

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

**Բալասանյան Սերգեյ Վլադիմիրի**

**ԵՐԵՎԱՆՅԱՆ ԽՁՎԱԾՔԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ  
ՍԵՅՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ատենախոսություն

ԻԴ.01.08 - «Երկրաֆիզիկա, օգտակար հանածոների որոնման երկրաֆիզիկական մեթոդներ» մասնագիտությամբ երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Գիտական ղեկավար՝

Երկրաբանական գիտությունների դոկտոր

Ա.Ս. Կարախանյան

Երևան – 2018

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

**Баласанян Сергей Владимирович**

**СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ  
ЕРЕВАНСКОГО РАЗЛОМА**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 24.01.08  
«Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых»

Научный руководитель,  
доктор геологических наук

**А.С. Караханян**

Ереван – 2018

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЕРЕВАНСКОМУ РАЗЛОМУ. .....	10
1.1. Обзор геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому (до 1995г.).....	11
1.2. Обзор геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому (после 1995г.).....	17
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ. ....	38
2.1. Методика анализа базы данных по исторической сейсмичности.....	38
2.2. Методика проведения полевых макросейсмических обследований. ....	44
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗОНЫ ЕРЕВАНСКОГО РАЗЛОМА.	55
3.1. Общие сведения о базовых каталогах исторических землетрясений территории Республики Армения. ....	55
3.3. Реанализ сильных землетрясений юго-восточного фланга Ереванского разлома. ....	85
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗОНЫ ЕРЕВАНСКОГО РАЗЛОМА.....	101
4.1. Краткая характеристика наиболее сильных землетрясений ( $M > 3,7$ ), происшедших в зоне Ереванского разлома.....	101
4.2. Анализ афтершокового процесса Ереванского землетрясения 07.01.1937г.....	115
4.3. Особенности сейсмического режима в зоне Ереванского разлома за период 1937-2017гг. ....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	136
Список литературы .....	141

## **ВВЕДЕНИЕ**

Территория Республики Армения является одной из составных частей Кавказского сегмента глобальной Альп – Гималайской сейсмоактивной зоны. Здесь происходили сильные катастрофические землетрясения как в исторический, так и в инструментальный период времени. Достаточно отметить наиболее сильные сейсмические события XX-го века – Ленинканское землетрясение 22.10.1926г.(8-9 баллов); Зангезурское землетрясение 27.04.1931г.(9 баллов); Зангезурское землетрясение 09.06.1968г.(7-8 баллов); Спитакское землетрясение 07.12.1988г. (9-10 баллов). Максимальная магнитудная оценка для данного региона составляет 7,4 и относится к Араратскому землетрясению 02.07.1840г.

Исходя из вышеизложенного, становится ясно, что оценка сейсмической опасности территории Армении является одной из приоритетных задач государственного развития РА. При этом особое значение уделяется изучению сейсмотектонического потенциала Приереванской зоны – наиболее густонаселенного и промышленно развитого региона республики. Ранее проведенные геологические и сейсмологические исследования позволили достоверно выделить здесь несколько активных сейсмотектонических структур, проявивших себя реальными довольно сильными сейсмическими событиями. Это в первую очередь:

- а)** Гайлату - Северо - Тевризский разлом длиной  $470 \pm 50$ км (Араратское землетрясение 02.07.1840г. с магнитудой  $M=7,4$ );
- б)** Гарнийский разлом длиной  $205 \pm 40$ км (Гарнийское землетрясение 04.06.1679г. с магнитудой  $M=7,0$ );
- в)** Игдирский разлом длиной  $123 \pm 20$ км (Игдирское землетрясение 04.09.1962г. с магнитудой  $M=5,5$ ).

В исследуемом регионе отмечается также Ереванский разлом, являющийся наиболее “неопределенным” по следующим причинам:

- а)** Ереванский разлом плохо или вовсе не выражен на поверхности вследствие того, что предполагаемая территория его трассирования перекрыта мощным чехлом молодых отложений;

б) геологами по-разному тракуются местоположение и геометрические параметры данной структуры;

в) зона Ереванского разлома потенциально очень опасна, так как находится ближе всех (5-6км) к столице РА – г.Еревану, а также недалеко от Армянской АЭС.

Таким образом, в сеймотектонических моделях, используемых для оценки сейсмической опасности центральной части территории РА (включая столицу – г. Ереван), немаловажное значение имеет Ереванский глубинный разлом, изучение которого выявило ряд проблем, требующих доизучения и детального реанализа всех имеющихся геолого-геофизических материалов, а также дополнительных исследований по уточнению его тектонических геометрических параметров.

С другой стороны, реанализ сейсмологических данных по исторической и инструментальной сейсмичности позволит проверить и уточнить количественные параметры сейсмического потенциала рассматриваемой структуры.

**Актуальность темы.** Исследования современной сеймотектонической активности в зоне Ереванского глубинного разлома важны и актуальны по следующим причинам:

- Столица РА г.Ереван и ряд других густонаселенных городов находятся в непосредственной близости от исследуемого разлома.
- Серьезную геоэкологическую опасность от последствий сильного землетрясения в исследуемой зоне представляют собой действующие в Ереване и его окрестностях водохранилища и гидростанции, различные химические производства, а также Армянская АЭС.
- Ереванский разлом плохо, или вовсе не выражен на поверхности. Предполагаемая территория его трассирования перекрыта мощным чехлом молодых отложений. Местоположение и геометрические параметры данной структуры исследователями тракуются по-разному.
- Исследования исторических и инструментальных землетрясений позволят уточнить количественную оценку сеймотектонического потенциала в Приереванской сейсмоактивной зоне.

**Цель работы и решаемые задачи.** Основной целью диссертационной работы является изучение и оценка современной сейсмотектонической активности Ереванского разлома по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных. Основные решаемые задачи данного исследования:

- Обзор и реанализ имеющихся геолого-геофизических материалов с целью уточнения местоположения и геометрических параметров зоны активного Ереванского разлома.
- Получение новых данных и реанализ сильных исторических землетрясений на северо-западном фланге Ереванского разлома.
- Получение новых данных и реанализ сильных исторических Двинских землетрясений на юго-восточном фланге Ереванского разлома.
- Изучение сейсмического режима и сейсmodинамических особенностей в зоне Ереванского разлома по данным инструментального периода наблюдений (1937-2017гг.).

**Защищаемые положения:**

- Реанализ всех имеющихся данных позволяет утверждать, что северо-западный сегмент Ереванского разлома сейсмически малоактивен.
- Высокий сейсмический потенциал юго-восточного фланга Ереванского разлома должен быть пересмотрен в сторону понижения.
- Анализ данных наиболее сильных инструментальных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в пределах сейсмотектонической зоны Ереванского разлома позволил выделить 2 подзоны: центральную Паракар-Ереванскую и юго-восточную Арташат-Вединскую. При этом, реализация относительно сильных землетрясений в Паракар-Ереванской подзоне приурочена к площади северной ветви Ереванского разлома, а в Арташат-Вединской подзоне – к площади южной ветви.
- Пространственное расположение эпицентров наиболее сильных событий за весь период исследований (до 2017г.) позволяет утверждать, что их реализация приурочена к осевой зоне Ереванского разлома.
- Анализ пространственно-временных характеристик сейсмического режима позволяет утверждать что образовался дефицит энергии, который может быть

восполнен как одним сейсмическим событием с  $M_{\max}=4,5$ , так и рядом средних и слабых землетрясений с той же суммарной энергией, что более вероятно и характерно для сейсмодинамики зоны Ереванского разлома.

### **Научная новизна исследования.**

- Для уточнения сейсмического потенциала северо-западного фланга Ереванского глубинного разлома были критически пересмотрены имеющиеся данные об Аручском 972г. и Октемберянском 1916г. землетрясениях. Полученные результаты позволили сделать следующее заключение: учитывая изменение географических координат эпицентра землетрясения 28.10.1916 г., а также большую вероятность того, что землетрясение 972г. является “ложным” событием, можно утверждать, что северо-западный сегмент Ереванского разлома сейсмически малоактивен.
- Проведенное дополнительное макросейсмическое обследование развалин храма Звартноц, позволило зафиксировать следы воздействия очень сильного пожара на базах и капителях колонн из вулканического туфа, который мог стать причиной разрушения храма. Длительное термическое воздействие имело высокую температуру (700-800°), что вызвало образование на базах колонн зоны термической закалки глубиной до 6 см и пузырение расплавленного туфа. Разрушение храма Звартноц не связано с сейсмическим воздействием, а скорее является следствием сильного пожара.
- Анализ данных наиболее сильных инструментальных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в пределах сейсмотектонической зоны Ереванского разлома позволил выделить 2 подзоны. Несмотря на кажущуюся территориальную отдаленность и разобщенность центральной Паракар-Ереванской и юго-восточной Арташат-Вединской подзон нельзя отрицать наличие определенной генетической взаимосвязи между ними, выявленной в хронологической последовательности землетрясений.
- На основе новой выборки, основанной на совмещении параметрических (Н.К. Карапетян) и макросейсмических (Е.И. Бюс) данных по землетрясению

07.01.1937г., проведен анализ пространственного распределения и хронологического хода сейсмичности афтершокового процесса.

### **Методы исследования.**

При проведении работ применялись как полевые, так и камеральные методы исследования. Для полевых работ использовалось традиционное макросейсмическое обследование. Методика камеральных работ основана на проведении тщательного сбора и критического анализа летописных и опубликованных источников для землетрясений исторического периода и выявления особенностей пространственно-временных связей основных параметров землетрясений инструментального периода наблюдений. Использовались современные компьютерные программы (ArcGIS, Global Mapper, Adobe Photoshop, CorelDRAW) с целью создания цифровой базы данных и её последующего анализа.

### **Практическая новизна исследования:**

- Полученные результаты позволят уточнить значение сеймотектонического потенциала в Приереванской сейсмоактивной зоне, что скажется на вероятностной оценке сейсмической опасности центральной части территории РА.
- Полученные результаты могут быть учтены при составлении новой редакции карты сейсмического районирования территории РА.

**Апробация работы.** Отдельные положения диссертационной работы докладывались:

- На Международной научно-практической конференции: “Интеграция науки и практики в современных условиях”. 21.10.2017г., София (Болгария).
- На III Международной научной конференции молодых ученых: “Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства”, 01-04.11.2017г., Гюмри-Цахкадзор, (Республика Армения).
- На научном семинаре ИГН НАН РА. 22.12.2017г., Ереван, (Республика Армения).

По теме диссертационной работы опубликованы 6 статей в рецензируемых научных журналах.

### **Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях автора:**

- 1) **Баласаян С.В.** Результаты исследований особенностей активной тектоники восточной ветви Сюникской структуры pull-apart. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2017,



т.70, № 2, с.50-58.

**2) Баласаян С.В.** Сильные исторические землетрясения на северо-западном фланге Ереванского разлома: новые данные и реанализ. (Сборник научных статей: СНО ЕГУ) 2016, №1.5(22), с.82-97.

**3) Караханян А.С., Баласаян С.В., Макарян Х.В., Геворкян М.Р.** Сардарапатская структура (Армения): Новые данные о сейсмической активности. Владикавказ, Межд. научный журнал: Устойчивое развитие горных территорий. /Науки о Земле/, 2017, Т.9, № 4 (34), с. 332-343.

**4) Баласаян С.В.** К вопросу о возможных причинах разрушения храма Звартноц. Современные научные исследования: Теория и практика (Modern scientific research: theory and practice). /Материалы Международной научно-практической конференции 21 октября 2017г. (г.София, Болгария) /изд. КЪща «СОРОС», НИЦ «Мир Науки», 2017, с. 553-565.

**5) Караханян А.С., Баласаян С.В.** Сильные исторические землетрясения на юго-восточном фланге Ереванского разлома: новые данные и реанализ Двинских землетрясений. (Наука и образование в Арцахе). 2017, № 3-4, с. 82-91.

**6) Саргсян Л.С., Караханян А.С., Баласаян С.В.** Особенности сейсмического режима зоны Ереванского разлома по данным инструментального периода наблюдений (1937-2017гг.). Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2017, т.70, № 3, с.31-37.

### **Структура и объем диссертационного исследования.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, насчитывающего 136 наименований. Работа изложена на 150-ти страницах, содержит 85 рисунков.

### **Место проведения работы и благодарности:**

Диссертационная работа была осуществлена в Институте геологических наук НАН РА, под руководством док. геол. наук А.С. Караханяна. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю за постоянное внимание и важную корректировку работ в процессе исследований, за правильную мотивацию, ценные советы и замечания. За поддержку и помощь при проведении полевых работ,

анализе результатов и оформлении диссертационного исследования выражаю большую признательность сотрудникам ИГН и НИК “Геориск”: Саргсян Л.С., Авагян А.В., Багдасарян А.Р., Аракелян С.Р. Бабаян Г.Е., Игитян А.А., Геворкян М.Р., Абгарян Е.Ж., Саакян Э.Э. Автор благодарен Х.В. Макарян за помощь в составлении GIS базы данных для её дальнейшего анализа. Особую благодарность выражаю директору ИГН Х.Б. Меликсетяну и ученому секретарю института Г.В. Шагиняну за поддержку и понимание, проявленную ими на различных этапах выполнения диссертационной работы.

## ГЛАВА 1.

### ОБЗОР ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЕРЕВАНСКОМУ РАЗЛОМУ.

Исследования по изучению структуры, строения и геодинамической активности Ереванского разлома можно разделить на 2 временных этапа, отличающихся по поставленным задачам и методическим подходам для их решения.

На 1-ом этапе (до 1995г.) главной и общей задачей геологической науки в Армении было исследование внутреннего геологического строения территории республики с целью поиска и разведки полезных ископаемых. Даже вузовское обучение специалистов-геологов имело четко ориентированную направленность. С другой стороны, горький опыт землетрясений 1926г. и 1931г. ставил еще одну важную задачу – изучение тектонической активности геологических структур с целью оценки их возможной сейсмической опасности для населения.

С точки зрения вышеобозначенных главных проблем отечественной геологии, в иерархии приоритетных структур для изучения, Ереванский разлом не значился в том числе потому, что было выявлено достаточно много неопределенностей при оценке его геометрических параметров и сейсмической активности. Даже при запуске проекта первой очереди Мецморской АЭС (1973-75гг.) Ереванский разлом не рассматривался как потенциально опасный. После катастрофического Спитакского землетрясения 1988г. вопрос безопасности Армянской АЭС вошел в повестку МАГАТЭ (основана в 1957г.), по требованиям которой настоятельно рекомендовалось критически переоценить сеймотектонический потенциал всех разломов в радиусе до 200км от Арм.АЭС (далее - ААЭС), обратив особое внимание на ближнюю зону (радиусом 5-25км). При такой постановке задачи проблема изучения Ереванского разлома стала актуальной. 1-ый отчет по всем имеющимся результатам геолого-геофизических исследований (до 1994г.) был представлен специалистами Армэнергосейсмопроекта в 1995г.

На 2-ом этапе (после 1995г.) новые материалы исследований и степень изученности Ереванского разлома определяются тематикой и количеством проектов-

заказов МАГАТЭ, связанных с безопасностью ААЭС. На сегодняшний день уже проделана большая исследовательская работа по восьми проектам, позволившая создать сеймотектонические модели региона ААЭС с оценкой сейсмического потенциала входящих в них тектонических структур. Следует отметить, что в последних проектах (2008-2011гг.) особое внимание было уделено Ереванскому разлому.

Таким образом, дальнейший обзор геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому, на наш взгляд, можно представить отдельно в двух временных периодах, о которых говорилось выше.

### **1.1. Обзор геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому (до 1995г.).**

Основой информации по общему геодинамическому состоянию Ереванского разлома, а также характеристикам тех его геологических особенностей, которые могут иметь воздействие на сейсмическую опасность Приереванского региона, в первую очередь служат различные исследования (с графическими приложениями) по геологии, тектонике, стратиграфии для территории РА или ее центральной части [5,7,8,17,18,47-49,62,63].

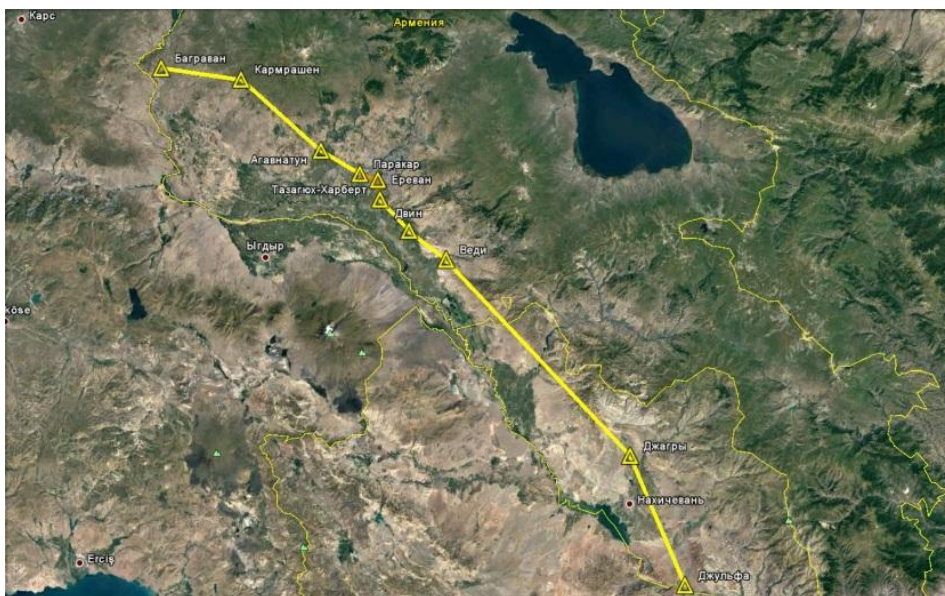
Вопросы внутреннего строения и мощности земной коры Армении, а также геотектонического строения Приараксинской зоны изучались также геофизическими методами [3,4,6,19,20,28,50,60,77].

Кроме того, тектоническое строение территории Армении достаточно подробно анализируется в опубликованных трудах А.Т. Асланяна [7,8], К.Н. Паффенгольца [62,63], Е.Е. Милановского [47-49], А.А. Габриеляна [17,18]. Приведем ряд положений этих авторов относительно тектонического строения центральной части Армении (в частности, ее Приараксинской зоны). При этом следует отметить, что основной метод тектонического анализа в то время базировался на исследовании сравнительной истории регионального геологического развития.

#### **Результаты исследований А.Т. Асланяна.**

Впервые сведения о разломе под названием Ереванский, представил А.Т. Асланян в работе [7]. Разлом протягивается вдоль трассы: устье р. Дигор (нижнее

течение р. Ахурян) → с. Кармрашен → с. Агавнатун → с. Паракар → с. Тазагюх (южнее гор. Ереван) → с. Абовян → с. Двин → с. Даргалу → с. Веди → с. Арпа → с.



Джагры → гор. Джульфа (рис.1.1).

Рис.1.1. Откартированная версия местоположения и протяженности Ереванского разлома по результатам исследований А.Т. Асланяна (1955 – 1970гг.).

По А.Т. Асланяну, в данной

зоне отмечен ряд крупных, хорошо картируемых разрывных нарушений. Автор приводит сравнительные данные, иллюстрирующие различия разрезов и мощностей в крыльях разлома. Так, почти повсеместно от Еревана до Джульфы, в южном крыле разлома разновозрастные отложения по мощности меньше, чем на северном крыле: эоценовые → в 5-10 раз; олигоценые → в 3-5 раз; миоценовые → в 3-6 раз [8].

Кроме того, к зоне этого разлома приурочено большое количество минеральных источников, откладывающих значительные массы травертина [8]. По геофизическим данным здесь фиксируется пояс относительных максимумов силы тяжести, а также повышенная сейсмичность: Ахалкалаки → Ленинакан → Ани → Ереван → Нахичевань → Зангезур. На основании вышесказанного А.Т. Асланян делает следующее заключение: «Рассматриваемый разлом на западе скрывается под молодыми лавами и намечается здесь лишь по данным гравиметрических исследований, однако не вызывает никакого сомнения, что он принадлежит к сбросовой зоне Северной Анатолии, которая прослежена зарубежными геологами от Мраморного моря до района устья р. Ахурян в западной части Араратской котловины. Таким образом, с учетом указанных данных, по Армении и Нахичеванскому краю протяженность зоны глубинного разлома составляет около 2000км. Возможно, он продолжается также в Иране, в направлении от района Джульфы к району Тебриза.» [8].

## Результаты исследований К.Н. Паффенгольца.

О Ереванском разломе К.Н. Паффенголец не упоминает, однако на своей геологической карте показывает Вединский надвиг, который, по мнению некоторых специалистов, можно считать одной из структур южного фланга Ереванского разлома (рис.1.2).

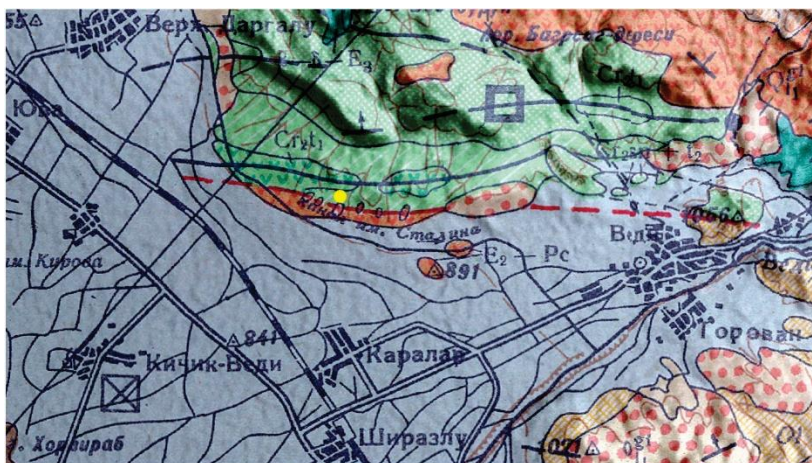


Рис.1.2. Вединский надвиг, показанный на геологической карте Армении М 1:200000 К.Н. Паффенгольцем (1952г.).

## Результаты исследований Е.Е. Милановского.

Определенный интерес представляет данная Е.Е. Милановским [49]

характеристика Енгиджинского погребенного поднятия и связанного с ним Ереванского разлома. «Енгиджинское погребенное поднятие – узкий горст ЗСЗ простирается на границе Ереванской и Араратской впадин, вытянутый по линии Енгиджа – Паракар – Эчмиадзин. Бурением доказаны чрезвычайно резкие, скачкообразные изменения разреза и глубины залегания фундамента (более 5км) на его СВ крыле, позволившие связать его происхождение с длительно развивающимся глубинным разломом, ограничивающим с СВ Араратскую впадину. *Впоследствии аналогичный разлом был выявлен вдоль его ЮЗ борта.* Метаморфический фундамент поднят в Енгиджинском горсте примерно до уровня моря. Мощность чехла кайназойских отложений в осевой части поднятия не превышает 700м. С верхнего мела до конца сармата Енгиджинский блок испытывал относительное, а временами абсолютное поднятие (мел здесь отсутствует, а разрез палеогена – миоцена сокращен до нескольких сотен метров; напротив к северу от него, в Ереванском прогибе накапливались толщи от верхнего мела до миоцена мощностью до 5км). К югу от Енгиджинского поднятия, по крайней мере с палеогена также происходили глубокие погружения. В плиоцене и антропогене Енгиджинский блок приобрел значение промежуточной узкой ступени между продолжающейся относительное опускание Араратской впадиной и начавшей испытывать слабый подъем Ереванской впадиной.



В рельефе Енги́джинское поднятие проявляется слабо, однако рост его в течение плиоцена и антропогена доказывается резким сокращением отложений от верхнего миоцена, плиоцена и до большей части четвертичных пород. В его сводовой части, почти на поверхности залегает красноцветная толща верхнего олигоцена – нижнего миоцена. Все эти признаки свидетельствуют о современной тектонической активности Енги́джинского блока» [48]. Окончательная рисовка формы и местоположения южной ветви (Эчмиадзинского разлома) Ереванского разлома (по Е.Е. Милановскому) представлена на рисунке 1.3.

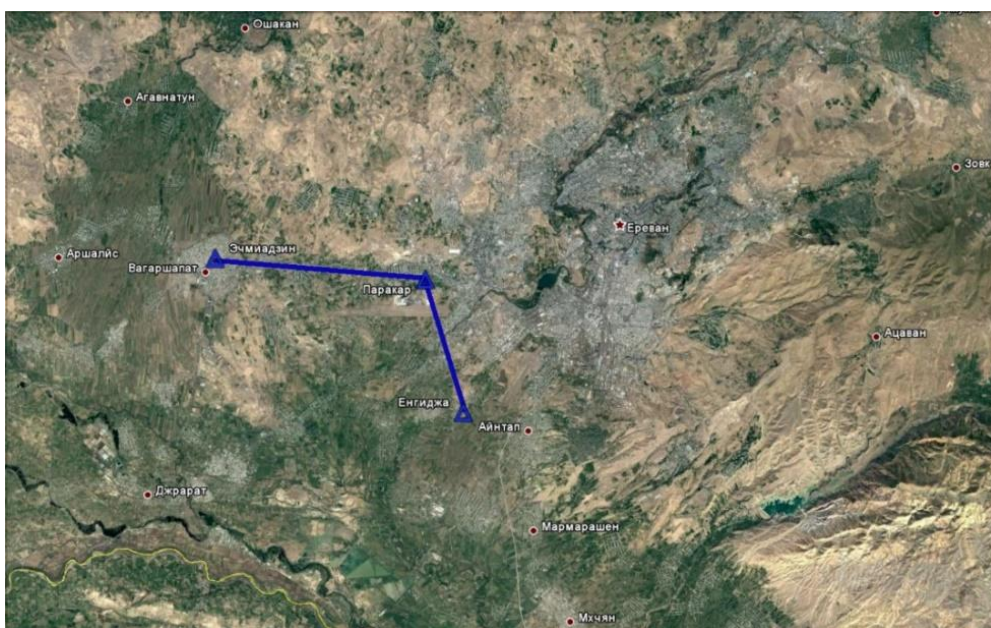


Рис.1.3.  
Откартированная версия местоположения и протяженности Ереванского разлома по результатам исследований Е.Е. Милановского (1959 – 1977гг.).  
**Результаты исследований А.А. Габриеляна.**

В работах А.А. Габриеляна [17], С.К. Арзуманяна, Г.П. Симоняна [5,72,73] зона разлома протягивается южнее Еревана, пересекает Араратскую котловину в субширотном направлении от устья реки Дигор через села Агавнатун, Паракар, Тазагюх, Веди, ограничивая Среднеараксинскую межгорную впадину с СВ (рис.1.4). В центральной части котловины она выражена парными разломами, ограничивающими Паракар-Енги́джинское погребенное горстовое поднятие [18]. С СВ оно ограничено Ереванским глубинным разломом, а с ЮЗ – Эчмиадзинским разломом (рис.1.4).

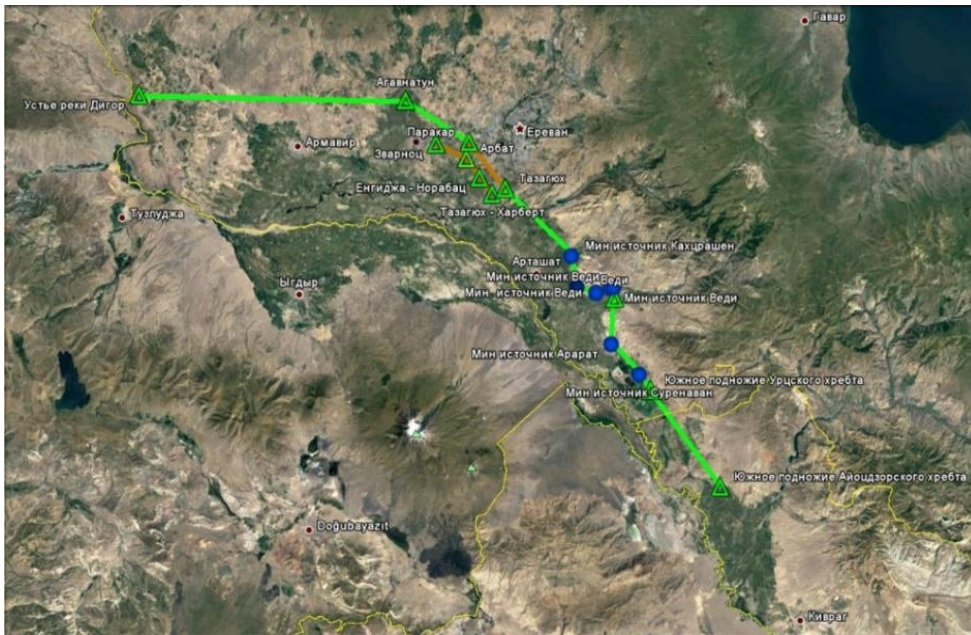


Рис. 1.4.  
Местоположение и  
геометрические  
параметры Ереванского  
разлома. (по А.А.  
Габриеляну) [17].

«В Приереванском  
районе,  
расположенном  
СВ описываемого  
разлома, в

геологическом разрезе участвуют породы от верхнего мела до постплиоцена суммарной мощностью 6500м. На южном фланге Паракар-Енгиджинского горстового поднятия (Звартноц – Паракар – Енгиджа – Тазагюх) суммарная мощность пород не превышает 1500м. При этом, из геологического разреза выпадают верхнемеловые и средне-верхнемиоценовые отложения.» [18]. Такое выпадение из разреза отдельных горизонтов, А.А. Габриелян и др. трактуют как свидетельство наличия здесь разлома глубокого заложения сбросового типа. На востоке зона разлома прослеживается по южному подножию Урцкого и Айоцзорского хребтов. На линии разлома расположены многочисленные минеральные источники (Двин, Кахцрашен, Нор Уги, Веди, Арарат) и обширные поля травертинов [18]. «В западном направлении Ереванский разлом, по всей вероятности прослеживается, по южному склону горы Арагац, о чем косвенно свидетельствуют расположенные по этой линии вулканические аппараты, эпицентры ряда землетрясений и флексуобразное погружение верхнеплиоценовых лав Арагаца под плиоцен-плейстоценовые отложения Араратской котловины.» [18].

«По данным сейсмических станций “Земля” Ереванский разлом представлен системой разрывных нарушений СЗ-ЮВ и ЮЗ-СВ направлений, прослеживается до поверхности Мохо и проникает на глубину 40-45км. Сложная система нарушений создает резкую неоднородность глубинного строения, благодаря чему фундамент разбит на целый ряд блоков: Тазагюхский и Урцкий выступы, разделяющая их



впадина и т.д. Сместители разлома почти вертикальны; амплитуда смещения крыльев разлома, наблюдаемая по поверхности фундамента, представляет 2-3км, по глубоким горизонтам 2-4км. Длина разлома, которую удалось авторам проследить в пределах изучаемой территории, порядка 150км, ширина – 10-15км. (И.В. Гаретовская, [20]; Г.В. Егоркина и др., [28])» [18]. Учитывая недостаток геологической информации и некоторую неопределенность геофизических данных, А.А. Gabrielyan и др. при составлении геологической карты района Араратского сейсмопрогностического полигона (М 1:200000), провели рисовку Ереванского разлома пунктирной линией (рис.1.5).

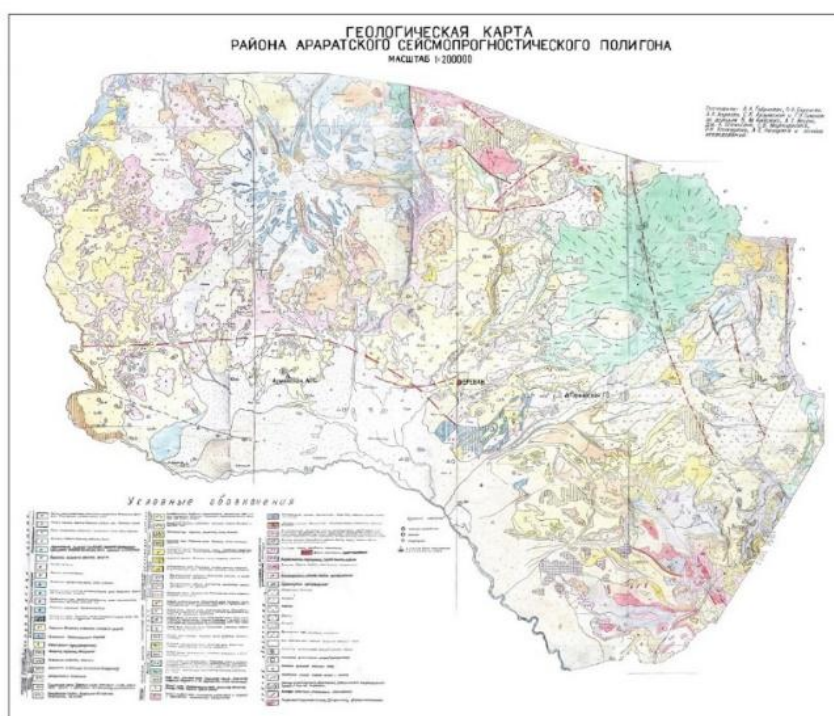


Рис.1.5. Геологическая карта района Араратского сейсмопрогностического полигона масштаба 1:200000, составленная А.А. Gabrielyan и др. (1981г.)

Ниже представлена краткая информация о наиболее серьезной работе, проделанной в 1994-95гг. организацией “Армэнергосейсмопроект” по проекту “Доизучение сейсмических условий

Армянской АЭС” [26]. Комплексный анализ имеющихся материалов дал следующие результаты:

- а) дешифрирование космо и аэрофотоснимков не выявило особо значительных проявлений Ереванского разлома на поверхности;
- б) в пределах Урцского хребта по результатам сейсморазведочных работ методом МОГТ разлом не прослеживается, ЮВ сегмент разлома подтверждается лишь наличием минеральных источников и траветиновых полей;
- в) зона СЗ сегмента разлома лишь по гравиразведочным и сейсмическим (ст. “Земля”) данным, выделяется в нижней части кристаллического фундамента, а местами и на глубинах более 30км;

- г) зона Ереванского глубинного разлома совпадает с границей Приараксинской и Присеванской магнитных зон, в СЗ части зоны магнитная и разломная пограничные линии не совпадают (магнитная линия расположена южнее зоны разлома);
- д) наиболее уверенно по геофизическим данным и результатам глубокого бурения выделяется центральный (Паракар-Норабацкий) сегмент, где зона разлома трассируется 2 ветвями, оконтуривающими погребенное горстовое поднятие;
- е) центральный сегмент Ереванского глубинного разлома, довольно четко проявляется на картах гравитационного поля в виде протяженной аномальной зоны больших градиентов  $\Delta g$ , где величина горизонтального градиента составляет 3-5мгг/км, ширина равна 10-15км, а перепад значений  $\Delta g$  по зоне градиентов составляет 30-50мгг; южнее и ЮЗ разлома имеются локальные **max** и **min** (с амплитудой 10-20 мгл.) линейного и изометрического характера, а севернее и СВ разлома – локальные аномалии изометрической формы, которые по интенсивности и размерам намного меньше.

Таким образом, по части интересующего нас Ереванского разлома в рассматриваемой работе сделаны следующие выводы.

1. Исследуемый субрегион характеризуется как малоактивная сейсмотектоническая провинция.
2. В пределы субрегиона входят: Араксинский глубинный активный разлом и погребенный Ереванский разлом с его предполагаемой западной ветвью.
3. Выделенные погребенные структуры и разломы на современном этапе тектоническую активность не проявляют.
4. Эпицентры инструментальных землетрясений внутри субрегиона не коррелируются с тектоническими элементами.
5. Зона предполагаемого западного сегмента Ереванского разлома расположена на удалении более 12км от АЭС.

## **1.2. Обзор геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому (после 1995г.)**

Об изученности и сейсмотектоническом потенциале Ереванского разлома можно судить по степени его “участия” и придаваемой ему значимости в имеющихся

сейсмотектонических моделях для Приараксинской территориальной зоны. Так, например, такой анализ можно провести на 5 моделях, созданных после 1995г. для оценки сейсмической опасности района ААЭС.

1. Региональная сейсмотектоническая модель радиусом 150км. от ААЭС (**SM-1995**) → была создана на основе выделения активных разломов по следующим данным: - геометрические параметры и возраст активности; **max** горизонтальные и вертикальные амплитуды и скорости смещения; сегментация разломов и данные о поверхностных разрывах. В модели **SM-1995** впервые был применен метод выделения линейных и площадных сейсмогенных зон, основанный на комплексном анализе активной тектоники, сейсмологического и палеосейсмологического материала. В отличие от предыдущих сейсмотектонических построений, в данной модели оценка  $M_{max}$  была проведена несколькими методами: **max** исторического землетрясения, сегментации разлома (**L**), дробной длины разлома (**RL**), общей длины разлома (**TL**). В окончательном варианте сейсмотектонической модели **SM-1995** → зона Ереванского разлома была удалена и добавлена Арарат-Севанская сейсмогенная структура [26].

2. Карта зон возможных ожидаемых землетрясений (зон ВОЗ), радиусом 150км. от ААЭС (**SM-NSSP-1-1999**) → карта и модель зон ВОЗ были созданы исходя из положения о мозаично-блоковом строении территории Армении. Детерминистическая оценка сейсмической опасности базировалась на том, что очаги сильных землетрясений должны находиться в узлах пересечения разломов. Линейные сейсмогенные зоны отождествлялись с активными разломами, а площадные зоны – с активными блоками. Количественная оценка  $M_{max}$  для зон ВОЗ приравнивалась к  $M_{max}$  исторического землетрясения, приуроченного к конкретной линейной или площадной зоне. В окончательном варианте сейсмотектонической модели **SM-NSSP-1-1999** → Ереванский разлом является одной из основных линейных зон с  $M_{max}=6,5$  [107].

3. Новая сейсмотектоническая модель участка ААЭС радиусом 100км. от ААЭС - (**SM-NSSP-2-2001**) → основным отличием данной модели от предыдущей является выделение Егвардской зоны растяжений ( $7.0 \leq M_{max} \leq 7.5$ ), смежной с Ереванским

разломом. В окончательном варианте сеймотектонической модели **SM–NSSP-2-2001** → **Ереванский разлом** (с  $M_{max}=6,5$ ) **протягивается до реки Ахурян пунктирной линией** (предполагаемый разлом), а сама зона разлома, как элемент модели закартирована лишь на 2/3 общей длины [106].

4. Сеймотектоническая модель компании “Геориск” радиусом 150км. от ААЭС - (**SM-Georisk-2004**) → создана А.Караханяном, Э. Филипом, А.Авагяном и др. на основе новых данных полевых палео и археосейсмологических исследований и **GPS-**мониторинга. В окончательном варианте сеймотектонической модели **SM-Georisk-2004** → **Ереванский разлом не участвует**. Араксинская зона была удалена и добавлена Сардарapatская зона. Картируется Паракар-Двин-Нахиджеванская сейсмогенная структура с  $M_{max}=6,8$  [119].

5. Сеймотектоническая модель компании “Геориск” радиусом 150км. от ААЭС - (**SM-Georisk-Enconet-2006**) → В окончательном варианте этой модели **была введена Ереванская сейсмогенная зона**, основанная на выделении Ереванского разлома [103].

Таким образом, из вышеизложенного следует, что наибольшую неопределенность во всех предыдущих сеймотектонических моделях для Армянской АЭС и для Приараксинской территориальной зоны создавал Ереванский разлом.

К 2009г. была сформулирована основная проблема, связанная с Ереванским разломом, - собранные материалы должны быть достаточными для решения следующих основных задач:

- а) определение местоположения и уточненной пространственной геометрии Ереванского разлома;
- б) определение геодинамической природы и кинематики Ереванского разлома;
- в) определение времени образования и степени современной сеймотектонической активности Ереванского разлома.

Для выполнения этих задач группой исследователей (Караханян А.С., Авагян А.В., Багдасарян А.Р., Аванесян М.А., Аракелян А.Р.) были проведены изыскания в следующих основных направлениях.

1. Анализ материалов дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа в зоне Ереванского разлома. Использовались космические снимки, аэрофотоснимки, цифровые модели рельефа с разрешением 45м, 20м, 5м. На основе анализа космических снимков с высокой разрешением, выполненной в 2007/2008 году, были выделены многочисленные камнедобывающие туфовые карьеры, попадающие в зону исследуемых структур. Все карьеры были осмотрены при полевых визитах для фиксации возможных следов тектонической активности на стенках карьеров.

2. Полевые маршрутные и площадные геолого-структурные и морфоструктурные съемки в зоне Ереванского разлома.

3. Новые полевые геофизические исследования в зоне Ереванского разлома: гравитационные профильные и площадные съемки (длиной 114 км), магнитометрические съемки (длиной 10 км), 15 км магнито-теллурической (МТ) съемки и ТЕМ профильные съемки (длиной 8 км).

4. Комплексный анализ данных глубоких буровых скважин, пройденных в прошлые годы и результатов геофизических исследований, полученных в прошлые годы в зоне Ереванского разлома. Затем оцифровка лога (разреза скважин) и построение геологических разрезов. Для СЗ фланга зоны Ереванского разлома были составлены и проанализированы разрезы → I-I и II-II (рис.1.6а). Кроме того, ввод данных буровых скважин в ГИС базу данных позволил построить следующие карты: карту распределения глубин залегания кровли (рельеф поверхности) палеозойского фундамента; карту залегания подошвы четвертичных базальтов (рельеф добазальтовой поверхности); карту распределения глубин залегания кровли (рельеф поверхности) палеозойского фундамента; карту распределения глубин залегания подошвы слоя четвертичных рыхлых отложений, залегающих на базальтах (рельеф базальтовой поверхности).

5. GPS измерения. Расстановка сети точек GPS измерений показана на рис.1.6 б.

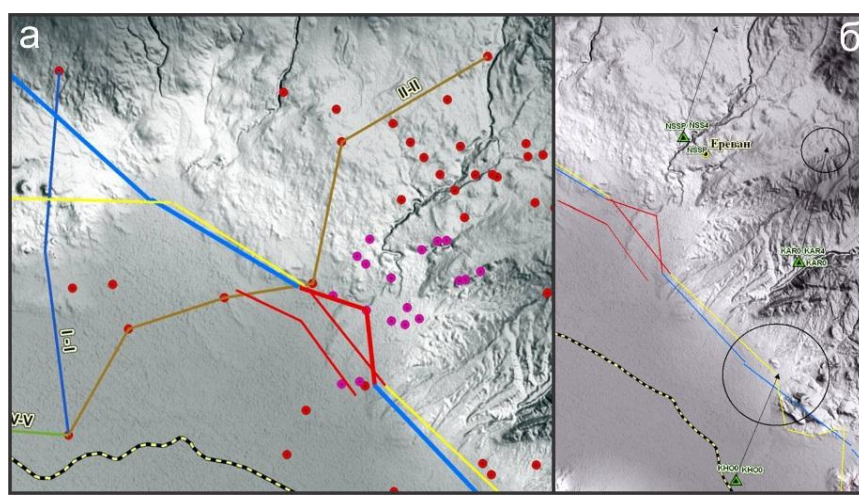


Рис.1.6 а – расположение глубоких скважин и геологические разрезы I-I и II-II, построенные по профилям буровых скважин; б – три пункта



(KHOO; KARO и NSSP) GPS сети были использованы для оценки возможных подвижек по Центральному сегменту Ереванского разлома.

### Общий анализ данных по зоне Ереванского разлома.

Критический анализ, имеющихся данных по зоне Ереванского разлома следует начать с сопоставления рисовок этой тектонической структуры, представленных А.Т. Асланяном и А.А. Gabriеляном. Как видно на рис. 1.7, по данным А.Т. Асланяна (желтая линия) Ереванский глубинный разлом картируется вдоль полосы устья реки Текор (Дигор) – Ахавнатун – Паракар – Двин – Джульфа.

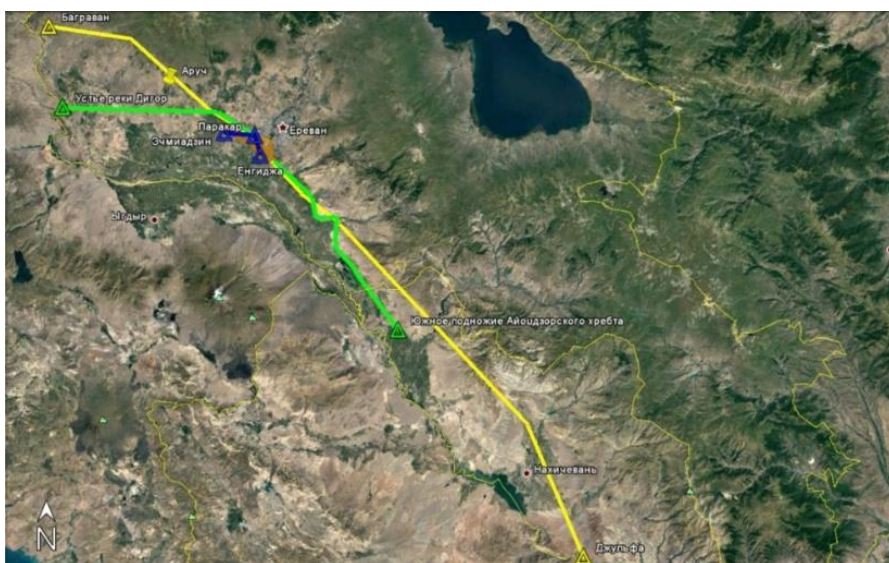


Рис.1.7. Местоположение и геометрические параметры Ереванского разлома по А.Т. Асланяну (желтая линия) и А.А. Gabriеляну и др. (зеленая линия).

А.А. Gabriелян и др. (зеленая линия), в целом соглашаясь с такой трассой разлома на центральном и западном участках, ЮВ продолжение протягивают по южному подножию Урцского и Айотцзорского хребтов, ограничивая тем самым северную границу распространения миоценовых молассовых и соленосных свит Среднеараксинской депрессии. В качестве одного из объяснений приводятся многочисленные минеральные источники, а также обширные травертиновые поля в Двине, Веди, Арарате.

А.А. Gabriелян и др. (зеленая линия), в целом соглашаясь с такой трассой разлома на центральном и западном участках, ЮВ

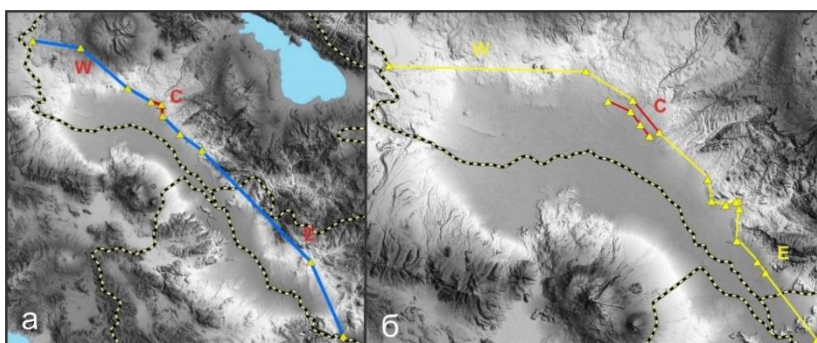


Рис.1.8. Посегментная геометрия Ереванского разлома (С – центральный сегмент – Арагац-Норабацское поднятие; W – западный сегмент; E – восточный сегмент): а – согласно А.Т.Асланяну (1955, 1958); б – согласно А.А. Gabriеляну (1958, 1981).

Таким образом, безусловно общим у А.Т. Асланяна и А.А. Габриеляна является то, что зона Ереванского разлома представляется ими как 3- сегментная структура (рис.1.8). При этом характеристика центрального сегмента практически одинакова, а на краевых – Западном и Восточном сегментах – подходы этих исследователей принципиально отличаются.

Е.Е. Милановский [48], в отличие от других исследователей, выделяет только центральную часть Ереванского разлома, называя ее Паракар-Енгиджинским поднятием (рис.1.7).

На основе анализа материалов геофизических исследований А.Р. Арутюнян [6], выделяет валообразное погребенное поднятие шириной 4 – 8км, которое протягивается вдоль южного обрамления Арагац-Цахкуняцкого срединного массива, с СЗ на ЮВ по трассе Маралик – Талин – Айнтап (Тазагюх). Эта Айнтап-Мараликская структура, в свою очередь, состоит из ряда разобщенных погребенных поднятий: Мараликского, Талинского, Ахавнатунского и Паракар–Норабацкого (рис.1.9).

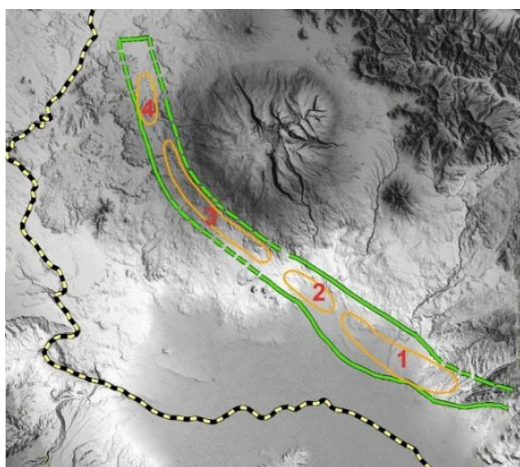


Рис.1.9. Геометрия Ереванского разлома (Айнтап-Мараликская возвышенность), выделенного на основании анализа геофизических исследований А.Р. Арутюняном (1976).

Погребенные поднятия: 1-Паракар-Норабацкое, 2- Агавнатунское, 3-Талинское и 4-Мараликское.

Если провести общую суперпозицию местоположения и геометрии Ереванского разлома по разным авторам, то только геометрия его центрального сегмента (Паракар-Норабацкое поднятие) не вызывает разногласий. Западный и Восточные сегменты демонстрируют значительные отклонения и в длине, и в локации разлома (рис.1.10).

Прежде чем перейти к посегментному рассмотрению зоны Ереванского разлома, необходимо еще раз отметить, что исследуемый регион покрыт мощным чехлом молодых отложений, поэтому эта структура плохо или вовсе не выражена на поверхности. Из-за скудности и даже отсутствия собственно геологического и геоморфологического материала исследователи данного региона вынуждены основываться в своем анализе и выводах на имеющиеся буровые и косвенные

геофизические данные. Вследствие этого геометрия параметров и местоположение Ереванского разлома многими исследователями трактуются по-разному.

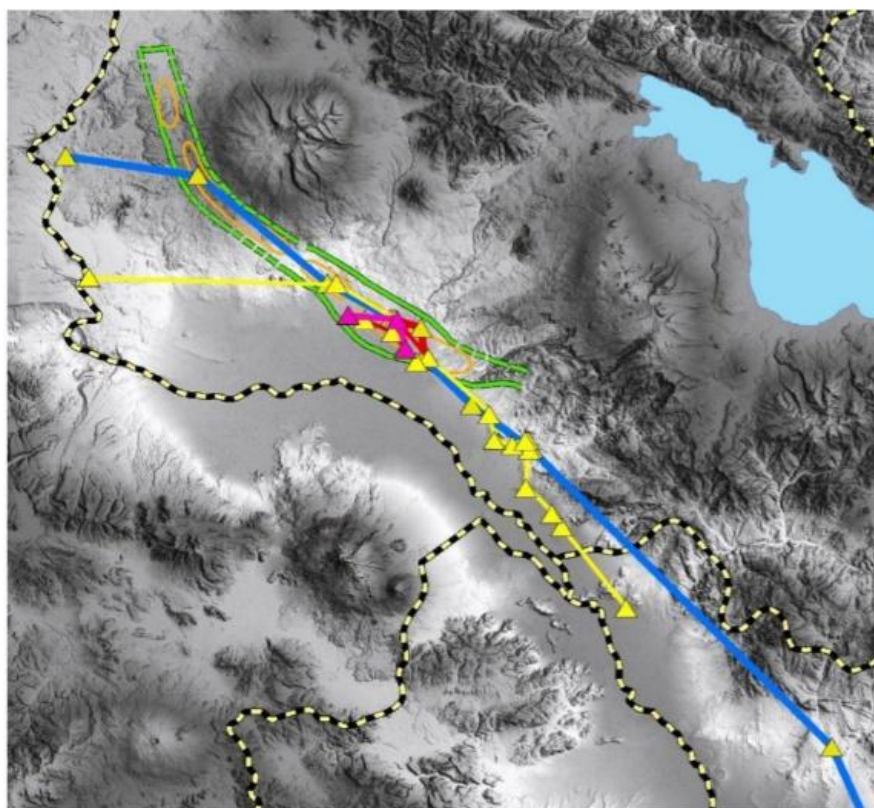


Рис.1.10. Геометрия Ереванского разлома согласно различным авторам: синяя линия – А.Т. Асланян (1955, 1958); желтая линия – А.А. Габриелян (1958, 1981); зеленая линия – А.Р. Арутюнян и др. (1976); розовая линия – Е.Е. Милановский (1968).

Ниже рассмотрим три сегмента Ереванского разлома более подробно с учетом новых данных,

полученных А.С. Караханяном и др. по результатам комплексных геолого-геофизических исследований 2009-10гг.

### **Центральный сегмент Ереванского разлома (Паракар – Норабацское поднятие)**

Если попробовать суммировать все сведения от разных авторов [5,8,18,48] о центральном сегменте зоны Ереванского разлома, можно выделить следующие основные положения.

1. В центральной части Араратской котловины, к югу от Еревана, геофизическими исследованиями, а затем и буровыми скважинами установлено наличие крупного погребенного горстового поднятия эопалеозойского основания северо-западного простирания. О горстовом характере этого подземного выступа каледонского субстрата свидетельствуют резкие различия разрезов и мощностей отложений по обеим сторонам предполагаемого разлома, ограничивающего описываемое поднятие с северо-востока. Тот факт, что около разлома происходит не только срезание отдельных свит, но и последовательное быстрое уменьшение мощностей отложений



отдельных систем, отделов и ярусов, свидетельствует о том, что разлом этот является древним и что существование его намечается, по крайней мере с верхнего палеозоя [17].

2. Уменьшение мощностей отложений и выпадание из разреза некоторых стратиграфических единиц свидетельствует о горстовом характере этой зоны. Гравимагнитной разведкой установлено, что по южному и северному бортам этого приподнятого района проходят разломы глубокого заложения, которые возникли в начале верхнего мела и придали поднятию горстовый характер [5].

3. В центральной части Араратской котловины Ереванская зона разлома выражена парными разломами, ограничивающими Паракар-Енгиджинское погребенное горстовое поднятие. Поднятие это было впервые выявлено гравиметрическими исследованиями и затем подтвердилось бурением. С северо-востока оно ограничено Ереванским глубинным разломом, а с юго-запада – Эчмиадзинским разломом. [18].

Исходя из вышеприведенного, А.С. Караханян и др. делают вывод о том, что впервые выявленное и описанное А.Т. Асланяном Паракар-Енгиджинское (Норабацкое) погребенное поднятие фундамента интерпретировалось рядом авторов как горст-поднятие, ограниченное разломами без прямого подтверждения признаков разломной зоны, основанных на данных буровых или инструментальных исследований.

Ниже, на рисунке 1.11 а, б представлена графическая суперпозиция основных рисовок (по разным авторам) центрального сегмента зоны Ереванского разлома, а также расположение имеющихся вокруг этой зоны буровых скважин.

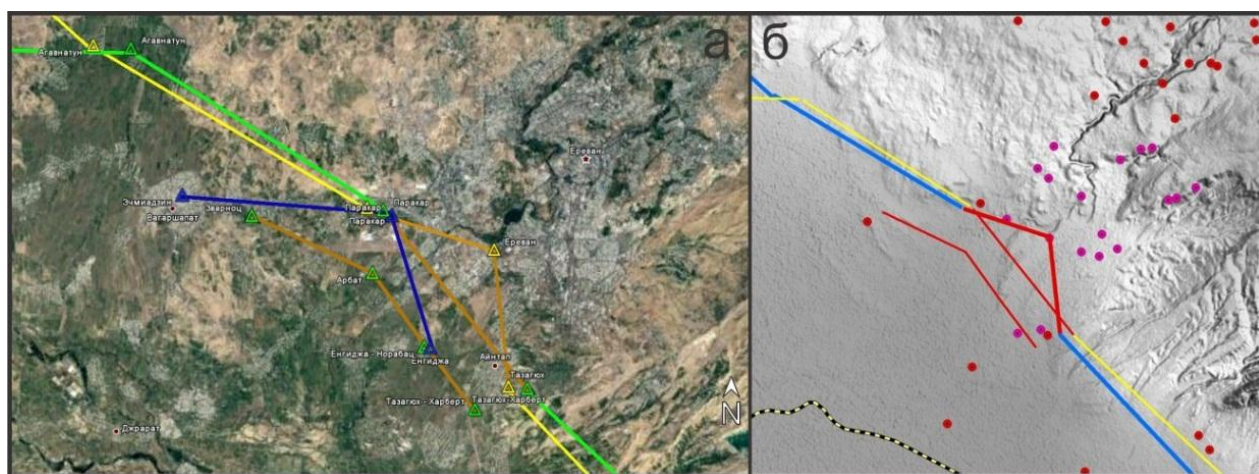


Рис.1.11. а – суперпозиция графических рисовок местоположения и геометрии центрального сегмента Ереванского разлома по разным авторам: А.Т. Асланян (желтая линия), А.А. Габриелян и др. (зеленая линия),

Е.Е. Милановский (синяя линия); б – расположение буровых скважин, имеющихсся вокруг Паракар - Норабацкого сегмента.

Построенные и проанализированные А.С. Караханяном и др. региональные геологические разрезы по данным глубоких скважин вкрест простирания погребенного поднятия, показывают, что пространственная геометрия описываемой структуры позволяет рассматривать ее не как исключительно горстовое поднятие, ограниченное разломами, но и как возможный результат постепенной деформации и достаточно пологого изгиба поверхности древнего погребенного фундамента, не ограниченного тектоническими разрывами. Сокращение же мощностей и выпадение из разреза определенных стратиграфических комплексов в кровле поднятия может быть интерпретировано при этом как результат постепенного выклинивания или прерывания некоторых горизонтов в кровле погребенного поднятия в процессе осадконакопления в двух смежных седиментационных бассейнах в быстрого условиях роста этого поднятия, когда скорость осадконакопления существенно отстает от скорости воздымания погребенного фундамента [116,117].

Таким образом, у всех исследователей, изучавших и описывавших глубинный Ереванский разлом, в частности, зону погребенного Паракар-Енгиджинского поднятия, нет однозначных и обоснованных данных о горстовом характере этого поднятия. Представления о существовании парных разломов, ограничивающих это поднятие с северо-востока и с юго-запада до настоящего времени не подтверждены и носят предположительный характер [117].

С другой стороны, при допущении факта существования разрывов, ограничивающих Паракар-Енгиджинское глубинное поднятие, весьма актуальным становится вопрос о возрасте этих разрывов и наличии современной тектонической активности данного сегмента Ереванского разлома.

Вопрос проявления современной (голоценовой) активности Ереванского разлома в области Паракар-Норабацкого поднятия также обсуждается во многих работах [5,17,18,47-49,72,73]. Суммируя все сведения от разных авторов о тектонической активности зоны Ереванского разлома в четвертичное время, можно выделить следующие основные положения.

1) По А.А. Габриеляну: «...разлом этот, вероятно, является древним, по крайней мере доверхнемеловым, о чем свидетельствуют данные буровых скважин (резкое сокращение мощностей и выклинивание отдельных горизонтов к разлому). Однако, несомненно, что он продолжает «жить» и в антропогене, доказательством чего может служить строгая приуроченность к этому разлому полей травертинов и месторождений арагонитов, генетически тесно связанных с деятельностью минеральных источников. Можно допустить также, что группа постплиоценовых вулканических аппаратов южного подножья массива горы Арагац генетически тесно связана с описываемым разломом и расположена на северо-западном продолжении последнего.» [17,18].

2) По С.К. Арзуманяну и Г.П. Симоняну: «Мощность четвертичных отложений в центральной части горста по данным бурения составляет 25-40м, а к северо-востоку и юго-западу от него соответственно 170м и 280м. Это свидетельствует о том, что горстовое поднятие находится в стадии воздымания, скорость которого превосходит темпы седиментации.» [5,72].

3) По Е.Е. Милановскому: «В рельефе Енгиджинское поднятие проявляется слабо, однако рост его в течение плиоцена и антропогена доказывается резким сокращением (до полного выпадения из разреза) верхнемиоценовых, плиоценовых и большей части четвертичных отложений в его сводовой части, где почти на поверхности залегает красноцветная толща верхнего олигоцена-нижнего миоцена.» [48].

На основании анализа материалов, полученных в результате новых полевых исследований (2009-2010гг.) [104], А.С. Караханян и др. приводят свою контраргументацию по этому вопросу:

1) Плиоцен-четвертичные отложения области (вулканогенная толща) не являются только осадочной толщей, и говорить о темпах осадконакопления во всей толще пород некорректно. По данным бурения, максимальная мощность четвертичных речных и озерно-речных отложений, перекрывающих поверхность базальтов и андезито-базальтов в Араратской котловине, не более 150-160м. В подавляющем своем большинстве четвертичные образования – это лавовые потоки и покровы,

которые весьма подвижны (мобильны) и, заполняя более древние депрессии и поднятия котловины, сглаживали рельеф подстилающих осадочных образований, в частности, нижних, довольно сильно деформированных горизонтов песчано-глинистых отложений сармата и соленосно-гипсоносных отложений среднего миоцена. Именно поэтому мощность вулканогенных образований в кровле погребенного поднятия невелика. Геометрия изгиба отдельных пластов и изменения мощностей указанных толщ хорошо демонстрируются на региональных геологических разрезах, построенных по данным глубоких скважин. Согласно этим данным наблюдаются вертикальные деформации (изгибы) и выклинивание отдельных пластов осадочного комплекса палеогена и миоцена в области поднятия палеозойского фундамента, однако, несмотря на сравнительно небольшую мощность перекрывающей их плиоцен-четвертичной вулканогенной толщи (в скв. “Тазагюх-1” - 22м, в скв. Паракар-114- 40м), деформаций ее поверхности в современном рельефе не наблюдаются [116,117].

2) По данным глубоких скважин “Паракар-114” и “Звартноц-115”, пробуренных в сводовой части погребенного поднятия, мощность плиоцен-антропогеновых образований действительно сокращается, причем значительно, однако полного их выпадения из разреза не фиксируется, точно так же, как *“выхода почти на поверхность”* красноцветной (пестроцветной) толщи верхнего олигоцена-нижнего миоцена не наблюдается. В разрезе скважины “Паракар-114” над указанной толщей залегает еще соленосно-гипсоносный горизонт среднего миоцена, а также плиоцен-антропогеновая толща, суммарная мощность которых достигает здесь порядка 200м [116,117].

По мнению А.С. Караханяна и др., аналитические материалы предыдущих исследований относительно современной тектонической активности, кинематики, геометрических параметров Паракар-Норабацкого (Енгиджинского) погребенного поднятия весьма противоречивы, а также излагаются без приведения конкретно обоснованных геологических фактов. В своей аргументации исследователи Ереванского разлома делают основной упор на материалы бурения и косвенные геофизические данные [2,7-9,15,19], которые очень неопределенны и лишены каких-

либо деталей, позволяющих идентифицировать разлом с конкретной геологической структурой на поверхности. Это является следствием отсутствия выраженности Ереванского разлома в поверхностном геологическом строении.

Такое заключение подтвердили и другие исследования последних лет, не связанные с ААЭС. Так например, в 2003-2004гг. была выполнена работа “Сейсмическое микрорайонирование г. Еревана и Ереванской агломерации.” [91]. В рамках этой программы компанией “Геориск” были проанализированы более чем 150 неглубоких (30-300м) буровых скважин и составлена карта геологических и геотехнических условий города Еревана масштаба 1:10, 000, которая частично охватывает участок Паракар-Енгиджинского поднятия. В результате, эти исследования также не выявили каких-либо поверхностных признаков Ереванского разлома [91].

Планом исследовательских работ в 2009г. было предусмотрено составление геологической карты масштаба 1:50000 (рис.1.12а). При выполнении полевых геологических работ также не были зафиксированы следы поверхностного выражения Ереванского разлома. Однако осмотр карьеров строительного камня, находящихся к северу от села Паракар (рис.1.12а) позволил обнаружить слой речной гальки с видимой мощностью до 6м. По обоим флангам слоя гальки имеются плоскости разломов, которые образуют горстообразное поднятие, в центре которого находится слой гальки (рис.1.12б). Амплитуда вертикальных смещений разломов в гальке составила 1,2м.

Специалистами-геологами (А.С. Караханян, А.Р. Багдасарян) зафиксировано и задокументировано то, что вышележащий слой (над галькой) долеритовых базальтов доверхнеплиоценового возраста (по Э.Х.Харазяну) [121] не смещен по разломам. Следовательно, сеймотектоническая активность выявленных разломов может быть определена возрастом до верхнего плиоцена.



Рис.1.12. а - геологическая карта масштаба 1:50000, составленная в 2009/2010 годах. Красной стрелкой показаны карьеры, в которых были обнаружены разломы; б - малоамплитудные (1.2м) сбросы под покровом долеритовых базальтов доверхнеплиоценового возраста.

### Данные буровых скважин

Поскольку одним из основных факторов выделения Центрального сегмента Ереванского разлома были данные буровых скважин, в данном проекте были оцифрованы и введены в ГИС описания разрезов глубоких (2-4 км) буровых скважин, сделанных в прошлом (рис.1.11б).

С использованием ГИС базы данных были построены:

1) Карта рельефа поверхности кристаллического фундамента на которой подтверждается подъем кристаллического фундамента на центральном сегменте Ереванского разлома;

2) Карта рельефа поверхности подошвы плиоцен-четвертичных вулканических отложений – базальтов и туфов (до лавовой поверхности). Результаты построения показывают отсутствие четкой выраженности поднятия кристаллического фундамента и Центрального сегмента Ереванского разлома в долавовом рельефе поверхности, датируемой верхне-миоценовым временем.

3) Карта мощностей голоцен-четвертичных озерных отложений, которая также демонстрирует отсутствие выраженности поднятия кристаллического фундамента на Центральном сегменте Ереванского разлома.

Для контроля полученных в ГИС базе данных результатов А.Р. Багдасаряном были построены геологические разрезы на основе данных буровых скважин. Профиль II-II (рис. 1.13а) пересекает Центральный сегмент Ереванского разлома. Разрез демонстрирует поднятие кристаллического фундамента между скважинами Зейва ЗП и Звартноц 115 на ЮЗ и Паракар 114 и Раздан14П на СВ (рис.1.13б). Наблюдается



также выклинивание слоев палеогена на СВ крыле поднятия фундамента и сокращение мощностей среднемиоценовой соленосно-гипсоносной толщи и сарматских глин [117].

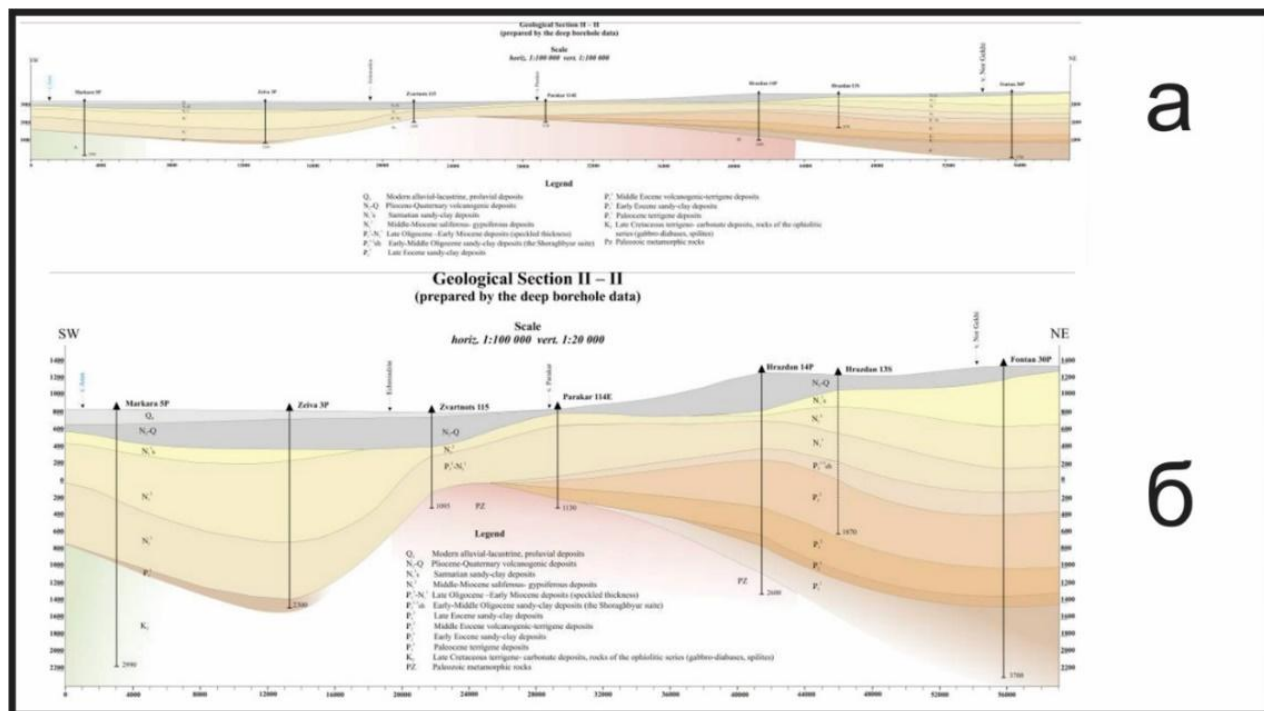


Рис.1.13. Геологический разрез II-II, пересекающий Центральный сегмент Ереванского разлома: а – реальное соотношение горизонтального и вертикального масштабов; б – утрированный вертикальный масштаб.

Таким образом, проведенный ГИС анализ данных глубоких буровых скважин и построенные геологические разрезы показывают наличие поднятия кристаллического фундамента на Центральном сегменте Ереванского разлома. Фиксируется также выклинивание и сокращение мощностей палеоген-миоценовых отложений. Четкой выраженности поднятия кристаллического фундамента в слое плиоцен-четвертичных вулканических отложений нет, нет его также в голоцен-четвертичных озерных и аллювиальных отложениях [116,117].

Однако ограничено ли поднятие кристаллического фундамента по обоим бортам разломами и является ли оно горстом, как считали А.Т. Асланян [7,8], А.А. Габриелян [17,18] и другие, сказать невозможно. По мнению А.С. Караханяна и др. пространственная геометрия описываемой структуры позволяет рассматривать ее не только как горстовое поднятие, ограниченное разломами, но и представить ее в качестве альтернативы, как возможный результат постепенной деформации и пологого изгиба поверхности древнего погребенного фундамента, не ограниченного тектоническими разрывами. Сокращение мощностей и выпадение из разреза

определенных стратиграфических комплексов в кровле поднятия может быть интерпретировано при этом как результат постепенного выклинивания или прерывания некоторых горизонтов в кровле погребенного поднятия в процессе осадконакопления в двух смежных седиментационных бассейнах в условиях достаточно быстрого роста этого поднятия.

Три пункта GPS сети – КНОО (Хорвираб); KARO (Гарни) и NSSP (Давидашен) были использованы для оценки возможных подвижек по Центральному сегменту Ереванского разлома (рис.1.6б). Полученные результаты показывают отсутствие движений между этими пунктами [116].

Таким образом, анализ данных дистанционного зондирования, цифровых моделей рельефа и полевые работы не выявили каких-либо прямых признаков четвертичной активности Центрального сегмента Ереванского разлома на поверхности в виде скарпов, смещенных водотоков или других морфоструктурных элементов, характерных для зоны активного разлома. Данные GPS наблюдений показывают отсутствие движений по Центральному сегменту Ереванского разлома.

### **Данные геофизики**

Впервые Ереванский разлом был выделен на основе анализа карт гравитационных аномалий масштаба 1:500,000 А.Т. Асланяном [7,8] и А.А. Габриеляном [17,18]), которые тогда предоставляли наиболее полную геофизическую информацию. Следует отметить, что в настоящее время также картирование этого разлома проводится по геофизическим и сейсмологическим данным [55,84].

Анализ имеющихся карт гравитационных аномалий масштаба 1:200000 и 1:100000 показывает совпадение предполагаемой геометрии Центрального сегмента Ереванского разлома (Паракар-Енгиджинского поднятия) с линейно вытянутой в ЗСЗ направлении аномалией относительного максимума силы тяжести (рис.1.14а). Подобная же картина наблюдается и на карте гравитационных аномалий масштаба 1:50,000 (рис.1.14б). По обеим картам длина гравитационной аномалии составляет 20км, а ширина от 4 до 6 км.

Других надежных геофизических данных для Центрального сегмента Ереванского разлома не имеется.



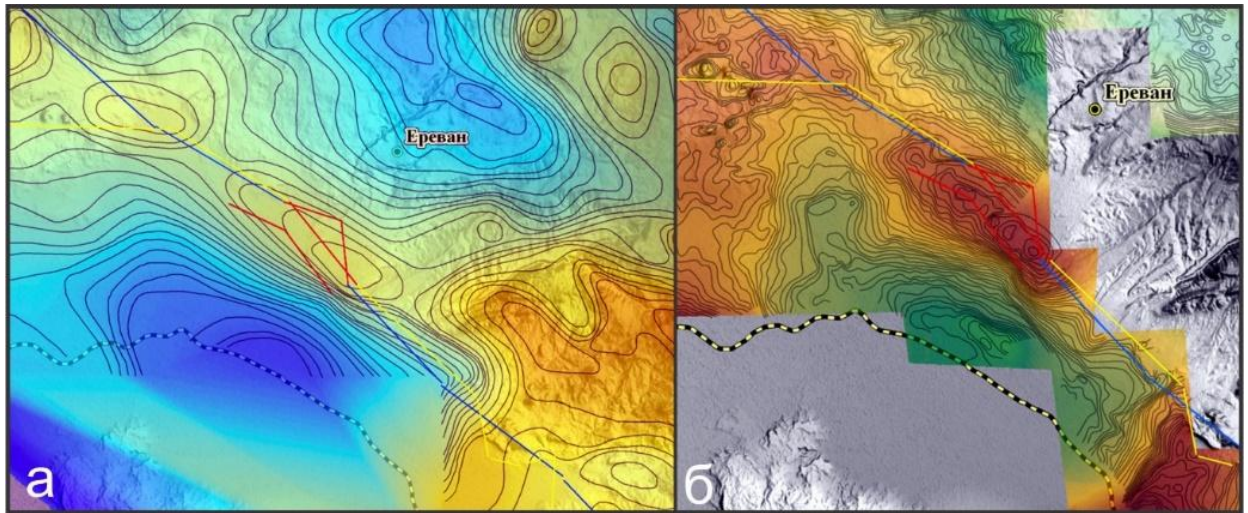


Рис.1.14. Совпадение предполагаемой геометрии Центрального сегмента Ереванского разлома (Паракар-Енгиджинского поднятия) с линейно вытянутой в ЗСЗ направлении аномалией относительного максимума силы тяжести: а – на карте гравитационных аномалий масштаба 1:200000; б – на карте гравитационных аномалий масштаба 1:50000.

ГИС база данных позволила провести суперпозицию и совместный анализ данных буровых скважин и карт гравитационных аномалий масштаба 1:200,000 и 1:50,000 (рис. 1.15а,б).

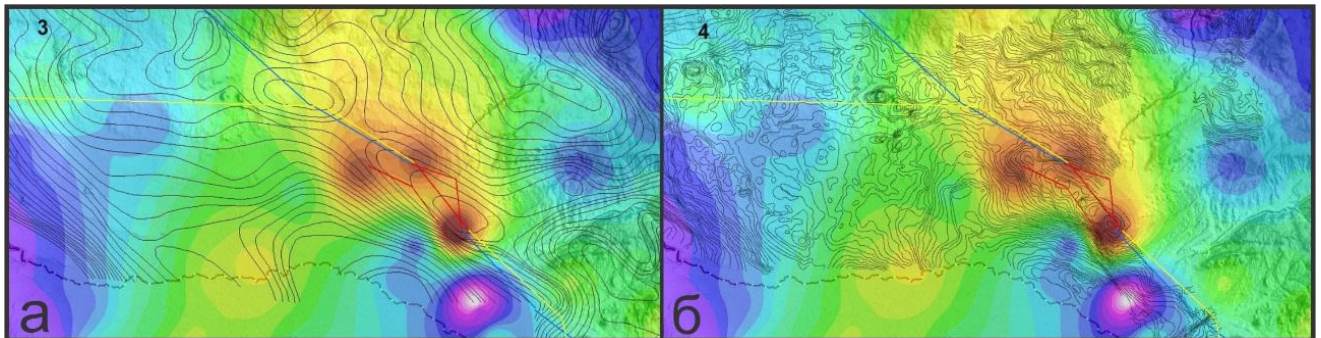


Рис.1.15. Сопоставление рельефа поверхности кристаллического фундамента (по данным буровых скважин) с данными карт гравитационных аномалий: а – масштаба 1:200000; б – масштаба 1:50000.

Полученные результаты свидетельствуют, что на участке от города Эчмиадзин до села Нор Харберд, как по данным буровых скважин, так и по данным карт гравитационных аномалий выделяется поднятие кристаллического фундамента, которое представляет собой линейную зону (длиной около 18 км и шириной 4-4.5км), совпадающую с Паракар-Норабацским сегментом Ереванского разлома, который ранее уже интерпретировался как поднятие фундамента. Если принять во внимание, что поднятие фундамента может являться северной границей Приараксинской (Арташатской) депрессии, то его длина будет определяться геометрией северной границы депрессии и составит в этом случае 30 км. На гравитационной карте

масштаба 1:50000 (рис. 1.15б) видно, что хорошо выраженная линейная аномалия относительных максимумов силы тяжести протягивается от города Эчмиадзин до села Нор Харберд, а далее к востоку аномалия силы тяжести становится слабо выраженной [116,117].

Таким образом, возможно подтвердить данные прошлых исследований по выделению Паракар-Норабацкого поднятия кристаллического фундамента. В дальнейшем мы будем называть выделенное поднятие фундамента – Ереванским поднятием. К востоку от села Нор Харберд амплитуда Ереванского поднятия или резко уменьшается, или поднятие полностью исчезает. По данным буровых скважин, гравиметрических и геологических карт длина хорошо выраженного участка Ереванского поднятия между городом Эчмиадзин и селом Нор-Харберд составляет 18км. Общая длина поднятия, учитывая его слабо выраженную восточную часть до села Верин Двин, составляет 30км. Ограничено ли Ереванское поднятие по обоим бортам разломами, как считали А.Т. Асланян [7,8], А.А. Габриелян [17,18], или же оно является результатом флексурообразной деформации и пологого изгиба поверхности фундамента определить по совокупности полученных до настоящего времени данных невозможно. Исходя из принципа консервативности, для дальнейшего использования в сеймотектонической модели можно принять, что Ереванское поднятие ограничено по обоим бортам разломами. Исходя из того же принципа консервативности, несмотря на очень плохую выраженность Ереванского поднятия на восточном фланге, длину обоих разломов можно принять равной 30 км. [116,117].

Рассматривать ли Ереванское поднятие фундамента как сейсмогенную зону – зависит от признаков наличия тектонической и сейсмической активности.

Хотя прямых признаков тектонической активности на поверхности вдоль всей зоны Ереванского поднятия не обнаружено, нельзя исключить, что ограничивающие поднятие разломы могут иметь характер слепых разломов, а их активность может не иметь прямых отображений на поверхности [116,117].

Сопоставление данных расположения эпицентров землетрясений с магнитудой больше 4 с данными буровых скважин (рис.1.16а) и гравитационных карт (рис.1.16б) показывает возможную активность Ереванского поднятия. Однако, исходя из принципа принятия наиболее консервативного решения, будем считать, что эпицентры обоих Двинских землетрясений располагаются на восточном фланге Ереванского поднятия фундамента у села Верин Двин.

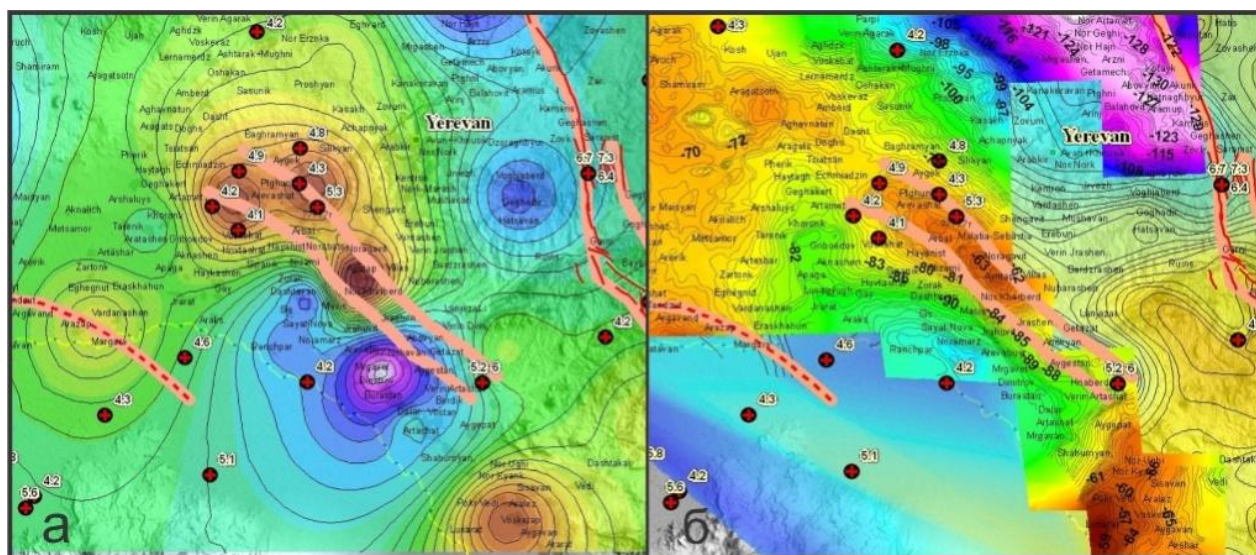


Рис.1.16. Сопоставление данных по расположению эпицентров землетрясений с магнитудой больше 4 с данными: а – буровых скважин; б – сопоставление данных по расположению эпицентров землетрясений с магнитудой больше 4 с данными гравитационных карт.

Таким образом, мы имеем косвенные признаки наличия возможной сейсмической активности Ереванского поднятия. Это делает возможным выделения вдоль обоих бортов Ереванского поднятия сейсмогенных зон. Длину обеих сейсмогенных зон можно оценить несколько больше, чем длину самого поднятия, и принять равной  $33 \pm 2$  км. [116,117].

Следовательно, Центральный сегмент Ереванского разлома находит свое выражение в линейном поднятии кристаллического фундамента на участке Эчмиадзин-Верин Двин и может быть выделен в Ереванскую сейсмогенную зону.

В заключительной части обзорной главы необходимо рассмотреть как достоверность выделения Восточного и Западного сегментов Ереванского разлома, так и оценить их возможную сеймотектоническую активность.

### **Восточный сегмент Ереванского разлома**

Собственно говоря, никаких серьезных геологических, геофизических, морфоструктурных или иных признаков выделения Восточного сегмента Ереванского



разлома никем не приводится. Ереванский разлом протягивается на юго-восток от Ереванского поднятия на территорию Нахичевана на расстояние 150 км [7,8] и на расстояние 55 км. [17,18]. Основные аргументы о продолжении Ереванского разлома на ЮВ сводятся к следующему:

а) «Восточный сегмент разлома прослеживается по южному подножью Урцского и Айоцзорского хребтов и очерчивает северную границу распространения миоценовых молассовых и соленосных свит Среднеараксинской депрессии. На линии разлома расположены многочисленные минеральные источники сел Двин, Кахцрашен, Нор-Уги, Веди, Арарат и обширные поля травертинов» [8,17,18].

б) «По разлому во многих местах породы среднего и верхнего палеозоя Урц-Даралагязского хребтов надвинуты на отложения соленосной свиты миоцена. Восточнее села Азнабюрт разлом несколько маскируется, однако и здесь его можно узнать в эффектно выраженной флектуре» [17].

Ниже приведем комментарии, основанные на результатах геолого-геофизических работ (более 15 лет) в Приараксинской зоне РА, полученных исследовательской группой А.С.Караханяна и др.

1. Действительно, к востоку от Ереванского поднятия по северному борту Араратской долины фиксируется несколько надвигов и взбросов по которым происходит надвигание верхнемеловых и палеозойских пород на миоценовые и олигоценые отложения. Однако простираение этих надвигов имеет восток-западное направление, противоположное простираению Ереванского разлома. Они представляют собой самостоятельную систему разломов, независимую от предполагаемого восточного продолжения Ереванского разлома. К востоку от Ереванского поднятия на отрезке длиной 25 км от с. Кахцрашен до с. Суренаван имеется 7 минеральных источников и обширные поля четвертичных травертинов, однако геометрия расположения выходов травертинов и минеральных источников показывает, что они связаны с Вединским (Веди-Кадирлинским) и Суренаванским надвигами, а не с предполагаемым восточным продолжением Ереванского разлома.

2. Действительно, у с.Азнабюрд, действительно имеются эффектно выраженные скарпы крупного разлома, которые относятся к Гарнийскому активному разлому.

Скарпы у села Азнабюрд, как и сам Гарнийский разлом, имеют простирание на ССВ и никак не могут быть отнесены к Восточному продолжению Ереванского разлома. Кроме того, у с. Азнабюрд картируются несколько надвигов и взбросов простирания В-З, которые также никак не могут быть отождествлены с Ереванским разломом.

Таким образом, нет никаких признаков выделения Восточного продолжения Ереванского разлома. К востоку от села Верин Двин преобладают надвиги, имеющие поперечное к Ереванскому разлому простирание запад-восток. Признаков сейсмической или тектонической активности вдоль надвигов не имеется. Араратская долина представляет собой систему из нескольких депрессий, разделенных перемычками из приподнятых блоков палеозойского фундамента. Большинство депрессий и разделяющих их блоков вытянуты в направлении запад-восток [116,117].

### **Западный сегмент Ереванского разлома**

В предыдущих исследованиях для подтверждения наличия Западного сегмента приводятся следующие аргументы:

а) по А.А. Габриеляну: «На вероятном северо-западном продолжении, на южном склоне горы Арагац, расположены центры излияний постплиоценовых лав и туфов. Можно предположить продолжение разлома по южному склону горы Арагац, о чем косвенно могут свидетельствовать расположенные на этой линии вулканические аппараты (южнее села Ошакан) и резкое флексуорообразное погружение плиоценовых лав горы Арагац под отложения Араратской котловины на южном подножии Шамирамского плато» [17].

б) по А.Т. Асланяну: «Рассматриваемый разлом на западе скрывается под молодыми лавами и проявляется здесь лишь по данным гравиметрических исследований» [8].

в) А.Р. Арутюнян и др. [6] выделяют западное продолжение Ереванского разлома в виде трех линейных поднятий – Ахавнатунского, Талинского и Мараликского – на основе анализа гравиметрических аномалий на карте масштаба 1:200,000, интерпретируя их как поднятия кристаллического фундамента. Местоположение погребенных поднятий почти совпадает с направлением Арагацкого линеамента. Однако нет ни одной, даже неглубокой, буровой скважины, которая подтвердила бы подобную интерпретацию.

Основная задача, которую нужно было решить заключалась в том, чтобы понять насколько реальна возможность привязки Арагацского линеамента к Ереванскому разлому через его СЗ продолжение.

1) Результаты полевых геолого-геофизических и вулканологических исследований исследований, предпринятых в 2009 году по не выявили каких-либо следов Арагацского линеамента в морфоструктуре или геологии. Кроме того, не было обнаружено никаких признаков разломов, тектонических или сейсмических деформаций рельефа.

2) По результатам новых исследований можно сделать заключение, что в районе вулканов Шамирам и Кармратар и лавового уступа к северу от них нет каких-либо морфоструктурных или геологических признаков наличия разлома и не происходило тектонических деформаций после 0.68 Ма.

3) Молодой лавовый поток с вулкана Теринкатар длиной 11 км двигался по небольшой речной долине, которая по диагонали пересекает вероятную трассу Западного продолжения Ереванского разлома. Детальный полевой осмотр лавового потока показал, что на всем его протяжении нет никаких следов деформаций, которые могли возникнуть в случае проявлений тектонической или сейсмической активности (рис.1.17).

4) На северном и западном склонах вулкана Кармракатар имеется несколько карьеров. Обследование показало наличие в них лишь небольших трещин со смещениями по вертикали от 0.3 до 1м. Подобные трещины весьма характерны для шлаковых вулканов и имеют гравитационно-вулканическое происхождение. Следовательно, в районе вулканов Шамирам и Кармратар и лавового уступа к северу от них нет каких-либо морфоструктурных или геологических признаков наличия

разлома и не происходило тектонических деформаций после 0.68 Ма.

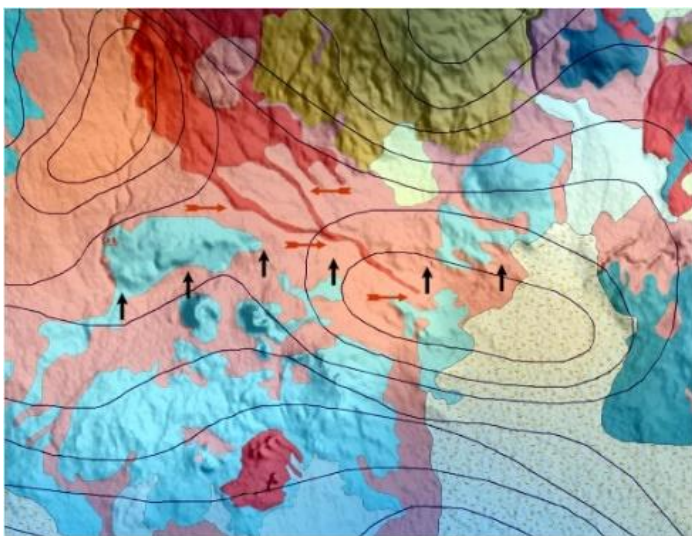


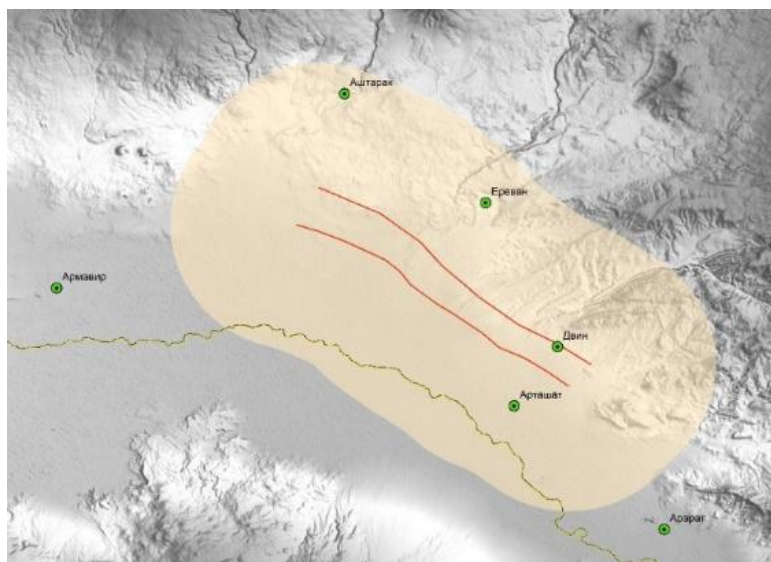
Рис.1.17. Долинный лавовый поток с вулкана Теринкатар возрастом 0.45Ма (отмечен красными стрелками), не имеет следов деформации при пересечении с лавовым уступом

(черные стрелки), интерпретируемым ранее как вероятное продолжение Ереванского разлома.

Таким образом, можно сделать заключение, что современная поверхность предполагаемого западного продолжения Ереванского разлома ничем не проявлена и, по-видимому, за все плиоцен – четвертичное время не показала признаков активности [116,117]. Этот вывод подтверждается рядом исследований, не относящимся к ААЭС [84,123]. На основании всех проведенных геолого-геофизических работ исследовательской группой А.С. Караханяна (2003-2011гг.), для района Армянской АЭС была составлена сеймотектоническая модель НорАтом 2011, в которой также учтена и откартирована зона Ереванского разлома (рис.1.18).

Рис.1.18. Сеймотектоническая модель Ереванского разлома (НорАтом 2011).

Исходя из принципа консервативности, для дальнейшего использования в сеймотектонической модели можно принять, что Ереванское поднятие ограничено по обоим бортам разломами. Исходя из того же принципа консервативности, несмотря на очень плохую выраженность Ереванского поднятия на восточном фланге, длину обоих разломов можно принять равной 30 км. [116,117].



## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ.

### 2.1. Методика анализа базы данных по исторической сейсмичности.

Материалы, по которым мы можем изучать прошлое человеческого общества, называются историческими источниками. При этом исследователь прошлого имеет дело не с историческими фактами, а с их отражением в сознании людей определенного времени, не с фактами в полном объеме, а с их фрагментами и вариациями. Этот процесс можно передать через следующую схему: *факт-событие*

– *исторический источник - факт-знание*. Таким образом, *исторический источник – это непосредственное отражение действительности*. Если мы изучаем отдельный вид письменных памятников – исторические произведения, то возникает проблема отличия исторических источников, ибо уже летописец предстает перед нами как первый историк. Вместе с тем цель летописца – описание современных ему событий с позиции «свидетеля» [25].

Исходя из важности роли летописцев, следует дать классификацию их качественных приоритетов:

- 1) летописец должен быть известен своими трудами и оценен как серьезный и объективный историк;
- 2) летописец должен быть современником описываемых им событий;
- 3) летописец должен жить и работать в регионе, где произошло описываемое им событие;
- 4) летописец должен быть в своем повествовании объективен и лаконичен.

В остальных случаях достоверность получаемой от летописца исторической информации может вызывать сомнения и требует тщательной проверки.

Как правило, наиболее информативны следующие повествовательные источники.

1. Летописи – исторические сочинения, в которых события располагаются под определенными годами. Летописи формировались преимущественно в монастырях. Там же хранились и переписывались тексты. Поэтому большинство летописных памятников носят название тех монастырей и кафедральных соборов, в которых они создавались. Довольно часто под влиянием изменений политических или других обстоятельств текст летописи сознательно перерабатывался. Так возникали новые редакции летописных сводов. Если же в отдельный летописный свод соединялись разные редакции, то возникал новый летописный памятник [25]. Первые армянские манускрипты (рукописи) датируются серединой V века (после создания армянского алфавита в 405—406 гг.) и доминируют до середины XIV века. Лишь потом появились *первые* печатные *армянские* книги, которые только к XIX веку окончательно вытеснили рукописную книгу.



2. Хроники – сочинения, возникшие в средние века, в которых при сохранении хронологии повествования, все большее значение стал приобретать сюжет исторического повествования. Иногда это вынуждало летописца отступать от записи по годам, что вело к преобразованию летописи в хронику (от греч. «chronikos» – относящийся ко времени). В хрониках в отличие от летописей дается исторический материал не только местного значения и масштаба, к тому же с частыми отступлениями от хронологической последовательности. Хронисты XII–XV вв., которые обладали большим кругозором и осведомленностью, чем их предшественники-летописцы, не только регистрировали факты, но и стремились дать им собственную интерпретацию [25]. Древнеармянская историография занимала доминирующее положение в Средневековье (V – XVIII века). В это время жили и творили около 100 историков-хронистов - от Агатангехоса (Агафангел), Мовсеса Хоренаци, Егише, Парпеци и Гевонда до Мхитара Айриванеци, Григора Камахеци (Даранагеци), Амираса Ерзнкаци, Закария Агулеци и Аракела Даврижеци.

3. Периодическая печать – представляет собой не отдельный вид источников, а специфическую систему передачи и сохранения информации, где коммуникативная функция является определяющей. Сложность изучения периодической печати предопределяется многообразием форм изложения материала, где условно выделяют три группы: материалы информационные, аналитические, художественно-публицистические. По периодичности издания подразделяют на ежедневные, еженедельные, ежемесячные и т.д. С точки зрения исследователей землетрясений необходимо изучать ежедневные издания, в которых больше информационных материалов, имеющих целью оперативно передать знания о различных событиях и фактах. Однако, такая оперативность может сопровождаться тиражированием слухов, непроверенной, неточной информации [25]. Для проверки, уточнения полученной в ежедневном издании информации, можно воспользоваться такой формой периодики как журналы (выходят раз в месяц или в квартал). Становление армянской периодической печати началось в конце XVIII в. — начале XIX в. Первый армянский журнал "Аздарар" ("Возвеститель") вышел в Индии в 1794 г. Во второй половине XIX в. в Тифлисе появляется ряд других армянских периодических изданий: двуязычная

(русско-армянская) газета "Кавказ" (1846 - 1847), армянская газета "Арабат" (1850 - 1851), а с 1872 года стала выходить газета "Мшак" ("Труженик").

При внимательном прочтении письменных источников и их тщательном анализе, в древних рукописях и исторических хрониках можно найти много косвенных сведений, свидетельствующих о реальном происхождении исторических землетрясений. Приведем несколько примеров.

1) Очень интересные данные о ряде землетрясений прошлого установил Н.Н. Амбрейсис. В Северном Пакистане, в городе Таксиле вдруг резко ухудшилось качество монет и их чеканка. В то же время где-то около 25 года н. э. сразу изменилась и строительная техника. Дома стали строить более прочно, на стабильных фундаментах, углубленных в землю до 5 м. Амбрейсис заключил, что это было вызвано землетрясением, при котором повредилось оборудование и пострадал персонал монетного двора. Описания подобных случаев известны для территории Сирии и Анатолии, Греции и Кипра.

2) Записи архивов позднего периода Римской империи и Византии дали следующие сведения о землетрясениях. Установлено, например, что некоторые города получали финансовую помощь или были на время освобождены от уплаты налогов – скорее всего для ликвидации последствий землетрясений и восстановления.

При проведении первичной обработки макросейсмических данных, полученных из рукописей и исторических хроник, особое внимание следует обратить на расхождение оценок в различных источниках, а также на возможность разного рода ошибок [66]. Опыт работы с источниками позволяет сделать некоторые выводы о наиболее распространенных ошибках и неточностях, встречающихся в различных каталогах исторических землетрясений Армянского нагорья [113,115].

1) “Чужие” землетрясения → случай, когда отголосок отдаленного сейсмического события принимается за автохтонное, происходящее из местного очага. Примерами такого явления для исследуемой нами территории служат 3 катастрофических землетрясения 1319г. → Ани, Маку, Татев.

2) Определенные сложности могут возникнуть при интерпретации представленных в летописных источниках таких природных явлений как оползни, обвалы, камнепады. Необходимо выяснить, являются ли они результатом самостоятельных естественных геологических процессов или как вторичные последствия связаны с землетрясением. Одним из таких примеров служит Гандзакское землетрясение 1139г., вторичный оползень которого спустился в долину и перекрыв русло р. Акстев образовал Голубое озеро (Гек-Гель).

3) Землетрясения- “дубли” → возникают в результате опечаток и описок, копирования (плагиата), эффекта «испорченного телефона». Сложно выявлять “дубли”, когда допущенная однажды ошибка переходит из одного источника в другой, иногда осложняется новой опечаткой, создавая иллюзию и необоснованную уверенность в наличии нескольких землетрясений. В таких случаях, в процессе распознавания “дублей” следует обратить особое внимание на близость написания дат, тождественность параметров времени суток (день, ночь, час и т.д.), дословное повторение описания (отдельные абзацы или целиком), идентичность характерных или специфичных словосочетаний.

4) Иногда ошибки обусловлены сходством географических названий различных по местонахождению населенных пунктов.

Эффективность исследований в области исторической сейсмичности напрямую зависит от разнообразия используемых в работе источников. При этом возникает одна из наиболее серьезных проблем – объективная и корректная оценка достоверности и качества источников информации. Этот вопрос в разное время рассматривался в работах многих специалистов. Один из важнейших выводов, судя по многочисленным отечественным и зарубежным публикациям, состоит в необходимости тщательной работы с первоисточниками историко-сейсмологических данных [57,79,87,99,100,113,115,124].

При интерпретации исходных сведений должны исключаться возникновение и последующее накопление ошибок, способных существенно повлиять на результат анализа — определения основных параметров очага исторического землетрясения. Выявить ошибку в параметрических каталогах, которые обычно рассматриваются как

окончательный и непреложный итог обработки сейсмологических данных, довольно сложно. В некоторых случаях ошибка может быть обнаружена случайно; наилучший результат достигается только в случае целенаправленной работы по тщательному пересмотру всего каталога. В этом случае должна анализироваться вся цепочка передачи информации об отдельном землетрясении: от первичных данных до этапа параметризации [66].

Для территории Армении определение параметров исторических землетрясений производилось в большинстве случаев на основе сведений из ранних компилятивных макросейсмических каталогов [14,30,53,76]. Естественно, что в процессе составления компиляций могли быть допущены искажения или сокращения исходных текстов, а также ошибки в датах, времени и месте проявления землетрясения. Подобные ситуации детально описываются в ряде публикаций [24,79]. Традиция рассматривать эти компиляции как основной источник данных привела к тому, что они, считаясь заведомо надежными, фактически «подменили» собой реальные первоисточники. Соответственно, накопленные в данных сводках ошибки и неточности зачастую не воспринимались в качестве таковых, не исправлялись и влияли на окончательный результат на этапе параметризации исторических землетрясений. Исправить эти ошибки можно только с помощью повторного поиска и анализа первичных сообщений о сейсмических событиях [66].

Известно, что в практике других стран местная пресса зарекомендовала себя как один из наиболее надежных и качественных источников сведений об исторической сейсмичности [124]. Поэтому в качестве дополнительных источников первичной информации нами была использована региональная периодическая печать XIX - начала XX в. Оригинальные газетные материалы по сильным сейсмическим событиям прошлого здесь почти не использовались. Поиск информации осуществлялся по датам анализируемых «сомнительных» землетрясений, а также методом сплошного просмотра годовых комплектов изданий.

Результаты тщательного поиска, изучения и анализа первоисточников (летописи, исторические хроники и др.) могут быть дополнены (подтверждены или опровергнуты) материалами полевых макросейсмических обследований в плейстосейстовых зонах изучаемых исторических землетрясений.

В итоге для оценки макросейсмических параметров исторических землетрясений практичнее использовать метод одновременного определения макросейсмического эпицентра и магнитуды, предложенный Н.В. Шебалиным [87]. В случаях с малым количеством точек наблюдения (типичная ситуация для исторических землетрясений территории Армении) этот способ выглядит наиболее приемлемым. Суть метода заключается в переборе нескольких значений магнитуды, для каждого из которых рассчитываются эпицентральные расстояния до пунктов с известной интенсивностью сотрясений. В итоге по наилучшей засечке эпицентральных расстояний определяются искомые параметры — магнитуда и макросейсмический эпицентр. Эпицентральные расстояния рассчитывались по номограмме ( $M$ ,  $\Delta$ ,  $I$ ) - корреляции для Кавказа [58]. Макросейсмическое уравнение, положенное в основу указанной номограммы, имеет следующий вид:

$$I = bM - v \lg \Delta^2 + h^2 + c, \quad (2.1)$$

где:  $I$  — интенсивность землетрясения,  $M$  — магнитуда,  $\Delta$  — эпицентральное расстояние,  $h$  — глубина очага,  $b$ ,  $v$  и  $c$  — коэффициенты, равные для территории Кавказа 1,4; 3,5 и 4,2 соответственно. Уточненные значения “местных” коэффициентов ( $b=1.4$ ,  $v=3.5$  и  $c=4.0$ ) для территории Армении представлены в работе [32].

## **2.2. Методика проведения полевых макросейсмических обследований.**

Для полевых работ в основном используется традиционное макросейсмическое обследование, основанное на выполнении и решении следующих принципиальных задач в эпицентральной зоне сильного землетрясения:

- 1) подробное и скрупулезное обследование зданий, домов и других построек в населенных пунктах на предмет выявления различных трещин, обрушений, просадок строительных конструкций и т.д., с целью оценки степени повреждений этих сооружений в баллах по шкале интенсивности;
- 2) ознакомительные беседы с местным населением с целью выявления возможных геологических (тектонических, оползневых, гидро-геохимических, разжижения грунта и т.д.) последствий землетрясения в ближайшей округе от населенного пункта,

выяснения их местонахождения и обследования, картирования этих вторичных эффектов;

3) вне населенных пунктов макросейсмическую съемку проводить по возможности детально с целью выявления возможных геологических и других последствий землетрясения;

4) обязательное макросейсмическое обследование расположенных в эпицентральной зоне церквей и монастырских комплексов на предмет обнаружения возможных повреждений и их оценка в баллах по шкале интенсивности.

Одним из классических примеров осуществления результативных полевых макросейсмических обследований можно считать работы, проведенные группой специалистов ИГН НАН Арм.ССР (А.С.Караханян и др. - 1988-1989гг.) в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения 07.12.1988г. В результате этих исследований, на основе обширного фактографического материала были получены следующие важные данные [37,83]:

а) на поверхности была обнаружена и закартирована сейсмодислокация СЗ-ЮВ направления длиной порядка 38км; максимальные амплитуды геодинамических подвижек были зафиксированы на центральном сегменте образовавшейся сейсмодислокации– взбросовая составляющая до 1,5м, сдвиговая составляющая – 0,9-1,0м; по трассе нового разлома найдены следы воздействия (на растительность) мощного подземного теплового потока;

б) были закартированы камнепады и оползневые тела, активизировавшиеся в результате землетрясения 07.12.1988г.; наиболее крупный оползень был обнаружен на СЗ фланге Спитакского разлома (в районе водохранилища Дзорашен); в близплейстосейстовой зоне зафиксированы аномальные изменения гидро-геохимического режима подземных родниковых и грунтовых вод;

в) были оконтурены плейстосейстовая 9-10 - балльная зона и возможный эпицентр данного землетрясения в пределах населенных пунктов Ширакамут (Налбанд) – Спитак – Гогаран;

г) общение с местными жителями населенных пунктов, близких к эпицентру, позволило получить интересную информацию о наличии реальных биопредвестников Спитакского землетрясения 07.12.1988г.;

д) очень часто в населенных пунктах близплейстосейстовой зоны, особенно, где было много человеческих жертв, общение с местными жителями не происходило по морально - этическим соображениям, в таких случаях оценка интенсивности сейсмических сотрясений для данной деревни осуществлялась с помощью результатов обследования территории местного кладбища (по состоянию надгробных плит, стелл и памятников). Такое методическое новшество позволило сделать выводы не только об интенсивности, но и о ротационных геодинамических подвижках в зоне высших баллов Спитакского землетрясения 1988г. [108].

Одним из наиболее важных результатов полевых макросейсмических работ, на наш взгляд, является обследование расположенных в эпицентральной зоне монастырских комплексов и церквей (46 объектов). Фактически, инструментальное Спитакское землетрясение 07.12.1988г. является сейсмическим событием, энергетический уровень ( $M_s = 7,1$ ) которого соответствует наиболее сильным историческим землетрясениям на территории Армении. Следовательно, современное макросейсмическое тестирование христианских церквей средневековья на сейсмостойкость (фиксация повреждений церковных сооружений от землетрясения 07.12.1988 г.) дает реальную возможность оценить их вероятную реакцию при сильных землетрясениях исторического периода, так как традиционные типы технологии и качество строительства армянских церквей мало изменились на протяжении христианского периода истории на всей территории Армении.

Основные результаты, полученные А.С. Караханяном и др. [37]. можно обобщить следующим образом.

1. Полные, серьезные и массовые сейсмогенные разрушения армянских церквей и других подобных сооружений наступают при интенсивности воздействия в 9 и более баллов по шкале MSK-64.

2. Серьезные массовые поражения и частичные разрушения армянские церкви получают в диапазоне интенсивности 8-9 баллов.
3. Частичные сейсмогенные повреждения они получают в диапазоне 7-8 баллов, а при интенсивности 6 баллов и ниже наблюдаются отдельные незначительные повреждения при особо неблагоприятных инженерно-геологических и других условиях.
4. Сооружение армянских церквей, за крайне редким исключением, проводилось в благоприятных инженерно-геологических условиях с использованием многих элементов качественного сейсмостойкого строительства.

В дальнейшем работы в этом направлении были продолжены С.Н. Назаретяном и др. В конструктивном отношении здания армянских церквей можно разделить на две группы – купольные и безкупольные. Авторами были обследованы более 50 церквей, расположенных в зоне интенсивности 7-10 баллов землетрясения 07.12.1988г. и дана классификация выявленных ими наиболее характерных повреждений. В результате проведенных масштабных исследований по характерным повреждениям армянских церквей была составлена новая, предварительная макросейсмическая шкала для оценки интенсивности землетрясений в интервале 7-10 баллов [56].

Кроме представленной выше методики проведения полевых макросейсмических исследований в эпицентральной зоне современных землетрясений, которая осуществляется группой или группами специалистов-сейсмологов, в некоторых странах (США, Австралия, Новая Зеландия и др.) применяется так называемый “метод наблюдателей”, в основе которого заложен принцип использования местного населения для проведения предварительной оперативной макросейсмической съемки плейстосейстовой зоны сильного землетрясения.

Для конкурентной оценки этих методов можно привести следующий сравнительный пример.

а) 05.01.1973г. вблизи города Туапо (Северная Новая Зеландия) произошло сильное землетрясение ( $M=7,0$ ). Через сутки, на основании результатов обследований местных



наблюдателей, в центральном офисе Сейсмической службы Новой Зеландии (г. Веллингтон) была составлена карта изосейст с эпицентром этого землетрясения, позволившая правительству страны оперативно и организованно начать спасательные работы и поставку первой необходимой помощи пострадавшим. [22,88].

б) 07.12.1988г. около города Спитак произошло не менее сильное землетрясение ( $M=7,1$ ). В эпицентральной зоне (территория северной Армении), независимо друг от друга, практически одновременно начали работать 7-8 макросейсмических отрядов из разных научных геофизических центров СССР. В результате, каждая полевая группа составила свой вариант изосейст высших баллов, а предварительная редакция общей карты изосейст Спитакского землетрясения была представлена во второй половине 1990г. Следует отметить также, что из-за отсутствия оперативной макросейсмической информации, в течение первых дней после землетрясения весь мир называл это сейсмическое событие – Ленинанканским землетрясением.

Таким образом, сравнительный анализ этих двух методов полевой макросейсмологии приводит к следующим выводам:

а) “метод наблюдателей” имеет неоспоримое преимущество прежде всего в оперативности получения той макросейсмической информации, которая необходима для принятия срочных, неотложных решений, связанных с ликвидацией последствий землетрясения;

б) “метод специалистов” имеет неоспоримое преимущество прежде всего в профессиональности членов полевой группы, что повышает качество и количество получаемой макросейсмической информации, и, безусловно, скажется при картировании результатов полевых исследований.

При полевых макросейсмических обследованиях в эпицентральных зонах воздействия сильных исторических землетрясений прежде всего проверяется реальность и точность оценки основных параметров этих сейсмических событий, представленных в существующих каталогах. Кроме того, особое внимание уделяется поиску геологических проявлений активной тектоники (сейсмодислокации, камнепады, оползни, просадки и разжижение грунтов и т.д.).

В большинстве случаев комплексный анализ информации исторических источников и результатов полевых макросейсмических исследований обычно позволяют точно локализовать на поверхности плейстоценовую область наибольшей разрушительной силы. Однако в древних летописях есть немало таких, в которых сложно определить реальный эпицентральный район конкретного землетрясения. Наиболее часто встречаются следующие случаи:

- 1) когда в летописях называется несколько местностей без указания района наибольших разрушений и нет других свидетельств о сильных разрушениях в каком-то определенном пункте, и тогда эпицентральный район можно локализовать позиционно относительно названных местностей;
- 2) когда в летописях упоминается только один населенный пункт либо культовое сооружение, подвергнутое воздействию землетрясения, и тогда многое зависит от степени детальности описания ущерба в данном месте либо в непосредственной близости;
- 3) когда приводимые в летописях факты свидетельствуют о том, что в данном пункте разрушения были не особенно тяжелыми и пострадали также отдаленные деревни, что указывает на то, что район наибольшего разрушительного воздействия землетрясения должен был находиться на некотором расстоянии от данного пункта;
- 4) когда в летописях упоминается город без описания серьезного ущерба, что свидетельствует либо о местном землетрясении, либо о сильном событии на некотором расстоянии от этого города.

Таким образом, вопрос локализации эпицентра тесно связан, в первую очередь, с проблемой оценки величины землетрясения [113,115].

В каталогах землетрясений доинструментального периода особое место занимают разделы палеосейсмичности и археосейсмичности. На современном этапе развития сейсмологии при оценке сейсмической опасности очень часто применяются методы “тренинга”, основанные на исследовании строения зон активных разломов по разрезам траншей. Полевые палеосейсмологические и археосейсмологические тренинговые исследования проводились ИГН НАН РА с 1988 г., а научной компанией «Геориск» - с 1997 г. Совместные проекты с коллегами из Университета

Монпелье-II (Франция), Геологического Института РАН (Россия) и Национального агентства по окружающей среде (Италия), позволили выявить на территории Армении следы многих доисторических землетрясений с  $M \sim 7,0-7,4$  [105,112,119,125,126].

При определении возраста палеоземлетрясений использовалось археологическое датирование ( $C^{14}$ ) артефактов, обнаруженных во многих траншеях. Магнитуды датируемых палеособытий были вычислены по выявленным в траншеях вертикальным и наклонным смещениям с использованием эмпирических зависимостей [134]. В случае, если возможно было оценить и длину палеоразрыва, то магнитуда палеособытия определялась и по моменту смещений [114]. Археосейсмологические исследования также предоставили много новой информации по сильным, ранее неизвестным землетрясениям, произошедшим в период от ранней и средней бронзы до античного и урартского времен. Были обнаружены следы нескольких сильных, ранее неизвестных землетрясений, поверхностные разрывы от которых сместили и деформировали археологические сооружения. Даты произошедших землетрясений определялись как по археологическому методу, так и по датировкам радиоуглерода в траншеях, сделанных поперек поверхностных разрывов, сместивших археологические сооружения.

В полевые сезоны 2016-2017гг. нами были проведены дополнительные палео- и археосейсмологические исследования в зоне Сардарпатской структуры, подтвердившие ее тектоническую и сейсмическую активность [39]. Миграция реки Аракс к югу на 12 км и регулярные изгибы ее меандр интерпретировались А.С. Караханяном [119] как свидетельство тектонической активности Сардарпатской структуры. На космических снимках хорошо заметны многочисленные меандры старых русел реки Аракс, протекавшей в древности у подножия холма Давтаблур, на котором располагалась первая столица Армянского царства – Армавир (III-II века до РХ) [80,132]. По данным армянского летописца Мовсеса Хоренаци, в 220-200 годах до Р.Х. река Аракс удалилась от города, и вследствие отсутствия воды для города и царского двора столица была перенесена в другое место [122].

Кроме того, здесь зафиксированы множество других крупных археологических объектов:

- а) на вулкане Давтаблур располагался крупный Урартский храмовый комплекс и царский дворец (VIII - VII века до РХ);
- б) восточнее вулкана Давтаблур, по осевой части Сардарapatской структуры, размещался урартский город Аргиштихинили (VIII - VII века до РХ).

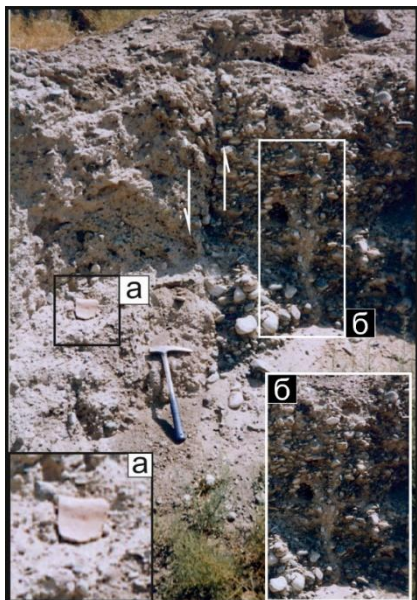


Рис.2.1. Поверхностный разрыв от сильного землетрясения. а - обломок керамического сосуда урартского возраста, б - эффект частичного разжижения грунтов.

Недалеко от Аргиштихинили, в озерных отложениях, разорванных и смещенных сейсмогенным поверхностным разрывом, А.Караханяном были найдены куски керамики (рис.2.1а) урартского возраста (VIII - VII века до РХ). Видимая вертикальная амплитуда смещения по поверхностному разрыву составляет 1-1.2м., что позволяет рассчитать ориентировочную магнитуду землетрясения по зависимости [134] приблизительно в 6,5. На сейсмогенную природу поверхностного разрыва также указывает эффект частичного разжижения грунтов, наблюдаемый на рис.2.1б. Храмовый и дворцовый комплекс Урартского периода на вершине вулкана Давтаблур, относящийся к VIII - VII векам до РХ, также несет на себе следы разрушения от сильного землетрясения.

Многочисленные блоки из хорошо обработанного черного базальта с вырезанными в них пазами для скрепления каменными скобами (рис.2.2В) разбросаны по северному и восточному склонам вулкана. Часть этих блоков была реутилизирована при реставрации стен во времена Армянского царства III - II века до РХ (рис.2.2).

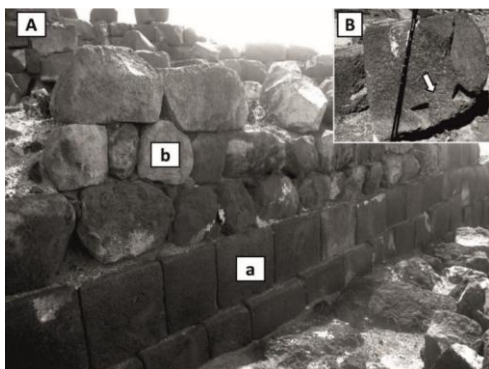


Рис. 2.2. Урартский храмовый и дворцовый комплекс на вершине вулкана Давтаблур. А. а - стена урартского периода VIII - VII века до РХ из плотного черного базальта, б - восстановление разрушенной урартской стены ошлакованными, плохо обработанными глыбами в период Армянского царства (город Армавир) III - II века до РХ, В - хорошо обработанные блоки

черного базальта с вытесанными пазами для скрепляющих скоб, относящиеся к разрушенной части стены урартского возраста.

Таким образом, на основании палео- и археосейсмологических исследований был сделан вывод о том, что Сардарпатская структура является сейсмически активным разломом (с потенциалом  $M=6.6-7.0$ ) со следами поверхностного разрыва и разжижения грунта от сильного землетрясения, произошедшего в период между VIII веком и II веком до РХ.

Еще одним интересным методом полевых сейсмологических исследований является геолого-геоморфологический метод выявления палеосейсмодислокаций, предусматривающий комплексное применение геолого-топографических, археологических и макросейсмических изысканий. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при проведении нами детальных исследований с целью картирования активных разломов восточной ветви Сюникской структуры pull-apart [13]. Основные задачи полевых работ в 2016 году сводились к следующему:

- а) выяснить, проявились ли поверхностные разрывы от сильного землетрясения 368 года н.э. или других сейсмических событий на Восточной ветви, как это было на Западной;
- б) определить наличие следов других сильных землетрясений на Восточной ветви.

Для этого нами были проведены следующие исследования.

1. Детальное картирование активных разломов Восточной ветви структуры pull-apart к северу от озера “Севлич”.
2. Визуальное обследование расположенных на скарпах археологических объектов и определение наличия следов их деформации при возникновении поверхностных разрывов в процессе реактивации активных разломов восточной ветви.
3. Проведение раскопок археологических сооружений в зоне активных разломов восточной ветви Сюникской структуры pull-apart там, где это могло быть связано с наличием сильных сейсмических событий в прошлом.

Для выполнения 1-го пункта исследований с помощью анализа данных аэрофотосъемки были выбраны 3 участка, расположенные на скарпах разломов восточной ветви к северу от озера Севлич (рис.2.3).

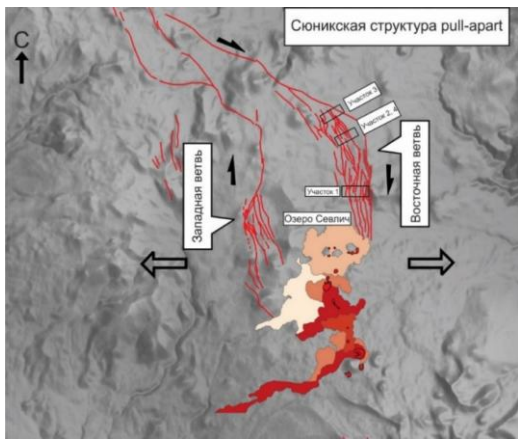


Рис.2.3. Сюникская структура pull-apart. На линиях разломов прямоугольниками выделены участки полевых работ в 2016г.

Здесь два главных разлома, ограничивающих Восточную ветвь структуры pull-apart, формируют между собой крупную депрессию, вытянутую в направлении север-юг. Между главными разломами имеются 3-4 ветви второстепенных разломов, также имеющих

компоненту правостороннего сдвига и сброса.

Скарпы второстепенных разломов пересекают многочисленные древние курганы и стены. Осмотр стен и курганов не выявил каких-либо деформаций, которые можно было бы связать с подвижками при сильных землетрясениях. Поперек второстепенных скарпов активных разломов были проведены детальные топографические профили с разрешением 1.5-2м (рис.2.4а,б,в).

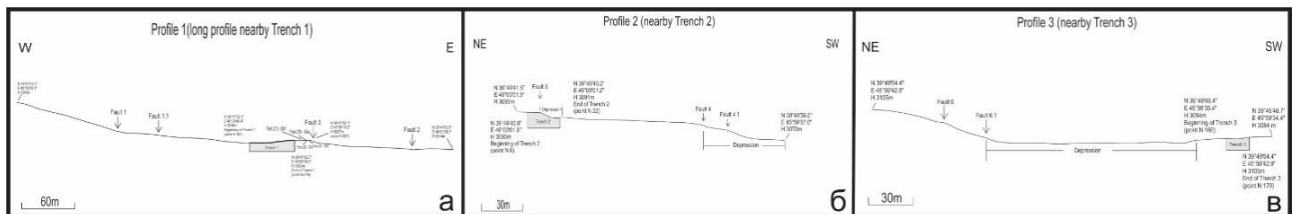


Рис.2.4. Топографические профили рельефа вдоль скарпов второстепенных разломов: а - на участке 1; б - на участке 2; в - на участке 3.

Профиль на участке 1 продемонстрировал хорошо выраженные вертикальные аномалии топографии на скарпах разломов (рис.2.4.а), а также наличие многочисленных небольших депрессий, вытянутых длинной осью вдоль направлений разломов.

На территории участка 2 зона северо-восточной ветви главного разлома состоит из двух сегментов 1 и 2, расположенных на расстоянии 140м друг от друга. Вертикальная амплитуда смещений по сегменту 1 составляет 4-5м, а по сегменту 2 - 9-12м. Между этими сегментами и вдоль них расположены многочисленные археологические сооружения (курганы, стены), осмотр которых не выявил смещений и сейсмодеформаций от сильных землетрясений.

Поперек сегментов 1 и 2 был проведен подробный топографический профиль с разрешением 1.5 – 2м. На профиле хорошо фиксируются значительные топографические аномалии в местах скарпов разломов сегментов 1 и 2, а также



приразломных депрессий (рис.2.4.б). Участок 3 расположен в 1км к северо-западу от участка 2, на сегменте 3 северо-восточной ветви главного разлома. Поперек сегмента 3 и 2 был проведен топографический профиль высокой резолуции (рис.2.4.б). Здесь имеется большое количество археологических сооружений (могильных курганов и остатков стен). Ниже приводится описание раскопок одного из курганов, насыпь которого была расположена прямо на продолжении скарга разлома. Диаметр кургана (по оси запад – восток) – 8,4 м. Гомогенная насыпь кургана целиком состоит из фрагментов андезито-базальтовых плит, совершенно лишена почвенного покрова или заполнения. Насыпь покрывали бессистемно уложенные естественные плиты, образующие перекрытие камеры. Последняя представляла собой грунтовую камеру размерами 1,35м x 1,20м, ориентированную по оси СЗ – ЮВ (рис.2.5а).



Рис.2.5. а – вскрытая грунтовая камера кургана; б - археологические артефакты, найденные в камере кургана (фрагменты керамического сосуда, бронзовый черенковый наконечник стрелы, сердоликовые бусы).

Камера была заполнена обломками плит, среди которых на разных отметках были найдены многочисленные фрагменты керамики и мелкие фрагменты костей скелета. Наряду с керамикой, инвентарь погребения составляют бронзовый черенковый наконечник стрелы (длина - 6,45 см, вес - 7,9 г), сердоликовые и пастовые бусы (рис.2.5б). Датирующими элементами комплекса являются прежде всего керамика и наконечник стрелы. По морфологии, декору и технике изготовления сосуд полностью аналогичен образцам керамики, в частности, кургана Гехакара [118]. На основании аналогий, данный курган предварительно может быть отнесен к временному периоду раннего железа и датирован XII – XI вв. до н.э.

Следует отметить, что скарга основного разлома восточной ветви Сюникской структуры pull-apart южнее озера Севлич перекрывается Каркарским вулканическим лавовым потоком 2-ой генерации. Именно отсюда (рис.2.6) были отобраны образцы для проведения *Ar-Ar* анализа в лаборатории Орегонского университета. В итоге были получены следующие результаты по датировке: базальтовый трахиандезит (3-3-10) ↔ 8.3ka (± 2σ = ± 1.5).

Таким образом, во время полевых работ 2016г. обследование многочисленных древних археологических сооружений (могильные курганы и стены загона для скота из лавовых блоков), расположенных прямо на скарпах активных разломов восточной ветви Сюникской структуры pull-apart (в зоне участков 1-3), не выявили явных признаков археосейсмической активности района исследований в течение последних 3100-3200лет. Более того, результаты *Ar-Ar* анализа отодвигают временную планку периода отсутствия сильных землетрясений в районе наших исследований еще на 8.3ka ( $\pm 2\sigma = \pm 1.5$ ).



Рис.2.6. Участок, где лавовый поток перекрывает скарп разлома.

Выделено место взятия образца для анализа *Ar-Ar*.

По результатам данной работы, можно констатировать контрастное различие сейсмической и тектонической активности на 2-х ветвях Сюникской структуры pull-apart:

а) на западной ветви структуры pull-apart были зафиксированы горизонтальные смещения кургана и стены загона для скота амплитудой 7.5-8м, образовавшиеся во время землетрясения 368 года после РХ с магнитудой  $M=7.5$  [118]; б) на восточной ветви структуры pull-apart нет признаков проявления сильной сейсмичности, по крайней мере в течение 8.3ka ( $\pm 2\sigma = \pm 1.5$ ).

### ГЛАВА 3.

## АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗОНЫ ЕРЕВАНСКОГО РАЗЛОМА.

### 3.1. Общие сведения о базовых каталогах исторических землетрясений территории Республики Армения.

Оценка сейсмической опасности и работы по сейсмическому районированию базируются, прежде всего, на наших знаниях о сильных землетрясениях. В сжатом виде информация о сейсмических событиях бывает представлена в **макросейсмических** и **параметрических** каталогах землетрясений.

Современные каталоги содержат данные, полученные с помощью многочисленных методов, в том числе с помощью анализа различных исторических документов. Исторические свидетельства о землетрясениях в изучении сейсмичности

можно рассматривать как второй по надежности и полноте источник данных после инструментальной регистрации, при этом охватывающий намного более длительный период наблюдений. Довольно часто именно “историческая” часть каталогов землетрясений является основой для уверенного определения сейсмического потенциала исследуемой территории. Как видно из многочисленных публикаций последних десятилетий, проблема надежности и представительности каталогов приобретает приоритетный характер, и в настоящее время прилагаются значительные усилия по улучшению качества содержащейся в них информации [66].

Для территории РА вопросы надежности и представительности имеющихся каталогов землетрясений весьма актуальны, поскольку используемый для анализа базовый исторический материал недостаточно полон и требует существенной доработки и корректировки. Кроме того, актуальность обусловлена тем, что:

а) с одной стороны, территория РА это высокосейсмичная территория ( $M_{\max} \approx 7,5$ ;  $J_0 = 9-10$  баллов), со сравнительно продолжительным датированным историческим периодом времени (около 2400 лет);

б) с другой стороны, территория РА характеризуется недостаточной сеймостатистической базой по сильным как инструментальным, так и историческим землетрясениям ( $M \geq 6,0$ ), что создает определенные трудности при анализе параметров сейсмического режима (в частности, построении графика повторяемости сильных событий) и в конечном итоге – оценке сейсмической опасности;

в) данные о сильных землетрясениях из армянских исторических источников охватывают значительную территорию за пределами республики Армения и могут послужить основой для оценки сейсмической опасности соседних стран. Кроме того, эти данные позволяют оценить сейсмический потенциал активных разломов вблизи границ РА, землетрясения на которых могут деструктивно воздействовать на нашу территорию.

До недавнего времени (70-80гг. XX-века) основной базой данных об очаговых параметрах исторических землетрясений РА служил “Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г.” (соответствующий раздел «Кавказ») [58].

Вместе с тем следует отметить, что информация об исторической сейсмичности территории РА прослеживается во многих работах средневековых летописцев [41,46,52, 95,98] и историков более позднего времени [44,92], посвященных хронологическому описанию основных исторических событий. В конце XIX-начале XX веков появляются исследования специалистов не только по описанию макросейсмических последствий отдельных катастрофических землетрясений [1,61], но и обобщающие обзорные работы – макросейсмические (текстовые) каталоги – по конкретным территориям [14,30,32,53,64,75,76,97]. В этом ряду выделяются:

- 1) каталог Е.И.Бюса “Сейсмические условия Закавказья. Часть I. Хронология землетрясений в Закавказье.” (-1900гг.) [14];
- 2) каталог В.А.Степаняна “Землетрясения в Армянском нагорье и прилегающих окрестностях” (555д.н.э.-1900гг.) [97].

Первый вариант параметрического (табличного) каталога сильных землетрясений Приереванской зоны был составлен С.А. Пирузяном (1969г.) в исследовании “Опыт детального сейсмического районирования территории большого Ереванского района.” [64].

Наиболее полная версия параметрического каталога для нашей территории была представлена в работе Н.К. Карапетян (1986г.) “Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья.” [32]. В каталоге дается сводная хронология ощутимых землетрясений (1158 сейсмических событий) Армянского нагорья ( $M \geq 4.0$ ) за период 550г. д.н.э. – 1980г. Из них 802 события являются основными толчками, а 356 – форшоками и афтершоками. Для базы данных основных толчков с магнитудой  $M \geq 4.0$  в каталоге Н.К.Карапетян:

224 землетрясения произошли - до 1900г.

578 землетрясения произошли - после 1900г.

При этом сама Н.К.Карапетян считает, что для исторического периода (до 1900г.) «...имела место некоторая потеря информации о землетрясениях» [32].

Детальный анализ показывает, что для каталога Н.К. Карапетян базовым, “питающим” источником является все же «Новый каталог...» [58], при составлении которого анализировались материалы из компилятивных источников, традиционно

считающихся авторитетными, что создало кажущееся ощущение обоснованности представляемых данных. Тем не менее выясняется, что в любом из субкаталогов «Нового каталога...» (вне зависимости от конкретного региона) содержатся пропуски, а также неточности в определении параметров сейсмических событий [57].

До Спитакского землетрясения 07.12.1988г. ( $M_s \approx 7,1$ ) историческая часть каталога землетрясений территории РА практически не подвергалась ревизии. После катастрофы пришло осознание насущной необходимости начала серьезных исследований по корректировке и улучшению исторического каталога землетрясений территории РА.

Следует отметить, что в течении 1989г. в эпицентральной зону Спитакского землетрясения (вся северная часть территории РА) для проведения полевых макросейсмических обследований были направлены несколько групп специалистов из ведущих сейсмологических центров СССР. Полевой отряд ИГН (А.С. Караханян и др.) начал свои работы с 09.12.1988г. и продолжил обследования в 1989г. В результате был получен богатейший и во многом уникальный материал [36,37,83]:

- а) выявлен 3-х сегментный поверхностный сейсмогенный разрыв СЗ-ЮВ простирания общей длиной 37км;
- б) определены максимальные градиенты вертикальных и горизонтальных движений в центральном (Спитакском) сегменте, составившие  $\approx 1,5$ м и 1,0м соответственно;
- в) на основе афтершоковых записей первых 20 дней сейсмического процесса был однозначно определен мультиплетный (4 такта) характер очага этого сейсмического события;
- г) были зафиксированы разрушительные последствия землетрясения на поверхности земли – многочисленные и разнообразные повреждения в зданиях и постройках городов и других населенных пунктов зоны бедствия;
- д) выявлены также искривления и разрыв шпал железнодорожной ветки Джаджур - Спитак - Ваназор (в районе с.Налбанд), сошедшие с путей и перевернутые цистерны с горючим;

е) были зафиксированы вторичные геологические последствия Спитакского землетрясения – оползни, камнепады, фонтанирование или усыхание родников (изменение минерального и химического состава воды), выделение тепловой энергии вдоль осевой линии сейсмогенного разрыва;

ж) были получены коррелируемые результаты численных значений интенсивности ( $J_{0max}$ ) по макросейсмическим и инструментальным (расчет по  $M_{smax}$ ) данным.

Таким образом, проведенное в Спитакской зоне весьма успешное макросейсмическое обследование, позволило отработать ряд новых специфических методических приемов и подходов (в частности - обследование состояния могильных плит и памятников на территории кладбищ населенных пунктов), взяв их на вооружение в дальнейшей работе. Были пересмотрены определения параметров нескольких известных исторических землетрясений Армении (851-893гг.; 1679г.; 1827г.; 1840г. и др.), выполненные на основе первичных данных и архивных материалов, а также по результатам полевых макросейсмических обследований [34,40,120,133]. Первые серьезные результаты этой работы были использованы в 1997г. при составлении сводного каталога исторических землетрясений территории Кавказа [111], и далее, по мере пополнения новых данных, в 1999г. при составлении каталога сильных исторических землетрясений Армянского нагорья [35], а также в других работах [82,102].

Дальнейшие исследования в области исторической сейсмичности связаны с активизацией работ по оценке сейсмической опасности Армянской АЭС (1995 – 2012 гг.). Появляются следующие параметрические каталоги исторических землетрясений территории РА и сопредельных стран:

- 1) (С-1995) → Каталог исторических землетрясений ( $M > 3,5$ ) в районе радиусом 150км. от Армянской АЭС (“Атомэнергосейсмопроект”, Ереван, 1995г.);
- 2) (С-NSSP-1) → Каталог исторических землетрясений ( $M > 4,5$ ) радиусом 200км. и более от ААЭС (“НССЗ”, Ереван, 1996г.);
- 3) (С-NSSP-2) → Каталог сильных исторических землетрясений ( $M > 6,0$ ) Армении и сопредельных территорий (“НССЗ”, Ереван, 1997г.);



- 4) (C-Georisk) → Каталог сильных исторических землетрясений ( $M > 5,5$ ) на территорию радиусом 200км. и более от ААЭС (НИК “Геориск”, Ереван, 2003г.).
- 5) (C-Aspinall at all) → Рабочий каталог макросейсмических землетрясений ( $M > 3,5$ ) вокруг региона ААЭС (“Risktec solutions Ltd. and Enconet Ges.m.b.H”, project NSP - 04/A 18, Ереван, 2007г.); Selecting 'preferred solutions' for macroseismic earthquakes in and around the ANPP region. App. 1 Table 2.6 The Working Catalogue of Macroseismic Earthquakes.

В заключение следует отметить, что путь эволюции от создания описательных каталогов землетрясений к табличным, стал безусловным достижением, превратив макросейсмические исследования из описательной, вспомогательной сейсмологической дисциплины в один из основных методов количественной оценки сейсмической опасности. Однако сегодня многие специалисты считают, что чрезмерное увлечение параметризацией, неизбежно приводящее к снижению качества исходных данных, уменьшает надежность итоговых оценок параметров исторических землетрясений в каталогах [78].

### **3.2. Реанализ сильных землетрясений северо-западного фланга Ереванского разлома.**

В сеймотектонической модели, используемой для оценки сейсмической опасности центральной части территории РА (включая столицу – г. Ереван), немаловажное значение имеет Ереванский глубинный разлом, изучение которого выявило ряд проблем, требующих детального анализа. В частности, необходимо уточнить сейсмический потенциал северо-западного (СЗ) сегмента этой тектонической структуры – сейсмическую активность и значение  $M_{max}$ . Для решения этой задачи следует критически пересмотреть имеющиеся данные с учетом новых сведений о двух исторических землетрясениях – Аручском 972г. и Октемберянском 1916г. после РХ, которые возможно произошли в зоне Ереванского разлома.

#### **Аручское землетрясение 972г. после РХ.**

Впервые сведения об этом сейсмическом событии появляются в результате макросейсмических исследований С.А. Пирузяна в районе к СЗ от г. Ереван. После

этого, представленные С.А. Пирузяном данные [64,65] фиксируются в ряде каталогов под названием “*Аручское землетрясение 972г.*”. В таблице 3.1 представлены данные основных параметров Аручского землетрясения по разным каталогам.

Таблица 3.1. Параметры Аручского землетрясения 972г. по разным источникам.

Дата	Каталоги	Lat	Lon	M <sub>s</sub>	H (км.)	J (балл)
972г.	С. Пирузян и др. (1976г.,1984г.)	40.30	44.10	-	-	8
	Новый каталог...(1977г.)	40.30	44.10	5,0	8	7-8
	Н. Амбрасейс, К. Мелвил (1982г.)	40.30	44.10	5,4	-	>7
	Н. Карапетян (1986г.,1990г.)	40.30	44.10	5,0	10	7-8
	Каталог НССЗ – 1 (1999г.)	40.29	44.30	5,0	-	-
	Каталог НССЗ – 2 (2001г.)	40.30	43.90	6,5	8	-

Как видно, координаты эпицентра землетрясения 972г. значительно отличаются друг от друга. При этом следует отметить, что в ряде каталогов сведения об Аручском землетрясении 972г. вообще отсутствуют [53,97,109,113,129].

Дальнейшая хронология изучения этого сейсмического события начинается в 1994г. с работ по сбору и анализу всей возможной исторической информации. Затем, в 2003г. и потом в 2009г., были проведены дополнительные исследования в архивах, а также полевые макросейсмические обследования в плейстосейстовой зоне Аручского землетрясения. Ниже приводится реанализ всех имеющихся материалов по этому сейсмическому событию.



Рис.3.1. Хачкар с надписью мастера Горема, вставленный в 973г. в стену церкви Св.Григора в селе Аруч.

Итак, реальность (датировка и локализация) Аручского землетрясения обосновывается С.А. Пирузяном на основании следующего анализа: на западном участке северной стены кафедральной церкви Св. Григора (VII век - село Аруч) кладка выше оконных перемычек разрушена и переложена заново; в кладке восстановленной части использован хачкар, на котором имеется надпись: “Я, Горем, восстановил святой Католик в 973 году” (рис.3.1) [65].

Кроме того, в основе сейсмической версии С.А. Пирузяна лежит следующая аргументация:

- 1) в селе Аруч через западный фасад церкви Св. Григора и примыкающую к нему северную стену проходит зияющая трещина, возникшая в результате землетрясения; этим же землетрясением вырван купол кафедральной церкви монастыря Аруч;
- 2) в соседнем поселении Талин разрушены большая часть южной и западной стен, а также купол кафедрального собора Талинского монастыря (рис.3.2), на одной из сохранившихся колонн которой, с южной стороны, обнаружена старая надпись, датированная 970 годом;
- 3) землетрясение разрушило церковь в селе Даштадем, а также храм Звартноц.

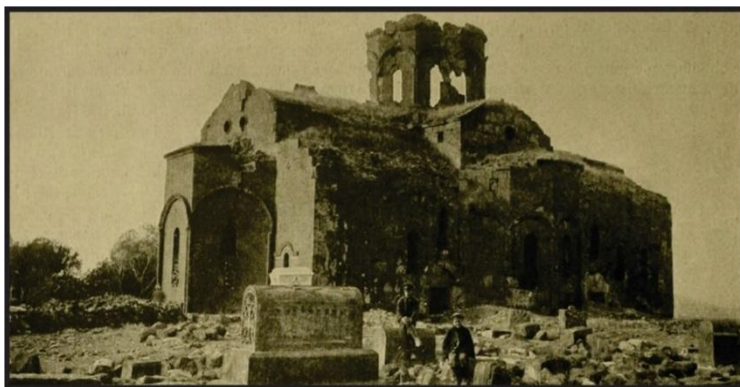


Рис.3.2. Общий вид кафедрального собора в Талине после катастрофы.

В результате делаются выводы:

- а) причиной вышеперечисленных разрушений является Аручское землетрясение;
- б) лишь две сохранившиеся записи в церквях Аруча и Талина свидетельствуют о том, что сильное Аручское землетрясение произошло в временном интервале 970 - 973 гг.

Анализ фотографий церкви Аруч до и после реконструкции в XX веке, а также результатов полевых макросейсмических обследований плейстосейстовой зоны Аручского землетрясения приводят к выводу о недостаточной обоснованности представленной С.А. Пирузяном версии о разрушении этой церкви от землетрясения в X веке. В пользу такого заключения можно привести ряд аргументов.

1. Село Аруч располагалось на большой торговой дороге и представляло собой крупное поселение с элементами городского уклада [45]. В VII веке здесь была резиденция правителя Армении Григора Мамиконяна, включавшая помимо крепости несколько крупных, монументальных гражданских и культовых зданий. В Аруче расположена одна из самых больших церквей в Армении (Собор Св. Григория - Аручаванк), построенная в 666 году. До конца VII века рядом с ней были построены здания дворца с колонным залом и наружной галереей. В V-VII вв. Талин был центром армянского княжества Камсараканов. В VII веке ими были построены Большой Талинский храм (кафедральная церковь) и Малая трехапсидная церковь. Временной период 901 – 1100гг. (X-XI века) был для Армении относительно спокойным и благополучным – не было междоусобиц и серьезных внешних вторжений. Поэтому очень удивительно, что в летописях и других исторических документах этого времени нет никаких сведений о сильном землетрясении в районе таких известных и крупных поселений, как Аруч и Талин. Следует также отметить, что в фактографической базе данных С.Пирузяна практически не освещается положение дел с разрушениями в находящемся всего в 5км от Талина селе Даштадем, историческими памятниками которого являются три церкви VI-VII вв. (св. Христофора, св. Саркиса, св. Григора).

2. Во время полевых макросейсмических работ, при обследовании отреставрированного в XX веке (1946 - 48гг.) Аручаванка, выяснилась важная деталь – восстановленные участки имеют форму перевернутого треугольника и отличаются тем, что камни использованные Горемом намного меньше по размеру (рис.3.3), чем изначальный строительный материал VIIв., сохранившийся при современной реставрации.

Исходя из этого, трудно предположить, что мастер Горем с гордостью вмуровал хачкар с сообщением об окончании реставрационных работ, отремонтировав лишь часть северной стены и не восстановив купол, барабан, а также сильно пострадавший западный фасад кафедральной церкви Св. Григора. Таким образом, напрашивается вывод, что только верхние участки северной стены – западный с надписанным хачкаром и восточный (относительно входной двери) были повреждены к 973г.

По мнению А.С. Караханяна, основная причина этих повреждений – процесс переувлажнения и эрозии верхнего участка северной стены по обе стороны от фронтона церкви из-за стекающей с кровли дождевой воды (рис.3.3).

Во время дополнительных макросейсмических обследований, проведенных в 2017г. нами была сделана ретроспективная серия фотографий, которые, на наш взгляд, дают достаточно подробное представление о сегодняшнем состоянии Аручаванка.

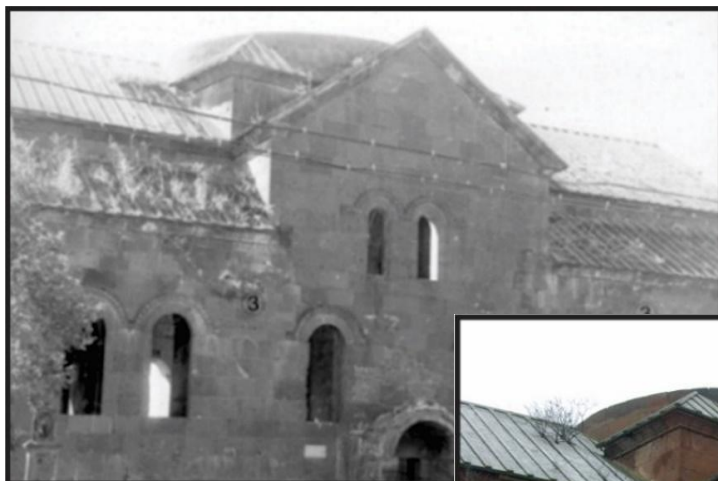
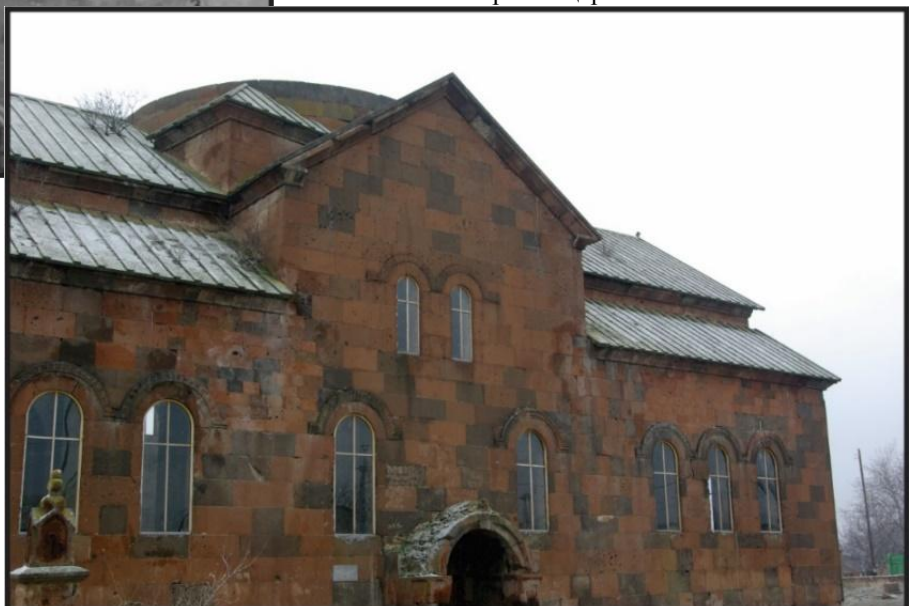


Рис.3.3. Северный фасад церкви в Аруче.  
Цифрами 1 и 2 отмечен участок стены с камнями меньших размеров, восстановленный Горемом в 973 году. 3 – отреставрированные Горемом участки треугольной формы, переувлажненные из-за стекания воды с крыши церкви.

Рис.3.4.  
Современный снимок северного фасада церкви в Аруче (фотография сделана приблизительно в том же ракурсе, что и на рисунке 3.3).

На рисунке 3.4 представлен тот же северный фасад



кафедральной церкви Св. Григора в Аруче (фотография сделана приблизительно в том же ракурсе, что и на рисунке 3.3). Теперь более детально визуализируем контаргументацию А.С. Караханяна. Как видно на рисунках 3.5-3.7 «...процесс переувлажнения верхнего участка северной стены по обе стороны от фронтона церкви из-за стекающей с кровли дождевой воды...» продолжает действовать и сегодня, что подтверждает наличие определенных изъянов в конструкции крыши, возможно, еще со времен строительства кафедрального собора или частичной реконструкции во временном интервале 666–972гг.





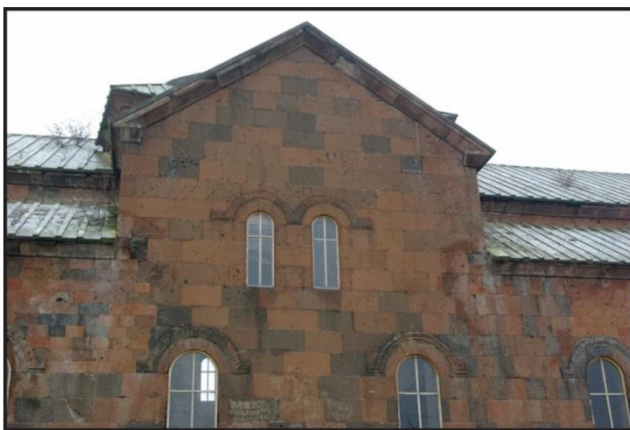


Рис.3.5. Дождевые подтеки в верхней части северной стены – и с западной, и с восточной стороны от фронтона собора.

Рис.3.6. Укрупненный фрагмент переувлажненного верхнего участка западной стороны северной стены.

Как видно на рисунке 3.6, процесс переувлажнения затрагивает строго ограниченную площадь в верхнем углу фронтона и не распространяется на соседний участок (справа), где контрастно располагаются современные туфовые блоки (реконструкция XX века).



Рис.3.7. а. укрупненный фрагмент переувлажненного верхнего участка восточной стороны северной стен б. находящиеся по соседству (на восточной стороне северной стены) – старые и новые эродированные туфовые блоки.

И наоборот, на затронутом процессом переувлажнения верхнем угловом участке фронтона восточной стороны почти все старые блоки заменены новыми образцами (самые маленькие по размерам туфовые блоки – реконструкция XX века). Как видно на рисунке 7б, эти новые блоки уже носят следы начавшейся эрозии.

3. По версии С.А. Пирузяна получается, что Аручаванк находился в полуразрушенном состоянии вплоть до XX века. Однако, многочисленные настенные надписи в соборе Св. Григория, датируемые 987, 1281, 1285 и 1336 гг. свидетельствуют о том, что в течении всего этого времени церковь оставалась центром религиозной, образовательной и общественной жизни региона. Кроме того, одна из надписей, датируемая XV веком, информирует о восстановительных работах, проведенных под руководством вардапета Хачатура [45]. В XX веке (1946-1948 гг.)



была проведена частичная реставрация, в ходе которой удалось воссоздать первоначальный облик кафедрального собора, за исключением барабана и купола.

На наш взгляд, Аручаванк действительно неоднократно реставрировался, о чем свидетельствует визуальный анализ различных туфовых блоков, имеющих в современной кладке стен кафедрального собора (рис.3.8).

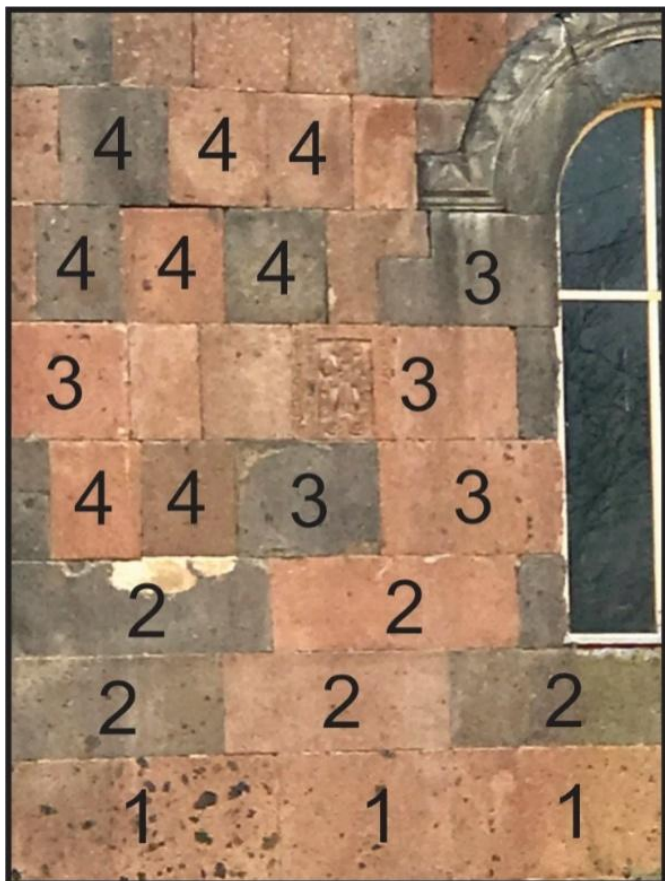


Рис.3.8. Укрупненный фрагмент участка северной стены с хачкаром мастера Горема.

На рисунке 3.8 представлена “галерея” различных туфовых блоков, отличающихся друг от друга, в первую очередь, своими геометрическими размерами. К 1-ой генерации следует отнести самые крупные пористые туфовые блоки прямоугольной формы (непосредственно над входом в церковь). Кладка основания северной стены (нижние 4-5 рядов) также состоит именно из таких блоков (рис.3.4). Ко 2-ой генерации следует отнести туфовые блоки средней

пористости и прямоугольной формы, той же длины, но меньшей высоты, чем блоки первой группы (рис.3.8). Плотные туфовые блоки 3-ей и 4-ой генераций идентичны по высоте, но различаются по длине. Учитывая то, что в обрамлении блока – хачкара (3-я группа) есть туфы 4-ой группы, можно предположить, что блоки этих двух групп относятся к “Горемовской” реконструкции. И наконец, самые маленькие туфовые блоки 5-ой генерации относятся к реконструкции XX века (рис.3.6, 3.7б).

Таким образом, из вышесказанного следует, что Аручаванк реконструировался несколько раз, и одной из этих реконструкций могли быть восстановительные работы, проведенные под руководством вардапета Хачатура.

Кроме того, нами была сделана попытка получить дополнительную информацию о разрушении кафедрального собора в Аруче с помощью изучения

старых фотографий. Известно, что большая часть фотографий *армянских храмов* сделаны Д. Ермаковым (1845-1916гг.) и Т. Тораманяном (1864-1934гг.). Есть также частные коллекции фотографий отдельных путешественников. Например, ирландец Генри Линч – известный географ и путешественник, член-корреспондент Королевского

Рис.3.9. Фотография южной стены и фрагмента восточного торца Аручаванка.

Географического общества, который в 1893-1894гг. и в 1898 г. совершил две научно-исследовательских экспедиции в Армению, результаты которых вскоре опубликовал в Тифлисе [43].

В результате наших поисков были подобраны старые фотографии, на которых есть изображения всех 4-х стен Аручаванка до восстановительных работ в XX веке (рис. 3.9, 3.10, 3.12).

Сравнительный анализ фотографий на рисунках 3.9 и 3.10 показывает, что они сделаны в разное время, причем рисунок 3.10 – позже. Отметим наиболее существенные отличительные детали этих 2-х снимков:

- 1) на фотографии 3.10 обвалились некоторые фрагменты – на правой стороне крыши, над вторым и третьим окнами справа от двери, в верхнем углу стены слева от входной двери;
- 2) расщелина в верхнем углу стены слева от входной двери, переходящая на крышу, увеличилась и почти достигла вершины крыши;
- 3) на рисунке 3.9 с правой стороны фотографии, почти наполовину закрывает обзор большей части восточного торца Аручаванка некое строение, напоминающее крепостную башню; на рисунке 3.10 это строение уже частично разрушилось и закрывает обзор всего лишь на треть;



Рис.3.10. Фотография южной стены и фрагмента восточного торца Аручаванка.

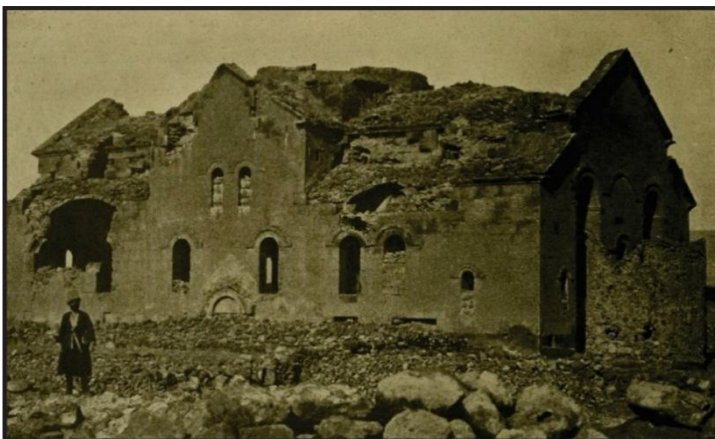
4) на рисунке 3.9 видно, что внутреннее пространство большинства сводчатых окон южной стены замурованы плотной кладкой из камня, тогда как на рисунке 3.10 – большинство этих окон уже открыты.



Рис.3.11. Современный снимок верхней части восточной стены Аручаванка.

Как было показано выше, на фотографиях 3.9, 3.10 невозможно полностью и детально рассмотреть состояние кладки восточного торца кафедрального собора в с. Аруч. Однако, очевидно, что в верхней части восточной стены церкви (над сводами арок) разрушения минимальны. Поэтому имеет смысл провести визуальный анализ соответствующего фрагмента современного снимка восточной стены (рис.3.11).

Как видно на фотографии кладка верхней надсводовой части восточного торца



собора в Аруче практически не нарушена и представлена в основном туфовыми блоками 2-ой и 3-ей групп.

Рис.3.12. Фотография северной стены и западного торца Аручаванка.

На рисунке 3.12 представлен снимок (20-



30-х гг. XX века) Аручского кафедрального собора с северо-западной стороны. Данный ракурс не позволяет подробно разглядеть центральный и дальний (восточный) сегменты северной стены, однако западный торец храма может быть проанализирован достаточно детально.

Вернемся к одному из главных пунктов в аргументации С.А. Пирузяна: «...в селе Аруч, через западный фасад церкви Св. Григора и примыкающую к нему северную стену проходит зияющая трещина, возникшая в результате землетрясения» [65]. Визуальное восприятие фотографии на рисунке 12 позволяет сделать следующие выводы:

- а) на примыкающей к западному фасаду северной стене (во всяком случае – в пределах ее ближнего западного сегмента) никакой зияющей трещины не наблюдается;
- б) на левой верхней стороне западного фасада фиксируется близвертикальная трещина – от крыши до верхней кромки сводового окна, находящегося слева от входной двери;
- в) рассмотрев трещину под большим увеличением, трудно ее квалифицировать как “зияющая трещина”.

Последний вывод подтвердился после внимательного изучения фрагмента с “зияющей” трещиной на современном снимке западной стены Аручаванка (рис.3.13).

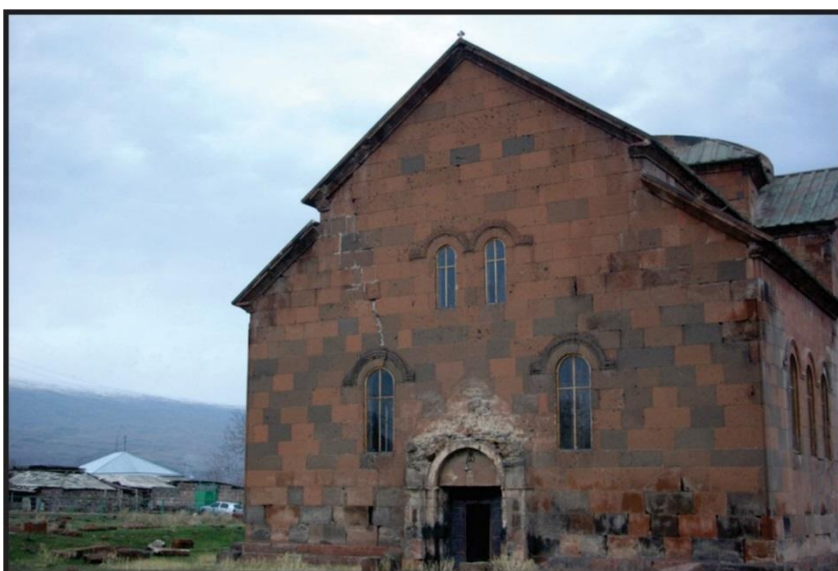


Рис.3.13. Современный снимок западной стены Аручаванка.

При современных (XX век) восстановительно-реставрационных работах было сделано следующее:

- а) на верхнем отрезке мастера выправили исходные туфовые блоки и закрепили их цементирующим раствором;
- б) на нижнем отрезке (3 ряда блоков), начиная от верхнего обрамления сводового окна, трещину просто залили цементирующим раствором.





Рис.3.14. Руины кафедрального собора в Талине.

4. Интересные данные были выявлены при изучении материалов Государственного архива истории Армении. Одна

запись свидетельствует, что в 1831г. Аручаванк был в сохранности (фонд 90, опись 1, дело 96, 1831г.), а другая запись, датируемая 1870г. фиксирует значительные разрушения церкви. Таким образом, землетрясение, разрушившее собор Св. Григория в Аруче произошло во временном интервале 1831 - 1870гг., но никак не в 972г. Анализ региональных каталогов сильных землетрясений указывает, что этим сейсмическим событием является Араратское землетрясение 04.07. 1840г. ( $M=7,4$ ;  $I=9-10$ баллов). Очевидец этого катастрофического землетрясения Абел Мхитарян пишет: «...южная и западная стены кафедрального собора в Талине разрушены до восточной двери от землетрясения 1840г.» [54]. Описываемые А. Мхитаряном разрушения кафедрального собора в Талине зафиксированы на старой фотографии (рис.3.14).

А ведь именно эти разрушения С.А. Пирузян относит к Аручскому землетрясению 972г. в качестве одного из своих главных аргументов: «...в соседнем поселении Талин разрушены большая часть южной и западной стен, а также купол кафедрального собора Талинского монастыря.». При этом С.А. Пирузян не дает никаких разъяснений по поводу разрушений Малой трехапсидной церкви (VII век), построенной князьями Камсараканами недалеко от кафедрального собора (рис.3.15).

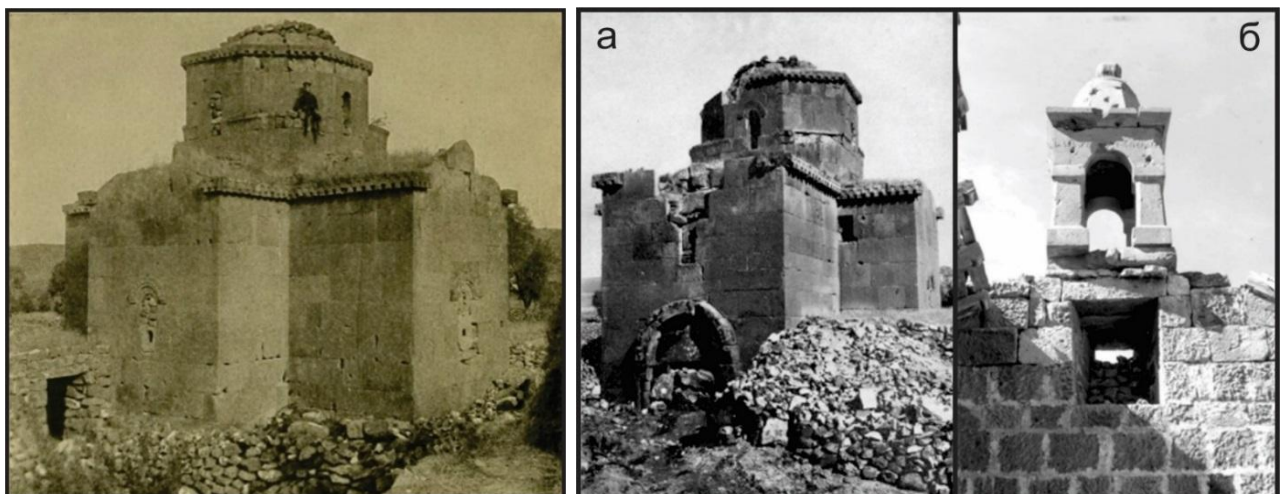


Рис.3.15. Малая церковь в Талине (613-615гг.).

Рис.3.16. Церкви в Неркин Талине (Даштадем) разрушились от землетрясения 1840 года: а. церковь Св. Христофора (VII век); б. церковь Св. Саркиса (VI век) – фотографии начала XX века.

По материалам Государственного архива истории Армении разрушения церквей в Даштадеме также привязываются к сейсмическому событию 04.07.1840г. (рис. 3.16 а, б).

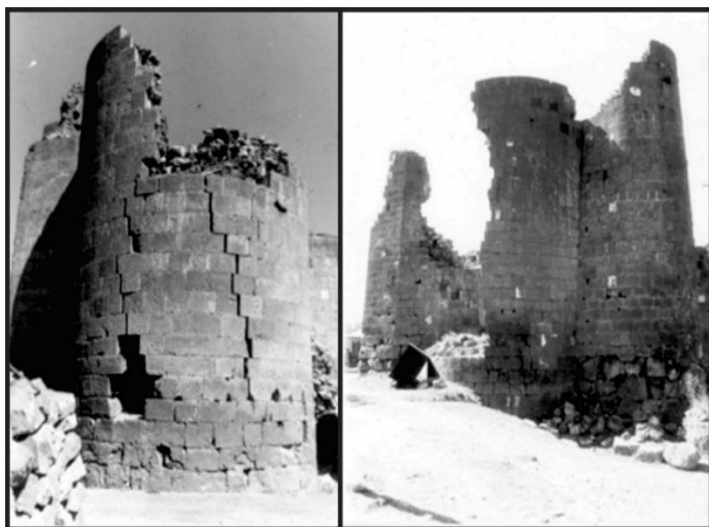


Рис.3.17. Крепость XI-XIII веков в селе Неркин Талин (Даштадем). Видны следы разрушения от сильного землетрясения.

Полевые макросейсмические обследования стен и оборонительных башен Даштадемской крепости (XII век) позволили зафиксировать отчетливые следы разрушения от сильного сейсмического события –

скорее всего землетрясения 04.07.1840г. (рис.3.17).

На наш взгляд, в этом случае двух мнений быть не может, так как крепостные стены – это фортификационные сооружения, выполняющие важную роль при оборонительных действиях во время войны. Именно поэтому трудно себе представить, что Багратиды в целях безопасности юго-восточных границ Анийского царства не восстановили крепостные стены Даштадема после их разрушения от землетрясения 972г.

Таким образом, в результате реанализа всех имеющихся сведений (включая фотофакты) по Аручаванку, кафедральному собору в Талине и другим историческим сооружениям региона можно со всей определенностью утверждать, что основной причиной их разрушений является Араратское землетрясение 04.07.1840г.

Учитывая перманентный характер русско-турецких войн в XIX веке (1806-1812гг., 1828-1829гг., 1853-1856гг., 1877-1878гг., 1914-1918гг.) и назревающую революционную ситуацию внутри страны, можно предположить, что Российская



империя уже была неспособна заниматься оказанием реальной помощи в реконструкции и восстановлении разрушенных землетрясением церквей, имеющих в армянских провинциях особо важное значение. Сама Армения была активно вовлечена в это противостояние из-за угрозы геноцида и все имеющиеся силы и средства уходили на борьбу с турками. Поэтому вполне вероятно, что после Араратского землетрясения 04.07.1840г. и до частичной реконструкции Аручаванка (в 1946-48гг.) никаких других восстановительных работ не проводилось.

Следовательно, фотофакты, использованные нами при данном реанализе можно считать прямыми “отпечатками” макросейсмических последствий Араратского землетрясения 04.07.1840г.

### **Критический анализ возможных причин разрушения храма Звартноц.**

Памятник раннесредневековой армянской архитектуры – храм Звартноц (храм Бдящих Сил, храм Небесных Ангелов) начал строиться в середине VII века н.э. по инициативе католикоса Нерсеса III Строителя. По словам историка Себеоса, именно здесь встретились царь Трдат III и Григорий Просветитель в 301 году. Следует отметить, что в самом начале проекта (в 642 году) католикос Нерсес над темницей Хор Вирап построил часовню, напоминающую Звартноц – возможно с целью предварительно увидеть масштабное воплощение своего замысла. Строительство велось 20 лет (641-662 годы) группой архитекторов из Двина во главе с армянским зодчим Иоанном (Ованес). Храм Звартноц представлял собой уникальное архитектурное сооружение своего времени (только высота его составляла 45-49 м). Весь архитектурный ансамбль был завершен в 660 году [29]. К юго-западу от храма находился дворец католикоса, представлявший собой комплекс, хорошо спланированных и капитально возведенных парадных, жилых, вспомогательных и производственных помещений. Здание дворца состояло из двух расположенных под углом частей, разделенных между собой коридором. Западная часть включала небольшие помещения и два зала. В большом летнем зале происходили торжественные приемы и совещания. Второй, несколько меньший, был трапезной, возможно и тронным залом. Восточная часть включала помещения жилого и хозяйственного назначения, в том числе кладовые и баню. Последняя состояла из двух отделений: большее предназначалось для общего пользования, меньшее — для

привилегированных посетителей. Оборудована баня была аналогично бане в Гарни. К южной стороне ее примыкала небольшая зального типа церковь V-VI веков, южнее которой находилась большая давальня для вина и складские помещения [29,94,95].

Дворец Нерсеса III был наиболее крупным из гражданских сооружений Армении VII века. Одним из объяснений такого масштабного строительства может являться рукописное свидетельство средневекового армянского историка Мовсеса Каганкатваци о том, что после оккупации Двина (в 640 году) арабскими войсками, в целях безопасности Нерсес III решил переместить резиденцию католикоса из Двина в Звартноц [94,95].

Храм Звартноц производил настолько неизгладимое впечатление, что его подобие неоднократно пытались повторить как в Армении, так и за ее пределами. Так, на церемонии освящения храма в 652 году присутствовал византийский император Константин II. Он был восхищен храмом и пожелал построить такой же в Константинополе. Однако главный зодчий Звартноца заболел и умер на пути в Константинополь [29,54,94,95]. Строятся несколько архитектурных копий храма Звартноц – Бана и Ишхан (VII-VIII вв., северо-западная Армения – провинция Тайк), а также церковь в селе Лекит (VII - VIII вв., северо-восточная Армения – провинция Агванк) [89]. Кафедральный собор в Бана был почти полной копией Звартноца (рис.3.18).



Рис.3.18. Старая фотография руин кафедрального собора в Бана (Грузия).

Архитектурный стиль и форма храма были столь впечатляющи, что во второй половине X века царь Гагик I Багратуни поручил архитектору Трдату

построить в городе Ани по подобию Звартноца Церковь Святого Григория (Гагикашен). Изображение Звартноца обнаружено также на барельефах церкви Сен Шапель в Париже. Красотой и величием храма Святого Григория восхищались и мусульманские летописцы – в частности, персидский историк Мовлан Идрис с изумлением описал храм и назвал его чудом [90].

Большинство исторических источников умалчивают о точной дате и причине разрушения Звартноца. На сегодняшний день имеются две наиболее распространённые версии. Первая версия – храм Звартноц разрушился от сильного землетрясения в 930 году н.э. Вторая версия – причиной разрушения храма Звартноц является вандализм со стороны арабских войск, которые изъяли из стен храма несущие элементы конструкции. Причиной разрушения храма могли стать также допущенные в процессе проектирования и строительства ошибки. [93-96]. На рисунке 3.19 представлены руины кафедрального собора Звартноц до реконструкции.



Рис.3.19. Старая фотография с изображением общего плана руин храма Звартноц.

Для проверки первой версии следует привлечь базовую информацию об исторической сейсмичности района расположения храма Звартноц в X веке, представленную в обзорных макросейсмических и параметрических каталогах землетрясений. Кроме того, необходим критический пересмотр работ средневековых летописцев и историков более позднего времени, а также исследований, посвященных хронологическому описанию основных исторических событий и архитектурных

особенностей храма Звартноц. С целью получения новых данных необходимо было провести макросейсмические обследования территории храмового комплекса Звартноц.

Как показал анализ всех имеющихся материалов, информация, относящаяся к факту разрушения (дата и причины) храма Звартноц вызывает множество вопросов. Тем не менее, по группам источников информации, можно выделить следующие, озвучиваемые как основные, причины разрушения.

**1) Разрушение храма, вызванное его конструктивными недостатками.** Некоторые современные исследователи видят причину разрушения в ошибках архитектора при инженерных расчетах конструкции храма (неравномерное распределение тяжести на несущие колонны, слабость узлов опор второго яруса и т.д.). В этом случае возможны 2 механизма разрушения: “медленный” – когда разрушение конструкции храма по мере увеличения дефектов может растянуться на десятки, а возможно и сотни лет, и “быстрый” – единовременное разрушение конструкции храма в результате внешнего воздействия (землетрясения, взрыва).

Сторонниками “быстрого” механизма разрушения являются С. Мнацаканян [51], Л. Шахсуварян [86] и др. Другие архитекторы – Т. Тораманян [81], Г. Саркисян [96] – отрицали наличие серьезных изъянов в конструкции храма. В частности, Т. Марутян, доказал, что никакого просчёта не было, а давление верхних конструкций храма на его нижние несущие части было распределено соразмерно [94]. Таким образом, среди специалистов (архитекторов и конструкторов) нет единого мнения по поводу допущенных серьезных ошибок в проекте строительства Звартноца.

**2) Разрушение храма, вызванное землетрясением.** При этом рассматриваются 2 возможных механизма разрушения: первый механизм – это непосредственное воздействие сильного землетрясения, «...опоры здания треснули во время мощного землетрясения, и многотонная конструкция храма обрушилась вниз», «...в 930 году он был полностью разрушен сильным землетрясением» [94,95]; и второй – “комбинированный” механизм разрушения (ошибка в инженерных расчетах плюс землетрясение), «...зодчему, строившему храм, не удалось полностью перенести

тяжесть верхних ярусов на четыре мощных пилон, служивших главными опорами, и в результате часть нагрузки легла на арки и своды храма. Именно это оказалось слабым местом храма, и сильный удар землетрясения разорвал его...» [51,86]. В работе С. Пирузяна и др., приводится следующий довод: «...наличие уязвимых узлов, каковыми являются перегруженные от статической нагрузки колонны в серединах экседр, могло уже при небольших динамических (сейсмических) воздействиях стать причиной их существенных повреждений и привести к потере устойчивости сооружения в целом» [65]. Тем самым используется инженерно-расчетная база конструкции Звартноца для объяснения разрушений в районе храма либо Аручским землетрясением 972 года ( $J=7-8$  баллов по MSK), либо каким-либо другим локальным землетрясением в районе Звартноца. При этом используется модель реконструкции храма Звартноц по С. Мнацаканяну [51], которая является некорректной, поскольку копирует церковь Гагикашен в г.Ани (рис.3.20а).

Необходимо отметить, что зодчий Трдат, при сооружении храма в Ани, не стал слепо подражать архитектурным формам Звартноца и внес в создаваемый им храм изменения (несколько увеличены размеры подкупольного квадрата, умножено количество наружных граней, упрощены отдельные детали и т. д.). В результате, спустя некоторое время после сооружения храма Гагикашен, строителям пришлось укреплять элементы внутренней конструкции. Поэтому, на наш взгляд, выводы авторов статьи [65] были бы корректнее, используя они модель реконструкции храма Звартноц по Т. Тороманяну [81] (рис.3.20б).

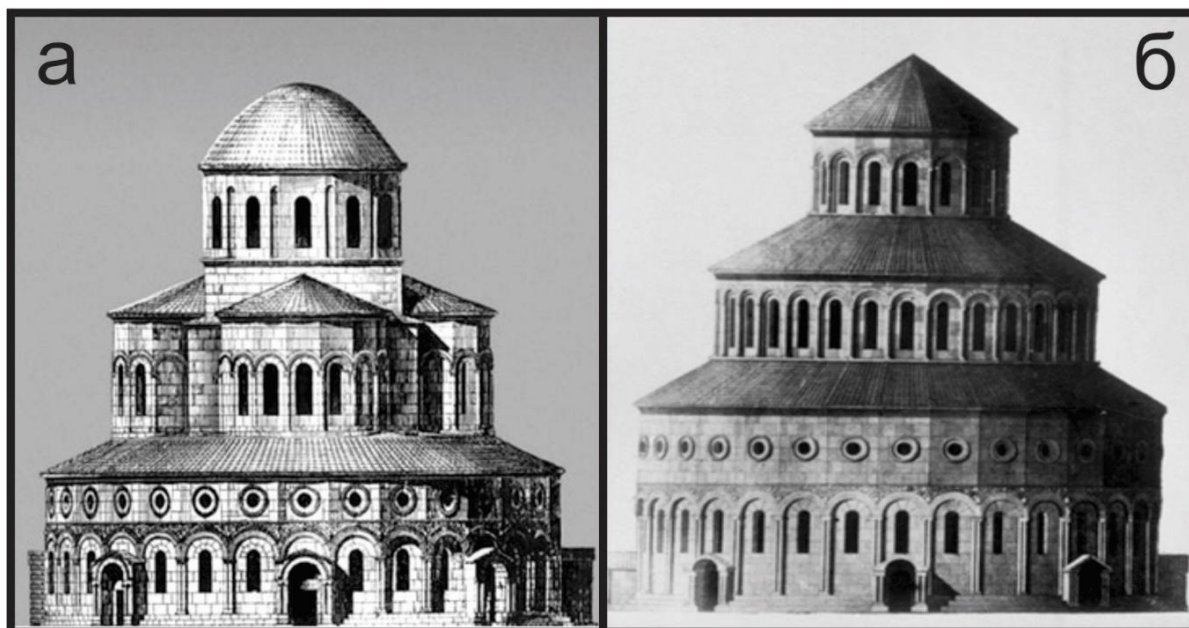


Рис.3.20. Различные модели реконструкции храма Звартноц: а) – по С.Мнацаканяну (1971); б) – по Т.Тороманяну (1942).

В работе [9] сделана оценка сейсмостойкости по обеим основным моделям реконструкции храма Звартноц. При этом указывается, что реальная причина разрушения храма неизвестна. Были определены расчетные сейсмические нагрузки на уровне трех ярусов храма и их соотношение с несущей способностью стен. В результате несущая способность стен Звартноца перестает действовать на уровне третьего яруса – при сейсмических воздействиях  $A=0,3-0,4g$  (8-9 баллов по MSK-64), а на уровне второго яруса – при  $A=0,4g$  ( $\geq 9$  баллов по MSK-64) [9].

Таким образом, даже при наличии определенных архитектурных и конструктивных недостатков, храм Звартноц мог разрушиться только при достаточно сильном землетрясении – при  $A=0,3-0,4 g$  (8-9 баллов по MSK-64).

Имеются исторические источники, которые утверждают, что основная причина разрушения кроется в военных нашествиях арабских завоевателей [94,96]. И здесь по мнению ряда исследователей допускаются разные механизмы разрушения.

Например, арабы изъяли из несущих стен основные опорные блоки, тем самым ослабив конструкцию таким образом, чтобы она в конце концов рухнула от собственной тяжести или от незначительного землетрясения. Другой сценарий разрушения – храм Звартноц был взорван с использованием пороха арабами во время их нашествия в конце X века [94,96].

Макросейсмическое обследование развалин храма Звартноц, проведенное нами, позволило зафиксировать следы воздействия очень сильного пожара на базах колонн из вулканического туфа (рис. 3.21) [12].





Рис.3.21. Следы воздействия огня на туфовых фрагментах храмового комплекса Звартноц.

О том, что пожар был очень сильным, свидетельствуют, найденные нами при полевых обследованиях (2017г.) следы воздействия огня на капители одной из восстановленных колонн (рис.3.22а) и на другой, которая еще не установлена (рис.22б). Таким образом, пламя огня поднималось на высоту до 5 – 6 метров.



Рис.3.22. Следы сильного огня: а) на капители одной из восстановленных колонн; б) капитель с изображением почерневшего от копоти пожара орла.

Термическое воздействие имело столь высокую температуру, что вызвало образование на базах колонн зоны термической закалки глубиной до 6 см и пузырение расплавленного туфа (рис. 3.23б). Появление зоны закалки и частичное



плавление поверхности баз колонн из туфа говорит о длительном термическом воздействии с температурой не менее 700-800°. Подобные температуры невозможно объяснить обычным пожаром. Невозможно это также объяснить взрывом пороха. Температура при взрыве может быть значительно выше, но длительность ее воздействия составляет всего несколько секунд, поэтому взрыв пороха может разрушить храм, но никак не может вызвать плавление поверхности туфовых конструкций храма. Обращает на себя внимание и сильная растресканность баз колонн (рис 3.23а), которая не может возникнуть в случае обычного пожара, при завершении которого происходит медленное остывание нагретых конструкций. Подобное растрескивание может образоваться в случае выплескивания большого количества воды на раскаленные туфовые конструкции храма.

Приведенные выше наблюдения позволяют выдвинуть следующую версию искусственного разрушения храма Зварноц людьми. Во внутренние части храма были помещено большое количество горючего материала (дрова, тростник), а также керамические сосуды, наполненные маслом. Все это было подожжено, а когда конструкции храма раскалились до температуры 700-800° на них было вылито большое количество воды. Последнее привело к резким температурным перепадам, вызвавшим разрушение баз колонн. Разрушение даже нескольких баз колонн могло привести к падению самих колонн, что вызвало дестабилизацию несущих конструкций храма и его полное разрушение.

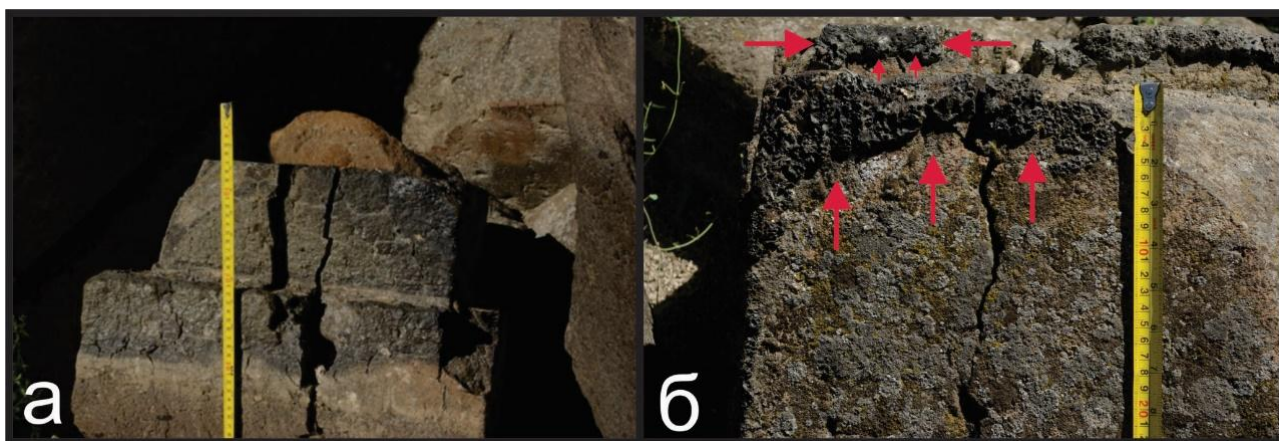


Рис.3.23. а) зоны термической закалки на базах колонн; б) пузырение расплавленного туфа.

Что касается даты разрушения храма Зварноц, то в большей части имеющейся информации фиксируется землетрясение 930 года. В некоторых работах утверждается, что Зварноц был разрушен землетрясением "не раньше последней

четверти X века" [51,86]. Другие исследователи считают, что: "храм Звартноц был разрушен сильным землетрясением, ..... между 970 и 973 годами" [65].

Таким образом, обобщая результаты анализа имеющейся информации и полученных новых данных, связанных с разрушением (дата и причины) храма Звартноц, следует критически оценить следующие, наиболее вероятные сценарии разрушения.

**“Сейсмический” сценарий.** Из изложенных в начале параграфа данных следует, что так называемое Аручское землетрясение 972 года является “ложным” [113,128] сейсмическим событием и не может быть причиной разрушения Звартноца. Более того, реанализ региональных каталогов исторических землетрясений на исследуемую территорию показал, что в X веке, в 930г. в частности, никаких сильных сейсмических событий не зафиксировано. Следовательно, “быстрый” механизм разрушения, предполагающий единовременный коллапс конструкции храма в результате внешнего сильного воздействия (землетрясения), а также “комбинированный” (ошибка в инженерных расчетах плюс землетрясение) в данном сценарии не работают. При “медленном” механизме, когда разрушение конструкции храма может растянуться на десятки, а возможно и сотни лет, на первый план выходят следующие объективные предпосылки: наличие реальных изъянов в инженерных расчетах (например, распоров в сводовом межярусном пространстве), приводящих к постепенному и медленному ослаблению общей конструкции храма; наличие целого ряда сейсмических толчков, колебания от которых в течение длительного времени испытывают на себе постепенно теряющие прочность несущие конструкции храма (за период времени 660-1000 годов в пределах критически опасного эпицентрального расстояния зафиксированы всего 4 землетрясения: два в Вайке – 735 и 906гг., два в Двине – 863 и 893гг.). Следовательно, “медленный” механизм разрушения, также не срабатывает. Таким образом, “сейсмический” сценарий разрушения храма Звартноц кажется нам маловероятным.

**“Рукотворный” сценарий** разрушения храма, который представлен двумя механизмами разрушения, практически повсеместно используемыми в Средние века во время боевых действий, – уничтожение путем механического разрушения или предание огню.

С учетом результатов новых полевых обследований развалин Звартноца – выявления многочисленных следов воздействия очень сильного пожара – приходим к выводу, что наиболее правдоподобная версия разрушения храма Звартноц связана с действиями арабов в Армении в конце X века [12].

### “Октемберянское” землетрясение 28.10.1916г.

Согласно сообщениям Тбилисской сейсмической станции землетрясение произошло в 20 ч.48 мин. 28 октября 1916 года. Макросейсмическое распространение этого землетрясения и интенсивность воздействия его в разных населенных пунктах описаны в работе Е. Бюса [14], и в диапазоне высших значений интенсивности дает следующую картину.

Октемберян (Армавир) - интенсивность – 5-6 баллов.

Кульп (Тузлуджа, Турция) - интенсивность – 6 баллов.

Ереван - интенсивность – 5 баллов.

Аштарак - интенсивность – 5 баллов.

В таблице 3.2 представлены данные основных параметров землетрясения 28.10.1916г. по разным каталогам:

Таблица 3.2. Параметры землетрясения 28.08.1916г. по разным источникам.

Дата	Каталоги	Lat	Lon	M <sub>s</sub>	H (км.)	J (балл)
28.10.1916г.	С.Пирузян и др. (1976г.)	40.06	44.06	5,2	20	6
	Новый каталог...(1977г.)	40.10	44.10	4,9	8	6-7
28.10.1916г.	Н.Карапетян (1986г.)	40.08	44.02	5,0	20	6-7
28.10.1916г.	Н.Карапетян (1990г.)	40.13	44.03	5,0	20	6-7
	Т.Бабаян (2006г.)	40.09	44.14	4,9	22	6-7

Т.О. Бабаян [10] по данным макросейсмической информации из 9 пунктов составила карту изосейст землетрясения 1916 года с эпицентром в районе Армавира (рис.3.24).

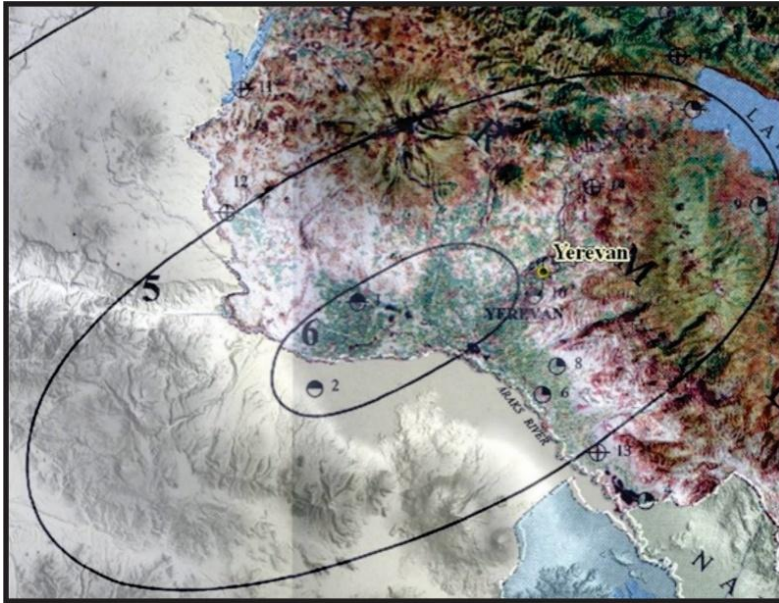


Рис.3.24. Карта изосейст землетрясения 28.10.1916 года, построенная Т.О. Бабаян (2006).

В результате изучения описаний макросейсмического поля в значениях интенсивности в разных населенных пунктах эпицентральной зоны этого землетрясения, приведенных в работах Е.Е. Бюса (1948) и Т.О.

Бабаян (2006), было решено провести дополнительные исследования.

В процессе поиска новых материалов выяснилось, что после землетрясения доскональному обследованию был подвергнут Эчмиадзинский кафедральный собор. Вот как описывается воздействие землетрясения в районе собора: «28 (15) октября в 8 ч. 48 мин. вечера в Эчмиадзине ощущался очень сильный удар землетрясения, резкий и короткий, продолжавшийся едва 2-3 сек. Сила удара была направлена с юго-востока на северо-запад. Удар был настолько мощным, что на большой колокольне зазвенели колокола». «Члены братии, не мешкая, вышли из своих келий, опасаясь второго удара... Через несколько минут было установлено, что святой алтарь сошествия невредим... Наутро кафедральный собор был подвергнут осмотру. После тщательного исследования стало ясно, что, хотя кафедральный собор остался цел, однако ощутимые повреждения получили находящийся с северной и особенно сильно с южной стороны маленькие купола.» (журнал Арарат, 1916).

Спустя месяц после события, 29 ноября, в Эчмиадзин прибыл представитель Комиссии по обновлению Кафедрального собора архитектор Христофор Тер-Саркисян, который обследовал храм и сделал следующие выводы.

- Хотя на внутренних стенах появились легкие трещины, однако они вполне безобидны, ибо большей частью представляют собой повреждение штукатурки.

- Единственная поврежденная часть – это маленький южный купол кафедрального собора, внутренние колонны которого основательно повреждены от силы удара; камни колонны, а также маленькие нижняя и верхняя арки покрылись трещинами.
- В интерьере монастыря Рипсимэ стена, находящаяся между храмом и небольшим юго-западным пределом, дала трещину снизу доверху. По заключению архитектора Тер-Саргсяна, трещины храма не внушают опасений, т.к. прошли по местам полученных прежде трещин, небрежно заполненных во время последних восстановительных работ. Архитектором было рекомендовано при первой же возможности их отремонтировать и заполнить известковым раствором (Арагат, 1916).
- Никаких других повреждений строений и человеческих жертв в Эчмиадзине и в округе не было (Арагат, 1916).

В январе 1917 года новая представительная комиссия в составе 3-х архитекторов обследовала Кафедральный Собор и церковь Св.Рипсимэ. После скрупулезных исследований внутри Собора, арок в южном притворе, на кровле (при этом главное внимание было уделено малому южному куполу, как наиболее пострадавшему) комиссия пришла к выводу, что “верно под действием сильного удара произошли незначительные изменения, но это не несет в себе опасности целостности сооружения.” (Арагат, 1917).

Таким образом, вышеприведенные выводы позволяют оценить интенсивность землетрясения в Эчмиадзине в 5 баллов по шкале MSK-64.

Вплоть до последнего времени считалось, что наиболее сильно это землетрясение воздействовало на район Октемберяна (Армавир, Сардарапат), где и локализовался эпицентр этого землетрясения. Заметим, что при полевых обследованиях, проведенных нами в районе Октемберяна, было выяснено, что церковь села Бамбакашат, построенная в 1912-1915 годах, при землетрясении 1916г. совершенно не пострадала.

Нам удалось обнаружить два очень ценных источника, свидетельствующих, что наиболее сильные разрушения от землетрясения были много южнее Армавира, на правом берегу Аракса.

- Журнал «Арарат» (1916) пишет: *“Сила удара землетрясения была более ощутимой в селах, расположенных на северном склоне Масиса (Арарат), где в нескольких населенных пунктах оказались поврежденными дома - разрушены крыши и повалены стены, однако обошлось без человеческих жертв”*.
- Газета «Ашхатанк», выходящая в Ереване, N49 от 19 октября 1916 года пишет: *“Землетрясение – 15 октября. Вечером произошло довольно сильное сотрясение от землетрясения. В Игдире были самые сильные сострясения, которые по нашим сведениям, привели к человеческим жертвам и материальным потерям.”*

Исходя из приведенных газетой Ашхатанк и журналом Арарат сведений, интенсивность воздействия землетрясения в Игдире можно оценить в 6-7 по шкале MSK- 64. Почему же разрушительные воздействия землетрясения в Игдире и на правом берегу Аракса не стали широко известны и не использовались при определении параметров землетрясения 1916 года. Весной 1916 года Игдир стал театром военных действий между Российской империей и Турцией. Вследствие отступления в июле 1915 года русских войск из Вана, десятки тысяч армян нашли прибежище в Игдире и Сурмалу. Часть из них погибла от голода и эпидемий. В июле 1916 г. русские власти запретили западноармянским беженцам возвращаться в свои родные края, в результате чего многие из них вновь стали жертвами эпидемий. Переправа через Аракс была закрыта русскими войсками, и сообщение с левым берегом было блокировано. По свидетельствам очевидцев, в Игдире и его окрестностях осенью 1916 года ежедневно погибали десятки и сотни людей. Только в середине мая 1918 года, после взятия турками Александрополя, большое число армян, ценою новых жертв, перебралось в левобережные районы реки Аракс. Безусловно, в таких условиях информации о незначительных разрушениях и жертвах от землетрясения в Игдире не придали большого значения и быстро о ней забыли.

В результате проведенных работ и основываясь на полученных новых данных в каталог введены уточненные характеристичные параметры землетрясения 28.10.1916г. (таб.3.3), и была составлена обновленная карта изосейст высших баллов этого сейсмического события (рис.3.25).

Таблица 3.3.



Дата	Lat	Lon	$M_s$	H (км.)	J (балл)	Примечания
28.10.1916г.	39.92	44.05	5,5	20	6-7	Игдир



Рис. 3.25. Обновленная карта изосейст высших баллов землетрясения 28.10.1916 года.

Как видно из рис.3.25, эпицентр землетрясения 28.10.1916 г. не относится к северо-западному флангу зоны Ереванского разлома.

### 3.3. Реанализ сильных землетрясений юго-восточного фланга Ереванского разлома.

Суммарный сейсмотектонический потенциал ( $M_{\max} \geq 6,5$ ) Ереванского глубинного разлома был в первую очередь обусловлен высокой сейсмической активностью его юго-восточного сегмента в исторический период времени, в частности, во второй половине IX века.

Основная задача данной части исследования заключалась в критической переоценке имеющихся материалов и обобщении новых данных по Двинским землетрясениям (851-893гг.). Для этих землетрясений был проведен тщательный сбор и анализ всех летописных и опубликованных источников, полевой осмотр возможных разрушений, а также построены карты изосейст.

Следует отметить, что корректная параметризация группы Двинских землетрясений является одной из серьезных задач исторической сейсмичности территории Армении. При этом наиболее важными являются следующие вопросы, относящиеся к Двинским землетрясениям IX века.

1. Когда произошли Двинские землетрясения?
2. Каковы энергетические характеристики Двинских землетрясений?
3. Где располагался эпицентр Двинских землетрясений?



В большинстве каталогов исторических землетрясений до 1995г. приводятся параметры пяти сильных сейсмических событий (851-893гг. н.э.) в районе г. Двин. Фиксация в каталогах нескольких землетрясений, каждый раз разрушавших столицу Армении, связана с путаницей дат во время переписывания летописей средневековыми писцами, неправильным переводом дат с древнеармянского, а также с эффектом “испорченного телефона” – например, схожесть древнего названия Двин (у арабов - Девил) с названием персидского города Ардебил. Вызывал сомнения также тот факт, что пять катастрофических землетрясений произошли за очень короткий промежуток времени – 42 года. С точки зрения физической природы этого стихийного бедствия релаксация очага Двинских землетрясений не могла осуществляться в такие короткие сроки (повторяемость первых 4 событий составляет 5–7 лет).

Только в 3 каталогах [101,109,113] указываются лишь 2 землетрясения: 863г. и 893г. В работах [101,113] убедительно показано, что имели место всего два землетрясения, разрушивших город Двин – первое в 863г. и второе в 893г. После 1997г. все основные региональные каталоги исторических землетрясений также фиксируют эти два сейсмических события. Исходя из этого, для двух данных сейсмических событий представим краткие макросейсмические описания из армянских летописей.

**Землетрясение 863года.** Согласно Степаносу Таронци: *«В период царствования Ашота I, который был князем князей 25лет до 336г. по армянскому летоисчислению (887г.), в сороковую десятку (большая десятка), в малую субботу произошло сильное землетрясение, от которого погибло множество людей и разрушилось много красивых строений. Землетрясение длилось до трех месяцев»* [98].

**Землетрясение 27 марта 893года.** Согласно хроникам католикоса Ованнеса V Драсханакертци (898-928 годы): *«В то время ночью внезапно началось землетрясение в Двине. Оно сопровождалось множеством сотрясений, грохотом и ужасом, город до основания разрушился; разрушились крепостные стены и дворцы правителей, и церкви, и дома воинов и все это в одно мгновение превратилось в пустыню.*

*Разрушилась также церковь Аствацашен (престол католикоса) и другие доброкачественные и великолепные постройки и святыни. Они разрушились, как бы стекая вниз и превращаясь в груды камней, наводя страх на людей. Огромное количество трупов людей осталось погребенными в расщелинах и пропастях. Человеческих жертв было так много, что не хватало ни места, ни времени для их погребения.» [59].*

Товма Арцруни – современник этих трагических событий пишет: «...в Армении во втором году правления Смбата (893г.) сильным гневом бога, подземным грохотом и движением земли, разрушением оснований недр земли, расслабляя прочные границы ада, вдыхая гнев ветров и темных вод в волны, разрушающие густослойные недра, передвигая твердую и неподъемную тяжесть доземной поверхности, так что вытолкнул кверху холм Нораблур, который находится напротив города Арташат, и на котором расположен царственный город Двин. Этот многолюдный город, подобно аду с раскрытой пастью, притягивал людей в пропасть. Для них собственные дома стали могилами...» [131].

В вопросе определения эпицентров обоих Двинских землетрясений очень много противоречий и неясностей. За местоположение эпицентров приняты географические координаты города Двин – единственного населенного пункта, о разрушении которого упоминается в исторических летописях. Это выглядит весьма странно, поскольку описания характера разрушений, а также гибель десятков тысяч людей в самом Двине свидетельствует о высокой интенсивности произошедших землетрясений. Оценка интенсивности для землетрясения 893г. в различных каталогах колеблется от 8 до 10 баллов, а магнитуды от 5,5 до 7,0.

Для объективной оценки макросейсмического эффекта (интенсивности) землетрясений 863 и 893гг. необходимо провести анализ имеющейся наиболее достоверной исторической информации. Разные летописцы неоднократно дублировали и искажали сообщения о Двинских землетрясениях. Единственными достоверными источниками являются труды Товмы Арцруни и Оганеса

Драсханакертци – современников обоих Двинских землетрясений, много раз бывавших в Двине. Товма Арцруни — армянский историк IX – X вв. — в 870 г. начал и к началу X века закончил труд «История дома Арцруни» [131], где изложил историю всей Армении. Оганес Драсханакертци жил во второй половине IX века. Свой главный труд “Историю Армении” [59] писал, вероятно, в Васпуракане, периодически совершал паломничество в Двин и Гехард. По сведениям этих летописцев, во время первого землетрясения (863г.) были разрушены ”многие дома, ограды и дворцы” , а спустя 30 лет были разрушены “церковь патриаршего дома, как и другие прочные часовни”. При этом сообщается, что город был разрушен до основания, а число погибших достигало 70000 [59,131]. Согласно данным «Tables of World’s population» в 361 году население Двина составляло 45000, в 622 году, до арабского завоевания – 47000, а к его расцвету в VIII-IX веках достигло порядка 100 тысяч человек. Учитывая вышесказанное, сообщения о 70000 погибших могут быть близкими к истине и не очень преувеличенными. Кроме того, по сведениям арабского историка Ат-Табари (IX – X вв.) “...наутро (после события 893г.) люди увидели, что город исчез; осталось стоять только 100 домов, из руин было извлечено и похоронено 30000 человек” [2]. Исходя из вышеизложенного, вполне объяснимо огромное значение интенсивности землетрясения 893г. (9-10 баллов) в каталогах [101,113,129]. Однако, представляется весьма странным отсутствие какой-либо информации о разрушениях в близлежащих населенных пунктах.

По материалам проф. Р. Хьюсена [127], в середине и конце IX века вблизи Двина существовало много крупных населенных пунктов, важных административных, культурных и церковных центров (рис.3.26). В таб.3.4 приведен список шести ближайших к Двину населенных пунктов и их краткая характеристика.

Видно, что расположенная на расстоянии 13,5 км к югу от Двина бывшая столица Арташат, судя по летописным источникам, не пострадала. Об этом свидетельствует не только отсутствие в летописях упоминаний о разрушениях, но и тот факт, что после землетрясения 893г. католикос переехал из разрушенного Двина в Арташат [101].

Таблица 3.4.

#	Название и краткая характеристика	Расстояние до Двина (км.)
1	Арташат, бывшая столица Армении, церковный центр	13.5
2	Гарни, крупная крепость, летняя резиденция царя Армении, церковный центр.	7
3	Кавакерт, населенный пункт, нынешний Ереван.	19.5
4	Звартноц, крупный храм, церковный центр.	27
5	Вагаршапат, крупный церковный центр.	29
6	Армавир, бывшая столица Армении.	47

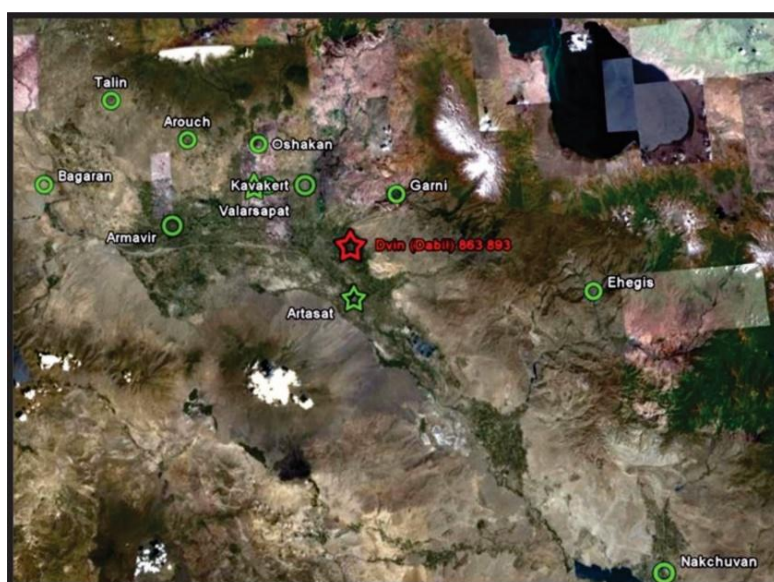


Рис.3.26. Расположение населенных пунктов и культурных центров вокруг Двина в IXвеке.

Одной из причин таких локальных, строго Двинских макроразрушений, может являться возможность возникновения сейсмического “эффекта участка” (Site Effect) на территории Двина. Для полного выяснения данного

вопроса сначала следует подробно проанализировать геологические и топографические условия территории Двинского городища, расположенного на так называемых Двинских холмах.

Центральный холм, на котором располагается цитадель, и соседний с ним холм с кафедральным собором и дворцом католикоса (рис.3.27) имеют искусственное происхождение – это археологические образования, известные на Ближнем Востоке под названием «тель». В основании этих холмов имеются небольшие выступы маломощных брекчий и коллювия вулканогенных и осадочных пород, покрытые слоем речных отложений мощностью около 30м. Под ними залегают косослоистые глины и суглинки (рис.3.28).

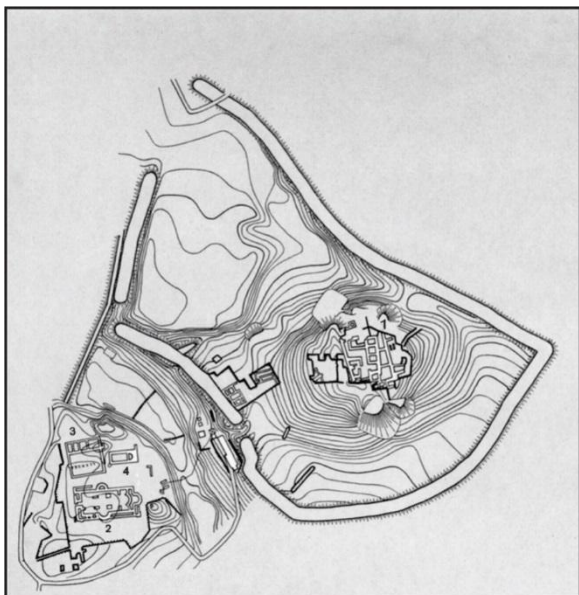


Рис.3.27. План цитадели и центрального квартала (1- цитадель, 2-кафедральная церковь, 3-дворец, 4-церковь).

Холмы центрального квартала Двина образованы 20-30 метровыми отложениями, состоящими из смеси деструктированного саманного кирпича, золы и обломков керамики, то есть культурного слоя (рис.3.29), в основании которого (на глубине от 3-5 до 30 метров) залегают речные отложения, представленные глинами, суглинками с линзами песка и мелкого

гравеля.

Таким образом, участок кафедрального собора представлен искусственной насыпной площадкой и культурным слоем с многочисленными обломками

Рис.3.28. Геологический разрез скважины в районе исследований.

вулканогенно-осадочных пород. Породами основания для равнинной местности Двина служат глинистые и суглинистые грунты Араратской долины с песком и мелким гравелем (рис.3.30).

Холм Двина был окружен крепостной стеной, перед которой был вырыт ров для воды. Ров заполнялся водой из искусственного водоема - пруда (рис.3.31а), расположенного внутри крепостных стен, который служил и как запас пресной воды. Один из сегментов рва, расположенный между кафедральным собором и цитаделью, возможно, мог быть небольшим рукавом древнего русла реки [27].

Площадь города в VIII - IX веках составляла 500-600 га. На сегодняшний день останки глинобитных жилищ и строений полностью уничтожены, однако хорошо сохранились крепостные стены и цитадель города вместе с дворцом правителя (рис.3.31а), а также остатки кафедрального собора, резиденции католика и других церквей (рис.3.31б).



	Возраст	Мощность м.	Литологический состав
	22-20 век д.Н.Э - 11 век Н.Э.		
Неогеновая система	Q	30	искусственный грунт, археологический слой
		33	аллювиальные отложения
	$N_1^{2,3}hr$	87	сланцеватые глины, песчаники, известняки и алевролиты
	$N_1^r$	130	серые, зеленоватые желтовато-серые глины с прослойками гипса
	$P_1^r-N_1$	138	глины, порой гилсоносные желтовато-бурые и кирпично-красные алевролиты, полимиктовые песчаники и рыхлые конгломераты, местами переходящие в галечники
	$P_1^v$	97	песчано-глинистая - известковистая флишoidalная толща
Палеогеновая система	$P_1^v$	100	серые, красновато-бурые известняки, песчаные известняки, алевролиты
	P	165	терригенно-карбонатный флиш: песчаники, известняки, мергели



Археологические раскопки показали, что нижние слои культурного слоя относятся к куро-аракской культуре, датируемой периодом ранней бронзы – XXII - XXIII вв. до н.э. Поселение существовало непрерывно от периода ранней бронзы до античного времени.





Рис.3.29. Культурный слой холмов центрального квартала Двина.

Рис.3.30. Глины и суглинки в основании холма, расположенного к СВ от Двина.

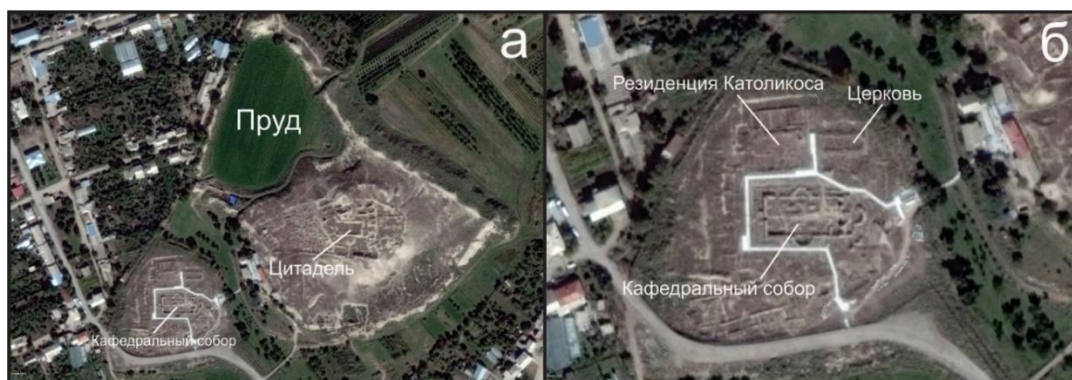


Рис.3.31. а) холм-тель Двинского городища; б) развалины резиденции католикоса, кафедрального собора и других церквей.

Ко времени возникновения средневекового города Двин наслоения культурного слоя имели уже значительную мощность и образовали холм-тель высотой несколько десятков метров (рис.3.32). Именно этому телю Двин обязан своим именем, поскольку по-арабски Двин или “Девил” означает “холм”.

Для уточнения макросейсмической оценки энергетических характеристик (интенсивности и возможной магнитуды) Двинских землетрясений 863 и 893 годов были использованы реконструкции Двинского кафедрального собора и центрального зала дворца католикоса, приведенные в работе [93].



Рис.3.32. Холм-тель Двина (цитадель).

Кроме того на участках с неблагоприятными грунтовыми условиями были проведены дополнительные полевые геологические и геофизические исследования (и расчет спектральных соотношений  $H/V$ ) на участках с наибольшими макросейсмическими проявлениями (центральный квартал Двина и сопредельный участок кафедрального собора) [27]. По результатам измерения микросейсм соотношения кривых  $H/V$  (горизонтальных и вертикальных составляющих собственных колебаний грунтов) исследованных грунтов, с геоморфологической точки зрения, соответствуют структуре аллювиального бассейна. На исследуемых участках до глубины 30 метров получены очень низкие скоростные характеристики –  $V_{p(aver.)}=245\text{m/s}$ ,  $V_{s(aver.)}=142\text{m/s}$ , что соответствует IV категории грунтов. Такой

результат является следствием наличия мощного культурного слоя с множеством пустот и погребенных древних построек [27].

Таким образом, культурный слой, слагающий тель холма Двин, мощностью до 30м, состоящий из золы, разрушенного саманного кирпича и многовекового мусора напоминает своими характеристиками лессовый песок, который легко смачивается, после чего приобретает высокую пластичность и текучесть. Напомним, что уровень грунтовых вод расположен на глубине 3-30 метров и связан с горизонтом речных отложений.

Кроме того, расположенный внутри центрального квартала г. Двин искусственный водоем, и крепостные рвы, заполненные водой, приводили к дополнительному обводнению участка в древности, что еще больше ослабляло грунты территории Двинского городища [27]. Из пруда безусловно происходили утечки, что дополнительно могло сказаться на образовании просадок. Анализ сохранившихся конструкций цитадели и Кафедрального собора показывает волнообразный изгиб некоторых стен и пола с отдельными трещинами растяжения и отрыва стен друг от друга. Это позволяет предположить возможность возникновения эффекта разжижения и спрединга грунта.

Учитывая вышеизложенное, можно сказать, что высокая интенсивность Двинских землетрясений 863 и 893гг., ставшая причиной описанных в летописях разрушений кафедрального собора, дворцов, крепостных стен и массовой гибели людей, является следствием “эффекта участка” (Site Effect), сопровождающегося локальным усилением сейсмических колебаний в диапазоне частот 1-10гц. Кроме того, во время полевых макросейсмических обследований на участке центрального квартала города Двин, были зафиксированы примеры возникновения эффекта разжижения грунта (рис.3.33).



Рис.3.33. Эффект разжижения грунта (liquefaction) на участке центрального квартала города Двин.

Следует отметить, что при внимательном прочтении текстов летописных и других исторических документов, о

катастрофических землетрясениях 863 и 893гг., нами были обнаружены описания разрушений, причиной которых могло быть разжижение грунтов.

Это тем более интересно, что автором описаний является *католикос Ованнес V Драсханакертци* (на святом престоле – с 898 по 928 годы) – современник событий.

1) *«Разрушилась также церковь Асцваташен (престол католикоса) и другие доброкачественные и великолепные постройки и святыни. Они разрушились, как бы стекая вниз и превращаясь в груды камней, наводя страх на людей»* [59].

2) *«И даже богом созданная церковь патриаршего дома, как и другие прочные часовни, с грохотом разваливаясь, низверглись вниз, представляясь очевидцам страшными бесформенными грудями камней. Так как предать могилам все множество трупов было невозможно, большинство из них сбрасывали в ямы, рвы и разрушенные дома и зарывали (там)»* [59].

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что подобный нестабильный грунт будет воздействовать на пространственное проявление и распределение деформаций, сильно маскировать первичное сейсмическое воздействие и, следовательно, делать проблемной картирование географических координат эпицентра Двинских землетрясений и корректную привязку сейсмического очага к какой-либо конкретной тектонической структуре Приереванской активной зоны (рис.3.34) [38]. Решение этого сложного вопроса очень важно для оценки сейсмической опасности сеймотектонической модели Приереванской зоны.

В заключение, основываясь на вышеприведенном анализе всех имеющихся данных по землетрясению 893г., проведем переоценку возможных сценариев по определению местоположения эпицентра Двинского очага и его энергетических параметров. На наш взгляд, сегодня можно рассматривать 2 возможных сценария.

**Сценарий 1.** По этому сценарию предполагается, что эпицентры обоих землетрясений 863 и 893гг. располагались на Ереванском разломе, прямо под городом Двин, на небольшой глубине. Оба землетрясения имели высокую интенсивность и низкую магнитуду, вследствие чего сам Двин подвергся исключительно тяжелым разрушениям, а соседние населенные пункты значительно не пострадали. Приведенные в нашем исследовании макросейсмические данные из летописных

источников, геологическая и геофизическая характеристика грунтов на территории города Двин подтверждают реальность первого сценария. Основываясь на макросейсмических описаниях, можно согласиться с количественной оценкой энергетических параметров землетрясения 893г., данной в каталогах [101,109,113,129]: значение интенсивности колеблется от 8 до 10 баллов, а магнитуды – в пределах 6,0 – 7,0.

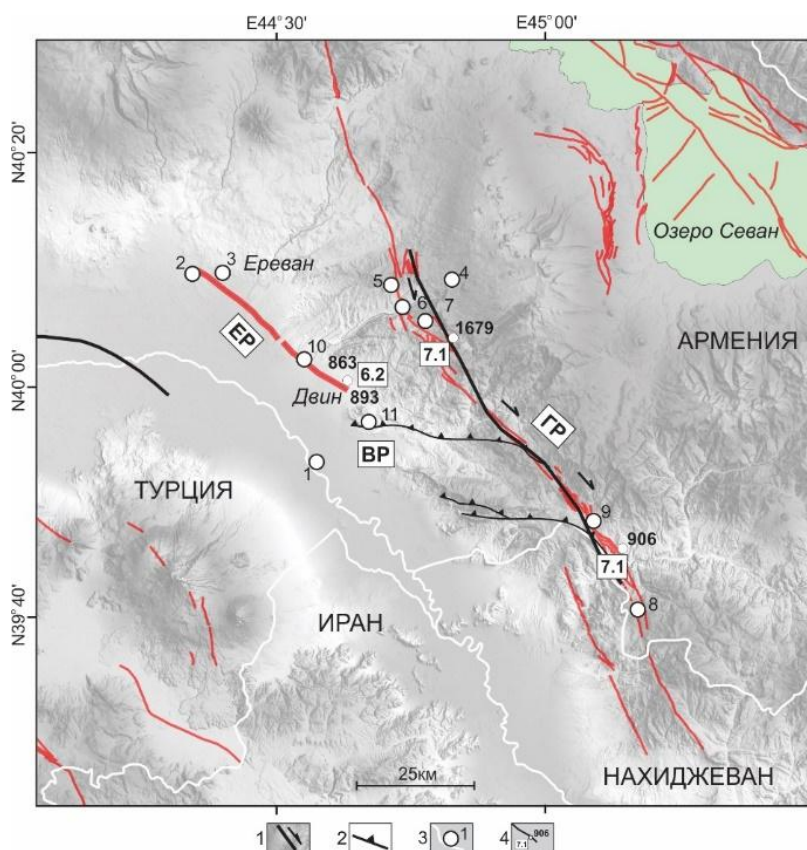


Рис.3.34. Разломы, к которым можно отнести Двинские землетрясения 863 и 893 годов.

10-балльные (по шкале MSK-64) сейсмические сотрясения в случае расположения разрушаемых строений на грунтах II категории соответствуют значениям магнитуд - в диапазоне от 6,5 до 7,3. Однако исходя из оценки грунтов центрального квартала города Двин (IV категория и хуже) и “эффекта участка”, возможно предположить локальное усиление сейсмических воздействий в той части территории города Двин, для которой описываются максимальные разрушения. Следовательно, реальная магнитуда землетрясения 893г. должна быть ниже значений 6,5 -7,3.

Для выяснения этого вопроса по макросейсмическим данным повреждений в Арташате попробуем оценить энергетические параметры землетрясения 893г. Ближайший к Двину населенный пункт – Арташат, бывшая столица Армении, расположен на расстоянии 13.5км. Цитадель и центральные кварталы города находились на девяти холмах, носящих ныне название Хор Вирап. В VII-IX веках на месте некогда большого и цветущего города Арташат сохранилась крепость с часовней и небольшое поселение («селение *ал кирмиз*») [11], жители которого



занимались изготовлением армянской пурпурной краски - кошенили. Центральный холм Арташата IX века представлен грунтами II категории (метаморфизованные трещиноватые известняки, глинистые сланцы и песчаники девона и нижнего карбона). Летописные источники не фиксируют разрушений в Арташате и туда после землетрясения 893г. на короткое время переехал армянской католикос. Впоследствии патриарший престол был перемещен в Вагаршапат.

Исходя из того, что при оценке сейсмической опасности приоритетным является принцип консервативности, в нашем случае наиболее подходящим является значение магнитуды – 6,0, принятое в каталогах [101,109]. Окончательная параметризация Двинских землетрясений по 1-му сценарию представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5.

<i>Дата</i>	<i>Координаты</i>		<i>M<sub>s</sub></i>	<i>H (км)</i>	<i>I (балл)</i>
	<i>lat</i>	<i>lat</i>			
<b>863г.</b>	40.00	44.60	5,2	5	8
<b>893г.</b>	40.00	44.60	6,0	5	10

**Сценарий 2.** В основе аргументации в пользу второго сценария лежит обнаруженное Амбрасейсом и Мелвиллом [101] летописное свидетельство Товмы Арцруни о землетрясении 893г.: “Там же находился блаженный епископ Рштунийский, святой Григор, не избежавший смерти со своими приближенными, молившимися в тот час на горе в пещере, многие из них остались там под развалинами” [131]. Геолого-топографический анализ Придвинской зоны показал, что единственным искомым местом может быть пещерный монастырь Гегард (IV век), который был разрушен в X веке. На его месте в XII и XIII веках князья Прошьяны построили новые крупные пещерные церкви и усыпальницы. Гегардский монастырь и пещера IV века Айриванк расположены на расстоянии 25 км к СВ от города Двин и на расстоянии 6 км к СВ от Гарнийского активного разлома. Следует отметить, что при землетрясении 1679 года (M=7,0) монастырь Гегард был полностью завален камнепадом и сильно пострадал.



В районе исследования, кроме пещерного монастыря Гегард, имеются еще несколько церквей (IV-VII вв.), поврежденных оползнями. В таблице 3.6 приведены все данные по разрушению церквей в зоне Гарнийского разлома за временной отрезок, близкий к дате землетрясения 893г. Анализ этих данных позволил выявить одну характерную особенность – сосредоточенность полностью разрушенных церквей в зоне, вытянутой вдоль Гарнийского активного разлома (рис.3.35), что свидетельствует в пользу второго сценария Двинского землетрясения 893г. Одной из наиболее интересных с точки зрения полученных результатов является церковь Григория Просветителя (IVвек) в селе Байбурд. Церковь случайно обнаружена в 1976-1977 годах, поскольку вся целиком была погребена под отложениями оползня-потока.



Рис.3.35. Расположение разрушенных церквей вдоль Гарнийского активного разлома и эпицентры Двинских землетрясений по 2-м возможным сценариям.

На церкви имеется надпись на греческом, анализ которой позволяет датировать ее второй половиной IV века. Церковь имеет отчетливо выраженные следы повреждений от землетрясения и следы последующих двух этапов реконструкции. По результатам радиоуглеродного анализа получены даты обоих этапов реконструкций: 980г. ( $\pm 100$ ) и 1690г. ( $\pm 30$ ), что может интерпретироваться как сроки восстановительных работ после землетрясений 893г. и 1679г. соответственно. Оценивая возможные разрушения церквей, приведенных в таблице 3.6 можно предположить, что они находились в пределах изосейсты с интенсивностью VIII или IX ( $M \approx 7,0 \pm 0,2$ ). Итак, эпицентр землетрясения 893 г. располагался на Гарнийском разломе, а катастрофические, но локальные

разрушения в городе Двин вызваны плохими грунтами и, возможно, разжижением грунта.

Таблица 3.6.

#	Местоположение и название	Дата постройки	Дата возможного разрушения церкви/активизации и оползня	Категория грунта по сейсмическим свойствам (СНРА П-6.02-2006)	Возможная интенсивность MSK-64
1	Гегардский подземный монастырь	IV век	893 год	I	VIII-IX
2	Гарнийский оползень	-	между 84 и 900 годами AD	II	IX
3	Церковь Байбурд	IV век	до 980 год +/- 100	III	VIII-IX
4	Джрвеж церковь	V век	между VIII и XII веками	III	VIII-IX
5	Джрвеж церковь	VII век	между VIII и XII веками	III	VIII-IX
6	Вохчаберд	IV век	между VIII и XII веками	III	VIII-IX
7	Шагап	V век	неизвестна	III	-
8	Урцадзор	VI век	неизвестна	-	-
9	Хачик, Каркоп	неизвестна	Между 893 –	III	VIII-IX

			899годами		
--	--	--	-----------	--	--

Таким образом, оценка параметров Двинских землетрясений согласно второму сценарию выглядит следующим образом (табл.3.7):

Таблица 3.7.

<i>Дата</i>	<i>Координаты</i>		<i>M<sub>s</sub></i>	<i>H (км)</i>	<i>I (балл)</i>
	<i>lat</i>	<i>lat</i>			
<b>863г.</b>			6,5 (± 0.2)	15	8
<b>893г.</b>			7,0 (± 0.2)	15	10

И первый, и второй сценарии Двинских землетрясений имеет и слабые, и сильные стороны, оценить их достоверность трудно. На наш взгляд, второй сценарий имеет небольшой перевес. Местоположение эпицентра на Гарнийском разломе, известном своей тектонической и сейсмической активностью, гораздо более вероятно, чем его связь с Ереванским разломом, для которого подобных данных нет – за период X–XIX века ни одного сильного исторического землетрясения здесь не зафиксировано.

## ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗОНЫ ЕРЕВАНСКОГО РАЗЛОМА.

### 4.1. Краткая характеристика наиболее сильных землетрясений ( $M > 3,7$ ), происшедших в зоне Ереванского разлома.

Наиболее достоверные сведения об исторической сейсмичности и землетрясениях первой трети 20-го века для территории Армении можно найти в работах [14,30,32,58,97]. В параметрическом каталоге Н.К. Карапетян, охватывающем временной период около 2500 лет (550г.д.н.э. – 1980г.н.э.) в Приереванской зоне зафиксировано два землетрясения 19-го века (табл.4.1) с интенсивностью сотрясений 5баллов.

Таблица 4.1.

Дата	Время	Координаты		Глубина Н (км)	Магнитуда $M_s$	Интенсивность J(балл)	Примечания
		$\varphi$ N <sup>o</sup>	$\lambda$ E <sup>o</sup>				
29.10.184 6	21.00	40,17	44,52	10	3,75	5	Ереван
15.05.188 8	03.30	40,17	44,53	5	3,5	5	Ереван

Ниже приведем описания этих землетрясений из макросейсмических текстовых каталогов [14,97].

Согласно историческим данным В.А. Степаняна: «В 1846г. 17октября (по старому стилю) в полночь произошло землетрясение в Ереване, которое сопровождалось сильными ударами и подземным гулом. К счастью, удары были непродолжительными и не имели серьезных последствий. Были опасения, что может повториться катастрофа 1840г., когда около Арарата покрылась деревня Акори. Землетрясение повторилось 18-го числа того же месяца.» [97]. Е.И. Бюс описывает это землетрясение следующим образом: «1846г. Октябрь, 29; 21час. Ереван.

Землетрясение из сильных толчков с подземным гулом. Без последствий. Октябрь, 30; 20час. Ереван. Землетрясение повторилось.» [14].

«3 (15) мая 1888г. в 6.30 утра в Ереване слышались звуки и сотрясения, напоминающие топот быстро бегущих лошадей, затем последовал подземный удар, настолько сильный, что все спящие проснулись; висячие лампы начали раскачиваться; стекла и тарелки зазвенели, а в некоторых домах (особенно на верхних этажах) открылись двери и окна. Удар был направлен с юга на север, от Арарата к озеру Севан. В 9 часов утра сильное землетрясение в Нахиджеване. Во время 1-го удара вся имеющаяся кухонная посуда разбилась (стеклянные тарелки вдребезги). Несколько ветхих зданий разрушились. Впавшие в панику жильцы убежали из своих квартир. Через 3/4 часа произошел 2-й удар, который был слабее первого.» [97]. По Е.И. Бюсу: «1888г. Май, 15; 3час.30мин. Ереван. Сначала раздался грохот, затем последовал сильный подземный удар. Спавшие проснулись, висячие лампы качались, посуда дребезжала, открылись двери и шкафные дверцы. Направление от Арарата к озеру Севан.»; «Май, 15; 6 час. Нахичевань. Сильное землетрясение. Мебель сдвинулась с места, посуда разбилась. Несколько ветхих зданий обрушилось. Население выбежало из домов. Через 3/4 часа ощущался еще толчок, слабее предыдущего [53].» [14].

Следует отметить, что Е.И. Бюс и В.А. Степанян использовали в качестве первоисточника каталог И.В. Мушкетова, А.П. Орлова [53]. Кроме того Е.И. Бюс использовал сейсмические бюллетени Тифлисской Физической Обсерватории и материалы Тбилисской сейсмической Станции [23,68,74,110,130].

В 20-ом веке (1900-1997гг.) в пределах сеймотектонической зоны Ереванского разлома фиксируется 10 средних по магнитуде ( $3,7 \leq M < 5,0$ ) землетрясений, параметры которых представлены в таблице 4.2. После сейсмического события 01.03.1997г. ( $M_c=3,7$ ), в течение последних 20лет, инструментально зарегистрированные землетрясения имели максимальную магнитуду  $M \leq 3,3$ .

Таблица 4.2.

Дата	Врем	Координаты		Глубин	Магни туда $M_s$	Интенс ивност ь J(балл)	Примечания			
								4,5	6-7	Ереван - 1
								3,75	5	Арташат
								4,0	5-6	Юва, Арташат
07.01.1937	20.47	40,13	44,43	10	4,75	7	Ереван - 2			
23.01.1939	02.34	39.93	44.63	25	4,5	5	Веди, Арташат			
16.06.1973	08.59	40,25	44,52	10	4,0	5-6	Ереван - 3			
25.02.1978	08.25	40,20	44,40	10	4,0	5	Ереван - 4			
02.08.1984	05.52	40,18	44,32	10	4,1	6	Ереван-5			
24.11.1993	10.37	39,88	44,67	17	4,0	5	Арташат			
01.03.1997	13.09	40,12	44,50	15	3,7	5-6	Ереван-6			

Необходимо отметить, что для характеристики отдельно взятого сейсмического события из таблицы 4.2, следует проанализировать всю сейсмичность в зоне Ереванского разлома за конкретный год, сейсмичность землетрясений, энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ), а также пространственное расположение и хронологическую последовательность землетрясений до (3 землетрясения) и после (3 землетрясения) каждого исследуемого сейсмического события.



Рис.4.1. Пространственное расположение и хронологическая последовательность наиболее сильных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ), происшедших в зоне Ереванского разлома до 2017г.

Анализ данных наиболее сильных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в пределах сеймотектонической зоны Ереванского разлома, представленных на рисунке 4.1, позволил выделить 2 подзоны: центральную Паракар-Ереванскую и юго-восточную Арташат-Вединскую.

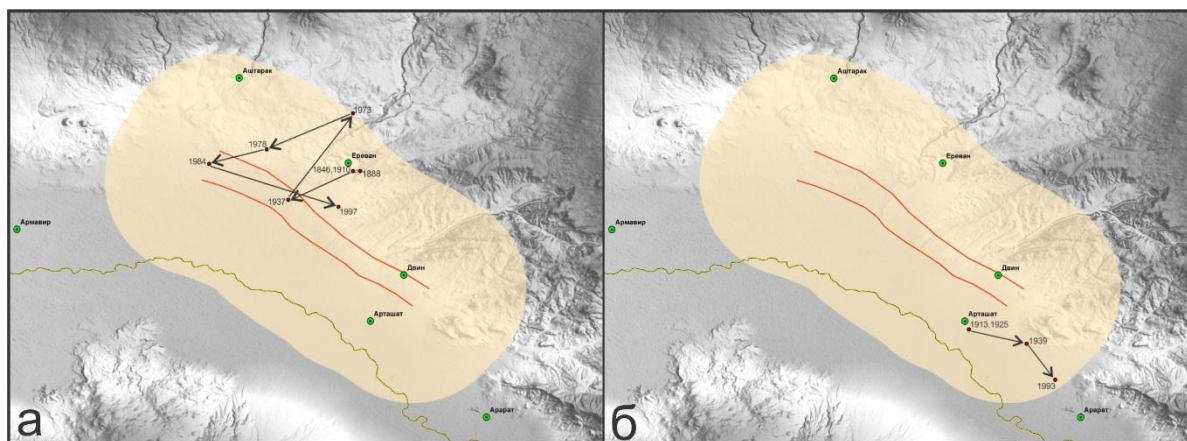


Рис.4.2. Пространственное расположение и хронологическая последовательность наиболее сильных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ), происшедших: **а** - в Паракар-Ереванской подзоне до 2017г.; **б** - в Арташат-Вединской подзоне до 2017г.

На рисунках 4.2а,б представлены особенности пространственно-временного развития сейсмического процесса (по наиболее сильным землетрясениям) в Паракар-Ереванской и Арташат-Вединской подзонах соответственно. Анализ этих материалов позволяет высказать некоторые предположения.

а) Несмотря на кажущуюся территориальную отдаленность и разобщенность этих подзон нельзя отрицать наличие определенной генетической взаимосвязи между ними, выявленной в хронологической последовательности землетрясений ( $M \geq 3,7$ ). Так, наблюдаются следующие, наиболее короткие “временные цепочки” из Паракар-Ереванской в Арташат-Вединскую подзону (табл.4.2): 25.01.1910г. (примерно через 3года и 2месяца) → 03.04.1913г.; 07.01.1937г. (примерно через 2года) → 23.01.1939г. Наиболее короткий тренд в обратном направлении (из Арташат-Вединской подзоны в Паракар-Ереванскую): 24.11.1993г. (примерно через 3года и 3месяца) → 01.03.1997г.

б) Генетическая взаимосвязь между Паракар-Ереванской и Арташат-Вединской подзонами осуществляется по направлению СЗ–ЮВ и соответствует азимуту

пространственного расположения северной и южной ветвей парного Ереванского разлома.

в) Пространственное расположение эпицентров наиболее сильных событий ( $M \geq 3,7$ ) за весь период исследований (до 2017г.) позволяет утверждать, что их относительно высокоэнергетическая реализация соответствует сейсмической разработке осевой зоны Ереванского разлома.

г) Сравнительный анализ рисунков 4.2.а,б показывает, что реализация наиболее сильных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в Паракар-Ереванской подзоне приурочена к площади северной ветви Ереванского разлома, а в Арташат-Вединской подзоне – к площади южной ветви.

С другой стороны, существенной отличительной особенностью является разная глубинность гипоцентров зарегистрированных землетрясений в выделенных подзонах: в Паракар-Ереванской – 5-10км. и в Арташат-Вединской – 10-25км.

Ниже проанализируем результаты, полученные для территории **Арташат-Вединской подзоны**.

В макросейсмическом каталоге В.А. Степаняна [97] ни одно из землетрясений Арташат-Вединской подзоны не представлено. Описание землетрясений 04.03.1913г.; 04.12.1925г. и 23.01.1939г. дается в каталогах Е.И. Бюса и Н.К. Карапетян [14,32]. По Е.И. Бюсу: «1913. Март, 4; 6час.33м. *Камарлю* (Арташат). От землетрясения некоторые предметы шатались и падали (5 баллов). *Эривань*. Умеренное землетрясение, направление С-Ю, гул (4–5 баллов).» [23,74].

«1925. Декабрь, 4; 9час.55м. *Ереван* и *Камарлю* (Арташат). Ощущалось землетрясение. Сильнее всего оно проявилось от Юва до Гарничая и от Новрузлу до Ардашара, почти все строения в селах пострадали.» [74,110].

Как видно на рисунке 4.3 большие оси эллипсов изосейст высших баллов вытянуты в направлении вытянутости сеймотектонической модели Ереванского разлома.

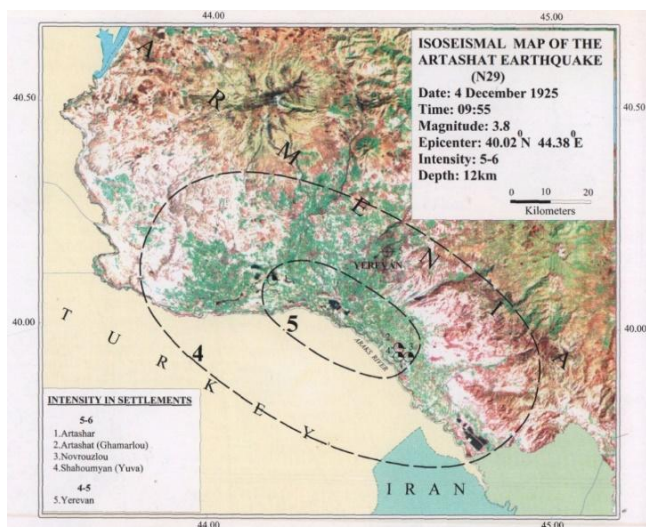


Рис.4.3. Карта изосейст интенсивности сейсмических сотрясений землетрясения 04.12.1925г. по макросейсмическим данным из 5 населенных пунктов (составлена Т.О. Бабаян) [10].

«1939. Январь, 23; 2час.34м. *Веды*. Подземный толчок с востока. Землетрясение продолжалось 5-10сек., замечено всем населением, сопровождалось гулом. Сотрясались двери и окна, слабо качались висючие предметы (4–5 баллов). *Камарлю* (Арташат). Ощущался подземный толчок, землетрясение продолжалось 3-4сек., замечено всем населением. Сотрясались двери и окна, трескали балки, слабо качались висючие предметы (4–5 баллов). *Ереван*. Ощущалось землетрясение многими (4 балла). *Урут*. Землетрясение шло с востока, замечено всеми, был гул (4 балла). Сатха, Башгярни - (3–4 балла). Отрицательные сообщения: Артик, Аштарак, Талин, Дилижан, Семеновка, Кировакан, Калинино.» [74].

Последнее из наиболее сильных землетрясений 20-го века, происшедших в Арташат - Вединской подзоне, было зарегистрировано сейсмическими станциями 24.11.1993г. в 10ч. 37м. ( $M_s=4,0$ ). Для характеристики этого сейсмического события попробуем проанализировать всю сейсмичность в зоне Ереванского разлома за 1993г. (рис.4.4а), а также пространственное расположение и хронологическую последовательность землетрясений до и после сейсмического события. (рис.4.4б).

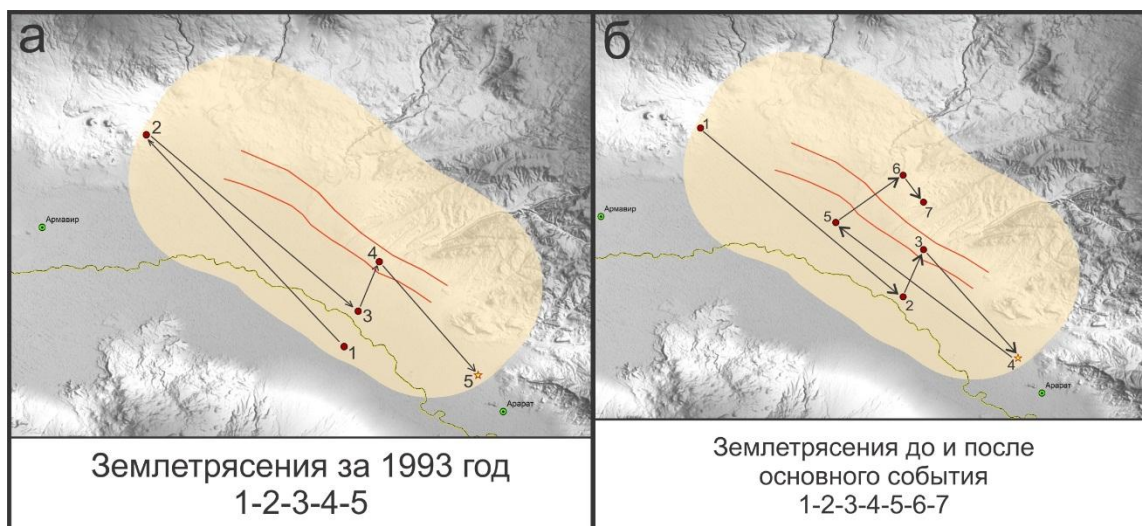


Рис.4.4. а - пространственное распределение всех зарегистрированных землетрясений за 1993г. в сеймотектонической зоне Ереванского разлома; б - пространственное расположение и хронологическую последовательность землетрясений до и после сейсмического события 24.11.1993г.

Анализ сейсмологических данных, представленных на рисунках 4.4а,б позволяет сделать следующие обобщения.

- 1) За весь 1993г. было зарегистрировано всего 5 сейсмических событий, причем все они соотносятся с областью южной ветви парного Ереванского разлома. Наиболее сильное из них – землетрясение 24.11.1993г. – произошло последним.
- 2) Гипоцентры 4-х сейсмических событий располагаются в ЮВ (Арташат - Вединской) подзоне на глубинах 14-17км.

Одним из возможных механизмов реализации землетрясения 24.11.1993г. может оказаться вариант, основанный на совместном рассмотрении сейсмических событий 3-х лет (1991-1993гг.). В этом случае, в короткий временной отрезок (21месяц), в рамках единого сейсмического процесса, в Арташат - Вединской подзоне высвобождается суммарная энергия в виде 3-х толчков с магнитудами  $M_{com}=2,5+2,2+2,8$  (рис.4.5).

После землетрясения 24.11.1993г. ( $M_{com}=2,8$ ), в 1994г. сейсмическая активность смещается в область центрального сегмента Ереванского разлома, где во втором полугодии реализуется самое сильное землетрясение 1994г. ( $M_{com}=3,0$ ), эпицентр которого также приурочен к области южной ветви Ереванского разлома.



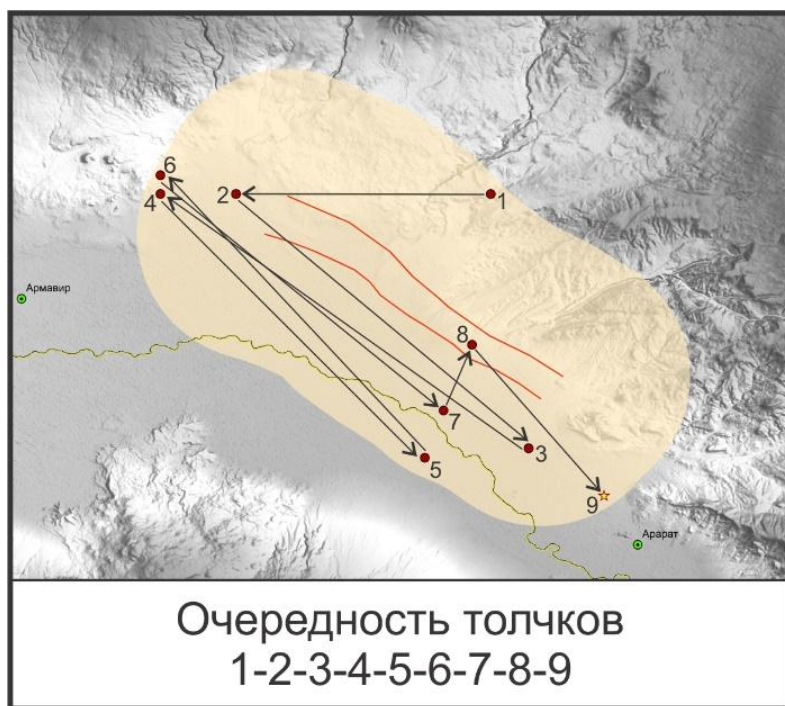


Рис.4.5. Пространственное расположение и хронологическая последовательность всех зарегистрированных землетрясений за 1991-1993гг. в сейсмотектонической зоне Ереванского разлома.

Теперь обратимся к полученным результатам в Паракар-Ереванской подзоне. Первое землетрясение в 20-м веке, в этой подзоне Ереванского разлома, произошло 25.01.1910г.

(прединструментальный период). В.А Степанян представляя описание этого сейсмического события ссылается на работу Е.И. Бюса [14]. В свою очередь, анализ землетрясения 25.01.1910г., Е.И. Бюс сделал на основе макросейсмических материалов из следующих работ [23,74,130]. Итак, по Е.И. Бюсу: «1910. Январь, 25; 1 час.54м. Землетрясение в Эриванской губернии. *Эривань*. Направление толчков ЮЗ-СВ. Предметы колебались, появились трещины в зданиях, обрушились несколько ветхих домов. Паника. Население провело утро вне жилищ (6–7 баллов). *Аштарак*. Направление землетрясения по С-Ю, продолжительность 5сек., качались висячие предметы, кровати на колесах сдвинулись с места, многие в испуге выбежали из домов (5 баллов). *Сардарабад*. Ощущалось 3 подземных толчка, бутылки попадали (5 баллов). *Игдырь*. От землетрясения трещали стены, двигались кровати, проснулись спящие (5–6 баллов). *Тифлис*. В некоторых частях города ощущался слабый подземный толчок (3–4 балла). *Эчмиадзин*. Сильные подземные толчки, Землетрясение продолжалось несколько секунд (5 баллов). *Герюсы* (Горис), *Давалу*, *Елисаветполь*, *Шуша* – ощущалось землетрясение.» [14].

Далее, с интервалом по 1/2 часа, следуют 2 афтершока: «1910. Январь, 25; 2 час.26м. Эривань. Землетрясение слабее предыдущего.» [23,130]. «1910. Январь, 25; 2 час.53м. Эривань. Колебание почвы, гул.» [23,130]. К сожалению, ввиду отсутствия более подробных сведений о других афтершоках землетрясения 25.01.1910г., нет

возможности проанализировать пространственно-временную геометрию этого сейсмического процесса.

Ниже на рисунке 4.6 представлена карта изосейст интенсивности (4-7 баллов) сейсмических сотрясений, составленная Т.О. Бабаян [10] по имеющимся описаниям макросейсмических последствий для 14 пунктов наблюдений в эпицентральной зоне землетрясения 25.01.1910г.

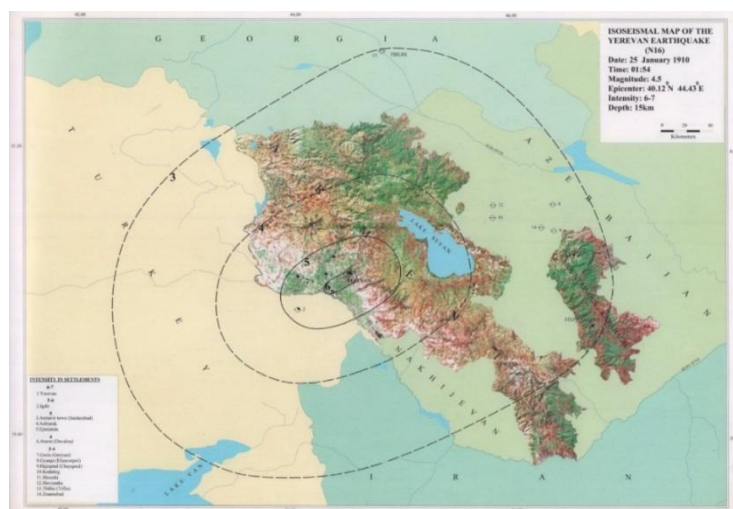


Рис.4.6. Карта изосейст интенсивности сейсмических сотрясений землетрясения 25.01.1910г. по макросейсмическим данным из 14 населенных пунктов (составлена Т.О. Бабаян) [10].

Землетрясение 16.06.1973г. ( $M_s=4,0$ ) было зарегистрировано всеми сейсмостанциями Кавказа и некоторыми телесеismicкими станциями СССР и зарубежных

стран. В Ереване максимальная интенсивность составила 5-6 баллов [31].

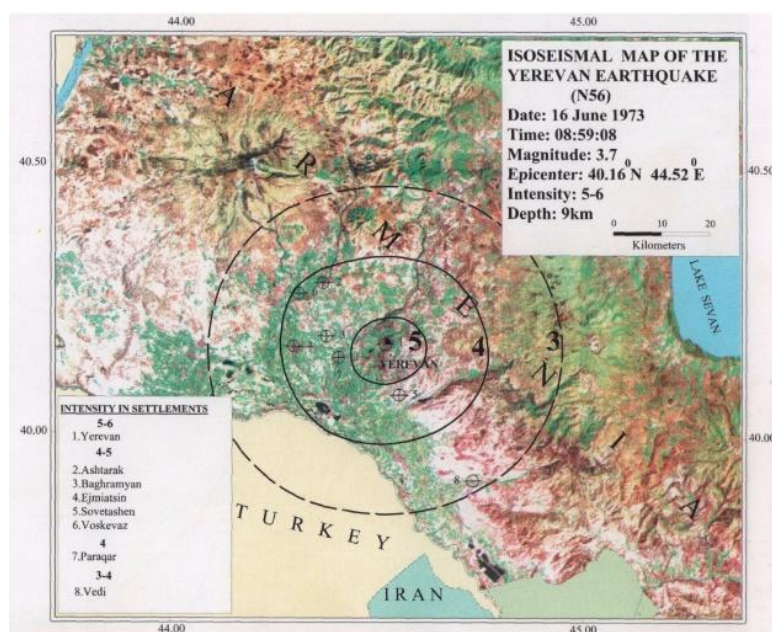


Рис.4.7. Карта изосейст интенсивности сейсмических сотрясений землетрясения 16.06.1973г. по макросейсмическим данным из 8 населенных пунктов (составлена Т.О. Бабаян) [10].

К сожалению, в каталоге-выборке землетрясений на территорию тектонической модели зоны Ереванского разлома вообще отсутствуют сейсмические события за 1973г., а о самом

землетрясении 16.06.1973г. макросейсмические сведения весьма скудны, что делает дальнейший анализ некорректным.

Для характеристики этого сейсмического события необходимо проанализировать всю сейсмичность в зоне Ереванского разлома за 1978г.,



сейсмичность землетрясений, энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ), а также пространственное расположение и хронологическую последовательность землетрясений до и после сейсмического события 25.02.1978г.

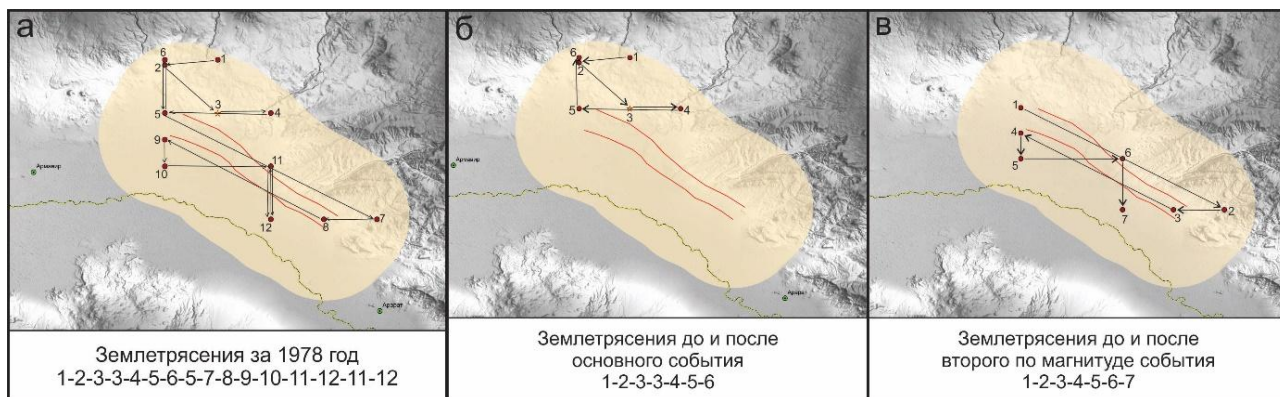


Рис.4.8. а - пространственное распределение всех зарегистрированных землетрясений за 1978г. в сеймотектонической зоне Ереванского разлома; б – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений до и после сейсмического события 25.02.1978г.; в – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений до и после сейсмического события 04.09.1978г.

Анализ сейсмологических данных, представленных в каталоге 1978г. и на рисунках 4.8 а,б,в позволяет сделать следующие обобщения.

- 1) За весь 1978г. было зарегистрировано 16 сейсмических событий, причем всего 3 из них по магнитуде имеют значения ниже уровня представительности и по координатам своих эпицентров дублируют другие землетрясения. Пространственная геометрия расположения всех зарегистрированных в 1978г. землетрясений и сейсмических событий с  $M_{com} \geq 2,0$  практически идентична, поэтому для дальнейшего анализа будем использовать графику, представленную на рисунке 4.8а.
- 2) В 1978г. весь ход сейсмичности напоминает процесс меридионально-ступенчатого перехода с СЗ фланга зоны Ереванского разлома в центр и далее на ЮВ, в Арташат - Вединскую подзону.
- 3) В ходе этого процесса образуются промежуточные “площадки” близширотного простирания, являющиеся перемычками между северной и южной ветвями парного Ереванского разлома. При этом, образование 1-ой площадки связано с реализацией землетрясения 25.02.1978г. ( $M_{com}=4,0$ ), а 2-я площадка – с землетрясением 04.09.1978г. ( $M_{com}=3,1$ ), т.е. с наиболее сильными сейсмическими событиями 1978г.

4) Анализ пространственного расположения и хронологической последовательности землетрясений до (2 форшока 23.02.1978г.) и после (3 афтершока 25.02.1978г.) сейсмического события 25.02. 1978г. позволил выявить сейсмодинамику перехода сейсмичности с СЗ фланга Ереванского разлома в центральную Паракар-Ереванскую подзону. Завершает этот цикл последний 4-й афтершок 27.02.1978г. (рис.4.8б).

5) Переход сейсмичности из центральной Паракар-Ереванской подзоны на ЮВ фланг Ереванского разлома в Арташат-Вединскую подзону определяется расположением и хронологической последовательностью землетрясений до и после сейсмического события 04.09.1978г. (рис.4.8в).

В работе Э.Г. Гедакяна, С.Н. Назаретяна и др. [21] представлен анализ данных по сейсмическому событию 02.08.1984г. ( $M_s=4,1$ ;  $J=6$  баллов) с точки зрения прогноза землетрясений, а параметризация данного сейсмического события дана в каталогах Н.К. Карапетян и НССЗ РА [33,136].

Для характеристики этого сейсмического события следует проанализировать всю сейсмичность в зоне Ереванского разлома за 1984г., сейсмичность землетрясений, энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ), а также пространственное расположение и хронологическую последовательность землетрясений до и после сейсмического события 02.08.1984г.

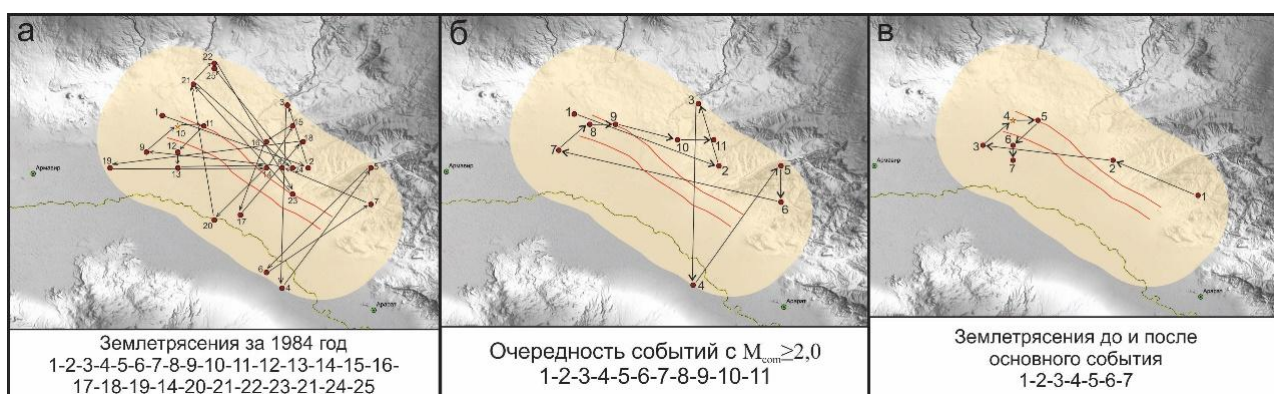


Рис.4.9. а - пространственное распределение всех зарегистрированных землетрясений за 1984г. в сеймотектонической зоне Ереванского разлома; б – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений за 1984г. энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ); в – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений до и после сейсмического события 02.08.1984г.

Как видно из рисунка 4.9а пространственная геометрия расположения всех зарегистрированных в 1984г. землетрясений весьма запутана, поэтому чтобы понять сейсמודинамические особенности 1984г. попробуем расчленить общий ход сейсмичности на определенные фрагменты. Общий анализ данных каталога землетрясений (за 1984г.) позволил выделить 4 хронологических фрагмента, каждый из которых можно считать логически завершенным этапом, являющимся частью единого сейсмического процесса (рис.4.10а,б,в,г).

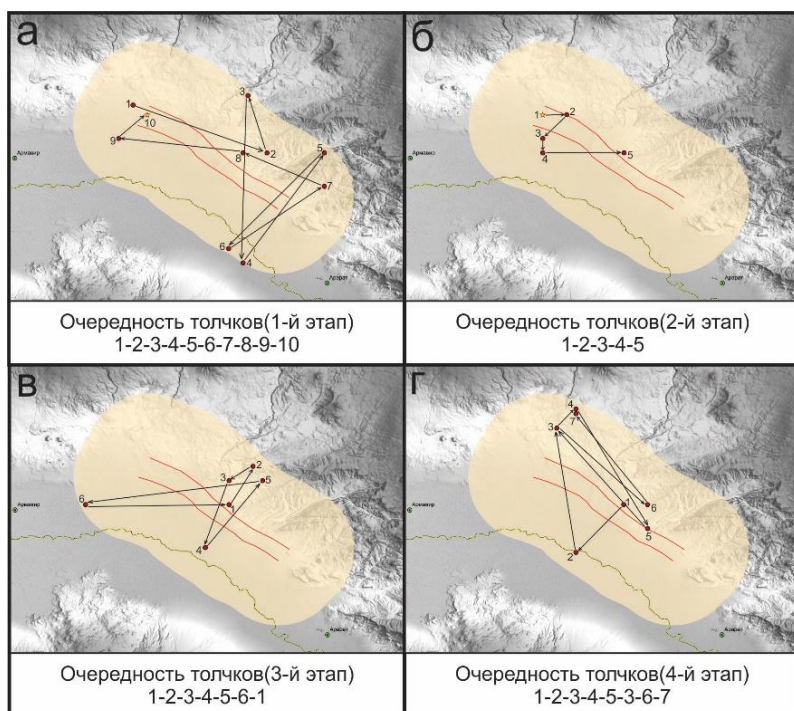


Рис.4.10. а (1-й этап) - пространственное распределение всех зарегистрированных землетрясений с начала 1984г. до наиболее сильного толчка 02.08.1984г. ( $M_{com}=4,1$ ); б (2-й этап) – пространственное расположение и хронологическая последовательность афтершоков с 2 по 4августа 1984г.; в (3-й этап) – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений с середины августа по 4 октября 1984г.; г (4-й этап) – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений с 5 ноября по 24 декабря 1984г.

Анализ сейсмологических данных, представленных в каталоге 1984г. и на рисунках 4.9а,б,в и 4.10а,б,в,г позволяет сделать следующие обобщения.

1. За весь 1984г. было зарегистрировано 27 сейсмических событий, причем всего 11 из них по магнитуде имеют значения выше уровня представительности по энергии ( $M_{com} \geq 2,0$ ). Большая часть из этих 11 толчков (всего 7) произошли до сравнительно сильного сейсмического события 02.08.1984г. ( $M_{com}=4,1$ ).
2. Конфигурация 1-го фрагмента вырисовывается при рассмотрении рисунка 4.9б, где представлен ход сейсмичности тех землетрясений, энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ). 1-й этап представляет собой пространственное распределение первых 10 событий, зарегистрированных с начала 1984г. Сейсмический процесс начинается в области очага главного землетрясения 02.08.1984г. ( $M_{com}=4,1$ ) на СЗ фланге зоны Ереванского разлома, затем через

Паракарскую подзону смещается на ЮВ фланг – в Арташатскую подзону, где реализуется в виде довольно ощутимого толчка 29.03.1984г. ( $M_{com}=2,8$ ). На заключительной стадии 1-го этапа происходит обратный переход на СЗ фланг зоны Ереванского разлома с реализацией наиболее сильного (6 баллов) землетрясения 1984г.

3. 2-й этап представляет собой фрагмент, состоящий из афтершоков, зарегистрированных на СЗ фланге зоны Ереванского разлома со 2 по 4 августа 1984г. Завершается этот этап слабым землетрясением 04.08.1984г. в центральной подзоне. Следует отметить, что именно этот эпицентр станет завершающей точкой сейсмического цикла 3-го этапа.

4. 3-й этап представляет собой 6 сейсмических событий, зарегистрированных с середины августа по 4 октября 1984г. Пространственное распределение большинства эпицентров (4) приурочено к северной ветви Паракар-Ереванской подзоны, 2 толчка – к южной ветви Ереванского разлома. Хронологический ход сейсмичности имеет преимущественно СВ-ЮЗ направление. 3-й этап завершается слабым землетрясением 04.10.1984г. с теми же координатами, что и в конце 2-го этапа.

5. 4-й этап состоит из 7 слабых сейсмических событий, происшедших с 5 ноября по 24 декабря 1984г. Хронологический ход сейсмичности имеет СЗ-ЮВ направление, т.е. совпадает с азимутом Ереванского разлома. Эпицентры 6-ти землетрясений пространственно расположены на площади СЗ фланга и центрального сегмента зоны Ереванского разлома и приурочены к его северной ветви. 4-й этап завершается землетрясением 24.12.1984г. ( $M_{com}=1,8$ ) с координатами близкими координатам очага Ереванского землетрясения 16.06.1973г. с интенсивностью сотрясений 5-6 баллов.

Для характеристики этого сейсмического события 01.03.1997г. ( $M_{com}=3,7$ ) были проанализированы: вся сейсмичность в зоне Ереванского разлома за 1997г., сейсмичность землетрясений периода 1996-97гг., энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ), а также пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений до и после сейсмического события 01.03.1997г.



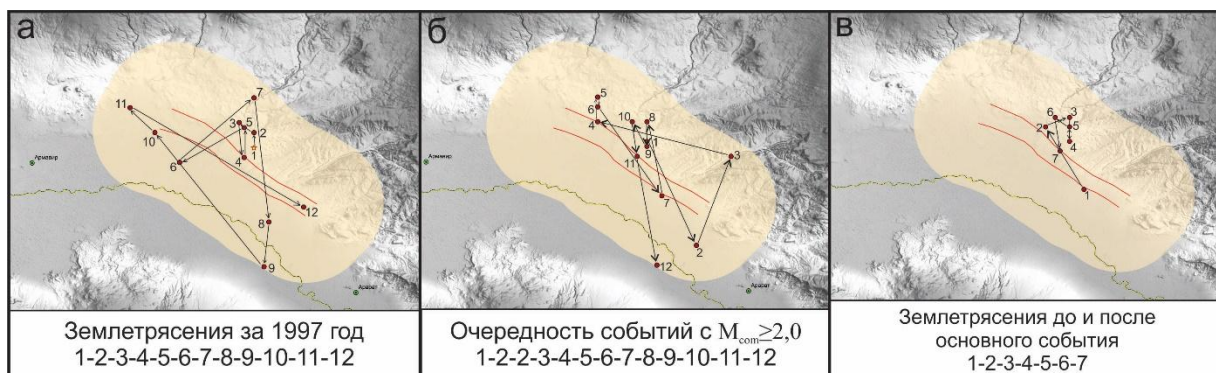


Рис.4.11. а - пространственное распределение всех зарегистрированных землетрясений за 1997г. в сеймотектонической зоне Ереванского разлома; б – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений за 1997г., энергетический уровень которых выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ); в – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений до и после сейсмического события 01.03.1997г.

Следует отметить, что при подготовке исходных данных по 2-му и 3-му пунктам возникли сложности, требующие нестандартного решения. В частности, Ереванское землетрясение 01.03.1997г. ( $M_{com}=3,7$ ) хронологически само является 1-м сейсмическим событием, зарегистрированным в 1997г. Следовательно, для получения последовательности 3 землетрясений до главного толчка необходимо привлечь 3 последних события 1996г. (рис.4.11в). Основная проблема при создании базы данных для рисунка 4.11б заключалась в том, что из 12 зарегистрированных в 1997г. сейсмических событий лишь у 4-х значения магнитуды оказались выше уровня представительности ( $M_{com} \geq 2,0$ ). Поэтому было решено провести совместный анализ исходных данных за 1996-97гг.

Результирующий анализ сейсмологических данных, представленных в каталоге 1997г. и на рисунках 4.11а,б,в позволяет сделать следующие выводы.

1. За весь 1997г. было зарегистрировано 12 сейсмических событий, причем большая часть выделенной ими энергии приходится на основной толчок – 01.03.1997г. ( $M_{com}=3,7$ ) и 4 первых афтершока (1-2марта).
2. Двухмесячное сейсмическое затишье в начале 1997г. (январь и февраль) дополняется еще двумя последними месяцами 1996г. Последнее инструментальное землетрясение в исследуемой нами зоне датируется 04.11.1996г.
3. В сейсмическом процессе 1997г. можно выделить четыре временных этапа (рис.4.12):

1-й этап (1-2марта 1997г.) – эпицентры основного сейсмического удара и его 4-х первых афтершоков компактно располагаются в очаговой области Паракарской подзоны и приурочены к северной ветви Ереванского разлома, что подтверждается и на рисунке 4.11в;

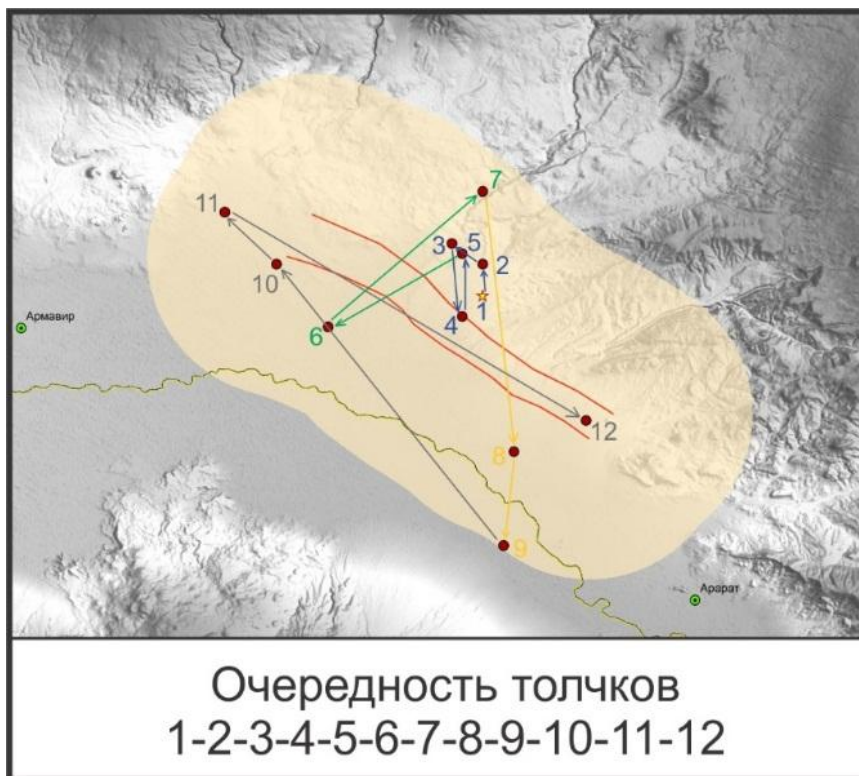


Рис.4.12. Поэтапное расчленение хронологической последовательности всех сейсмических событий, зарегистрированных в 1997г.

2-й этап (3-11апреля 1997г.) – перемычка (в направлении СВ-ЮЗ) между южной и северной ветвями парного разлома, состоящая из 2-х толчков; 3-й этап (9-10июля 1997г.) – 2 сейсмических события переводят

сейсмичность на южную ветвь, в юго-восточную Арташатскую подзону;

4-й этап (04.10-10.12 1997г.) – 2 слабых сейсмических удара, приуроченные своими эпицентрами к площади южной ветви Ереванского разлома прокладывают путь на СЗ фланг сеймотектонической зоны, а затем резко, ощутимым землетрясением 10.12.1997г. ( $M_{com}=1,8$ ) в осевой части ЮВ фланга завершают ход сейсмического процесса 1997г.

#### 4.2. Анализ афтершокового процесса Ереванского землетрясения 07.01.1937г.

Данный параграф посвящен всестороннему изучению макросейсмических материалов, посвященных наиболее сильному землетрясению (07.01.1937г.,  $M_s=4,75$ ) Паракарской зоны Ереванского разлома.

По данным Н.К. Карапетян, этому землетрясению предшествовали 4 форшока, хотя в параметрическом каталоге автор приводит характеристики лишь одного форшока. Первый из них, интенсивностью 6 баллов, вызвал повреждения и



разрушения зданий и сооружений в Ереване и прилегающих к нему населенных пунктах (особенно в селе Паракар). Остальные 3 форшока имели интенсивность менее 5 баллов. Через 7ч.24м. после сильнейшего форшока последовал основной толчок (эпицентр в Паракаре), а затем множество афтершоков, из которых 8 толчков с интенсивностью  $J \geq 5$  баллов. Причем в первые сутки был зарегистрирован всего 1 афтершок силой  $\geq 5$  баллов [32]. В Ереване некоторые сооружения получили повреждения, что связано с ветхостью старых построек, неблагоприятными грунтовыми условиями в некоторых частях города, а также низким качеством строительных работ [15,16,85].

В.А. Степанян представляя описание главного толчка землетрясения 07.01.1937г. ссылается на работы Е.И. Бюса и Цхакая А.Д. [14,15]. Поэтому, сразу перейдем к рассмотрению макросейсмических материалов этих авторов [14,15,16,74,110].

1-й, самый сильный форшок: «1937. Январь, 7; 13час.24м. *Паракар*. От ударов землетрясения стенные часы остановились, штукатурка осыпалась, падали предметы с этажерки. Многие каменные дома дали трещины; в одном ветхом доме отвалилась стена. Паника. (6 баллов). *Каракишляк*. Сильное колебание почвы. Некоторые дома получили трещины. Все выбежали на улицу. Паника (6 баллов). *Ереван*. Подземный толчок имел вертикальное направление, землетрясение сопровождалось гулом. Осыпалась штукатурка, показались незначительные трещины в стенах некоторых домов. Не наблюдалось качания висячих предметов или опрокидывания малоустойчивых предметов. Паника (5 - 6 баллов). *Арбат*. Подземный толчок замечен всем населением, сопровождался гулом. Некоторые дома дали в стенах трещины, все выбежали из домов. Паника (5 - 6 баллов). В Азаташене, Норагавите, Вагаршапате и Аштараке интенсивность сотрясений составила 5 баллов.» [14,15,74,110].

Следующие 3 форшока (видимо, очень слабые) представлены без подробного описания: «1937. Январь, 7; 13час.53м. *Ереван*. Ощущалось землетрясение.» [110]; «1937. Январь, 7; 14час.10м. *Ереван*. Ощущалось землетрясение.» [110]; «1937. Январь, 7; 14час.29м. *Ереван*. Ощущалось землетрясение.» [110].

По шкале Меркалли-Канкани выражение «ощущалось землетрясение» соответствует интенсивности сейсмических сотрясений - 3 балла.

Ниже приводится описание макросейсмических последствий от главного толчка землетрясения 1937г., сделанное Е.И. Бюсом: «1937. Январь, 7; 20час.47м. *Ереван*. Землетрясение сопровождалось гулом. Пострадало значительное число зданий. Наиболее пострадал ЮЗ район (Шенгавит). Новая 2-х этажная школа получила серьезные повреждения. Пострадали также постройки маслобойно-мыловаренного комбината. Почти все новые жилые дома рабочего городка получили повреждения (дверные и оконные перемычки, разные трещины), особенно на верхних этажах. Пострадали некоторые капитальные здания в центральном и южном районах города. Замечено много случаев остановки стенных часов. Гул при землетрясении (7 баллов). *Паракар*. От землетрясения пострадали почти все дома. Около 140 домов пришло в негодность для жилья и подлежит сносу. Остальные дома требуют восстановительного ремонта. Церковь пострадала, 2 треножных пюпитра с книгами упали. Население жило в палатках. Не наблюдалось случаев смещения, поворота, опрокидывания памятников (на кладбище). Землетрясение сопровождалось гулом (7 баллов). *Кара-Кишляк*. От землетрясения около 100 домов получили трещины, часть домов разрушена. Паника. Часть населения ночует на дворе (7 баллов). *Арбат*. Сильное землетрясение. Почти все здания повреждены. Население жило в палатках (6-7 баллов). *Канакир*. От землетрясения во многих (около 100) домах образовались трещины (6-7 баллов). *Захмет*. Многие дома пришли в негодное для жилья состояние. Население ночевало на улице (6-7 баллов). *Гекюмбет*. Село пострадало от землетрясения (постройки ветхие, каменные). Часть населения жила в палатках (6-7 баллов). *Агаджа-Кишляк*. Сильное землетрясение. Многие дома получили повреждения, некоторые значительно пострадали (6-7 баллов). *Верхние Неджарлу*. Многие дома получили значительные повреждения (6-7 баллов). *Вагаршанат*. Наблюдалось сотрясение и хлопанье дверей и окон, остановка стенных часов. В здании духовной семинарии появились трещины в стенах. Во многих зданиях обвалилась штукатурка. Новое здание Райисполкома получило трещины. В Эчмиадзинском соборе упала маленькая люстра и остановились стенные часы. Была паника, население выбежало на улицу. Землетрясение отмечено всеми как в домах,

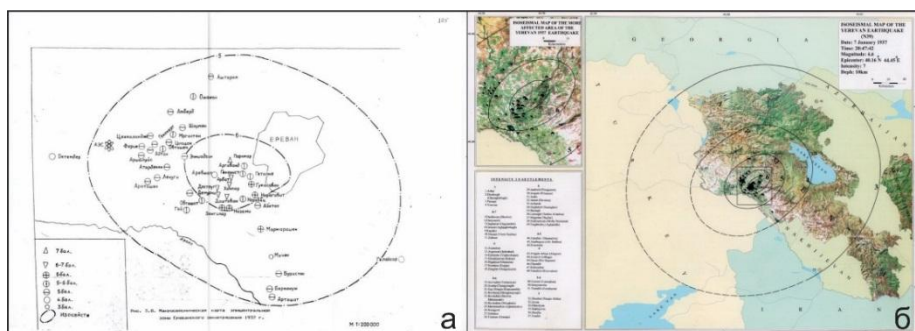
так и на открытом воздухе. В *Азаташене, Калара, Норагавите, и Енгиджа* (Норашене) интенсивность сотрясений составила 6 баллов.» [14,15,74,110].

Как видно из приведенных выше описаний, наиболее характерными макросейсмическими последствиями, во всех пунктах плейстосейстовой зоны (6-7 баллов по шкале MSK-64) землетрясения 07.01.1937г., являются серьезные повреждения и разрушения зданий и сооружений. Так, в селе Паракар 140 домов было разрушено, еще 120 сооружений получили серьезные повреждения. В г. Ереване повреждения различной степени получили 3382 сооружения, из коих 372 серьезно пострадали, а некоторые полностью были разрушены [14,32,33,97].

Инженерные обследования, проведенные в зоне разрушений показали, что нанесенный зданиям ущерб обусловлен скорее всего дефектами строительства и плохим качеством строительных материалов. Выяснилось, что большей частью повреждены здания, построенные из мелкого бутового камня, скрепленного глиной. Была нарушена горизонтальность кладки, связанная с недостаточным сцеплением между строительным раствором и камнем; нежестким соединением перекрытий и несущих стен; избыточной толщиной земляной кровли и т.д. [85,128].

Ниже, на рисунке 4.13 представлены: а - схематическая карта высших изосейст интенсивности (5-7баллов) сейсмических сотрясений землетрясения 07.01.1937г. по макросейсмическим данным (составлена ЕрОАЭП, 1985г.); и б - карта изосейст интенсивности (3-7баллов) сейсмических сотрясений, составленная Т.О. Бабаян [10] по имеющимся описаниям макросейсмических последствий для 57 пунктов наблюдений в эпицентральной зоне землетрясения 07.01.1937г.

Рис.4.13. а - схематическая карта изосейст интенсивности сейсмических сотрясений землетрясения 07.01.1937г.



по макросейсмическим данным (составлена ЕрОАЭП, 1985г.); б - карта изосейст интенсивности сейсмических сотрясений землетрясения 07.01.1937г. по макросейсмическим данным из 57 населенных пунктов

(составлена Т.О. Бабаян, 2006г.).

Афтершоки Паракарского землетрясения 07.01.1937г. продолжались до августа 1937г., из них 7 событий с интенсивностью сотрясений  $J_0 \geq 5$  баллов, причем за первые 24ч. был зарегистрирован лишь один афтершок в 5 баллов [32]. Ниже приводится хронология и описание афтершокового процесса землетрясения 1937г. по сведениям из макросейсмического каталога [14] Е.И. Бюса, который в качестве первичных, исходных данных использовал следующие материалы:

- «07.01.1937. (21час.54м.) *Ереван*. Ощущалось землетрясение.»;
- «08.01.1937. (06час.52м.) *Паракар*. (5 баллов)»;
- «08.01.1937. (20час.45м.) *Ереван*. (5 баллов)»;
- «08.01.1937. (20час.52м.) *Ереван*. (5 баллов)»;
- «09.01.1937. (12час.15м.) *Ереван*. (4 баллов)»;
- «10.01.1937. (00час.54м.) *Ереван*. (4 баллов)»;
- «10.01.1937. (10час.42м.) *Ереван*. (4 баллов)»;
- «10.01.1937. (12час.16м.) *Ереван*. (4 баллов)»;
- «11.01.1937. (12час.06м.) *Ереван*. (3-4 баллов)»;
- «12.01.1937. (05час.03м.) *Ереван*. (5-6 баллов)»;
- «17.01.1937. (15час.17м.) *Ереван*. Ощущалось землетрясение. (3 балла)»;
- «23.01.1937. (06час.57м.) *Ереван*. Направление толчков СВ-ЮЗ (4-5 баллов); *Паракар*, *Вагаршапат* (4-5 баллов); *Каракишляк* (6 баллов)»;
- «23.01.1937. (11час.10м.) *Ереван*. Колебания почвы имели направление СВ-ЮЗ (3-4 баллов)»;
- «27.01.1937. (06час.20м.) *Ереван*. (3-4 баллов)»;
- «27.01.1937. (17час.50м.) *Паракар*. (5-6 баллов); *Ереван*. (4 баллов)»;
- «28.01.1937. (00час.30м.) *Азадашен*. (4-5 баллов)»;
- «28.01.1937. (20час.20м.) *Ереван*. (3-4 баллов)»;
- «29.01.1937. (06час.00м.) *Камарлю*, *Паракар*. (4 баллов)»;
- «29.01.1937. (17час.34м.) *Ереван*. Волнообразное землетрясение по С-Ю (5 баллов)»;
- «12.02.1937. (2час.15м.) *Тазагюх*. Волнообразное колебание почвы. (4 баллов)»;
- «15.05.1937. (16час.22м.) *Ереван*. (3-4 баллов)»;
- «16.05.1937. (15час.13м.) *Ереван*. Ощущалось землетрясение (3 балла)»;

«14.08.1937. (11 час.45 м.) *Ереван*. Слабый подземный толчок (3 балла)»;

Таким образом, в макросейсмическом каталоге Е.И. Бюса [14] дается описание 4 форшоков и 23 афтершоков Ереванского землетрясения 07.01.1937г. В параметрическом каталоге Н.К. Карапетян [32] приведены данные об 1 форшоке и 8 афтершоках. При этом следует отметить, что 8-ой (последний) афтершок параметрического каталога [32] соответствует 19-ому событию макросейсмического каталога [14]. Следовательно, в одном и том же временном интервале (1января – 29января 1937г.) параметрический каталог “потерял” полезную информацию об 11 афтершоках самого сильного (за 20-й век) землетрясения, зафиксированного в зоне Ереванского разлома.

Далее, для выявления особенностей сейсмического процесса Ереванского землетрясения 07.01.1937г. проведем визуализацию пространственно-временного хода и распределения всех сейсмических событий: форшок-майншок-афтершоков в 2-х вариантах вновь создаваемого каталога.

1) Сводный каталог (табл. 4.3) составлен по результатам сопоставительного анализа данных параметрических каталогов НССЗ РА [137], Н.К. Карапетян [32] и “Нового каталога сильных землетрясений территории СССР...” [58].

2) Каталог 2-го варианта (табл. 4.4) составлен по данным сводного параметрического каталога, совмещенного и дополненного сведениями из макросейсмического каталога Е.И. Бюса [14].

**1-ый вариант.** В таблице 4.3 приведены данные о 1 форшоке, майншоке и 9 афтершоках землетрясения 07.01.1937г. за начальный период времени (07.01. – 29.01.1937г.), а также параметры землетрясения 08.06.1937г. из поздней стадии афтершокового процесса.

Таблица 4.3.

Дата	Время	Координаты		Глубина Н (км)	Магнитуда $M_{s(comb)}$	Интенсивность J(балл)	Примечания
		$\varphi$ N <sup>°</sup>	$\lambda$ E <sup>°</sup>				
07.01.1937	13.23	40,15	44,38	10	4,0	6	Паракар, Каракишляк (Ф)
07.01.1937	20.47	40,13	44,43	10	4,6	7	Ереван-2 (Гл.)
08.01.1937	06.52	40,17	44,40	7	3,3	5	Паракар (АФ)
08.01.1937	20.52	40,17	44,52	5	3,3	5	Ереван (АФ)
09.01.1937	02.15	40,17	44,53	12	3,5	5	Ереван (АФ)
10.01.1937	00.54	40,17	44,53	13	3,3	5	Ереван (АФ)
12.01.1937	05.03	40,13	44,42	9	3,7	6	Арбат, Азаташен (АФ)
23.01.1937	06.57	40,12	44,38	5	4,0	6	Каракишляк (АФ)
27.01.1937	17.50	40,17	44,40	8	4,0	5-6	Паракар (АФ)
29.01.1937	17.34	40,17	44,52	5	3,2	5	Ереван (АФ)
08.06.1937	06.52	40,15	44,40	5	3,3	5	Паракар (АФ)



На рисунке 4.14. показана хронологическая последовательность сейсмического процесса землетрясения 07.01.1937г. (по 1-му варианту). При этом в январе выделяются два временных этапа:

1-й этап состоит из форшока основного сейсмического удара и пяти афтершоков (07.01.1937г.-12.01.1937г.);

2-й этап состоит из трех сейсмических толчков (23.01.1937г.-29.01.1937г.). Сюда же включен единственный параметризованный афтершок более позднего периода (08.06.1937г.).

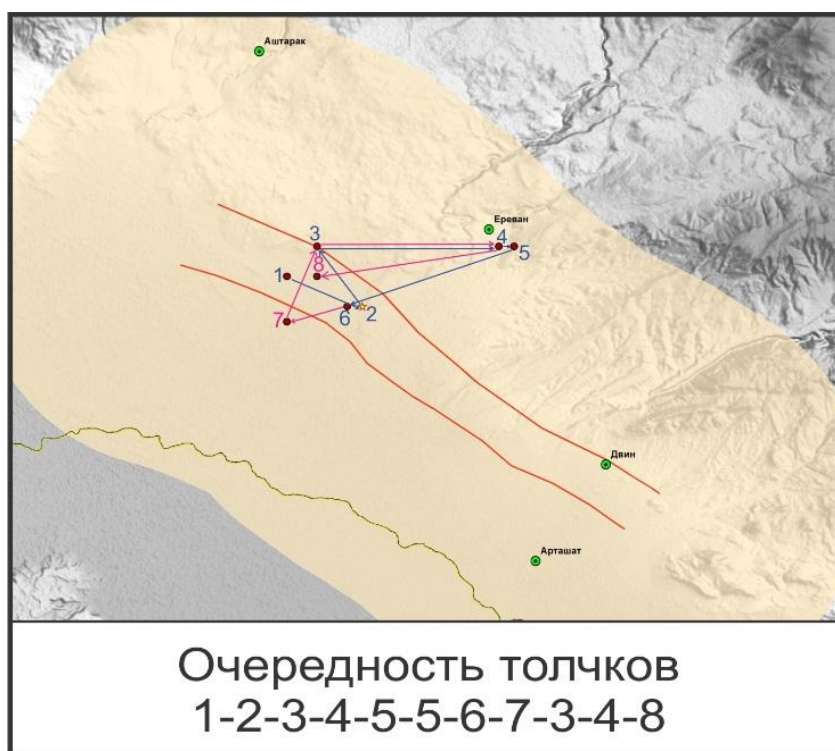


Рис.4.14. Хронологическая последовательность всего сейсмического афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. (по 1-му варианту). 1-й этап хронологической последовательности – синяя линия; 2-й этап хронологической последовательности – малиновая линия.

Анализ представленных данных позволяет сделать следующие выводы:

- 1-ый вариант ограничивает возможности анализа сейсмодинамики афтершокового процесса Паракарского землетрясения 07.01.1937г. лишь его начальным периодом (07.01. – 29.01.1937г.);
- б) четко выделяются 2 временных цикла афтершоков (07.01.-12.01.1937г. и 23.01.-29.01.1937г.) с интервалом сейсмического затишья в 11дней;
- в) координаты основного толчка, начала и конца 1-го цикла пространственно находятся в центральной осевой зоне Паракарской подзоны (рис. 4.17.), весь

сейсмический процесс землетрясения 07.01.1937г. территориально привязан к северной ветви Ереванского разлома;

г) наиболее важной, узловой точкой в пространственно-временном распределении афтершоков, является точка 6 (координаты главного землетрясения практически совпадают с координатами конца 1-го и начала 2-го цикла сейсмического процесса);

д) землетрясение 08.06.1937г. из поздней стадии сейсмического процесса входит в компактную группу афтершоков начального периода (07.01. – 29.01.1937г.) с координатами в осевой зоне Паракарской подзоны.

**2-ой вариант.** В таблице 4.2.2. приведены данные нового каталога (1-ый вариант), совмещенного и дополненного сведениями из макросейсмического каталога Е.И. Бюса [14], первоисточником которых, в основном, являются материалы из работы [110].

Следует также отметить, что макросейсмическая “сила” землетрясений определялась Е.И. Бюсом по шкале Меркалли-Канкани в обработке А. Зиберга [14].

Таблица 4.4.

Дата	Время	Координаты		Глубина Н (км)	Магнитуда $M_{s(comb)}$	Интенсивность J(балл)	Примечания
		$\varphi$ N°	$\lambda$ E°				
07.01.1937	13.23	40,15	44,38	10	4,0	6	Паракар, Каракишляк (Ф)
07.01.1937	13.53	40,17	44,52	-	-	3-4	Ереван (Ф)
07.01.1937	14.10	40,18	44,51	-	-	3-4	Ереван (Ф)
07.01.1937	14.29	40,17	44,52	-	-	3-4	Ереван (Ф)
<b>07.01.1937</b>	<b>20.47</b>	<b>40,13</b>	<b>44,43</b>	<b>10</b>	<b>4,6</b>	<b>7</b>	<b>Ереван-2 (Гл.)</b>
07.01.1937	21.54	40,17	44,52	-	-	4	Ереван (АФ)

08.01.1937	06.52	40,17	44,40	7	3,3	5	Паракар (АФ)
08.01.1937	20.45	40,17	44,51	-	-	5	Ереван (АФ)
08.01.1937	20.52	40,17	44,52	5	3,3	5	Ереван (АФ)
09.01.1937	02.15	40,17	44,53	12	3,5	4-5	Ереван (АФ)
10.01.1937	00.54	40,17	44,53	13	3,3	4	Ереван (АФ)
10.01.1937	10.42	40,17	44,52	-	-	4	Ереван (АФ)
10.01.1937	12.16	40,17	44,53	-	-	4	Ереван (АФ)
11.01.1937	12.06	40,18	44,51	-	-	3-4	Ереван (АФ)
12.01.1937	05.03	40,13	44,42	9	3,7	6	Арбат, Азаташен (АФ)
17.01.1937	15.17	40,17	44,52	-	-	4	Ереван (АФ)
23.01.1937	06.57	40,12	44,38	5	4,0	6	Каракишляк (АФ)
23.01.1937	11.10	40,17	44,52	-	-	3-4	Ереван (АФ)
27.01.1937	06.20	40,17	44,51	-	-	3-4	Ереван (АФ)
27.01.1937	17.50	40,17	44,40	8	4,0	5-6	Паракар (АФ)
28.01.1937	00.30	40,13	44,42	-	-	4-5	Азаташен (АФ)
28.01.1937	20.20	40,17	44,52	-	-	3-4	Ереван (АФ)
29.01.1937	06.00	40,15	44,40	-	-	4	Паракар (АФ)
29.01.1937	17.34	40,17	44,52	5	3,2	5	Ереван (АФ)

Продолжение таблицы 4.4.

12.02.1937	02.15	40,09	44,47	-	-	4	Тазагюх (АФ)
15.05.1937	16.22	40,17	44,52	-	-	3-4	Ереван (АФ)
16.05.1937	15.13	40,17	44,51	-	-	3	Ереван (АФ)
08.06.1937	06.52	40,15	44,40	5	3,3	5	Паракар
14.08.1937	11.45	40,17	44,52	-	-	3	Ереван (АФ)

На рисунке 4.15 показана хронологическая последовательность сейсмического процесса землетрясения 07.01.1937г. (по 2-му варианту). Как видно, эпицентры всех 29 землетрясений, представляющих этот процесс, расположены на площади Паракарской подзоны Ереванского разлома, причем примерно 1/3 сейсмических событий (9 толчков) включая 1-й самый сильный форшок ( $M_s=4,0$ ) и майншок ( $M_s=4,6$ ) зафиксированы в осевой зоне между северной и южной ветвями парного Ереванского разлома. Наибольшая область сгущения эпицентров афтершоков (19 толчков) проявляется непосредственно в южных пригородах Еревана. К южной ветви Ереванского разлома приурочен лишь один довольно ощутимый афтершок (23.01.1937г.  $M_s=4,0$ )

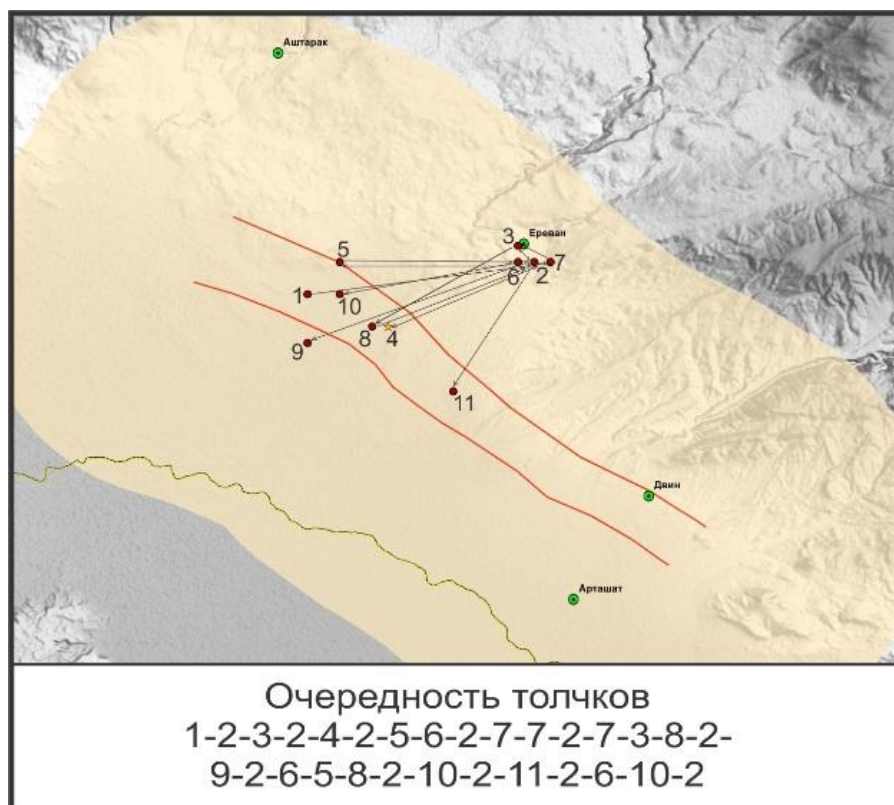


Рис.4.15. Хронологическая последовательность всего сейсмического афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. (по 2-му варианту).

Пространственная геометрия (в первую очередь плотность распределения эпицентров) расположения всех включенных в таблицу 4.4 сейсмических событий весьма запутана, поэтому чтобы понять сейсмодинамические особенности афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. (по 2-му варианту), попробуем расчленить общий ход сейсмичности на определенные фрагменты.

Общий анализ имеющихся данных позволил выделить 4 хронологических фрагмента, каждый из которых можно считать логически завершенным этапом, являющимся частью единого сейсмического афтершокового процесса (рис. 4.16 а,б,в,г).

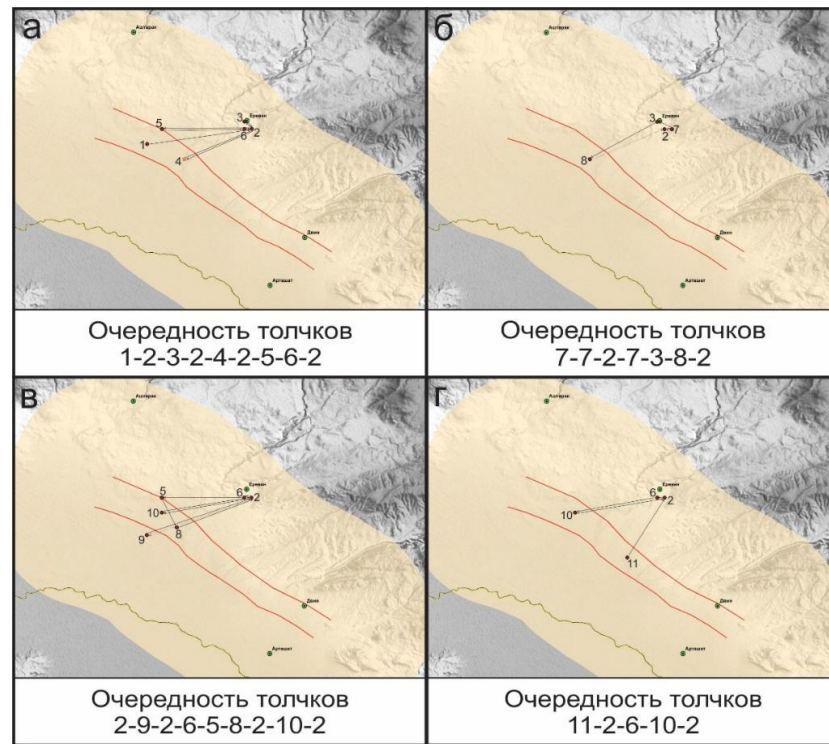


Рис.4.16. Поэтапное расчленение хронологической последовательности всех сейсмических событий, зарегистрированных в 1937г. **а** (1-й этап) - пространственное распределение первых 9-ти землетрясений (07.01-08.01.1937г.) с главным толчком; **б** (2-й этап) – пространственное расположение и хронологическая последовательность афтершоков с 9 по 12января 1937г.; **в** (3-й этап) – пространственное расположение и хронологическая последовательность землетрясений в конце месяца (23.01.1937г.-29.01.1937г.); **г** (4-й этап) – 5 сейсмических толчков за период 12.02.1937г.-14.08.1937г. – заключительная фаза афтершокового процесса Паракарского землетрясения 07.01.1937г. ( $M_{com}=4,6$ ).

1-й этап состоит из 4-х форшоков, основного сейсмического удара и 4-х афтершоков (07.01.1937г.-08.01.1937г.). При этом 1-й самый сильный форшок ( $M_s=4,0$ ), майншок ( $M_s=4,6$ ) и один ощутимый афтершок ( $M_s=3,3$ ) расположены в осевой зоне между парными ветвями Ереванского разлома. Эпицентры остальных пяти толчков достаточно кучно картируются непосредственно в области Еревана. Наиболее сильное из них событие, завершающее 1-й этап (точка № 2), имеет магнитуду  $M_s=3,3$ .

2-й этап состоит из 7 сейсмических толчков (09.01.1937г.-12.01.1937г.). Первые два ощутимых афтершока ( $M_s=3,5$  и  $M_s=3,3$ ) произошли через 28 часов после последнего сейсмического события 1-го этапа. Эпицентр последнего землетрясения 2-го этапа ( $M_s=3,7$ ) картируется в осевой зоне с координатами близкими эпицентру главного толчка 07.01.1937г.

Между вторым и третьим этапами наблюдается интервал сейсмического затишья в 11 дней, посередине которого был зафиксирован всего один слабый



афтершок 17.01.1937г. в очень важной, узловой точке 2. Исходя из важности этой точки для всего хода сейсмического процесса землетрясения 07.01.1937г., мы решили представить афтершок 17.01.1937г. в графических построениях и 2-го, и 3-го временных этапов (рис.4.16б,в).

3-й этап состоит из 8 сейсмических толчков (23.01.1937г.-29.01.1937г.) и тем самым завершает первый, самый продуктивный, месяц (24 события из общих 29) по реализации афтершоковой активности сейсмического процесса 07.01.1937г. Визуально сравнительный анализ графических конструкций 1-го и 3-го этапов показывает их практически полную идентичность за исключением некоторых деталей:

- а) фиксируется единственный афтершок (23.01.1937г.,  $M_s=4,0$ ), приуроченный к южной ветви Ереванского разлома;
- б) в осевой зоне Ереванского разлома, кроме повторяющихся афтершоков в точках 8 и 5 ( $M_s=4,0$ ), появляется новый афтершок (точка № 10), координаты эпицентра которого очень близко расположены к 1-му, самому сильному, форшоку;
- в) в осевой зоне появляется первая и единственная связующая перемычка между афтершоками вдоль азимутального направления Ереванского разлома (СЗ-ЮВ).
- г) 3-й временной этап завершается ощутимым афтершоком в точке 2 ( $M_s=3,2$ ).

4-й этап состоит из 5 сейсмических толчков, происшедших в достаточно растянутом интервале времени (12.02.1937г.-14.08.1937г.) и характеризует заключительную фазу афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. Графическая конструкция хода сейсмичности сохраняется и в осевой зоне Ереванского разлома появляется новый афтершок (точка № 11). В заключение отметим, что 4-й временной этап (также как и все предыдущие) завершается сейсмическим событием в точке 2.

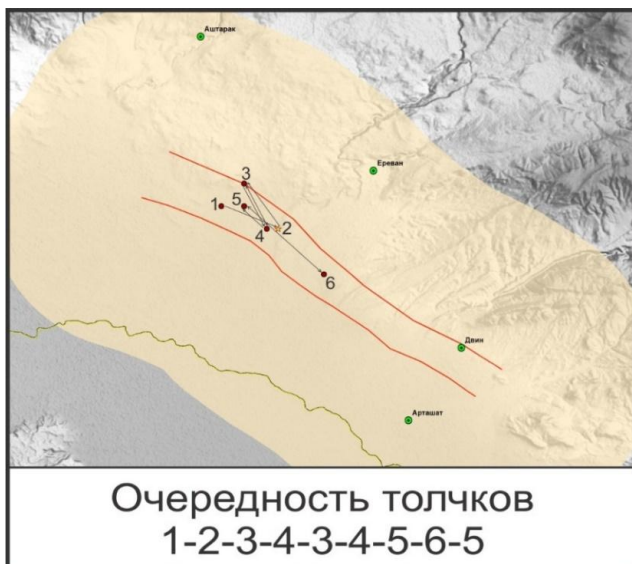


Рис.4.17. Хронологический ход сейсмичности в осевой зоне Ереванского разлома за временной период 07.01.1937г. - 14.08.1937г.

Одним из основных выводов по вышеизложенному материалу является утверждение о том, что в результате афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. происходила разработка осевой области Ереванского разлома в центральной Паракарской подзоне. В подтверждение этому на рисунке 4.17

графически представлен ход сейсмичности в осевой зоне Ереванского разлома за временной период 07.01.1937г. - 14.08.1937г.

### 4.3. Особенности сейсмического режима в зоне Ереванского разлома за период 1937-2017гг.

Для территории Армении началом инструментального периода наблюдений формально считается 1932г., когда начала функционировать сейсмическая станция “Ереван” (первая в Армении) в составе сети Кавказских сейсмических станций. Всю инструментальную базу данных по времени можно расчленить на 3 периода, характеризующихся различной количественной плотностью и качественной технической оснащённостью сети регистрирующих сейсмических станций.

Во временной отрезок 1932–1962гг. (*ранний инструментальный период*) медленными темпами идет процесс постепенного увеличения количества сейсмических станций и оформления их в действующую инструментальную сеть наблюдений.

С 1962г. по 1991г. (*средний или собственно советский инструментальный период*) проводится серьезная реорганизация сейсмологических работ.

а) В 1966г. создается Единая Сеть Сейсмических наблюдений СССР, которая усовершенствовала обработку сейсмологической информации с помощью применения единых унифицированных методов.

б) В 70-х годах 20-го века, в структуре ИГиИС АН Арм.ССР была организована «Опытно-методическая сейсмологическая экспедиция» (ОМСЭ) для дальнейшего развития инструментальных наблюдений и совершенствования координации работ внутри сети региональных сейсмических станций.

в) Для лучшей корреляции и сравнительной оценки получаемых результатов, разными региональными сейсмическими сетями наблюдений, начали публиковаться: ежегодник «Землетрясения в СССР» (1961-1992гг.) и «Бюллетень сейсмологической сети наблюдений Кавказа» (1971-1987гг.).

В 1991г. на базе ОМСЭ ИГиИС НАН РА была учреждена «Национальная Служба Сейсмической Защиты», как координатор всей деятельности, связанной с сейсмической защитой территории Армении. С 1992г. начинается третий (*современный*) период инструментальных наблюдений, который характеризуется большей чувствительностью регистрации и более высоким качественным уровнем обработки сейсмограмм. В рамках международного проекта «Оценка Глобальной Сейсмической Опасности» (GSHAP) с целью еще большего повышения точности получаемых сейсмологических данных кроме исходной сети региональных сейсмических станций были установлены локальные телеметрические кусты сейсмических регистраторов с центрами сбора данных в Капане, Ереване, Ванадзоре и Гюмри. С 2000 г. сеть сейсмических наблюдений на территории Армении продолжала развиваться, оснащаясь современными цифровыми сейсмическими станциями.

Одной из важных тектонических структур для оценки сейсмической опасности Приереванского региона является Ереванский разлом СЗ–ЮВ простирания, протяженностью около 30 км. По геологическим и геофизическим характеристикам – это правосторонний взбросо-сдвиг с крутыми углами падения [119].

По данным региональных каталогов землетрясений, сейсмическая активность северо-западного и юго-восточного сегментов этого разлома была обусловлена сейсмическими событиями исторического периода времени. Однако, как показал, представленный в 3-й главе диссертации, реанализ всех имеющихся летописных материалов, а также учет результатов новых полевых макросейсмических обследований, реальность происхождения (Аручское землетрясение 972г.) или

корректная параметризация землетрясений (Двинские землетрясения второй половины Хв.) не позволяют достоверно подтвердить максимальный сейсмотектонический потенциал флангов Ереванского разлома.

Центральный (Паракарский) сегмент Ереванского разлома в исторический период времени сильной сейсмической активности не проявлял. Напротив, в инструментальный период времени Паракарский участок Ереванского разлома характеризуется довольно высокой сейсмической активностью, фиксируемой регистрирующей сетью станций в виде большого количества слабых по энергии событий.

Для уточнения сейсмического потенциала Ереванского разлома были исследованы все имеющиеся материалы по базе инструментальных сейсмических событий. Основой для аналитических расчетов и других исследований землетрясений инструментального периода наблюдений (1932-2017гг.) был принят Национальный параметрический каталог землетрясений Армении [136], составленный на основе сопоставительного анализа материалов из разных источников [14,32,33,58,97,135], а также каталога ИГН НАН РА с приведением энергетической характеристики - магнитуды к  $M_s$  [42]. Рабочая выборка (1937-2017гг.) из этого каталога инструментальных землетрясений была подготовлена для площади современной сейсмотектонической модели Ереванского разлома (рис.4.18а), построенной А.С. Караханяном и др [128]. Следует отметить, что в данной модели ширина зоны разлома составляет по 15км в обе стороны. Это решение призвано учесть возможные неопределенности по определению 2D и 3D конфигураций геометрической формы разлома [128].

Дальнейшие расчеты и графические построения было решено представлять в трех временных интервалах. Для выяснения особенностей сейсмического режима зоны Ереванского разлома обобщения и выводы делались на основании сравнительного анализа и максимальной идентификации промежуточных (поддиапазонных) результирующих материалов. Для большей достоверности получаемых обобщающих результатов графические построения, направленные на прогнозную количественную оценку параметров сейсмической опасности в зоне

сейсмотектонической модели Ереванского разлома, проводились во временном диапазоне 1962-2017гг.

Для определения активности Ереванской тектонической структуры были проанализированы все пространственно-временные характеристики сейсмического режима по базе сейсмических событий для периода 1937-2017гг. Попробуем сделать некоторые обобщения и выявить возможные функциональные закономерности между параметрами землетрясений по всему временному периоду в целом.

1. Картирование эпицентров сейсмических событий из каталога инструментальных землетрясений и анализ пространственного расположения, показывает их достаточно равномерное распределение по всей площади сейсмотектонической модели Ереванского разлома (рис.4.18б).

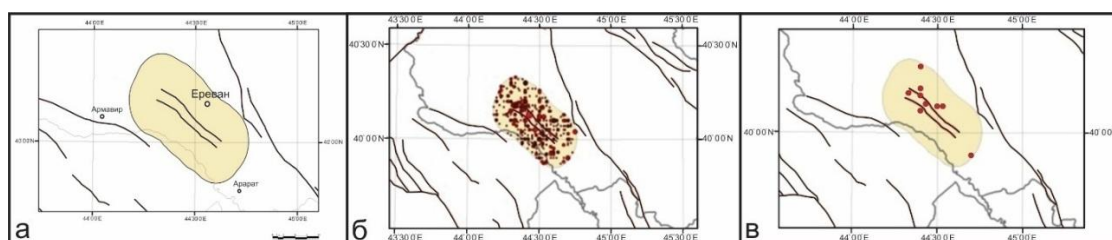


Рис.4.18. а - площадь современной сейсмотектонической модели Ереванского разлома; б - карта эпицентров землетрясений за период 1937-2017гг., зарегистрированных на площади сейсмотектонической модели Ереванского разлома; в - карта эпицентров землетрясений с  $M_s \geq 3.5$  за период 1937-2017гг., зарегистрированных на площади сейсмотектонической модели Ереванского разлома.

Большинство эпицентров наиболее сильных землетрясений с  $M_s \geq 3.5$  сконцентрированы в срединной, осевой части Ереванского разлома (рис. 4.18в). Глубина очагов этих сейсмических событий варьирует в пределах 5–10км. Общий анализ всех, зарегистрированных в Ереванской сейсмотектонической зоне землетрясений показал, что большинство очагов располагаются на глубинах до 15км. (рис.4.19а).

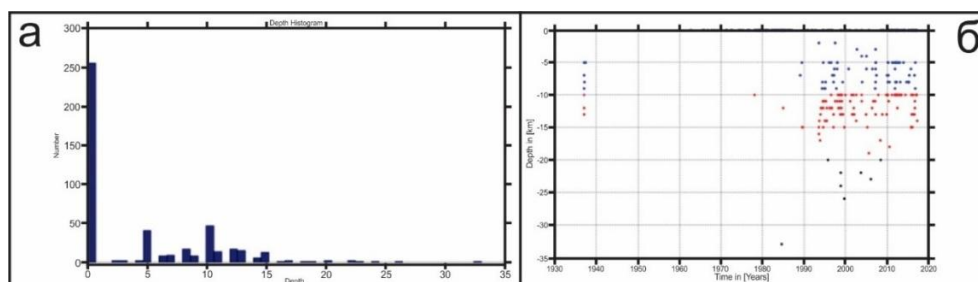


Рис.4.19. Распределение глубин очагов всех землетрясений за период 1937-2017гг., зарегистрированных на площади сейсмотектонической модели Ереванского разлома: а -зависимость  $N \leftrightarrow H$ ; б -зависимость  $H \leftrightarrow T$ .

При этом следует учесть, что анализ функциональной зависимости ( $N \leftrightarrow T$ ) вполне достоверен в наиболее представительном с точки зрения качества регистрации временном диапазоне 1993-2017гг. (рис.4.19б), когда были задействованы телеметрические сейсмостанции и новые цифровые регистраторы.

2. На рисунке рис.4.20а отчетливо проявляется качественная неоднородность сейсмической базы данных для разных временных отрезков. Так, в интервалах 1980-1985гг. и 1995-2000гг. резко увеличивается количество регистраций с магнитудой 1,0-2,0. А начиная с 2010г., в связи с техническим переоснащением сети сейсмических станций РА появляется возможность фиксировать множество микроземлетрясений в магнитудном интервале 0,1-1,0 (рис.4.20а).

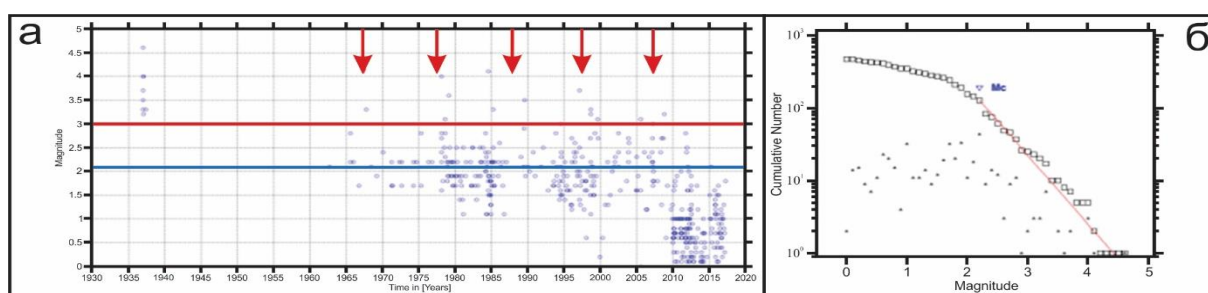


Рис.4.20 а – распределение значений магнитуд всех землетрясений за период 1937-2017гг., зарегистрированных на площади сеймотектонической модели Ереванского разлома ( $M \leftrightarrow T$ ); б - график зависимости магнитуды от кумулятивного количества землетрясений. ( $N \leftrightarrow M$ ).

Учитывая вышеизложенное, расчетная магнитудная оценка представительности землетрясений в зоне сеймотектонической модели Ереванского разлома принимается равной  $M=2,2$  (рис.4.20а). Этот вывод подтверждается анализом функциональной зависимости магнитуды от кумулятивного количества землетрясений (рис.4.20б). Кроме того, эта зависимость позволяет рассчитать значение угла наклона графика повторяемости землетрясений –  $b=0,952$ , а также предположить, что ожидаемое землетрясение по магнитуде может иметь значение  $M_{max}=4,5$  (рис.4.20б).

3. Для большей достоверности получаемых результатов все дальнейшие графические построения, направленные на прогнозную количественную оценку параметров сейсмической опасности в зоне сеймотектонической модели Ереванского разлома, проводились во временном интервале 1962-2017гг.

Учет уровня представительности землетрясений ( $M=2,2$ ) позволил сократить количество анализируемых землетрясений в рабочей выборке каталога до 120 единиц.



Функциональная зависимость ( $N \leftrightarrow T$ ), представленная на графике распределения кумулятивного количества землетрясений (рис.4.21а), позволяет утверждать, что в зоне сеймотектонической модели Ереванского разлома дефицита числа сейсмических событий не наблюдается.

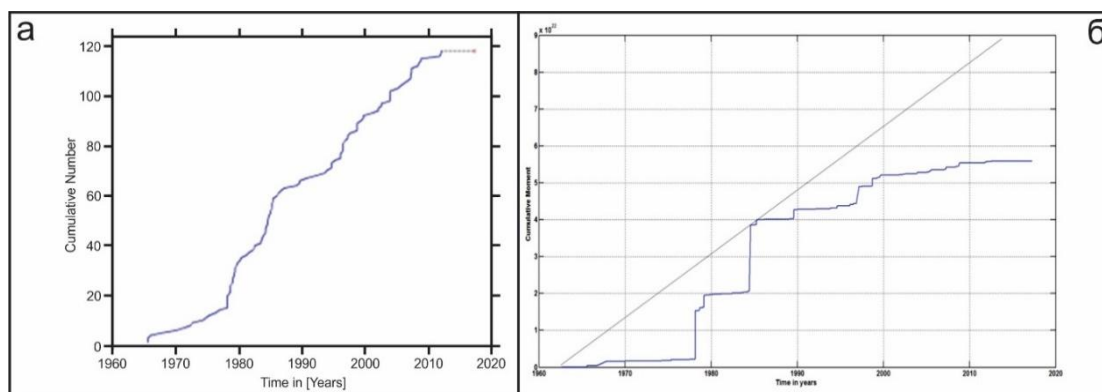


Рис.4.21. а - график распределения кумулятивного количества землетрясений ( $M \geq 2,2$ ) за период 1962-2017гг.; б - график распределения кумулятивной деформации землетрясений ( $M \geq 2,2$ ) за период 1962-2017гг.

В то же время, реконструкция напряженно-деформационного поля во временном интервале 1962-2017гг. (рис.4.21б) показывает, что образовался дефицит энергии *выделяемой землетрясениями*, который может быть восполнен как одним сейсмическим событием с  $M_{\max}=5,0$ , так и рядом средних и слабых землетрясений с той же суммарной энергией, что более характерно для сейсмодинамики зоны Ереванского разлома [70].

4. На рисунке 4.22а представлен график функции, определяющей вероятность реализации сейсмического события с  $M_{\max}$ . На рисунке 4.22б видно, что в сеймотектонической зоне Ереванского разлома землетрясения с  $M_{\max}=5,0$  происходят с периодичностью в  $10^3$  лет. Вероятностная оценка события с  $M_{\max}=5,0$  в рассматриваемой зоне составляет  $10^{-3}$  (рис.4.22а).

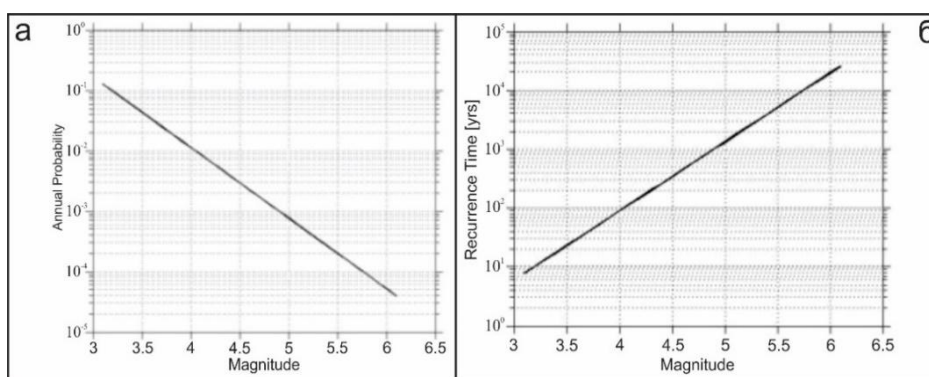


Рис.4.22 а - расчетная функция, определяющая вероятность реализации сейсмического события с  $M_{\max}$ ; б - расчетная функция, определяющая периодичность реализации сейсмического события с оцененным значением  $M_{\max}$ .

5. На рисунке 4.23а представлена, полученная с помощью программы Z-map, карта плотности эпицентров землетрясений, зарегистрированных за период времени 1962-2017гг. Как видно, повышенная плотность эпицентров землетрясений приурочена к южной ветви Ереванского разлома и находится на площади юго-восточной Арташат-Двинской подзоны.

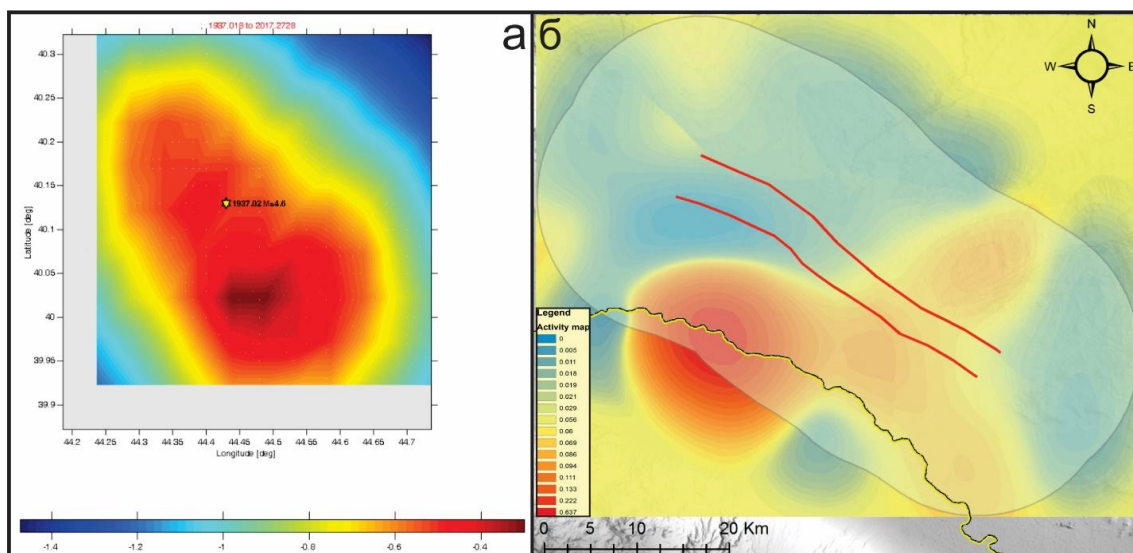


Рис.4.23 а – карта плотности эпицентров землетрясений за период времени 1962-2017гг.; б - расчетная карта сейсмической активности для сеймотектонической зоны Ереванского разлома.

Кроме того, используя метод суммирования землетрясений [67,69,71], с помощью программы Z-map были рассчитаны значения сейсмической активности для каждой из 25 подзон, на которые была разделена вся площадь сеймотектонической модели зоны Ереванского разлома. В дальнейшем с помощью программы ArcMap, методом интерполяции была получена карта сейсмической активности зоны Ереванского разлома (рис.4.23б). Как видно, в инструментальный период наблюдений сейсмическая активность Ереванского разлома приурочена к южной ветви центрального сегмента. Расчетная сейсмическая активность зоны Ереванского разлома составляет  $A_{\max}=0,637$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует представить некоторые обобщения и выводы по проделанной диссертационной работе.

1. Обзор имеющихся до 1995г. геолого-геофизических материалов по Ереванскому разлому показывает, что данная структура плохо или вовсе не выражена на поверхности вследствие того, что предполагаемая территория его трассирования перекрыта мощным чехлом молодых отложений. Поэтому, у всех исследователей, изучавших и описывавших глубинный Ереванский разлом, в частности, зону погребенного Паракар-Енгиджинского поднятия, нет однозначных и обоснованных данных о горстовом характере этого поднятия. Представления о существовании парных разломов, ограничивающих это поднятие с северо-востока и с юго-запада не были подтверждены и носили предположительный характер. Специалисты геологи по-разному трактовали местоположение и геометрические параметры данной структуры.

2. Обзор результатов новых геолого-геофизических исследований по Ереванскому разлому после 1995г. можно резюмировать следующими выводами:

а) проведенный ГИС анализ данных глубоких буровых скважин и построенные геологические разрезы показывают наличие поднятия кристаллического фундамента на Центральном сегменте Ереванского разлома. Четкой выраженности поднятия кристаллического фундамента в слое плиоцен-четвертичных вулканических отложений нет, нет его также в голоцен-четвертичных озерных и аллювиальных отложениях;

б) анализ данных дистанционного зондирования, цифровых моделей рельефа и полевые работы не выявили каких-либо прямых признаков четвертичной активности Центрального сегмента Ереванского разлома на поверхности в виде скарпов, смещенных водотоков или других морфоструктурных элементов, характерных для зоны активного разлома. Данные GPS наблюдений показывают отсутствие движений по Центральному сегменту Ереванского разлома;

в) по картам гравитационных аномалий и данным буровых скважин на участке от города Эчмиадзин до села Нор Харберд выделяется поднятие кристаллического фундамента, которое представляет собой линейную зону (длиной около 18 км и шириной 4-4.5км), совпадающую с Паракар-Норабацским сегментом Ереванского разлома. На гравитационной карте масштаба 1:50000 хорошо выраженная линейная аномалия относительных максимумов силы тяжести на участке Ереванского поднятия, далее к востоку от села Нор Харберд, становится слабо выраженной (амплитуда поднятия резко уменьшается).

г) Хотя прямых признаков тектонической активности на поверхности вдоль всей зоны Ереванского поднятия не обнаружено, нельзя исключить, что ограничивающие поднятие разломы могут иметь характер слепых разломов, а их активность может не иметь прямых отображений на поверхности. При этом следует учитывать и тот факт, что координаты эпицентров землетрясений 863г. и 893г. картируются у села Верин Двин. Таким образом, общая длина поднятия, учитывая его слабо выраженную восточную часть до села Верин Двин, составляет 30км.

3. Нет никаких признаков выделения Восточного продолжения Ереванского разлома. К востоку от села Верин Двин преобладают надвиги, имеющие поперечное к Ереванскому разлому простирание запад-восток. Признаков сейсмической или тектонической активности вдоль надвигов не имеется. Араратская долина представляет собой систему из нескольких депрессий, разделенных перемычками из приподнятых блоков палеозойского фундамента. Большинство депрессий и разделяющих их блоков вытянуты в направлении запад-восток.

4. Современная поверхность предполагаемого западного продолжения Ереванского разлома ничем не проявлена. По результатам полевых геолого-геофизических и вулканологических исследований за все плиоцен – четвертичное время не было обнаружено никаких тектонических деформаций рельефа и других признаков активности разломов.

5. Высокая интенсивность Двинских землетрясений 863 и 893гг. (8-10баллов), является следствием неблагоприятных грунтовых условий. Во время полевых

макросейсмических обследований на участке центрального квартала города Двин, были зафиксированы примеры образования просадок и возникновения эффекта разжижения грунта. Следует отметить, что при внимательном прочтении текстов летописных и других исторических документов, о катастрофических землетрясениях 863 и 893гг., были обнаружены описания разрушений, причиной которых могло быть разжижение грунтов.

6. Подобный нестабильный грунт может воздействовать на пространственное проявление и распределение деформаций, сильно маскировать первичное сейсмическое воздействие и, следовательно, делать проблемным картирование географических координат эпицентра Двинских землетрясений и корректную привязку сейсмического очага к какой-либо конкретной тектонической структуре Приереванской активной зоны (Ереванский или Гарнийский разломы). По нашему заключению, в обоих случаях, оценка сеймотектонического потенциала юго-восточного фланга зоны Ереванского разлома должна быть пересмотрена в сторону понижения.

7. Реанализ всех имеющихся данных, с учетом результатов новых обследований позволяет с определенной долей уверенности констатировать, что так называемое Аручское землетрясение 972г. является “ложным” сейсмическим событием и разрушение храма Звартноц не связано с сеймическим воздействием. С учетом изменения географических координат эпицентра землетрясения 28.10.1916 г., можно утверждать, что северо-западный сегмент Ереванского разлома сейсмически малоактивен.

8. Фотофакты (иллюстрирующие разрушения церквей в Аруче, Талине, Даштадеме), использованные нами при реанализе сильных землетрясений северо-западного фланга Ереванского разлома можно считать прямыми “отпечатками” макросейсмических последствий Араратского землетрясения 04.07.1840г.

9. В 20-ом веке (1900-1997гг.) в пределах сеймотектонической зоны Ереванского разлома фиксируется 10 средних по магнитуде ( $3,7 \leq M < 5,0$ ) землетрясений. После сейсмического события 01.03.1997г. ( $M_c=3,7$ ), в течение последних 20 лет,

инструментально зарегистрированные землетрясения имели максимальную магнитуду  $M \leq 3,3$ .

10. Анализ данных наиболее сильных инструментальных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в пределах сеймотектонической зоны Ереванского разлома позволил выделить 2 подзоны: центрально-северо-западную Паракар-Ереванскую и юго-восточную Арташат-Вединскую. Несмотря на кажущуюся территориальную отдаленность и разобщенность этих подзон нельзя отрицать наличие определенной генетической взаимосвязи между ними, выявленной в хронологической последовательности землетрясений ( $M \geq 3,7$ ). Так, наблюдаются следующие наиболее короткие “временные цепочки” из Паракар-Ереванской в Арташат-Вединскую подзону: 25.01.1910г. (примерно через 3года и 2месяца) → 03.04.1913г.; 07.01.1937г. (примерно через 2года) → 23.01.1939г. Наиболее короткий тренд в обратном направлении (из Арташат-Вединской подзоны в Паракар-Ереванскую): 24.11.1993г. (примерно через 3года и 3месяца) → 01.03.1997г.

11. Сравнительный анализ показывает, что реализация наиболее сильных землетрясений ( $M \geq 3,7$ ) в Паракар-Ереванской подзоне приурочена к площади северной ветви Ереванского разлома, а в Арташат-Вединской подзоне – к площади южной ветви.

12. Пространственное расположение эпицентров сравнительно сильных событий ( $M \geq 3,7$ ) за весь период исследований (до 2017г.) позволяет утверждать, что их относительно высокоэнергетическая реализация соответствует сейсмической разработке осевой зоны Ереванского разлома на глубинах 5–10км.

13. Графический анализ хронологического хода афтершокового процесса землетрясения 07.01.1937г. за временной период 07.01.1937г. - 14.08.1937г. показывает, что разработка осевой области Ереванского разлома происходила в центральной Паракарской подзоне.

14. В инструментальный период наблюдений сейсмическая активность Ереванского разлома приурочена к центральному сегменту. Расчетная сейсмическая активность зоны Ереванского разлома составляет  $A_{\max} = 0,637$ . Общий анализ пространственно-



временных закономерностей распределения основных характеристик инструментальных землетрясений, зарегистрированных на площади сеймотектонической модели Ереванского разлома, позволил оценить уровень представительности землетрясений ( $M=2,2$ ), значение угла наклона графика повторяемости землетрясений -  $b=0,952$ .

15. Можно утверждать, что в исследуемом районе дефицита числа сейсмических событий не наблюдается, однако образовался дефицит энергии, который может быть восполнен как одним сейсмическим событием с  $M_{max}=4,5$ , так и рядом средних и слабых землетрясений с той же суммарной энергией, что более вероятно и характерно для сейсмодинамики зоны Ереванского разлома.

## Список литературы

1. **Абих Г.В.** Землетрясения в Шемахе и Эрзеруме в мае 1859г. Зап. Кавк. Отд. Русск. Геогр. О-ва. Книга V, Тифлис, 1862.
2. **Абу Джафар Мухаммад ибн Джарират-Табари.** Древние и средневековые источники по этнографии и истории Африки южнее Сахары. Том 1. Арабские источники VII—X вв. М.-Л. АН СССР. 1960.
3. **Аджимамудов Э.Б.** О связи гравитационного поля с тектонической зональностью Малого Кавказа. Доклады АН Арм.ССР, т.24, №4, Е., 1957. pp. 167-170.
4. **Акопян Ц.Г.** Аномальное магнитное поле и его геологическое и толкование. В кн.: Геология Армянской ССР, т. 10, Геофизика, АН Арм. ССР, 1972, с.84-124, 275с.
5. **Арзуманян С.К., Симонян Г.П.** О новейшей тектонике Приараксинского соленосного бассейна. Доклады АН Арм.ССР, т.39, №1, Е., 1964. pp. 45-48.
6. **Арутюнян А.Р.** О геологической природе геофизической информации, полученной в связи с изучением глубинного строения Араратской впадины и прилегающих районов. Доклады АН Арм.ССР, т.LX, №2, Е., 1975. с.112-116.
7. **Асланян А.Т.** Глубинный разлом у гор. Ереван. Сб. Аннотаций докладов VI научно-техн. конфер. профессор-препод. состава ВТУЗов Закавказья, Ереван, 1955г.
8. **Асланян А.Т.** Региональная геология Армении. Айпетрат, Ереван, 1958г., 430с.
9. **Атабекян Р.А., Назаретян С.Н., Атабекян Л. Р.** Оценка вероятности разрушения храма Звартноц вследствие землетрясения. Известия НАН РА, Науки о Земле, 2009, №4.
10. **Бабаян Т.О.** Атлас сильных землетрясений Армении, Арцаха и прилежащих территорий до 2003 года. Гюмри, 2006.
11. **Баладзори.** Книга завоевания стран. /пер. с арабского П. К. Жузе. Баку, 1927, вып. III.
12. **Баласанян С.В.** К вопросу о возможных причинах разрушения храма Звартноц. София. Болгария, Изд. «Мир Науки» 2017, стр. 553-564.
13. **Баласанян С.В.** Результаты исследований особенностей активной тектоники восточной ветви Сюникской структуры pull-apart. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2017, т.70, № 2, с.50-58.
14. **Бюс Е.И.** Сейсмические условия Закавказья. Часть I. Хронология землетрясений в Закавказье. Изд. АН Груз.ССР, Тбилиси, 1948, с.23-74(78↔1900г.), 306с.
15. **Бюс Е.И., Цхакая А.Д.** Материалы Ереванского землетрясения 7 января 1937г., Тбилиси, изд. Груз.ФАН СССР, 1937.
16. **Бюс Е.И., Цхакая А.Д., Чураян А., Назаров А.Г.** Ереванское землетрясение 7 января 1937г., Тбилиси, изд. Груз.ФАН СССР, 1937.

17. **Габриелян А.А.** Основные вопросы тектоники Армянской ССР. АН Арм.ССР, Е., 1959г., 184с.
18. **Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П.** Сейсмотектоника Армянской ССР. ЕГУ, Ереван, 1981, 284с.
19. **Габриелян, А. А., Татевосян, Л. К.** Схема геолого-геофизического районирования Армянской ССР и смежных частей Антикавказа. Изв.АН Арм.ССР, Науки о Земле, Е., 1966, (1-2), с.21-33.
20. **Гаретовская И.В.** Изучение глубинного строения Армении по близким землетрясениям, регистрируемым станциями “Земля”. В сб.: Геофизические поля и сейсмичность. Наука, М., 1975, с.50-62.
21. **Гедакян Э.Г., Назаретян С.Н., Саргсян Г.В., Саркисян Н.М. и др.** Ереванское землетрясение 2 августа 1984 года. /Поиск геофизических предвестников землетрясений на Кавказе./ Тр. Ин-та геофизики АН ГрузССР; т.54, Тбилиси, Мецниереба, 1987, сс.48-68.
22. **Гир Дж., Шах Х.** Зыбкая твердь. М., Мир, 1988г., 220с.
23. **Гласек С.В. и Штеллинг П.** Ежемесячный сейсмический бюллетень Тифлисской Физической обсерватории, годы 1903 – 1909гг. Приложение к “Изв. Кавк. Отд. Русск. Геогр. О-ва”. Тифлис.
24. **Голенецкий С.И.** О некоторых сильных землетрясениях первой половины XIX в. в Восточной Сибири // Землетрясения в СССР в 1990 году. М., ОИФЗ РАН, 1996, с. 126-131.
25. **Грицкевич В.П., Каун С.Б., Ходин С.Н.** Теория и история источниковедения: Пособие для студентов гуманитарных факультетов. /Мн.: БГУ, 2000, 221с.
26. **Доизучение сейсмических условий Армянской АЭС.** /Армэнергосейсмопроект /отчет по проекту ARM/9/002, Ереван, 1995, 357с.
27. **Дургарян Р., Аванесян М., Бабаян С., Геворгян М., Бабаян Г., Аракелян А.** Оценка грунтовых условий и возникновения локального сейсмического эффекта. Геология и геофизика юга России. Изд.: Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН. Владикавказ, 2015, № 4, с.147-153.
28. **Егоркина Г.В., Соколова И.А., Егорова Л.М.** Изучение глубинных разломов по материалам, полученным по станциям “Земля” на территории Армении. “Разведочная геофизика”, вып.72, Недра, М., 1976, с.142-157.
29. **История епископа Себеоса.** Ереван: Армфан-А, 1939. 183 с. (Перевел с четвертого исправленного армянского издания С.Т. Малхасянц).

30. **Карапетян Б.К., Карапетян Н.К.** Предпосылки прогнозирования землетрясений и сейсмостойкое строительство в Армянской ССР. Ереван, изд. Айастан, 1981, с.29-30, 172с.
31. **Карапетян Н.К.** Годографы сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1974.
32. **Карапетян Н.К.** Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1986, с.21-70, 228с.
33. **Карапетян Н.К.** Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1990, 264с.
34. **Караханян А.С.** Активные разломы и сильные землетрясения Анатолийско - Малокавказского орогена. ГИН АН РФ, Москва, 1995, 401с.
35. **Караханян А.С.** Каталог сильных исторических землетрясений Армянского нагорья. Ереван: НИК "Геориск", 1999.
36. **Караханян А.С.** Результаты наземного и аэрокосмического изучения активных разломов и сейсмогенных деформаций Спитакского землетрясения 1988г. Изв. АН Арм.ССР, Науки о Земле, Ереван, 1989, № 3, с.20-24.
37. **Караханян А.С., Баласанян В.С.** Активная динамика зоны Спитакского землетрясения 1988г. Известия АН Армении, Науки о Земле, 1992, N2, с.11-26.
38. **Караханян А.С., Баласанян С.В.** Сильные исторические землетрясения на юго-восточном фланге ереванского разлома: Новые данные и реанализ Двинских землетрясений. Ереван, Образование и наука в Арцахе, № 3-4, 2017, с. 82-91.
39. **Караханян А.С., Баласанян С.В., Макарян Х.В., Геворкян М.Р.** Сардарапатская структура (Армения): Новые данные о сейсмической активности. Владикавказ, Межд. научный журнал: Устойчивое развитие горных территорий. /Науки о Земле/, 2017, Т.9, № 4 (34), с. 332-343.
40. **Караханян А.С. и др.** Изучение активной разрывной тектоники и сеймотектоники Ереванского района. ИГН АН РА, Ереван, 1990, 202с.
41. **Киракос Гандзакечи.** История Армении. Памятники письменности Востока, т. LIII. М., Наука, 1976, 358с.
42. **Левонян А.Ф., Саркисян Л.С., Саакян Э.Э., Дургарян Р.Р.** «Геодинамическая сеть и сейсмологические наблюдения в институте геологических наук НАН РА» Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных, Материалы девятой международной сейсмологической школы, ОБНИНСК-2014, с. 205-208.

43. **Линч Г. Ф. Б.** Армения: Путевые очерки и этюды / Пер. с англ. Е. Джунковской: в 2 т. — Репринтное издание 1910 г. — СПб.: Альфарет, 2015. — Т. 1: Русские провинции. — 636 с.: ил.; 60 л. ил., карт.; Т. 2: Турецкие провинции. — 696 с.: ил.; 55 л. ил., карт., 1334с.
44. **Марр Н.Я.** Ани. Ереван, 1939.
45. Матевосян А. Памятные записи армянских рукописей V-XII веков. Ереван, изд. АН АрмССР, 1988, с. 97-98.
46. **Мец Вардан Багишеци.** Хроника. Архив армянской истории, т. 10. Тифлис, 1912.
47. **Милановский Е.Е.** Новейшая тектоника Армянской ССР и прилегающих районов Закавказья. В кн. “Геология Армянской ССР”, т.1 (Геоморфология), Ереван, 1962г., с. 430 - 473, 586 с.
48. **Милановский Е.Е.** Новейшая тектоника Кавказа. Недра, М., 1968г., 483с.
49. **Милановский Е.Е., Хаин В.Е.** Геологическое строение Кавказа./Очерки региональной геологии СССР./, МГУ, М., 1963г., 357с.
50. **Мириджанян Р.Т.** О природе аномально повышенного геотермического поля Центрального района Армянской ССР. Изд. АН Арм.ССР, Науки о Земле, Е., 1974г., т. XXVII, №6, с.84-124.
51. **Мнацакян С.** Звартноц, М., 1971, с.15.
52. **Мовсес Хоренаци.** История Армении. Ереван, «Айастан», 1990, 291 с.
53. **Мушкетов И.В., Орлов А.П.** Каталог землетрясений Российской Империи./Записки Русского Географического Общества, С.-Петербург, 1893, том XXVI.
54. **Мхитарян А.** Описание Мармарашена в Шираке. Вагаршапат, 1870г., с.24.
55. **Назаретян С.Н., Дургарян Р.Р., Шахбекян Т.А., Григорян А.Г., Мирзоян Л.Б.** Региональные разломы территории Армении по геофизическим данным и их сейсмичность./изд. Гитутюн НАН РА/Ереван, 2015, 183с.
56. **Назаретян С.Н., Саакян Т.А., Мхитарян К.А., Тигранян М.Т.** Макросейсмическая шкала для оценки интенсивности землетрясений по повреждениям армянских церквей. Известия Ереванского государственного университета архитектуры и строительства, 2010, том 2, N 15/2, с. 82-88.
57. **Никонов А.А.** Проблема представительности и качества каталогов Сибири и Дальнего Востока // Геологическая среда и сейсмический процесс: Материалы Всероссийской межрегиональной конференции, Иркутск, 2— сентября 1997 г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 1997, с. 127—128.

58. **Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г.**/Под ред. Н.В.Кондорской, Н.В.Шебалина и Е.А.Хромецкой. М., Наука, 1977, с.69-170, 535с.
59. **Ованес Драсханакертци.** “История Армении.”, изд. Союз Армян России, М., 2011, 448с.
60. **Оганесян Ш.С.** Гравитационное поле и его геологическое иатолкование. В кн.: Геология Армянской ССР, т. 10, Геофизика, АН Арм. ССР, 1972. с.???, 275с.
61. **Пагирев Д.И.** Гибель с.Акори 20 июня 1840г. Изв. Кавк. Отд. РГО, 1909, т.19.
62. **Паффенгольц К.Н.** Геологический очерк Кавказа. Изд. АН Арм.ССР, Ереван,1959г., 506с.
63. **Паффенгольц К.Н.** Сейсмотектоника Армении и прилежащих частей Малого Кавказа. Изд. АН Арм.ССР, Е., 1946г.
64. **Пирузян С.А.** Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района (юго-западная часть Арм.ССР и прилегающие районы). Ереван, 1969, 92 с.
65. **Пирузян С., Матевосян А., Шахсуварян Л.** *Храм Звартноц: причины и время разрушения.* Историко-филологический журнал, № 3, 1984, с.189-194.
66. **Радзиминович Я.Б., Щетников А.А.** Каталоги исторических землетрясений восточной Сибири: необходимость ревизии. Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 2010 г.
67. **Ризниченко Ю.В., Горбунова И.В.** О методах построения карт сейсмической активности. / В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М., Наука, 1968, с. 71-83.
68. **Рукописи** некоторых Тбилисских сейсмометрических наблюдений (материалы Тбилисской сейсмической Станции), годы 1900, 1901.
69. **Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Мхитарян К.А., Мугнецын Э.А., Мазманиян Л.В., Карапетян А.Р., Суварян Л. Г.** Сейсмические условия территории Армении и сопредельных районов после Спитакского землетрясения 1988года. //(Сборник статей)/Гюмри Элдорадо, 2017, с. 279.
70. **Саргсян Л.С., Караханян А.С., Баласаниян С.В.** Особенности сейсмического режима зоны Ереванского разлома по данным инструментального периода наблюдений (1937-2017гг.). Ереван. Изд. “Гитутюн” НАН РА., Науки о Земле. 3/2017, стр. 31-37.
71. **Сейсмическое районирование территории СССР.** М., Наука, 1980, 307с.
72. **Симонян Г.П.** О блоковом строении Араратской котловины Армянской ССР. Ученые записки ЕрГУ, Естественные науки, №3, Е., 1969.



73. **Симонян Г.П.** Сейсмогенные зоны ЮВ Армении. “Сейсмотектоника некоторых районов юга СССР”: сборник научных трудов / Академия наук СССР, Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при президиуме АН СССР, Наука, М., 1976, с. 41-48, 192 с.
74. **Сообщения и анкетные материалы Тбилисской сейсмической Станции**, годы 1910-1939.
75. **Степанян В.А.** Исторический обзор о землетрясениях Армении и в прилегающих районах. Изд. Арм. ф-ла АН СССР, Ереван, 1942.
76. **Степанян В.А.** Краткая хронология наиболее значительных землетрясений в исторической Армении и в прилегающих районах. Изд. Арм. ф-ла АН СССР, Ереван, 1942.
77. **Татевосян Л.К.** Некоторые черты глубинного строения земной коры в области Кавказа по гравиметрическим данным. Изв. АН Арм.ССР, серия: геология и география, 14 (5). Е., 1961, с. 31-42.
78. **Татевосян Р.Э.** Макросейсмические исследования./ООО “Наука и образование” /Москва, 2013, 284с.
79. **Татевосян Р.Э., Мокрушина Н.Г.** Историческая сейсмичность Среднего Поволжья // Физика Земли, 2003, № 3, с. 13-1.
80. **Тиращян Г.А.** Урартский Армавир (По данным археологических раскопок). Культура востока: древность и раннее средневековье. Ленинград, 1978, 106 стр.
81. **Тораманян Т.А.** Материалы по истории армянской архитектуры. Ереван, 1942. т.1, с. 236-270.
82. **Трифонов В.Г., Караханян А.С.** Геодинамика и история цивилизаций. Москва, Наука, 2004. с. 571-636, 668 с.
83. **Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И.** Спитакское землетрясение как проявление современной тектонической активности. Москва, Геотектоника, 1990, № 6, с.46-60.
84. **Харазян Э.Х.** Геология и четвертичный вулканизм Армении./Центр охраны недр РА/Серия: Рациональное использование рудного сырья и эффективное освоение недр Армении. Выпуск 14, Ереван, Геоид, 2012, с. 584-587, 618с.
85. **Чураян А., Назаров А.Г.** Инженерное обследование повреждений, вызванных Ереванским землетрясением 7-8 января 1937г. /В кн.: Ереванское землетрясение. Тбилиси, изд. ТНИИС, 1937.

86. **Шахсуварян Л.** Объемно-планировочные решения и сейсмостойкость древних архитектурных памятников Армении.-147В кн.: Исследования по архитектуре и градостроительству в Армянской ССР (Научн. сообщения АИСМа, вып. 15). Ереван, 1971, с. 128—142.
87. **Шебалин Н.В.** Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии) // Вычислительная сейсмология. Вып. 34. М., ГЕОС, 2003, с. 57—100.
88. **Эйби Дж.А.** Землетрясения. Москва, Недра, 1982 г., 264 с.
89. **Якобсон А.Л.** Архитектурные связи Кавказской Албании и Армении // Историко-филологический журнал / АН АрмССР. 1977. № 1. с. 69-84.
90. **Якобсон А.Л.** Сельджукские отклики на темы армянской средневековой архитектуры. Историко-филологический журнал, 1983 г., № 4, с. 127.
91. **Չարախանյան Ա., Ավագյան Ա., Առաքելյան Ա., Բալասանյան Վ., Բաղդասարյան Հ., Դավթյան Վ., Ավանեսյան Մ., Առաքելյան Ս., Ասատրյան Լ.** Երևանի ագլոմերացիայի մանրամասն սեյսմոշրջանացման քարտեզի կազմման աշխատանքներ: Երևան, 2006, 150 էջ:
92. **Ջովհան Մամիկոնյան** Տարոնի պատմություն: Երևան, Խորհրդային գրող, 1989, 175 էջ :
93. **Ղաֆադարյան Վ.** Ջվարթնոց /դիտողություններ /. – “Պատմա-բանասիրական հանդես”, 1959, №4, էջ 174:
94. **Մարության Տ.** Ջվարթնոցը և զվարթնոցատիպ տաճարներ. Երևան, 1963թ.:
95. **Մովսես Կաղանկատուացի.** Պատմութիւն Աղուանից. հատ. Բ., Մոսկվա, 1860 թ.:
96. **Մարգարյան Հ.** Ջվարթնոցի կառուցվածքների մասին. “Պատմա-բանասիրական հանդես”, 1977, №2, էջ 215-222:
97. **Ստեփանյան Վ.Ա.** Երկրաշարժերը Հայկական լեռնաշխարհում և նրա Մերձակայքում: Երեվան, “Հայաստան” հր., 1964, 247 էջ:
98. **Ստեփաննոս Տարոնացի Ասողիկ.** Պատմութիւն տիեզերական. Պետերբուրգ, 1885:
99. **Ambraseys N.N.** The state-of-the-art and practice of long-term seismicity // Ann. Geophys., 2004, v. 47, № 2, p. 335-338.
100. **Ambraseys N.N., Banda E., Irving J., Mallard D., Melville C., Morse T., Muir-Wood R., Munoz D., Serva L., Shilston D., Surinach E., Vogt J.** Notes on historical seismicity // Bull. Seismol. Soc. Amer., 1983, v. 73, № 6, p.1917-1920.

101. **Ambraseys, N., Melville, C.:** A history of Persian Earthquakes (Cambridge University Press, Cambridge), New York, 1982, pp. 219.
102. **Arakelian A.R., Martirosian A.H.** Seismic Patterns in Armenian Upland. Historical and Prehistorical *Earthquakes* in the Caucasus. Edit by D. Giardini and S. Yu. Balassanian. NATO ASI Series, 2 Environmental, vol.28, 1997, pp.457-470.
103. **Aspinall, W.P., Mallard D.J., Skipp B.O., & G. Woo.** Seismic hazard assessment for the Armenia nuclear power plant site./ Prepared for Risktec solutions Ltd. and Enconet Ges.m.b.H - under DTI project NSP - 04/A 18, 2007, 270p.
104. **Avagyan A., et al.** Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions. Geological Society, London, Special Publications 2010; v.340; pp.393-408.
105. **Avagyan A., Ritz J-F., Karakhanian A., Philip H.** Dual near-surface rupturing mechanism during the 1988 Spitak earthquake (Armenia). Известия Академии наук Армении: Науки о Земле, 2003, LVI, 3, с. 14-19.
106. **Balassanian S.Yu., Avanessian A.S., Arzumanyan V., and Gevorgian E.** Seismic hazard re-evaluation for the Armenian NPP site, NEA/CSNI/R, 2001, vol.13, pp. 43-57.
107. **Balassanian S.Yu., Martirosyan A.H., Nazaretian S.N., Arakelian A.R., Avanessian A.S., Igumnov V.A., and Ruttener E.** Seismic hazard assessment in Armenia, Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, 1999, 18, pp. 227-236.
108. **Balasanian, V.S., Karakhanian A.S.** Analysis of seismogenic offsets of monuments in the 1988 Spitak earthquake (Armenia), Asian seismological commission (ASC 2000), Iran, Tehran at 12-17 october 2000, 1,5с.
109. **Berberian M.** Seismic sources of the Trans-Caucasian historical earthquakes, in *Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus*, edited by D. Giardini and S. Balassanian, ILP Publ. 333, NATO ASI Ser. 28 (Kluwer Academic Publishers), 1997, pp. 233-311.
110. **Bulletin des stations** sismiques regionales du Caucase. Moscou – Leningrad, 1925,1937.
111. **Catalogs of earthquakes.**//Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus. Dordrecht: Kluwer, 1997. 545p.
112. **Davtyan, V., Doerflinger, E., Karakhanyan, A., Philip, H., Avagyan, A., Champollion, C., and Aslanyan, R.** Fault Slip Rates in Armenia by the GPS data. Известия НАН РА, 2006, Науки о Земле, LIX, 2, с. 3-18.
113. **Guidoboni E. and Traina G.** A new catalogue of earthquakes in the historical Armenian area from antiquity to the 12th century, *Ann. Geofis.*, XXXVIII (1), 1995, pp. 85-147.
114. **Hanks T. C., and H. Kanamori.** A moment magnitude scale. Journal of Geophysical Research. 1979, 84, 5, pp. 2348 - 2350, 9B0059, doi: 10.029 /JB084i B05p02348.

115. **Karakhanyan A., and Abgaryan, Y.,** 2004. Evidence of Historical Seismicity and Volcanism in the Armenian Highland: *Annals of Geophysics* vol. 47 2/3 April/June 2004 on Investigating the Records of Past earthquakes.
116. **Karakhanyan A., Avagyan, A., Bagdasaryan H., Avanesyan M., Arakelyan, A.** Seismic hazard assessment for the construction site of a new power unit of the Armenian NPP/ Final Report/Development of seismotectonic model/"NorAtom" Consortium, Draft Version 1, July 2010, 167p.
117. **Karakhanyan A., Avagyan, A., Bagdasaryan H., Avanesyan M., Arakelyan, A.** Seismic hazard assessment for the construction site of a new power unit of the Armenian NPP/ Final Report/Geological database/"NorAtom" Consortium, Draft Version, February 2011, 274p.
118. **Karakhanyan A.S., Badalyan R., Harutyunian A., Avagyan A.V., Philip H., Davtyan V.T., Alaverdyan G., Makaryan K., Martirosyan M.** Archaeoseismological studies at the Pambak-Sevan-Syunik fault system, Armenia, *in* Sorkhabi, R., ed., *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper 525-15*, 2016, p. 21.
119. **Karakhanian A., Trifonov V., Philip H., Avagyan A., Hessami K., Jamali F., Bayraktutan M. S., Bagdassarian H., Arakelian S., Davtian V., and Adilkhanyan A.** Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and north-western Iran. *Tectonophysics*, 2004, 380, pp. 189–219.
120. **Karakhanian A.S., Trifonov V.G., Philip H. et.al.** Active faulting and natural hazards in Armenia, the Eastern Turkey and the Northwestern Iran.//*Tectonophysics*. 2002.
121. **Kharazyan, E. Kh.** Geology map of the Yerevan City (using the data of Aslanyan, A. T., Gabrielyan, A. A., and other), Scale 1:25 000, 1993.
122. **Khorenatsi M.** History of Armenia, translation from the Old Armenian and Comments by G. Sarkissian. Publishing House Hayastan, Yerevan, Armenia, 1990, 291p.
123. **Michio Morino, Avanesyan M.A.** Trenching Survey in the framework of "The project for seismic risk assessment and risk management planning in the republic of Armenia"/ OIC/JICA study team/ Yerevan, 2011, 17p.
124. **Musson R.M.W.** The use of newspaper data in historical earthquake studies // *Disasters*, 1986, v. 10, № 3, p. 217-23.
125. **Philip H., Avagyan A., Karakhanian A., Ritz J-F., and Rebai S.** Estimating Slip Rates and Recurrence Intervals for Strong Earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak-Sevan-Sunik Fault (Armenia), *Tectonophysics*, 2001, 343, 3-4, pp. 205 -232.

126. **Philip, H., Rogozhin, E., Cisternas, A., Bousquet, J. C., Borisov, B., Karakhanyan, A.** The Armenian earthquake of 1988 December 7: faulting and folding, neotectonics and paleoseismicity. *Geophysic International Journal*, 1992, vol.110, pp. 141-158.
127. **Robert H. Hewsen.** Armenia: A Historical Atlas. / University of Chicago Press/, 2001, pp.81-144, 341 p.
128. **Seismic Hazard Assessment** for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP, February, 2011, “NorAtom” Consortium, Final Report, Annex 2, Yerevan.
129. **Shebalin, N. and R. Tatevossian.** Catalogue of large historical earthquakes of the Caucasus, in *Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus*, edited by D. Giardini and S. Balassanian, *ILP Publication 333, NATO ASI Ser. 28* (Kluwer Academic Publishers), 1997, pp. 201-232.
130. **Stelling P., Beljaeff S.** Wochentliche Erdbebenberichte des Physikalischen Observatoriums zu Tiflis. Годы 1909,10,11.
131. **Thomas Artsruni.** History of the House of Artsrunik. Trans. and edited by Robert W. Thomson. Detroit: Wayne State University Press, 1985, 305p.
132. Toumanoff Cyrille. "The capitals of Armenia were successively: Armavira or Armawir of the Orontids untill the transfer by Orones IV of his residence to Eruandasat (Orontasata)". *Studies in Christian Caucasian history*. Georgetown University Press, 1963, pp. 75.
133. **Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Assaturian A.O., Ivanova T.P.** Relationship of earthquakes and active faults in Anatolia, the Lesser Caucasus and the Midle East.//Continental collision zone earthquakes and seismic hazard reduction.Yerevan: IASPEI/IDNDR Publ., 1994. p. 41-55.
134. **Wells D.L., Coppersmith K.J.** New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1994, Vol. 84, N<sup>o</sup> 4, pp. 974-1002.
135. [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)
136. [www.nssp-gov.am](http://www.nssp-gov.am)