

УДК 550.34: 550.34.06.013.3

DOI: 10.46698/VNC.2026.10.69.002

Оригинальная статья

Особенности структуры и динамики развития афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. (за период 1988–2024 гг.)

С.Н. Назаретян¹, Р.А. Арутюнян², Г.А. Игитян³, А.А. Казарян²

¹ Территориальная служба сейсмической защиты МВД РА, Республика Армения, 0082, г. Ереван, Цицернакабердское шоссе 8/1, e-mail: snaznssp@mail.ru;

² Институт геологических наук НАН РА, Республика Армения, 0019, г. Ереван, ул. Баграмяна, 22;

³ Национальный политехнический университет Армении, Республика Армения, 0019, г. Ереван, ул. Теряна, 105

Статья поступила: 14.10.2025, доработана: 04.03.2026, принята к публикации: 09.03.2026

Резюме: Актуальность работы обусловлена важностью установления особенностей строения афтершоковой зоны и динамики ее развития за большой период времени, а также небольшим количеством исследований афтершокового процесса крупных землетрясений за длительный период времени. **Основная цель** – изучение особенностей внутренней структуры афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. и ее динамики на основе данных за более чем 35 лет. **Объектом исследования** является афтершоковая зона разрушительного Спитакского землетрясения 1988 г. **Методы исследования** опираются на изучение генезиса афтершоков, связанных с основным событием землетрясения и образовавшимися поверхностными региональными разломами. **Результаты исследования.** Установлено, что процесс возникновения афтершоков продолжается по настоящее время. Показано, что афтершоковая зона, с площадью около 600 км², состоит из 4 отдельных сегментов. При сегментации области использован комплекс данных (параметры образованных на земной поверхности тектонических структур, пространственно-временного распределения афтершоков, мультиплетного характера основного события, детальных макросейсмических исследований и др.). Выявлены особенности строения и динамики развития отдельных сегментов. Предполагается, что в сегменте, соответствующем наиболее слабому и поверхностному толчку основного события, с 2003 г. афтершоковая активность прекратилась.

Ключевые слова: землетрясение, зона афтершоков, сегмент, динамика развития.

Благодарности: Данное исследование профинансировано правительством Республики Армения в рамках долгосрочной государственной программы по снижению сейсмического риска территории РА и Комитетом по высшему образованию и науке Министерства образования, науки, культуры и спорта РА (научный проект № 25РГ-1Э115). Авторы статьи выражают свою благодарность правительству РА и Комитету.

Для цитирования: Назаретян С.Н., Арутюнян Р.А., Игитян Г.А., Казарян А.А. Особенности структуры и динамики развития афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. (за период 1988–2024 гг.). *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(1): 33–43. DOI: 10.46698/VNC.2026.10.69.002

DOI: 10.46698/VNC.2026.10.69.002

Original paper

Features of the structure and development dynamics of the aftershock zone of the 1988 Spitak earthquake (for the period 1988–2024)

S.N. Nazaretyan¹, R.A. Haroutiunian², H.A. Igityan³, A.A. Kazarian²

¹ Territorial Surcey for Seismic Protection, Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, 8/1 Tsitsernakaberd Highway, Yerevan 0082, Republic of Armenia, e-mail: snaznssp@mail.ru;

² Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, 22 Baghramyan Str., Yerevan 0019, Republic of Armenia;

³ National Polytechnic University of Armenia, 105 Teryan Str., Yerevan 0019, Republic of Armenia

Received: 14.10.2025, revised: 04.03.2026, accepted: 09.03.2026

Abstract: The relevance of this work is due to the importance of establishing the structural features of the aftershock zone and the dynamics of its development over a long period of time, as well as the limited number of studies on the aftershock process of large earthquakes over a long period of time. **The aim** is to study the internal structure of the aftershock zone of the 1988 Spitak earthquake and its dynamics based on data spanning more than 35 years. **The object** of the study is the aftershock zone of the devastating 1988 Spitak earthquake. **Methods.** The research methods are based on the study of the genesis of aftershocks associated with the main earthquake event and the resulting surface regional faults. **Results.** It has been established that the process of aftershocks continues to the present day. It has been shown that the aftershock zone, with an area of about 600 km², consists of four separate segments. A complex of data was used to segment the area (parameters of tectonic structures formed on the Earth's surface, spatio-temporal distribution of aftershocks, multiple nature of the main event, detailed macroseismic studies, etc.). The structural features and dynamics of development of individual segments were identified. It is assumed that in the segment corresponding to the weakest and shallowest shock of the main event, aftershock activity has ceased since 2003.

Keywords: earthquake, aftershock zone, segment, development dynamics.

Acknowledgments: This study was funded by the Government of the Republic of Armenia as part of a long-term state program to reduce seismic risk in the territory of the Republic of Armenia, and by the Committee on Higher Education and Science of the Ministry of Education, Science, Culture, and Sports of the Republic of Armenia (research project No. 25RG-1E115). The authors of the article express their gratitude to the Government of the Republic of Armenia and the Committee.

For citation: Nazaretyan S.N., Haroutiunian R.A., Igityan H.A., Kazarian A.A. Features of the structure and development dynamics of the aftershock zone of the 1988 Spitak earthquake (for the period 1988–2024). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(1): 33–43. DOI: 10.46698/VNC.2026.10.69.002

Введение

Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. ($\varphi=40,90$; $\lambda=44,20$, $M=7,0$, глубина гипоцентра – 10 км, продолжительность основного события – 35–40 сек.) является одним из наиболее многосторонне и детально изученных землетрясений мира [Хачиян, 2018]. Его изучением занимались специалисты СССР и 42 стран (<https://data.opendata.am/dataset/the-spitak-earthquake>) [Назаретян, 2013].

В частности, были определены основные параметры афтершоков, установлены важные элементы строения афтершоковой области и выявлены особенности процесса развития зоны за первые 3 года (07.12.1988 – 01.01.1992) (<https://data.opendata.am/dataset/the-spitak-earthquake>) [Cisternas et al., 1989; Арефьев и др., 1991; Dorbath et al., 1992; Haessler et al., 1992; Арефьев, 2003; Мирзоян, Назаретян, 2008]. Специалистам удалось рассмотреть основное событие землетрясения как геологический процесс, развивающийся во времени и в пространстве. Надо отметить, что исследований афтершокового процесса крупных землетрясений за длительный период времени крайне мало. В данной работе сделана попытка дополнить эти исследования данными за последние 35 лет, пересмотреть некоторые результаты о строении афтершоковой зоны исходя из современных представлений, рассмотреть динамику развития отдельных элементов внутреннего строения и др. Этим и обусловлена **актуальность** проделанной работы.

Основной целью данной статьи является уточнение особенностей внутренней структуры афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. и изучение ее динамики (пространственно-временного развития) за последние 35 лет.

Основные задачи:

- Составление уточненной структуры внутреннего строения афтершоковой зоны (сегментация) на основе характеристик основного события, пространственно-временного распределения афтершоков, механизма их очагов и образованных на земной поверхности крупных геологических структур;
- Выявление основных закономерностей динамики развития афтершоковой зоны в высокоактивный (1988–1991 гг.), и особенно в слабоактивный (1992 – по настоящее время) периоды;
- Установление особенностей динамики развития афтершоков в отдельных сегментах афтершоковой зоны в слабоактивный период;
- Выявление закономерностей появления сильных афтершоков.

Материалы и методы исследований

После Спитакского землетрясения 1988 г. специалистами СССР, США и Франции было установлено 30–40 временных сейсмических станций, в основном в эпицентральной зоне, для регистрации афтершоков. Это позволило до 1992 г. определять координаты эпицентров афтершоков с точностью ± 1 км, а глубину гипоцентров – до ± 3 км (<https://data.opendata.am/dataset/the-spitak-earthquake>) [Results and data ..., 1989]. На основе этих данных были выявлены важные особенности структуры афтершоковой зоны и изучена динамика её развития в течение первых 3 лет после землетрясения [Cisternas et al., 1989; Арефьев и др., 1991; Dorbath et al., 1992; Арефьев, 2003]. После демонтажа временных сейсмических станций в 1992 г., точность определения параметров афтершоков до 1996 г. снизилась. Однако, после создания Национальной службой сейсмической защиты (НССЗ) РА сети из 12 телеметрических станций, задача надежного определения параметров афтершоков была решена (табл. 1). До января 2025 г. всего было зарегистрировано около 14 000 афтершоков.

Таблица 1 / Table 1

**Точность оценок параметров афтершоков Спитакского землетрясения
1988 г. за разные периоды /
Accuracy of estimates of aftershock parameters of the 1988
Spitak earthquake for different periods**

Параметр / Parameter	Точность оценок за разные периоды / Accuracy of estimates for different periods			
	1988- 1991	1992- 1995	1996- 2017	2018- 2024
Точность координат эпицентра, км / Epicenter coordinate accuracy, km	±1	±5	±3	±3
Минимальный порог магнитуды / Minimum magnitude threshold	≥ 1,0	≥ 2,5	≥ 2.0	≥ 2.0
Точность глубины гипоцентра, км / Hypocenter depth accuracy, km	±3	±8	±5	±5

Методы, используемые нами для выделения структурных единиц афтершоковой зоны (сегментация) и изучения динамики их развития по сегментам, основаны на генезисе афтершоков. Афтершоки по происхождению тесно связаны с основным событием Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. и образованным региональным разломом. Известно, что основное событие имеет многоактный (мультиплетный) характер [Cisternas et al., 1989; Haessler et al., 1992; Dorbath et al., 1992; Арефьев, 2003; Мирзоян, Назаретян, 2008], т.е. оно состояло из нескольких сильных сотрясений с разными параметрами (время, расположение в пространстве, магнитуда и др.). Вследствие этих отдельных сотрясений на земной поверхности образовался региональный разлом (взбросо-сдвиг) общей длиной 37 км и крупные сейсмогравитационные структуры объёмом горных масс в несколько млн м³ (кубометров). Взбросо-сдвиг состоит из двух основных фрагментов длиной 11 км (у г. Спитак) и 10 км (у с. Алавар) и тектонических элементов, свидетельствующих о наличии разломов на глубине. Максимальная вертикальная амплитуда разломов доходит до 2 м, а горизонтальная – 1 м. Наклон зоны разлома составляет 60°–80°, с падением на северо-восток [Karakhanyan et al., 2017]. На северо-западном продолжении разлома у с. Дзорашен были образованы две крупные сейсмогравитационные структуры объёмом горных масс более 2 млн м³, в формировании которых вода не участвовала (рис. 1). Эти два важных параметра, образованных тектонических структур (продолжение разлома на северо-запад и сейсмогравитационные структуры), позволяют нам предположить, что они являются следствием сотрясений Спитакского землетрясения интенсивностью 10 баллов по MSK-64, установленных по макросейсмическим данным [Назаретян, 2013].

Работа выполнена также на основе известных методов сбора и статистической обработки данных. Широко использованы данные «Сводного каталога землетрясений на территории Республики Армения и сопредельных регионов» (Фонд НССЗ РА, 2024), а также макросейсмические данные по Спитакскому землетрясению 1988 г. и результаты полевых исследований тектонических структур, опубликованные в монографии (<https://data.opendata.am/dataset/the-spitak-earthquake>) [Results and data ..., 1989; Назаретян, 2013].

Результаты исследований

Расположение отдельных толчков основного события Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.

Исследователи Спитакского землетрясения 1988 г. считают, что основное событие 7 декабря состоит из 2–14 сильных толчков с различными параметрами [Cisternas et al., 1989; Dorbath et al., 1992; Арефьев, 2003; Мирзоян, Назаретян, 2008; Karakhanyan et al., 2017]. Наши комплексные исследования, основанные на анализе сейсмограмм, расположения образованных крупных сейсмогенных структур, макросейсмических данных, в том числе восприятия толчков основного события людьми в зонах различной интенсивности, параметров афтершоков и др., показали, что наиболее четко выделяются 3 отдельных толчка с интервалами между ними 5 и 14 секунд. На рисунке 1 представлено положение проекций очагов этих трех толчков с указанием последовательности их появления. Все они расположены вдоль образованного на земной поверхности регионального разлома. Первый толчок землетрясения произошёл под г. Спитак, имел магнитуду 6,8–7,0 и глубину гипоцентра около 10 км [Хачиян, 2018]. Население города почувствовало внезапный вертикальный удар, вследствие которого была разрушена подавляющая часть зданий. В г. Гюмри, находящемся на расстоянии 36 км от эпицентра, вследствие этого толчка были небольшие разрушения. После первого толчка, через 5 секунд, произошёл второй, наиболее слабый и поверхностный (глубина около 5 км) толчок у с. Алавар. Он стал причиной разрушений в близлежащих селах. Третий, самый сильный ($M=7.0$) и глубокий (10–15 км) толчок произошёл у с. Дзорашен с интенсивностью 10 баллов. Вследствие этого третьего толчка 60 % территории г. Гюмри, находящегося на расстоянии 25 км от эпицентра этого толчка, было разрушено (погибло 17 000 человек), а средняя интенсивность колебаний в городе составляла 9 баллов. Этим объясняется интересующий население вопрос, почему г. Гюмри, находящийся на расстоянии 36 км от официального эпицентра Спитакского землетрясения 1988 г., был сильно разрушен, а г. Ванадзор, отстоящий от Спитака на расстояние 10 км, пострадал значительно меньше.

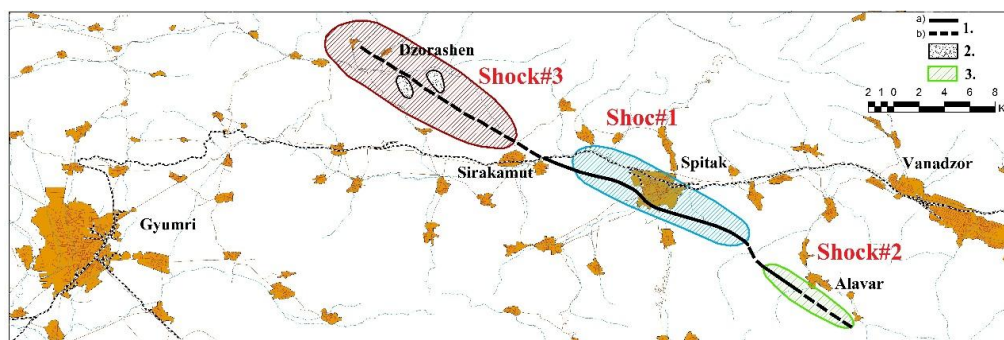


Рис. 1. Схема расположения проекций очагов трех отдельных толчков основного события 7 декабря 1988 г. Спитакского землетрясения и крупных сейсмогенных структур (разлома и сейсмогравитационных дислокаций): 1. Главный поверхностный разлом (пунктирными линиями обозначено предполагаемое расположение разлома); 2. Крупные сейсмогравитационные образования; 3. Проекция очагов отдельных толчков главного события. Размеры проекций очагов определены приблизительно на основе их магнитуды [Nazaretyan, 2018] /

Fig. 1. Schematic map of the location of the projections of the foci of three individual shocks of the main event of 7 December 1988 Spitak earthquake, and large seismogenic structures (fault and seismogravitational dislocations): 1. Main surface fault (dashed lines indicate suspected fault); 2. Large seismogravitational formations; 3. Projections of the foci of individual shocks of the main event. The sizes of the projections of the foci are determined approximately on the basis of their magnitude [Nazaretyan, 2018]

Специалистами на основе пространственно-временного распределения афтершоков за 1988–1991 гг., а также геологических данных были составлены разные схемы строения афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. [Cisternas et al., 1989; Dorbath et al., 1992; Ребецкий и др., 2000; Арефьев, 2003; Мирзоян, Назаретян, 2008]. По этим схемам имеются разногласия по следующим основным вопросам: определение границ афтершоковой зоны; деление зоны на подзоны (сегменты); связь афтершоковой зоны с сейсмоактивной зоной Джавахетского нагорья. Если разногласия между специалистами в определении границ афтершоковой зоны незначительны и обособленность (изолированность) афтершоковой зоны от сейсмоактивного Джавахетского вулканического нагорья становится очевидной при рассмотрении карт сейсмичности до Спитакского землетрясения 1988 г. (очевидно, ее существование имело место и до Спитакского землетрясения и имеет иной генезис [Sahakyan, 2018]), то вопрос о внутренней структуре афтершоковой зоны является дискуссионным. Наиболее близка к составленной нами схеме сегментов (рис. 2) схема, представленная в работе [Dorbath et al., 1992]. В указанной статье впервые на основе тектонических особенностей (поверхностного разрыва, оси антиклинали, непрерывного надвига) и распределения эпицентров афтершоков за 20.12.1988–08.01.1989 гг. была создана схема сегментации афтершоковой зоны, на которой выделено 5 сегментов.

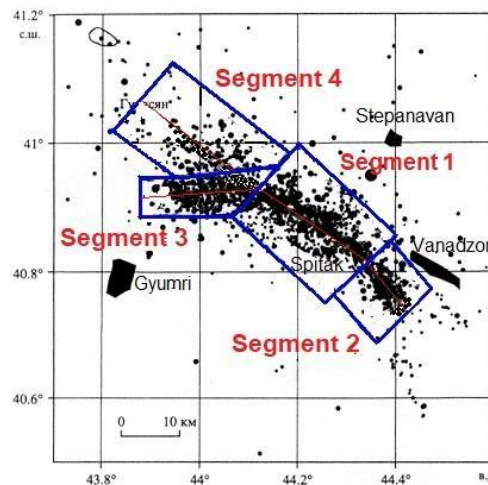


Рис. 2. Карта распределения эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. за период 09.12.1988–01.01.2025 с $M \geq 1.0$ и сегментов афтершоковой зоны /

Fig. 2. Map of the distribution of aftershock epicenters of the 1988 Spitak earthquake for the period 09.12.1988–01.01.2025 with $M \geq 1.0$ and aftershock zone segments

Согласно предложенной нами схеме (рис. 2), протяжённость афтершоковой зоны составляет до 60 км, ширина – около 8–10 км, а площадь – около 600 км². Выделенные нами 4 сегмента афтершоков отличаются друг от друга как по основным параметрам, так и по механизмам очага. Использование основных параметров механизма очага при сегментации важно, поскольку учитываются тектонические напряжения [Ребецкий и др., 2023; Овсяченко и др., 2024]. Согласно [Ребецкий и др., 2000; Арефьев, 2003] в сегменте 1 преобладают афтершоки со сбросами и сдвигами, в сегменте 2 – сдвиги, а в сегментах 3 и 4 количество сбросов и сдвигов примерно одинаково.

Некоторые особенности динамики развития афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. по данным за 35 лет

Афтершоковая активность Спитакского землетрясения 1988 г. продолжается по настоящее время (01.01.2025 г.). Не было временного периода длительностью 6 ме-

сяцев, чтобы в афтершоковой зоне не происходил хотя бы один слабый толчок. До землетрясения на этой территории годами не было даже слабых толчков. Весь период афтершоков мы делим на две части: **высокоактивный** (12.07.1988 – 01.01.1992) и **слабоактивный** (01.01.1992 – по настоящее время). На основе карты сейсмоактивных региональных разломов и эпицентров афтершоков с $M \geq 2.5$ за последние 7 лет (рис. 3) установлены две важные закономерности появления афтершоков в сегментах. Заметно, что эпицентр основного события (первый толчок) расположен в сегменте 1, где пересекаются сейсмоактивные региональные разломы северо-западного и субширотного простирания, т.е. землетрясение началось в тектонически активном разломном узле. Наиболее сильные афтершоки с магнитудой 4,1–5,0 произошли именно в этом сегменте. Начиная с 2003 г. в сегменте 2, в отличие от остальных трех сегментов, афтершоки отсутствуют.

Основные особенности динамики в высокоактивный афтершоковый период

Основные особенности (характеристики) **высокоактивного** афтершокового периода были установлены многими специалистами [Cisternas et al., 1989; Dorbath et al., 1992; Мирзоян, Назаретян, 2008]. Поэтому в настоящей работе целесообразно привести только наиболее важные количественные характеристики, такие как: а) во всей афтершоковой зоне за этот период произошло 92 % от общего числа афтершоков (около 13 700); б) основная часть общей энергии афтершоков (98 %) выделилась в период высокой активности; в) первый сильный афтершок произошел примерно через 4 минуты после основного события [Cisternas et al., 1989; Dorbath et al., 1992; Арефьев, 2003; Баранов и др., 2019].

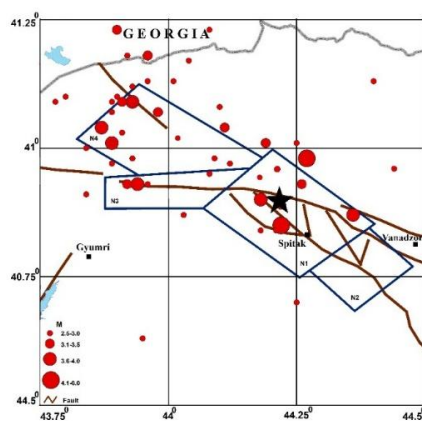


Рис. 3. Карта региональных разломов (Armenia: Probabilistic Seismic Hazard Assessment (scale 1:500,000). 2023. <https://data.opendata.am/dataset/sustc-979>), 4 сегмента афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. и эпицентры землетрясений с $M \geq 2.5$ за 01.01.2018–01.01.2025. На карте эпицентр Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. обозначен звездочкой /

Fig. 3. Map of regional faults (Armenia: Probabilistic Seismic Hazard Assessment (scale 1:500,000). 2023. <https://data.opendata.am/dataset/sustc-979>), 4 segments of the aftershock zone of the 1988 Spitak earthquake and epicenters of earthquakes with $M \geq 2.5$ for 01.01.2018–01.01.2025. On the map, the epicenter of the Spitak earthquake of 12.07.1988 is marked with a star

Основные особенности динамики в слабоактивный афтершоковый период

В слабоактивный период развития афтершоковой зоны наблюдаются следующие закономерности:

- Предполагается, что прекратился афтершоковый процесс в сегменте 2, который соответствует наиболее слабому и поверхностному толчку основного события начиная с 2003 г., т.к. с этого года здесь отсутствуют афтершоки даже с магнитудой до 2.0 (рис. 3);

- В период 1997–2005 гг. наблюдалась определённая активизация всей афтершоковой зоны, т.е. во всех четырёх сегментах увеличилось как количество афтершоков, так и выделившаяся энергия (рис. 4). Подавляющее большинство афтершоков имеют магнитуду 1,7–3,0;

- Какой-либо закономерности проявления сильных афтершоков ($M \geq 4.0$) не наблюдается.

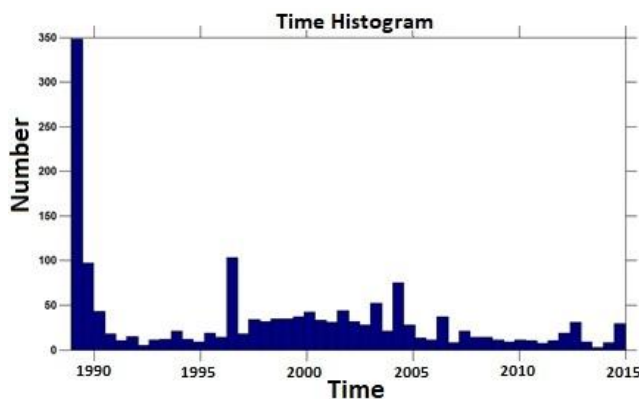


Рис. 4. Распределение около 14 000 афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. по годам. Большинство афтершоков произошло в первые три года после землетрясения. Появление афтершоков продолжается и по сей день. Они имеют магнитуду $1,0 \leq M \leq 5,0$ /

Fig. 4. Distribution of about 14,000 aftershocks of the 1988 Spitak earthquake by year. Most of the aftershocks occurred in the first three years after the earthquake. Aftershocks continue to occur to this day. They have a magnitude of $1.0 \leq M \leq 5.0$

Обсуждение

Во введении данной статьи была отмечена важность проведенных научных исследований для распознавания афтершокового процесса. Наряду с этим, нами сделана попытка рассмотреть ответы на ряд практических вопросов, которые, в первую очередь, интересуют население зоны бедствия. Например: произойдет ли новое мощное землетрясение в очаговой зоне или сильный афтершок, какова продолжительность афтершокового периода, через сколько лет произойдет такое же сильное землетрясение и т.д.? И это естественно, поскольку продолжать жить в зоне разрушений, если существует вероятность нового землетрясения, – вопрос качества жизни. К сожалению, ответы на такие вопросы весьма сложны, а если говорить честно, четких ответов пока нет. Для ответа на такие вопросы необходимо понимать сущность и особенности 4-х основных этапов **полного цикла сильного землетрясения**: (1) подготовка землетрясения и форшоки; (2) основное событие; (3) афтершоковый процесс; (4) «залечивание» среды очаговой зоны. Попытки специалистов решить эти задачи теоретическими расчетами или путем моделирования процессов пока малоэффективны, поскольку отсутствуют надежные данные о физико-механических, реологических и других свойствах среды подготовки сильных землетрясений, о тектонических напряжениях и т.д. [Баранов и др., 2019; Овсяченко и др., 2023; Заалишвили и др., 2025]. Для этой цели относительно эффективным является использование статистических данных о детально и многосторонне изученных землетрясениях. Полученные в данной статье результаты относятся ко 2 и 3 этапам полного цикла землетрясений. Необходимо учитывать, что Спитакское землетрясение 1988 г. произошло в зоне столкновения (коллизии) Аравийской и Евразийской плит [Karakhanyan et al., 2017], характеризующейся особенностью сейсмичности и сложностью [Koper et al., 2018]. Но, несмотря на это, некоторые результаты, полученные в данной работе, представляют определенный интерес для прикладной сейсмологии. К ним относятся: а) не менее

35 лет длительности афтершокового процесса Спитакского землетрясения 1988 г. с магнитудой 7.0 и глубиной гипоцентра 5–15 км; **б)** важность учета мультиплетности основного события и образованных на земной поверхности крупных геологических структур в формировании афтершоков и сегментации афтершоковой зоны; **в)** отсутствие закономерностей в появлении сильных афтершоков; **г)** объяснение разрушений населенных пунктов, расположенных достаточно далеко от официального эпицентра основного события, вследствие миграции его отдельных толчков, **д)** предположение об относительно быстром прекращении афтершоковой активности в секторах, связанных с неглубоким и слабым толчком основного события землетрясения. По нашему мнению, наиболее перспективные направления будущих исследований данной области связаны именно с этими вопросами.

Выводы

Исследования афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. на основе данных за последние 35 лет позволили сделать следующие выводы:

- Сложное строение афтершоковой зоны обусловлено отдельными толчками основного события и образованными на земной поверхности региональными геологическими структурами. Наиболее обосновано выделение 4-х сегментов афтершоковой зоны с разными параметрами афтершоков;
- Афтершоковая активность продолжается по настоящее время (01.01.2025). Преобладающее количество афтершоков и большая часть общей энергии выделились в высокоактивный период;
- Сейсмическая активизация наблюдалась во всех секторах афтершоковой зоны в 1997–2005 гг., что говорит о возможной некоторой активизации афтершокового процесса в слабоактивный период;
- На общем фоне затухания количества афтершоков какой-либо определенной закономерности проявления сильных афтершоков ($M \geq 4,0$) не наблюдается;
- Предполагается, что в сегменте 2 афтершоковой зоны, который соответствует самому слабому и неглубокому толчку основного события, процесс образования афтершоков завершился в 2003 г.

Литература

1. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 375 с.
2. Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Госбатова И.П., Геодакян Э.Г. Каталог афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1991. – № 11. – С. 7–14.
3. Баранов С.В., Шебалин П.Н., Габсатарова И.П. Связь вероятности возникновения сильного афтершока с сейсмичностью, предшествующей основному толчку. // Геофизические исследования. – 2019. – Т. 20. № 3. – С. 5–22. DOI: 10.21455/gr2019.3-1.
4. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Фидарова М.И. Геоэкологические аспекты инженерной сейсмологии. Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2025. – 216 с.
5. Мирзоян Л.Б., Назаретян С.Н. Особенности строения и динамики развития афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2008. – Т. LXI. № 1. – С. 32–38.
6. Назаретян С.Н. Сейсмическая опасность и риски территорий городов зоны Спитакского землетрясения 1988 г. / Под ред. С.С. Дарбиняна. – Ереван: Гитутюн, – 2013. 212 с.
7. Овсюченко А.Н., Едемский Д.Е., Нечаев С.Ю., Корженков А.М., Заалишвили В.Б., Ларьков А.С., Аверин А.А. Исследования очагов сильных исторических землетрясений методами геофизики, палео-, архео- и исторической сейсмологии: Фиагдонская котловина в Северной Осетии. // Геология и Геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 1. – С. 64–89. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005.

8. Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Андреева Н.В., Лукашова Р.Н. Сейсмоструктура очагов сильных землетрясений Кавказа: итоги исследований Евгения Александровича Рогожина. // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5. № 3. – С. 28–44. DOI: 10.35540/2686-7907.2023.3.02.
9. Ребецкий Ю.Л., Арефьев С.С., Никитина Е.С. Мониторинг напряженного состояния афтершоковой области Спитакского землетрясения. // Доклады Академии наук. – 2000. – Т. 375. № 2. – С. 239–244.
10. Ребецкий Ю.Л., Добрынина А.А., Саньков В.А. Современное напряженное состояние и геодинамика Байкальской рифтовой системы. // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. № 1. – С. 87–111. DOI: 10.15372/GiG2022110.
11. Хачиян Э.Е. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года: основные сейсмологические характеристики и анализ его разрушительных последствий. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2018. – № 4. – С. 9–30.
12. Cisternas A., Philip H., Arefiev S.S., Bousquet J.C. et al. The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: Field observations, seismology and tectonics. // Nature. – 1989. – Vol. 339. No. 6227. – pp. 675–679. DOI: 10.1038/339675a0.
13. Dorbath L., Dorbath C., Rivera L., Fuenzalida A., Cisternas A., Tatevossian R., Aptekman J., Arefiev S. Geometry, segmentation and stress regime of the Spitak (Armenia) earthquake from the analysis of the aftershock sequence. // Geophysical Journal International. – 1992. – Vol. 108. – pp. 309–328.
14. Haessler H., Deschamps A., Dufumier H., Fuenzalida H., Cisternas A. The rupture process of the Armenian earthquake from broad-band teleseismic body wave records. // Geophysics. – 1992. – Vol. 109. Issue 1. – pp. 151–161.
15. Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Sadoyan T. Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. Tectonic Evolution, collision, and seismicity of Southwest Asia: In honor of Manuel Berberian's forty years of research contributions. // Geological Society of America. – 2017. – Vol. 525. – pp. 445–477. DOI: 10.1130/2016.2525(14).
16. Koper K.D., Pankow K.L., Pechmann J.C., Hale J.M., Burlacu R., Yeck W.L., Benz H.M. et al. Afterslip enhanced aftershock activity during the 2017 earthquake sequence Near Sulphur Peak, Idaho. // Geophysical Research Letters. – 2018. – pp. 5352–5361. DOI: 10.1029/2018GL078196.
17. Nazaretyan S. The 1988 Spitak earthquake in photos, facts and comments. Republic of Armenia: Gitutyun, – 2018. 140 p.
18. Results and data from seismological and geological studies of the earthquakes of December 7, 1988, near Spitak, Armenia SSR. Vol. 1. / Ed. R.D. Borchardt. – California: United States Department of the Interior. Geological Survey, – 1989. 189 p. DOI: 10.3133/ofr89163A.
19. Sahakyan E.E. The features of stress field in the Javakheti volcanic highland determined the earthquake focal mechanisms for the time period 2005–2017. // Proceedings of the NAS RA. Earth Sciences. – 2018. – No. 2. – pp. 38–51.

References

1. Arefiev S.S. Epicentral seismological studies. Moscow. Akademkniga. 2003. 375 p. (In Russ.)
2. Arefiev S.S., Aptekman Zh.Ya., Gosbatova I.P., Geodakyan E.G. Catalog of aftershocks of the 1988 Spitak earthquake. Izvestiya Akademii Nauk USSR. Physics of the Solid Earth. 1991. No. 11. pp. 7–14. (In Russ.)
3. Baranov S.V., Shebalin P.N., Gabsatova I.P. Relationship between the probability of a strong aftershock and seismicity preceding the main shock. Geophysical Research. 2019. Vol. 20. No. 3. pp. 5–22. DOI: 10.21455/gr2019.3-1. (In Russ.)
4. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Fidarova M.I. Geocological aspects of engineering seismology. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. 2025. 216 p. (In Russ.)
5. Mirzoyan L.B., Nazaretyan S.N. Features of the structure and dynamics of the development of the aftershock zone of the 1988 Spitak earthquake. Proceedings of the National Academy of Sciences of Armenia. Earth Sciences. 2008. Vol. LXI. No. 1. pp. 32–38. (In Russ.)
6. Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risks of the territories of the cities of the 1988 Spitak earthquake zone. Ed. S.S. Darbinyan. Yerevan. Gitutyun. 2013. 212 p. (In Russ.)
7. Ovsyuchenko A.N., Edemsky D.E., Nechaev S.Yu., Korzhenkov A.M., Larkov A.S., Averin A.A. Research of sources of strong historical earthquakes using geophysical, paleo-, archeo- and

historical seismology: Fiagdon Basin in North Ossetia. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 1. pp. 64–89. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005. (In Russ.)

8. Ovsiuchenko A.N., Larkov A.S., Andreeva N.V., Lukashova R.N. Seismotectonics of sources of strong earthquakes in the Caucasus: Results of studies by Evgeny Alexandrovich Rogozhin. *Russian Journal of Seismology*. 2023. Vol. 5. No. 3. pp. 28–44. DOI: 10.35540/2686-7907.2023.3.02. (In Russ.)

9. Rebetskii Yu.L., Arefev S.S., Nikitina E.S. Monitoring of stressed state in the aftershock region of the Spitak earthquake. *Doklady Earth Sciences*. 2000. Vol. 5. No. 3. pp. 28–44. DOI: 10.35540/2686-7907.2023.3.02. (In Russ.)

10. Rebetsky Yu.L., Dobrynina A.A., Sankov V.A. Current Stress Pattern and Geodynamics of the Baikal Rift System. *Geology and Geophysics*. 2023. Vol. 64. No. 1. pp. 87–111. DOI: 10.15372/GiG2022110. (In Russ.)

11. Khachiyani E.E. The Spitak earthquake of 7 December 1988: main seismological characteristics and analysis of its destructive effects (to the thirty years after the earthquake). *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2018. No. 4. pp. 9–30. (In Russ.)

12. Cisternas A., Philip H., Arefev S.S., Bousquet J.C. et al. The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: Field observations, seismology and tectonics. *Nature*. 1989. Vol. 339. No. 6227. pp. 675–679. DOI: 10.1038/339675a0.

13. Dorbath L., Dorbath C., Rivera L., Fuenzalida A., Cisternas A., Tatevossian R., Aptekman J., Arefev S. Geometry, segmentation and stress regime of the Spitak (Armenia) earthquake from the analysis of the aftershock sequence. *Geophysical Journal International*. 1992. Vol. 108. pp. 309–328.

14. Haessler H., Deschamps A., Dufumier H., Fuenzalida H., Cisternas A. The rupture process of the Armenian earthquake from broad-band teleseismic body wave records. *Geophysics*. 1992. Vol. 109. Issue 1. pp. 151–161.

15. Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Sadoyan T. Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. *Tectonic Evolution, collision, and seismicity of Southwest Asia: In honor of Manuel Berberian's forty years of research contributions*. Geological Society of America. 2017. Vol. 525. pp. 445–477. DOI: 10.1130/2016.2525(14).

16. Koper K.D., Pankow K.L., Pechmann J.C., Hale J.M., Burlacu R., Yeck W.L., Benz H.M. et al. Afterslip enhanced aftershock activity during the 2017 earthquake sequence Near Sulphur Peak, Idaho. *Geophysical Research Letters*. 2018. pp. 5352–5361. DOI: 10.1029/2018GL078196.

17. Nazaretyan S. The 1988 Spitak earthquake in photos, facts and comments. Republic of Armenia. Gitutyun. 2018. 140 p.

18. Results and data from seismological and geological studies of the earthquakes of December 7, 1988, near Spitak, Armenia SSR. Vol. 1. Ed. R.D. Borchardt. California: United States Department of the Interior. Geological Survey. 1989. 189 p. DOI: 10.3133/ofr89163A.

19. Sahakyan E.E. The features of stress field in the Javakheti volcanic highland determined the earthquake focal mechanisms for the time period 2005–2017. *Proceedings of the NAS RA. Earth Sciences*. 2018. No. 2. pp. 38–51.