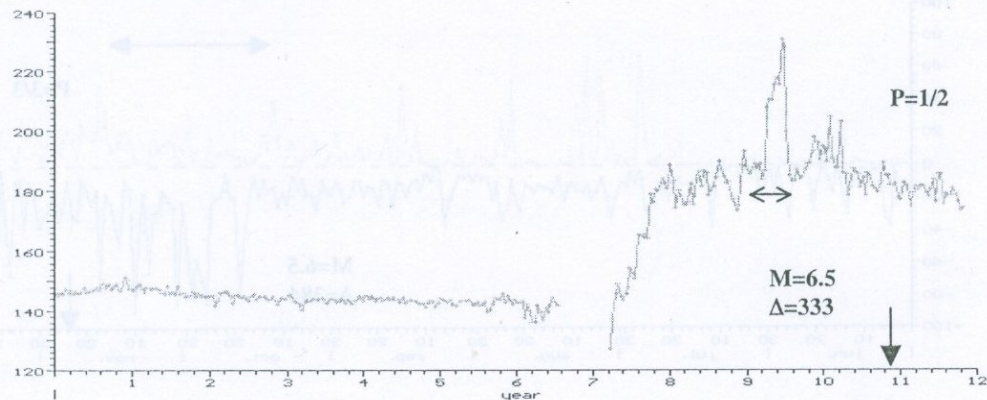


Рис. 55. Вариации содержания подпочвенного радона на ст. Степанаван (7), на ст. Гюмри (8) и концентрации гелия на ст. Арарат (9).

$E+(-), \text{w/m}^3$



$C, \text{imp/min}$



$C, \text{ml/l}$

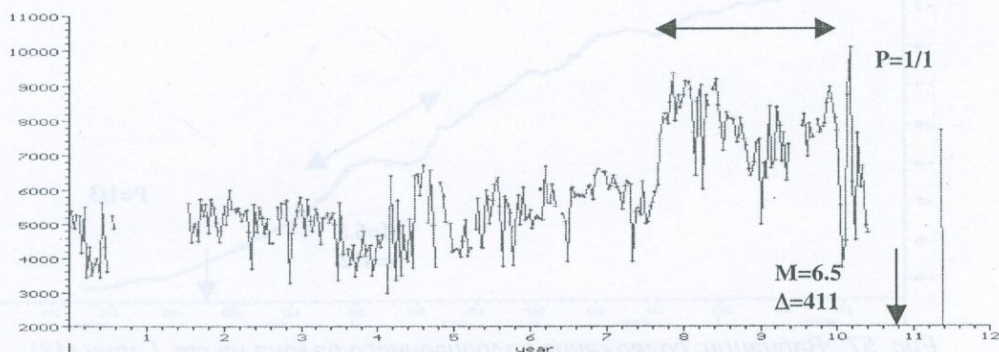
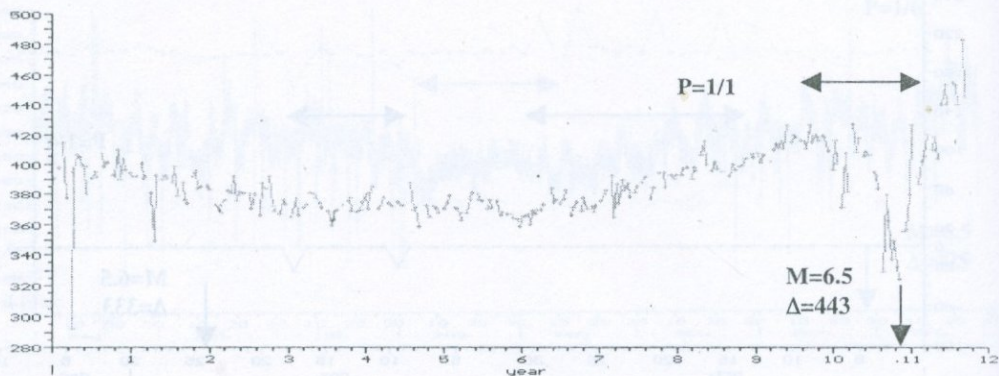


Рис. 56. Изменения: параметра $E+(-)$ метода ННП (10) и содержания подпочвенного радона (11) на ст. Каджаран, и концентрации гелия ($\text{мл/л} \cdot 10^6$) на ст. Цовагюх (12).

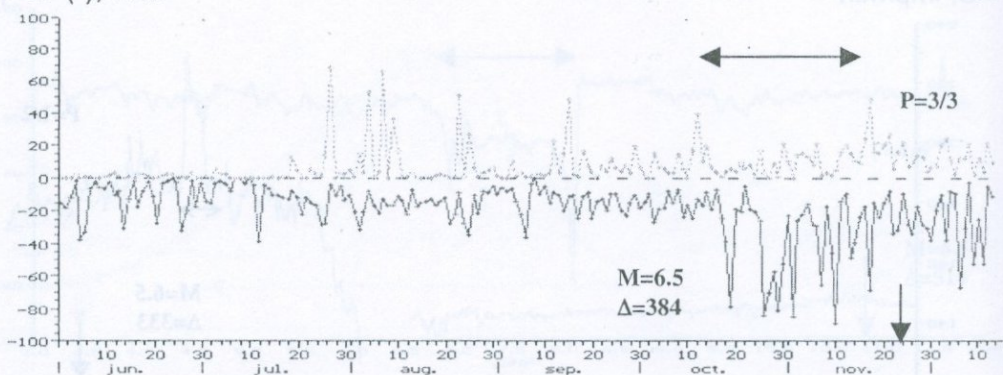
C, imp/min

13



$E+(-)$, w/m^3

14



H, m

15

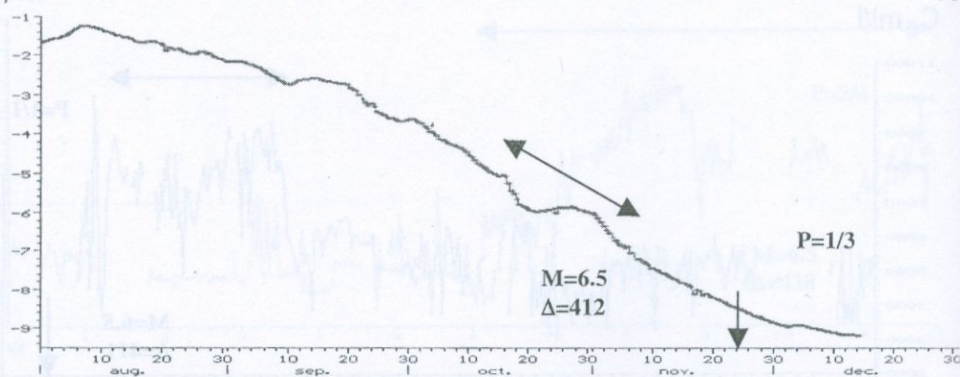


Рис. 57. Вариации: содержания почвенного радона на ст. Гарни (13), изменения параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Джермук (14) и уровня подземных вод на ст. Иджеван (15).

$E+(-), w/m^3$

16

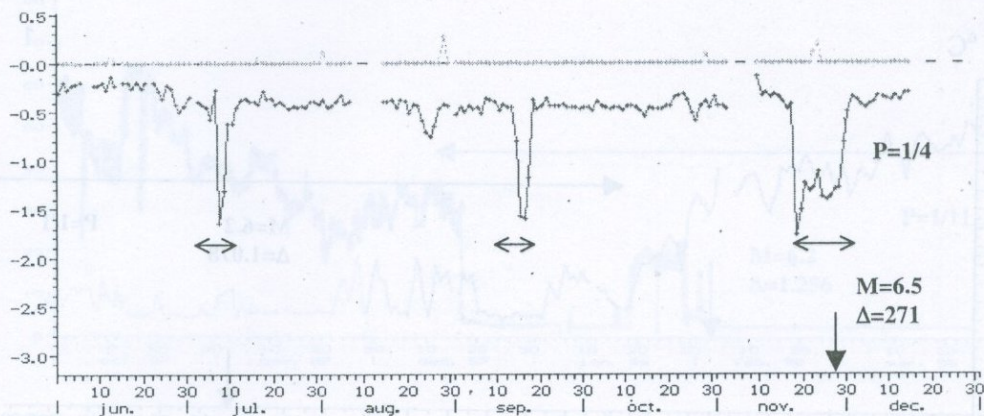


Рис. 58. Изменения параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Степанакерт (16).

18. Болвадинское (Турция, 03.02.2002г., $M = 6.2$) землетрясение

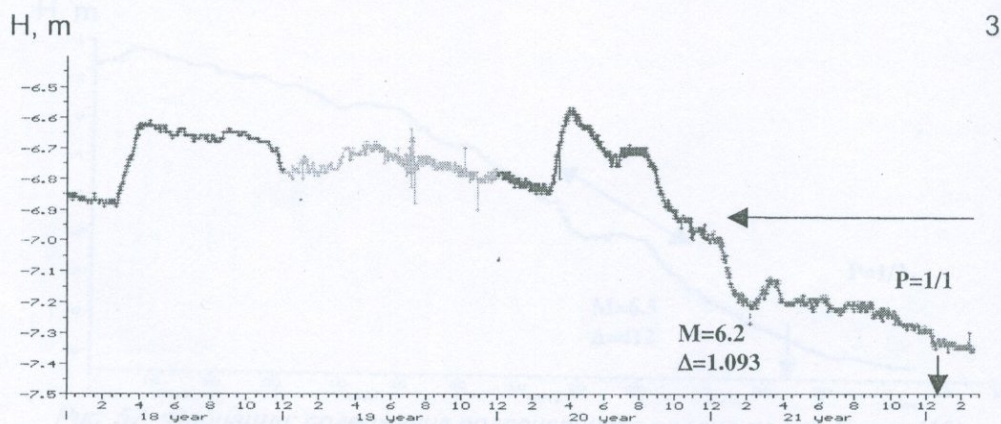
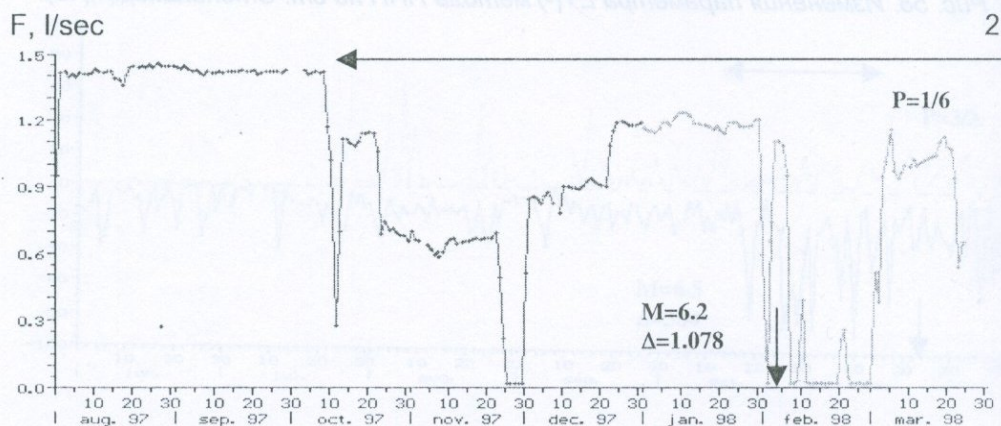
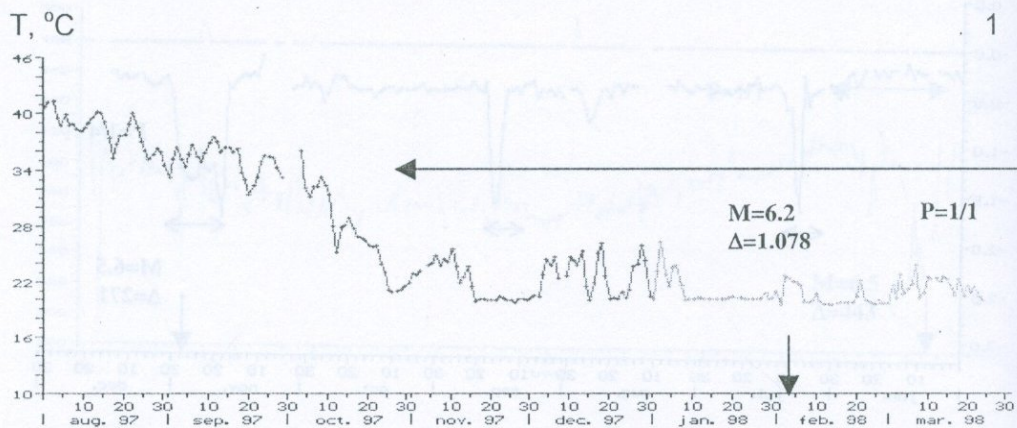


Рис. 59. Вариации: температуры воды (1) и дебита (2) в скв. Ахурик, и уровня подземных вод на ст. Ашоцк (3).

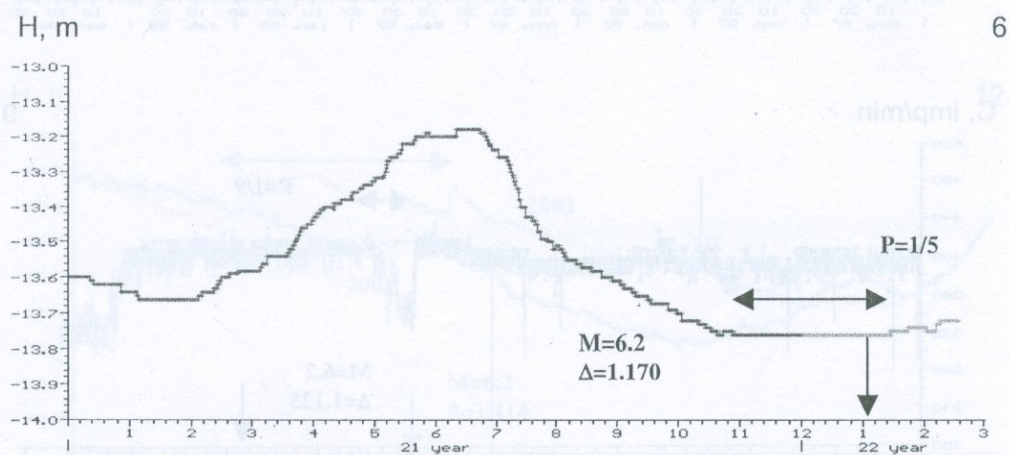
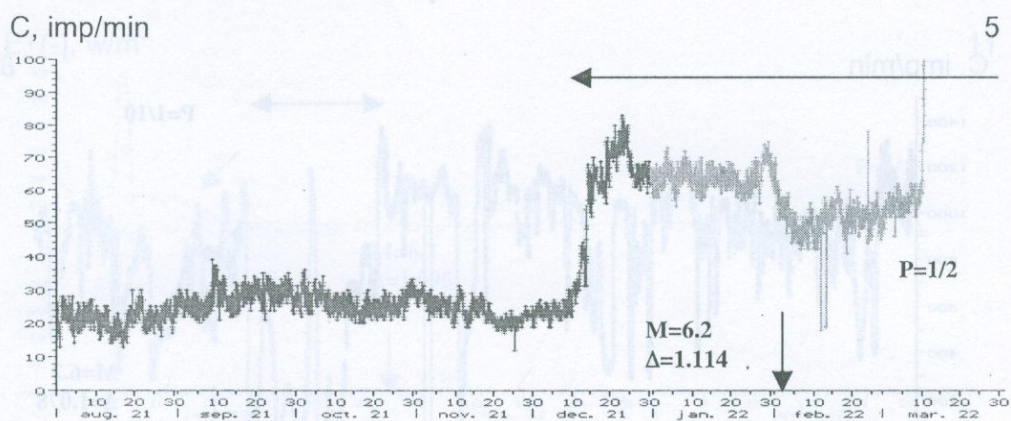
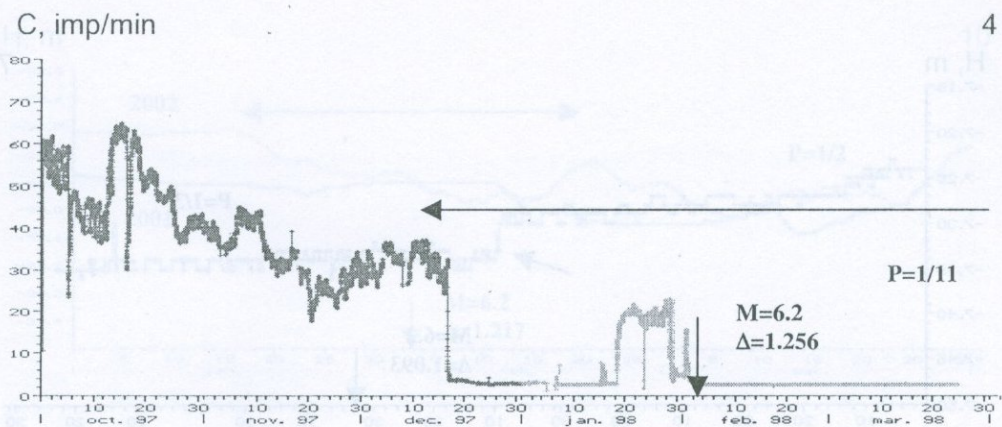


Рис. 60. Изменения: содержания радона в минерализованной воде в скв. Каджаран (4), содержания подпочвенного радона на ст.Ширакамут (5) и уровня подземных вод на ст. Севан (6).

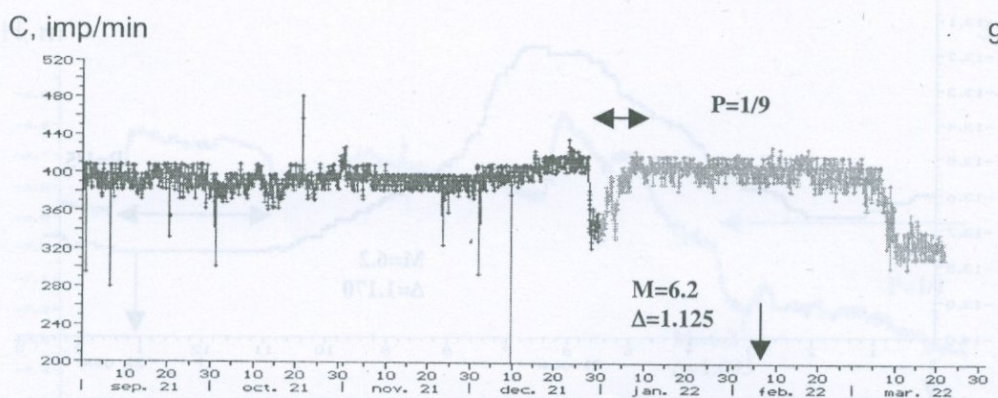
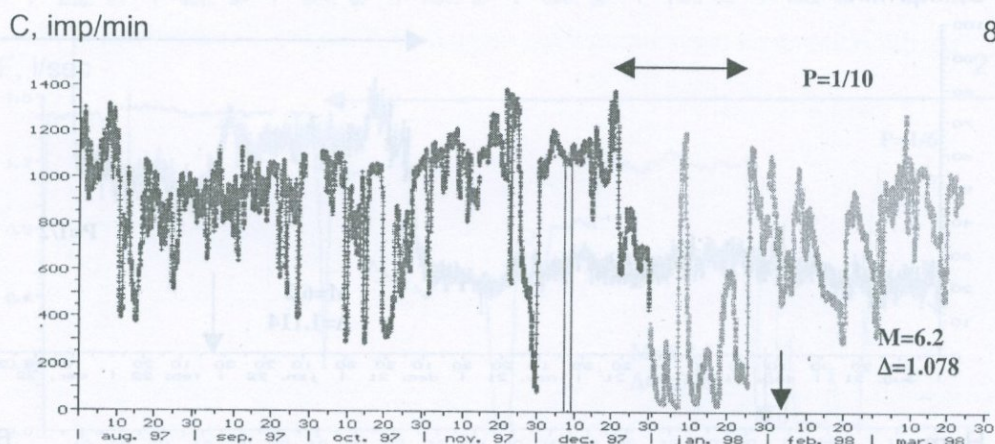
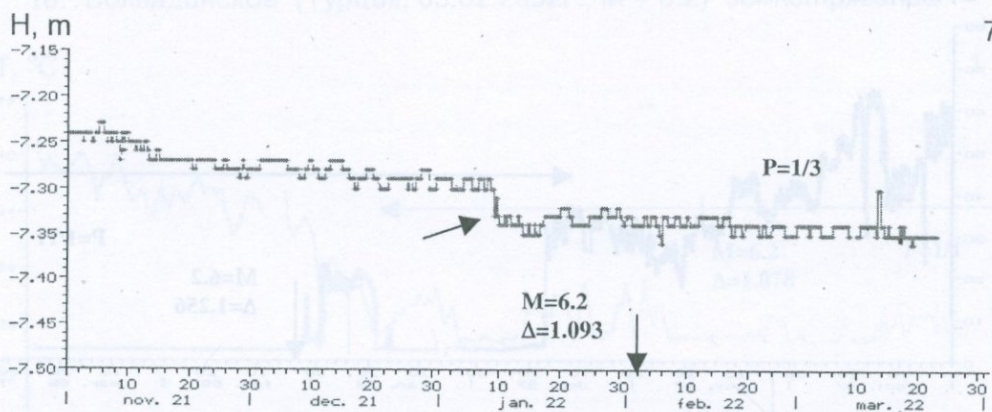


Рис. 61. Вариации: уровня подземных вод на ст. Ашоцк (7), содержания радона в минерализованной воде в скв. Ахурик (8) и содержания почвенного радона на ст. Кучак (9).

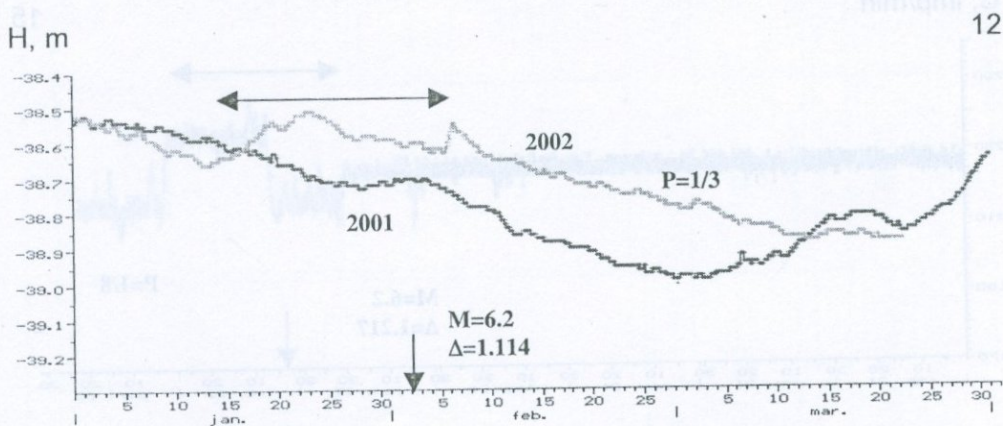
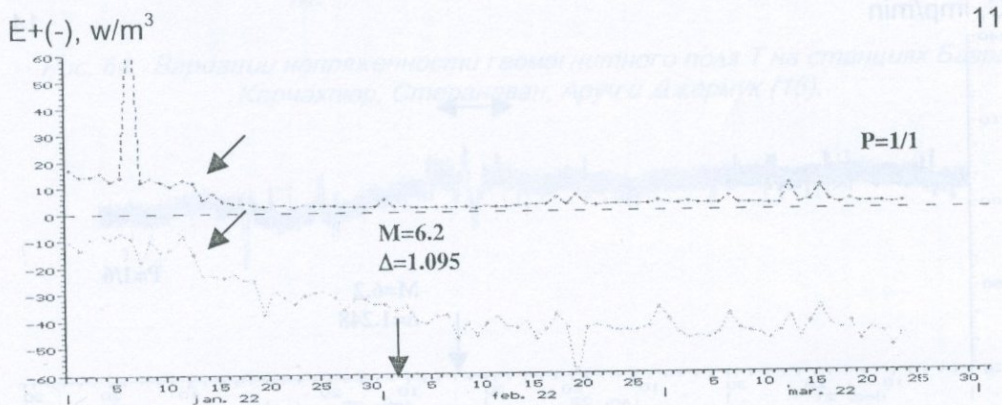
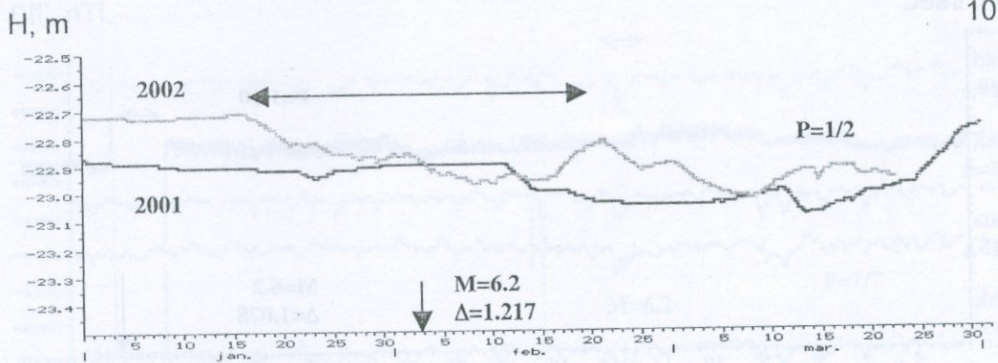
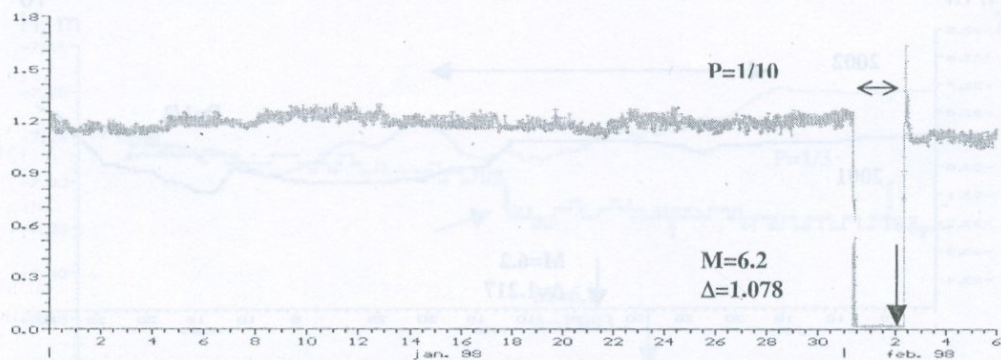


Рис. 62. Изменения: уровня подземных вод на ст. Карчахпюр (10), параметра $E+(-)$ метода ННП на ст. Артик (11) и уровня подземных вод на ст. Ши́ракамут (12).

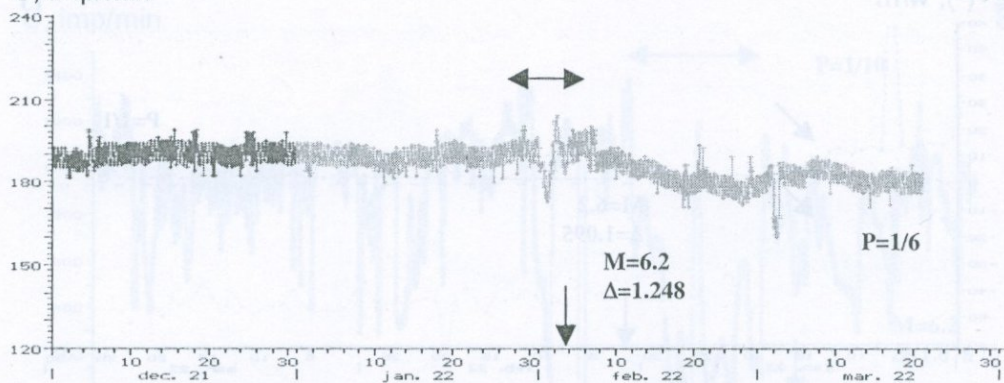
F, l/sec

13



C, imp/min

14



C, imp/min

15

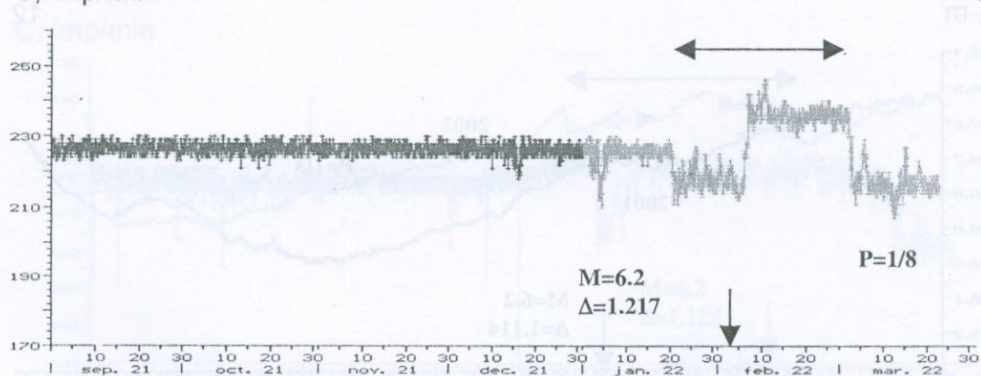


Рис. 63. Вариации: дебита минерализованных вод в скв. Ахурик (13), содержания почвенного радона на ст. Сисиан (14) и на ст. Карчакпюр (15).

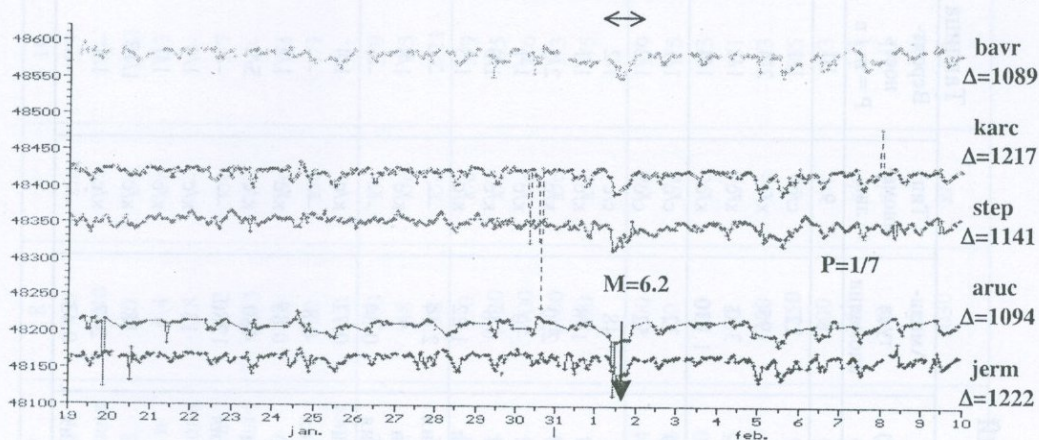


Рис. 64. Вариации напряженности геомагнитного поля T на станциях Бавра, Карчахпюр, Степанаван, Аруч и Джермук (16).

Сводная таблица тестов землетрясений

Таблица 1

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	Арагат	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
		СI	Суренаван	133	с 12.79	220	0.8	к/с	1/5
		НСОЗ	Каджаран	257	с 01.83	165 и реакция	1.22 2.44	к/с	1/5
		pH	Каджаран	257	с 01.83	157 и реакция	* 0.34	к/с	1/8
		СI	Каджаран	257	с 01.83	127 и реакция	0.72 0.8	к/с	1/4
		pH	Арагат	125	с 07.78	117	0.85	к/с	1/2
		He	Каджаран	257	с 01.83	68 и реакция	480 1280	к/с	5/9
		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	c 01.83	230 и реакция	750 1040	к/с ---	5/9 ----
		Радон п/п НСОЗ	Джермук Каджаран	444 363	c 01.81 c 01.83	88 73 и реакция	10 1.4 2.8	к/с к/с ---	2/21 1/3 ---
		pH	Каджаран	363	c 01.83	41 и реакция	0.42 0.43	к/с ---	1/7 ---
		ГГД	Мешамор	567	c 01.86	30	26	к/с	1/1
		ГГД	Ашоцк	648	c 01.90	5	29	к/с	1/1
		СІ	Каджаран	363	c 01.83	реакция	1.0	---	---
4	Рача, Грузия 29.04.1991 M = 7.1	He	Каджаран	323	c 01.83	72	580	к/с	5/9
		Геоманг.- СР	Гюлаг.-Джермук	71	c 80 / 80	36	48	к/с	1/5
		Радон п/п	Джермук	241	c 01.81	22	20	к/с	2/21
5	Эрзинджан, Турция, 13.03.1992 M = 6.9	He	Каджаран	572	c 01.83	99	830	к/с	5/9
		СДРВ	Реюньон - Ереван	425	c 12.91	64	1520	к/с	3/5
		СДРВ	Ливерия-Ереван	425	c 12.91	55	2700	к/с	2/6
		СДРВ	Норвегия-Ереван	425 425	c 12.91	24	4700	к/с	1/3
		СДРВ	Япония - Ереван		c 12.91	14	800	к/с	3/5
6	Барисахо, Грузия 24.10.1992 M = 6.4	He	Каджаран	355	c 01.90	144	600	к/с	5/9
		ГГД	Дзорахпюр	249	c 01.88	120	20	к/с	1/5
		He	Суренаван	289	c 12.79	110	640	к/с	1/3
		Радон п/п	Исаакян	244	c 01.90	105	72	к/с	1/1
		ННП	Гарни	257	c 01.93	67	360	к/с	2/3
		СДРВ	Ливерия-Ереван	250	c 12.91	38	1250	к/с	3/5
		СДРВ	Реюньон - Ереван	250	c 12.91	14	200	к/с	1/3
		СДРВ	Япония - Ереван	250	c 12.91	14	380	к/с	1/3
		ГГД	Азатан	230	c 01.91	12	42	к/с	1/1
		ГГД	Горис	318	01.87	9	5	к/с	1/6
		СДРВ	Норвегия-Ереван	250	c 12.91	7	1030	к/с	3/5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Мартуни, Армения 10.12.1992 M = 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 M = 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 M=4.2	ГГД	Карчахпюр	70	с 01.90	2	10	опер	1/15
		Радон п/п	Ехегналзор	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	Ашоцк, Армения 09.06.1996 M = 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	Ехегналзор	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	Джалжур	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 М = 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 М = 3.7	Радон п/п	Мецамор	29	с 01.92	162	53	к/с	1/2
		Геоманг.-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 М = 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	Ашопк	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 М = 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 M = 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	Калджаран	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	Калджаран	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.	Калджаран	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
		Геомагн.	Артик	1182	с 05.92	30	80	к/с	1/3
		ННП	Давидашен	1216	с 07.93	30 и	240	к/с	2/3
16	Болу, Турция 12.11.1999 M=6.2					реакция	460	---	---
		ГГД	Ашопк	1186	с 01.90	23	25	к/с	1/2
		ГГД	Ехегнадзор	1288	с 06.90	22	103	к/с	1/4
		pH	Калджаран	1342	с 01.95	17	1.37	к/с	1/12
		Эл.-провод.	Ахурик	1169	с 01.95	15	0.02	к/с	1/3
		He	Арагат	1252	с 07.78	13	90	к/с	1/22
		ГГД	Карчахлюк	1304	с 10.90	12	112	к/с	1/3
		Геомагн.	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
		Геомагн.	Бавра	1171	с 07.92	2	160	опер	2/12
		ННП	Лжермук	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
		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	Карчахпюр	368	с 12.91	216	1240	к/с	1/6
		ГГД	Карчахпюр	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	Ноемберян	445	с 08.86	146	72	к/с	1/1
		Радон п/п	Ноемберян	445	с 08.97	145	72	к/с	1/1
		He	Арагат	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	Цовагох	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
18	Болвадин, Турция 03.02.2002 M=6.2	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
		ГГД	Ашоцк	1093	с 01.90	630	27	с/с	1/1
		Девит	Ахурик	1078	с 04.93	113 и реакция	1.45 1.20	к/с ---	1/6 ---
		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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		ГГД	Карчахпюр	1217	с 10.90	18	28	к/с	1/2
		Радон п/п	Карчахпюр	1217	с 93	13 и реакция	17 34	к/с ---	1/8 ---
		Радон п/п	Сисиан	1248	с 93	2	34	опер	1/16
		Дебит	Ахурик	1078	с 04.93	2	1.2	опер	1/10
		Геоманг.	5 станций	---	---	1	38 - 42	опер	1/7

Условные обозначения к табл. 1:

ГГД – гидрогеодинамика - уровень подземных вод (см)

Гидрогеохимия (региональная сеть):

He – концентрация гелия в минерализованной воде (мл/л · 10⁻⁶)

Cl – концентрация хлора в минерализованной воде (мл/л · 10⁻⁶)

pH – кислотность минерализованных вод

HCO₃ – концентрация углекислого водорода в минерализованной воде (мл/л · 10⁻⁶)

Гидрогеохимия (сеть READINESS):

Эл.-провод. – электрическая проводимость минерализованных вод (мсим /см)

Дебит – дебит минерализованных вод (л/с)

Темп. воды – температура минерализованных вод (°C)

Радон в воде – содержание радона в минерализованной воде (имп/мин)

pHг – кислотность минерализованных вод

Радон п/п – эмиссия почвенного радона (имп/мин)

ННП – электромагнитный мониторинг методом Необротности нестационарных процессов (Вм/м³)

Геоманг.- СР – геомагнитные наблюдения – синхронная разность (нТл)

Геоманг.- геомагнитные наблюдения (нТл)

СДРВ – сверхдлинные радиоволны (ионосферные наблюдения) (мкс)

Рыбки – активность аквариумных рыб (донных сомоиков) (имп/час)

Атм.давл. – атмосферное давление (мм рт.ст.)

* - неамплитудная аномалия

Типы аномалий:

с/с - среднесрочные

к/с - краткосрочные

опер – оперативные

реакция – косейсмические и постсейсмические эффекты

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердян Л.А., Нагапетян В.В. Тектономагнитные исследования на территории Армении. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1985.
2. Баласанян С.Ю., Петросян Г.М., Аванесян А.С., Адиебекян 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.
3. 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.
4. Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А., Игумнов В.А. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений, М.Наука, 1992.
5. 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.
6. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидрогеодеформационном поле. "Советская геология", N 5, 1983.
7. 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.Бабаджяна, Гюмри, 1999.
8. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М. ИФЗ АН СССР. 1984, с.88.
9. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М. ИФЗ АН СССР. 1991, с.219.
10. Зубков С.И. Времена возникновения предвестников землетрясений. //Изв. АН СССР. Физика Земли. 1987. N 5, с.87-91.
11. Касахара К. Механика землетрясений. М., Мир. 1985, 262с.
12. Моги К. Предсказание землетрясений. М., Мир, 1988, 382с.
13. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений// Физика очага землетрясений. М. Наука, 1975, с.6-29.
14. Оганесян С.Р. Локальные аномалии как возможные предвестники землетрясений. Изд. Арм. ССР, Ереван, 1990.
15. Петросян Г.М. Использование электрического поля точечного источника постоянного тока при поисках непроводящих тел. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, т.35, N3, с. 62-66. Ереван, 1982.
16. Петросян Г.М. и др. Тестирование сильных и ощутимых землетрясений для оценки текущей сейсмической опасности на терри-

- тории Армении. Материалы конференции, посвященной памяти А.Г.Бабаджаняна. Гюмри, 1999, с.238-244.
17. Петросян Г.М. Тестирование сейсмических событий на территории Армении и сопредельных стран с целью оценки текущей сейсмической опасности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук. Ереван, 2004, 28 с.
 18. Природа (журнал), М., N12, 1989.
 19. Пушков А.Н. и др. О синхронных наблюдениях по профилю для выявления аномалий вековой вариации. Геомagnetизм и аэрономия, N3, 1973, с.543, ИЗМИРАН, Москва.
 20. Результаты изучения Зангезурского землетрясения. Изд. АН Арм. ССР, 1974.
 21. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М. Мир, 1979, с.388.
 22. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН СССР, 1979, Т.245, N4, с.825-828.
 23. Соболев Г.А. Перспективы оперативного прогноза землетрясений по электротеллурическим наблюдениям // Предвестники землетрясений. 1973. N5498, с.172-185.
 24. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993, с.313.
 25. Antonyan A.Sh., Petrosyan H.M., Adibekian M.V. (2003) Geophysical Data Correlation Analysis and Their Connection With Current Seismic Regime. XXIII General Assembly of the IUGG 2003, June 30 – July 11, 2003, Sapporo, Japan, p. A.470 (abstract).
 26. 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.
 27. 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.
 28. Igumnow 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, p. 148-151.
 29. Igumnow 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.
 30. 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.
31. 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 (abstract).
 32. Lagios E., Sideris G., Zervos F., Tsourlos P., Nicholson R.A., Ponomarev A.I., 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.
 33. 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 Barysakh (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 (abstract).
 34. 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.
 35. 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.
 36. Petrosyan H. (2002) Current seismic hazard assessment in the territory of Armenia through monitoring data. Symposium on Seismology, Earthquake Hazard Assessment and Risk Management (ASC 2002). 24-26 November, Kathmandu, Nepal, p.30.
 37. Petrosyan H. (2003) Testing of earthquakes and probability definition of precursority anomalies' seismogenity. XXIII General Assembly of the IUGG 2003, June 30 – July 11, 2003, Sapporo, Japan, p. A.470 (abstract).
 38. Petrosyan H. (2004) Testing of Izmit large earthquake in the territory of Armenia. Proceedings of 5-th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology. Thessaloniki, Greece, 14 to 20 April 2004, pp. 635-638.
 39. Proceedings of the Second international conference on earthquake hazard and seismic risk reduction. Yerevan, Armenia, 1998, 310 p.
 40. Proceedings of the 2nd International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology. Chania, Greece, 1999, 71 p.

41. Proceedings of the Symposium on Seismology, Earthquake Hazard Assessment and Earth's Interior Related Topics. Tehran, Iran, October 10-12, 2000, 123 p.
42. Proceedings of the 4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE4). Tehran, Iran, May 12-14, 2003, 252 p.
43. Proceedings of the XXIII General Assembly of the IUGG 2003, June 30 – July 11, 2003, Sapporo, Japan, Week A, 635 p.
44. Scholz C.H., Sykes L.R., Agarrwall Y.P. (1973) Earthquake prediction: A physical basis // Science. Vol.181. P.803-810.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
ГЛАВА I. Сети наблюдений	6
I.1. Основные принципы развертывания сетей	6
I.2. Гидрогеодинамические наблюдения (ГГД-поле)	6
I.3. Гидрогеохимический мониторинг	6
I.4. Радоновый мониторинг	10
I.5. Метод необратимости нестационарных процессов (ННП)	11
I.6. Геомагнитный мониторинг	11
I.7. Наклонное зондирование ионосферы	14
I.8. Измерения атмосферного давления	14
I.9. Сейсмобиологический мониторинг	16
I.10. Реагируемость наблюдательных пунктов на подготовку и реализацию сейсмических событий	16
I.11. Многопараметровая наблюдательная сеть НССЗ	19
ГЛАВА II. Оперативная обработка данных мониторинга	21
II.1. Отбраковка техногенных аномалий и выделение полезных аномалий	21
II.2. Определение их графических образов, параметров и характерных особенностей	22
II.3. Учет годовых циклов вариаций	24
II.4. Синхронные разности временных рядов (при геомагнитных наблюдениях)	25
II.5. Проведение сравнительного анализа аномалий по различным параметрам на комплексных пунктах наблюдений	25
II.6. Сравнительный анализ данных из разных пунктов наблюдений и по различным параметрам	26
ГЛАВА III. Элементы оценки текущей сейсмической опасности ..	27
III.1. Методика тестирования землетрясений. Основные сведения о Каталоге аномалий-предвестников протестированных землетрясений	27
III.2. Формы проявления тестовых аномалий	28
III.3. Тестовые аномалии-предвестники и физика подготовки землетрясений	30

III.4. Типизация предвестниковых аномалий	36
III.5. Критерии сейсмогенности аномалий	38
III.5.1. Наличие пред-, ко- и (или) постсейсмических периодов в наблюдаемых аномалиях	39
III.5.2. Наличие аномалий в разных по своей природе полях...	40
III.5.3. Наличие аномалий на относительно большой территории	41
III.5.4. Примеры соответствия аномалий определенной физической модели подготовки землетрясений	41
А. Сильное местное (Спитак, Армения, 1988г., $M=7.0$) землетрясение	41
Б. Сильное региональное (Измит, Турция, 1999г., $M=7.4$) землетрясение	48
В. Ощутимое местное (Ашоцк, Армения, 1996г., $M=4.1$) землетрясение	50
III.6. Пространственно-временные закономерности проявления на территории Армении предвестников землетрясений	52
А. Спитакское (1988г., $M=7.0$) землетрясение	52
Б. Сильные региональные землетрясения с $M \geq 6.0$	53
В. Ощутимые местные землетрясения с $M \geq 3.7$	53
ГЛАВА IV. Вероятность сейсмической реализации предвестников	54
IV.1. Вероятность по каждому методу (параметру) для каждого типа аномалий	54
IV.2. Вероятность по всем типам аномалий для каждого метода (параметра), отдельно для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$	55
IV.3. Вероятность по комплексу предвестников для землетрясений с $M \geq 6.0$ и $M \geq 3.7$	57
ГЛАВА V. Статистические зависимости параметров аномалий и землетрясений	60
V.1. Зависимости времени проявления предвестника от магнитуды землетрясения	60
V.2. Зависимости времени проявления предвестника от эпицентрального расстояния	67
V.3. Ареалы распространения предвестников в зависимости от магнитуды землетрясения	72

V.4. Зависимость амплитуды предвестника от магнитуды землетрясения и от эпицентрального расстояния ...	74
Основные выводы и заключение	77
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Каталог аномалий-предвестников протести- рованных землетрясений	79
Список использованной литературы	151

ГРАЧЬЯ ПЕТРОСЯН

ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ՀՐԱՀՅԱ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՏԵՍԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ԿԱՆՆԱՏԵՍՈՒՄԸ

HRACHYA PETROSYAN

TESTING AND PREDICTION OF EARTHQUAKES

Редактор: Р.Т.МИРИДЖАНЫН, канд. геологических наук

Корректор: Э.А.ВАРДАНЫН

Компьютерный дизайн: Н.Э.САМВЕЛЯН

Подписано в печ. 10.09.2004. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Формат 70 x 100 1/16 10 уч. изд.
Тираж 300. Цена договорная.

Отпечатано в типографии "Сурб-Сер" ООО
г.Ереван, ул. Чаренца 1



ОБ АВТОРЕ

Кандидат геологических наук Петросян Грачья Манукович родился 22 июля 1951г. в г. Ереване. В 1973г. окончил отделение геофизики геологического факультета Ереванского государственного университета по специальности инженер-геолог-геофизик.

С 1973 г. по 1992 г. работал в системе Управления геологии Совмина Арм. ССР, где занимал должности от инженера до главного геофизика Комплексной геофизической партии. Некоторое время работал в России, а в 1983-87 гг. от Министерства геологии СССР был командирован в Монголию, где был признан «Лучшим по профессии».

С 1992 г. по настоящее время работает в Национальной службе сейсмической защиты Армении, где руководит Комплексным центром оценки сейсмической опасности.

Г.М.Петросян - один из основателей Отряда шахтно-рудничной геофизики Управления геологии Совмина Арм. ССР (в 1978 г.) и Отдела геофизики Национальной службы сейсмической защиты Армении (в 1992 г.).

Область профессиональных интересов - разведочная геофизика, сейсмология, оценка сейсмической опасности, экология. Автор более 30 научных работ, изданных в СССР, Армении, Голландии, Греции, Грузии, Иране, Непале, России и Японии. Был ведущим исполнителем трех международных научно-прикладных проектов.

Г.М.Петросян является членом Армянской ассоциации сейсмологии и физики Земли, членом Президиума Армянского фонда сейсмической защиты. Часто выступает в газетах и по телевидению по проблеме сейсмической защиты населения республики. 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 Армении и Управления по чрезвычайным ситуациям при Правительстве РА.