

УДК 550.530

## Современная геодинамика Гарнийского глубинного разлома на территории Армении

© 2026 г. Р.А. Пашаян<sup>1</sup>, Д.К. Карапетян<sup>1</sup>, Л.В. Арутюнян<sup>2</sup>, Г.А. Мкртчян<sup>1</sup>,  
К.Г. Товмасын<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения; <sup>2</sup>ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Республика Армения

Поступила в редакцию 24.02.2026 г.

**Аннотация.** По материалам мониторинга гидрогеодинамических, гидрогеохимических наблюдений выполнена оценка изменения напряжённо-деформированного состояния земной коры территории Армении во времени и пространстве. Проведён анализ сейсмического режима Гарнийского разлома (ГР) и всей территории Армении. Определена глубина сейсмоактивного слоя земной коры по распределению гипоцентров землетрясений за исследуемый период времени, которая составила 10 км. Получены графики вариаций уровня вод в гидрогеодинамических скважинах в связи с сейсмическими событиями и деформацией земной коры территории Армении. Составлена карта гидрогеодеформационного поля земной коры территории Армении. Выявлена сеймотектоническая активность ГР по сегментам. Выделены слабые землетрясения, составляющие геодинамический фон зоны ГР. При исследовании геодинамики этой зоны комплексом методов была учтена напряжённость тектонических блоков земной коры, примыкающих к ГР. Распределение сейсмичности по условно отмеченным сегментам разлома указывает на её неравномерность. При сопоставлении полученной информации с результатами напряжённости каждого примыкающего тектонического блока земной коры возникает возможность определения на разломе участков с повышенной геодинамической активностью.

**Ключевые слова:** геодинамика, разлом, земная кора, сеймотектоника, скважина, землетрясение, деформация, напряжение, сейсмика, сегмент, тектонический блок.

**Для цитирования:** Пашаян Р.А., Карапетян Д.К., Арутюнян Л.В., Мкртчян Г.А., Товмасын К.Г. Современная геодинамика Гарнийского глубинного разлома на территории Армении // Российский сейсмологический журнал. – 2026. – Т. 8, № 2. – С. 63–79. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.2.05>. – EDN: NEUQTE

### Введение

Крупными активными разломами Армении являются: Гарнийский (ГР), Памбак-Севанский (ПСР), Желтореченск-Саригамишский (ЖСР) и Ахурянский (АР) [Karakhanian et al., 2004]. Выявление и изучение зон активных разломов помогает решать проблемы современной геодинамики, а также является элементом проведения сейсмического районирования. Роль глубинного разлома – реализация тектонических напряжений, накапливаемых в земной коре [Гусев, 2024]. Гарнийский разлом, один из активных разломов на территории Армении, северо-западного простирания, протягивается от г. Нахичевань до зоны сочленения Желтореченск-Саригамишского, Памбак-Севанского и Ахурянского разломов и состоит из нескольких сегментов. Северо-западный – Лернаджурский (Алаварский) сег-

мент – длиной 60 км, Гарнийский сегмент разлома протягивается от долины р. Нармауик до левобережья р. Азат (с. Гарни), Эллинский сегмент разлома – от с. Гелайсор до с. Арени на 50 км. Гарнийский разлом имеет высокую сейсмическую активность, с юга на север к зоне приурочены землетрясения: 906 г. (Вайоцзор,  $M=6.5$ ) – 1679 г. (Гарни,  $M=6.9$ ) – 1827 г. (Цахкадзор,  $M=7.1$ ) – 1988 г. (Спитак,  $M=7.1$ ). Выявлена миграция с юго-востока на северо-запад вдоль Гарнийского разлома, после завершения миграционного цикла Спитакским землетрясением 1988 г.; с февраля 1992 г. вновь наметилась активизация разлома на северо-запад и юго-восток. Сейсмогенный разрыв Спитакского землетрясения (7 декабря 1988 г.,  $M=7.1$ ) является структурным продолжением Гарнийского разлома. Активизация некоторых разломов после Спитакского землетрясения выразилась лишь

приуроченностью к ним афтершоков, тогда как вдоль Гарнийского, Памбак-Севанского и Желтореченск-Саригамишского разломов наряду с этим возникли сейсмогенные разрывы [Karakhanyan, 1993]. Для выявления активности разлома применялся комплекс геофизических методов, сопоставление сходства и различия для разломных зон, расположенных в разных геолого-тектонических и геодинамических обстановках [Будков, Кочарян, 2024]. Дополнительными признаками современной активности разлома служат: приуроченность к зоне разлома эпицентров землетрясений, гидродинамические и газогидрохимические аномалии, свидетельствующие о современной проницаемости [Trifonov, Kozhurin, 2010]. Актуальность работы состоит в необходимости изучения современной геодинамики разломной зоны ГР с учётом характеристики разлома по работам предыдущих авторов. Целью проведённых исследований явилось изучение геодинамики зоны ГР комплексом методов на основе совместного использования геологического, сейсмологического, гидрогеодинамического, гидрогеохимического и деформационного анализа.

#### Материалы и методы исследований

Сейсмичность территории Армении рассматривалась как индикатор современной геодинамики ГР и земной коры всего региона [Казарян, Саргсян, 2022]. Материалами для проводимых исследований являлись: для исследования сейсмического режима территории Армении – каталог землетрясений за период наблюдений 2004–2024 гг.; для анализа напряжённно-деформированного состояния земной коры в указанный период – данные гидрогеодинамических наблюдений. Названные данные предоставлены Территориальной службой сейсмической защиты Министерства внутренних дел Республики Армения (ТССЗ МВД РА). Проведён анализ сейсмического режима всей территории Армении. Общее число землетрясений, произошедших за период наблюдений, разделено на три категории:  $M < 2.0$ ;  $2.0 \leq M < 4.0$ ;  $M \geq 4.0$ . Землетрясения с  $M > 4$  произошли на ГР (северная часть), в Джавахетии, на восточном побережье оз. Севан и по Арарат-Севанскому (АСР) разлому. Отсутствие сейсмических событий наблюдается на северо-востоке территории Армении.

Для определения фоновой сейсмичности территории Армении за исследуемые годы рассмотрены землетрясения с  $M \geq 2$ . Выявлена насыщенность фона сейсмичности на севере

Армении – на Джавахетском нагорье, по Гарнийскому разлому, по Памбак-Севанскому разлому и на юго-западе Армении. Следует отметить, что на участках региона, где наблюдается повышенный фон сейсмической активности, происходит ослабление сейсмического режима, т.е. сокращение количества произошедших землетрясений с  $M > 3.0$ . Рассмотрены эпицентры слабых событий с магнитудой с  $M < 2.0$ . Данные включают большой объём информации о сейсмическом режиме и являются показателями тектонической активности. Их можно отнести, предположительно, к таким явлениям, как крипы. Криповые движения наблюдаются преимущественно в сейсмоактивных областях, и их нередко рассматривают как проявления сейсмического режима слабых деформаций в зоне разлома [Кочарян, 2015]. Связь между крипом и землетрясением обнаруживается только в районах с высоким уровнем сейсмической активности.

Первое практическое использование этого явления в целях прогноза землетрясения удалось К. Терберу [Um, Thurber, 1987]. С октября 1995 г. по январь 1996 г. он провёл детальные наблюдения крипа на ослабленном отрезке разлома Сан-Андреас (Калифорния) к югу от того участка, разрыв которого сопровождался катастрофическим землетрясением, разрушившим Сан-Франциско в 1906 году. За время наблюдений было отмечено пять эпизодов крипа, когда смещение земной коры достигало 3 мм менее чем за одни сутки. На основании этого К. Тербер предсказал, что в течение пяти суток каждый из эпизодов должен завершиться землетрясением магнитудой более 3.3 по шкале Ч. Рихтера. В четырёх случаях прогноз подтвердился, а в пятом случае толчок произошёл через 16 ч после истечения указанного срока. Кроме того, произошли ещё два землетрясения, не предусмотренные прогнозом. Все эти толчки имели очаги на глубине от 2 до 10 км и магнитуду от 3.3 до 5.0.

Сегментация ГР приводится по схематической карте активных разломов территории Армении [Karakhanian et al., 2004]. В работе [Саргсян и др., 2021] при рассмотрении активных разломов не были учтены характеристики блокового строения территории Армении, что явилось предметом настоящего исследования.

#### Гидрогеодинамические и гидрогеохимические наблюдения

По методу гидрогеодинамических предвестников (МГГДП) исследования на территории Армении нами проводятся с 1989 года. МГГДП,

разработанный в Институте физики Земли РАН [Киссин, 1993], получил научное обоснование и внедрение в практику в последние 35–40 лет. Исследования по данному методу в регионе проводились с целью изучения уровня подземных вод (УПВ) для выявления гидрогеодинамических эффектов (ГГЭ), связанных с изменениями напряжённо-деформированного состояния водовмещающих пород. Гидрогеодинамические изменения могут служить показателями геодинамических процессов земной коры и предвестниками землетрясений. За период исследований было проведено следующее: 1) изучены основные закономерности естественного режима подземных вод, учёт которых необходим для выявления гидрогеодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям; 2) обобщены данные о гидрогеодинамических эффектах землетрясений региона; 3) определены зависимости между показателями предвестниковых эффектов и параметрами сейсмических событий [Пашаян, 1995]; 4) выявлены краткосрочные гидрогеологические эффекты, связанные с современными движениями земной коры на территории Армении [Пашаян, Туманян, 1997]; 5) рассмотрены и определены особенности гидрогеодинамических предвестниковых эффектов и дана оценка информативности наблюдательной сети Армении [Пашаян, 1999]; 6) установлены методические принципы выделения гидрогеодинамических эффектов на основании анализа результатов наблюдений УПВ и их сезонных изменений по ГГД-скважинам, воздействия атмосферных осадков и атмосферного давления; 7) определён характер гидрогеодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям по форме графика изменения УПВ.

Методика исследования колебаний УПВ по наблюдательным скважинам включает статистические способы обработки данных. Применительно к гидрогеологической обстановке исследуемого региона основные помехи можно условно разделить на две группы.

Группа 1. Длиннопериодные вариации УПВ – сезонные колебания.

Были рассмотрены годовые циклы колебания уровня подземных вод, которые включают сезонные изменения уровня вод в скважинах. Из представленных 14 наблюдательных скважин колебания уровня вод имеют сезонный ход в скважинах № 1, 15, 12, 10, 27, 22, 2. Отсутствует сезонный ход уровня вод в скважинах № 7, 9, 11, 18, 21.

Группа 2. Короткопериодные, малоамплитудные вариации уровня – изменение атмосферного давления и приливообразующих сил.

Обработка данных с целью выявления зависимости между УПВ и атмосферным давлением показали, что ход уровня вод по ГГД-скважинам Армении почти не коррелируется с изменениями атмосферного давления. Выявлены периодические вариации УПВ, которые можно связывать с воздействием приливообразующих сил.

Исходя из мест расположения гидрогеодинамических скважин, сделана попытка группировать их по тектоническим блокам. Схема блоковой тектоники земной коры территории Армении составлена автором Г.А. Туманяном [Пашаян, Туманян, 2011] (рис. 1).

Согласно поставленной в работе задаче, рассмотрены результаты обработки данных наблюдений за динамикой вод гидрогеодинамических скважин и минеральных источников в пределах тектонических блоков, расположенных в радиусе 50 км от глубинного ГР (табл. 1).

Таким образом, наблюдения за динамическими процессами проводились по изменениям УПВ в скважинах № 3, 12, 18, 21, 22 с целью выделения ГГЭ, предшествующих землетрясениям, а также в качестве показателей геодинамических процессов зоны ГР. Глубина скважин – от 60 до 200 м.

Далее в работе приводится краткая характеристика вариаций уровней вод гидрогеодинамических скважин в тектонических блоках земной коры, перечисленных в табл. 1 [Пашаян и др., 2023].

В зоне активного Спитакского разлома и в пределах Спитакского тектонического блока Транскавказского поперечного поднятия пробурена скв. № 12. По изменениям уровня воды в этой скважине выделены малоамплитудные периодические вариации, вызванные пилообразными колебаниями, которые связаны с медленным подъёмом уровня воды и резким его спадом и указывают на наличие слабых деформаций. Характерной особенностью пилообразных колебаний является то, что они происходят на фоне тренда повышения уровня воды в скважине [Пашаян и др., 2024].

В Апаран-Анкаванском тектоническом блоке пробурена скв. № 18, которая характеризуется многоступенчатым и непрерывно повышающимся уровнем подземных вод. Начиная с 1990 г. и до середины 1994 г. в пределах Апаран-Анкаванского тектонического блока наблюдалось непрерывное наращивание напряжения, связанного с подвижками указанного блока, главным образом в северо-восточном направлении. Далее с 1999 г. УПВ в скв. № 18 медленно поднимался. Для уровня данной скважины характерно

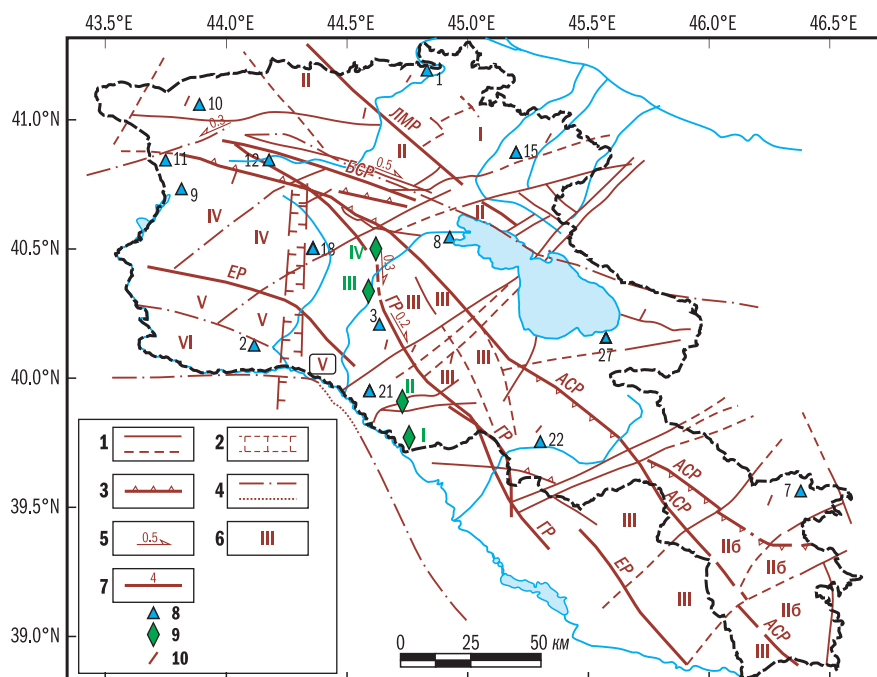


Рис. 1. Схема блоковой тектоники земной коры Армении. Автор – Г.А. Туманян.

1–2 – линеаменты (разломы установленные (а) и предполагаемые (б) северо-западно–юго-восточного простирания границ Сомхето-Карабахской ОДС (Островодужная система) и Центрально-Армянской микроплиты (1) и антиклинорных, синклинорных структур указанных тектонических комплексов, а также поперечных структур северо-восточно–юго-западного простирания (2); 3–4 – активные разломы (0.5, 0.3, 0.2 – их средняя интенсивность горизонтального движения в год) [Караханян, 1995]; 5 – тектоническая зона на северо-западном и юго-восточном краях, представленная породами офиолитовой ассоциации; 6 – тектонические блоки: антиклинории (I – Сомхет-Карабахский, III – Цахкунк-Зангезурский и V – Звардноцский), синклинории (II – Севан-Ширакский, IIб – Капанский, IV – Ереван-Нахиджеванский, VI – Араксинский); 7 – разломы (линеаменты), развивающиеся на местах межзональных разломов (ЛМР – Лалвар-Мравский, БСР – Базум-Севанский, АСР – Анкаван-Сюникский, ЕР – Ереванский, ГР – Гарнийский); 8 – гидрогеодинамические скважины; 9 – минеральные источники (I–IV); 10 – населённые пункты

Таблица 1. Распределение пунктов наблюдений по тектоническим блокам земной коры территории Армении в радиусе 50 км от ГР

№ скважины	Район расположения пункта наблюдения	Тектонический блок земной коры	Расстояние до ГР (км)
12*	Ширакамут	Спитакский	12
18*	Кучак	Апаран-Анкаванский	46
3*	Дзорахпюр	Ереванский	14
21*	Арташат	Ереванский	28
22*	Ехегнадзор	Вайский	23
I*	Суренаван	Вайский	22
II**	Веди	Ереванский	21
III**	Арзни	Ереванский	17
IV**	Бжни	Апаран-Анкаванский	18

Примечание: \* – гидрогеодинамические скважины, \*\* – минеральные источники.

присутствие приливных колебаний, что является показателем реакции системы «скважина–пласт» на изменение объёмной деформации.

Скважина № 3 пробурена в Ереванском тектоническом блоке. Она находится вблизи

разрывного нарушения северо-восточного простирания и проходит по диагонали отмеченного тектонического блока. Наблюдается сезонный ход по уровню воды в скважине. Амплитуда колебания уровня вод – 92 см,

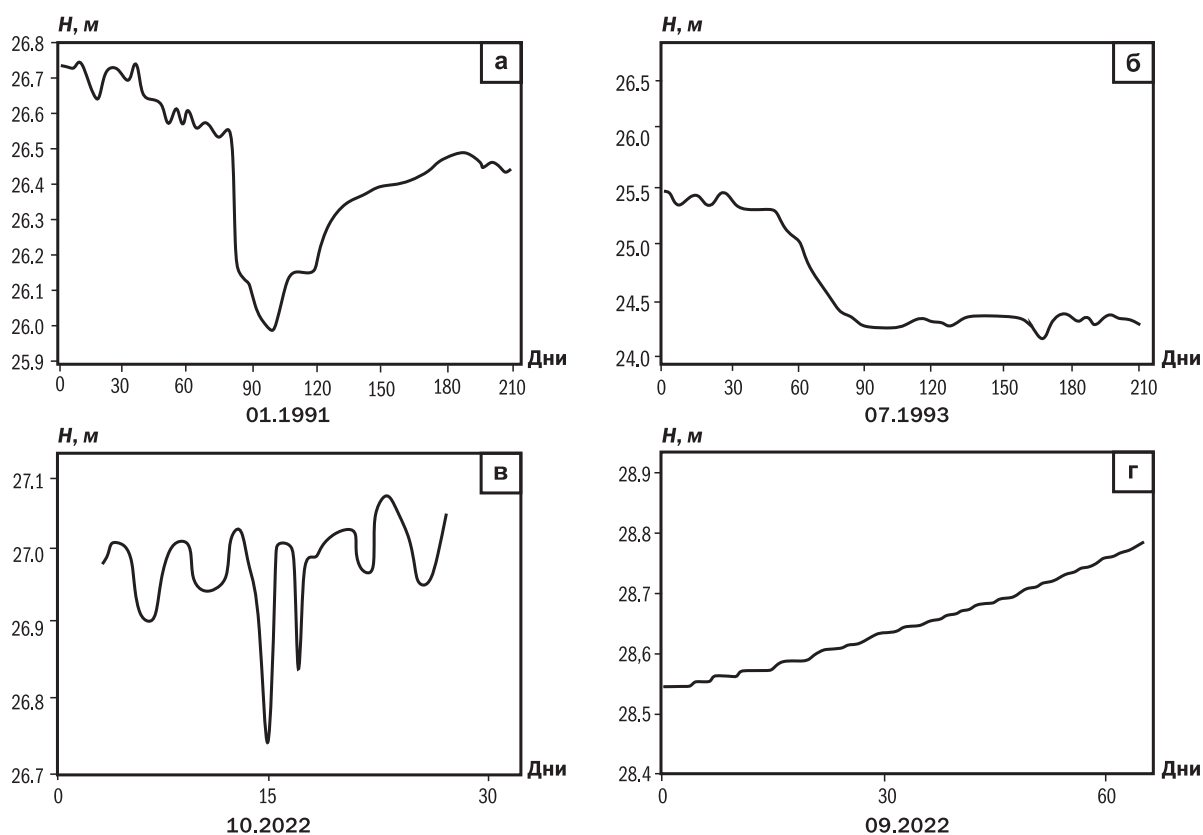
что объясняется большими размерами бассейна подземных вод.

Скважина № 22 пробурена в Вайском тектоническом блоке. Сезонные колебания уровня воды в скважине нарушены сильными скачкообразными аномалиями, что, очевидно, можно объяснить тектоническими подвижками на границе блоков Цахкунк-Зангезурской зоны. Наблюдалось повышение уровня воды в скважине на 1 м в 1995 и 2004 гг. Гидрогеодинамические эффекты колебания уровня в данной скважине фиксировались перед землетрясениями с  $M \geq 2.5$ , длительность эффекта – 0.5÷1.0 месяца, форма эффекта – бухта.

Пилообразный характер изменения уровня воды в скв. № 21 отражает активность геодинамических процессов земной коры Ереванского тектонического блока [Григорян и др., 2015].

Анализ данных гидрогеодинамических наблюдений позволил выделить краткосрочные (до 10 суток) вариации уровня подземных вод, вероятно, связанные с геодинамическими процессами. Из общего количества приведённых в работе скважин краткосрочные вариации

уровня отмечены в скважинах № 22, 18, 3. Эти скважины расположены в активных тектонических блоках земной коры – Вайском, Апаран-Анкаванском и Ереванском. Известны возможные причины выделенных краткосрочных вариаций уровня подземных вод, среди которых основное место занимают метеорологические (инfiltrация атмосферных осадков, атмосферное давление), лунно-солнечные приливы, а также техногенные причины. ГГД-скважины в разной степени испытывают влияние инfiltrации осадков, исходя из мест расположения скважин относительно области питания. Помимо этого, вариации уровня инfiltrационных подземных вод обычно более продолжительные, чем выделенные краткосрочные эффекты. Были исключены отдельные вариации уровня, имеющие барометрическое происхождение, и в некоторых случаях – поправки за лунно-солнечные приливы. Некоторые примеры краткосрочных эффектов и пилообразные изменения уровня вод в гидрогеодинамических скважинах № 18 и 22 приводятся на рис. 2.



**Рис. 2.** Характерные примеры краткосрочных вариаций уровня подземных вод:  
а – бухтообразная кривая, скв. № 18; б – ступенчатое снижение, скв. № 18;  
в – импульсное изменение, скв. № 3; г – пилообразное изменение, скв. № 21

По форме сигнала среди вариаций уровня подземных вод преобладают ступенчатое падение и подъём уровня. Продолжительность эффектов – не более пяти суток. В основном краткосрочные гидрогеодинамические эффекты имеют амплитуду до 0.2–0.8 м. Величина изменения амплитуды вариаций уровня зависит от расположения скважины относительно разлома и тензочувствительности системы «скважина–пласт». Всё это обусловлено неравномерным распределением деформации в среде. Рассматриваемые эффекты выделялись на фоне более длительных вариаций УПВ. Такие вариации, возможно, отражают длиннопериодные изменения напряжённо-деформированного состояния среды, соответствующие сжатию или разуплотнению пород. Число эффектов, выделенных на фоне тренда по уровню вод в скважинах № 18, 21, 3 (рис. 2), принимает форму ступенчатого подъёма или снижения уровня. Таким образом, на фоне медленного развития процессов, приводящих к сжатию или разуплотнению пород в разломной зоне, преобладают быстрые кратковременные движения, которые ускоряют эти процессы. Таким образом, использование МГГД при мониторинге геодинамических процессов даёт возможность следить за быстрыми движениями.

Импульсные вариации уровня скважины № 3 имеют знак, противоположный знаку тренда. Поэтому возможно полагать, что импульсные подвижки слабо связаны с медленными деформационными процессами. При импульсных вариациях быстрое восстановление уровня воды можно объяснить тем, что такого рода вариации являются откликом на кратковременные подвижки разломной зоны. Пилообразные колебания уровня воды в скв. № 21 – естественный режим подземных вод. На структуру колебаний оказывают влияние изменения напряжённо-деформированного состояния земной коры [Киссин, 2009].

На следующем этапе исследования определялась связь краткосрочных вариаций и пилообразных колебаний подземных вод с сейсмическими событиями и проводилось сопоставление времени проявлений рассматриваемых эффектов и землетрясений. В большинстве изученных случаев гидрогеологические краткосрочные эффекты были зарегистрированы в течение 20 суток перед землетрясениями с  $M \geq 3.0$ . Нами также отмечено, что краткосрочные эффекты, зарегистрированные перед землетрясениями, имеют амплитуды на 0.1 м выше, чем краткосрочные эффекты, не связанные с землетрясениями

[Пашаян, Туманян, 1997]. Выявлено, что за восемь суток до землетрясения 13 января 2021 г. с  $M=4.9$ , которое произошло на эпицентральной расстоянии 14.5 км от скв. № 21, период пилообразных колебаний увеличился почти в два раза по сравнению с предыдущим замером. После землетрясения период колебаний стал близок к фоновым значениям, из чего следует, что пилообразные колебания уровня воды подвержены тем же силам, которые вызывают землетрясения. Таким образом, по характеру вариаций уровня подземных вод в зоне ГР выделены участки с высокой степенью подвижности и участки с кратковременными подвижками.

**Гидрогеохимические наблюдения.** Характерной особенностью минеральных вод Армении является большое содержание углекислого газа, а для вод зон разломов глубинного заложения преобладает в химическом составе гидрокарбонат натрия. Метод гидрогеохимического (ГГХ) мониторинга внедрён нами с 1998 года. Наблюдательная сеть мониторинга включает четыре минеральных источника («Бжни», «Арзни», «Веди» и «Суренаван») в центральной части Армении. Мониторинговые наблюдения и сбор данных проводятся в лаборатории Института геофизики и инженерной сейсмологии Национальной академии наук Республики Армения (ИГИС НАН РА). Ежемесячно отбираются пробы воды из источников, измеряется температура воды. Химический анализ проб воды проводится в лаборатории Института общей и неорганической химии НАН РА. Сопоставление мониторинговых ГГХ-наблюдений с сейсмичностью способствует выявлению среднесрочных предвестников аномальных явлений, которые предшествуют землетрясениям, и изучению геодинамических процессов и напряжённого состояния земной коры во времени. При этом изменяется величина деформации земной коры и химический состав [Хаткевич, Рябинин, 2006].

Для выделения гидрогеохимических эффектов (ГГХЭ) землетрясений в процессе обработки исключались вариации различных показателей химического состава вод, не связанные с сейсмической активностью. Определялись фоновые изменения химических и газовых компонентов минеральных вод. Аномалии, выходящие за пределы интервалов фоновых концентраций, сопоставлялись с сейсмичностью. Проводилась статистическая обработка временных рядов гидрогеохимических элементов: определение среднего значения фоновых концентраций химических элементов; среднее квадратичное отклонение от фоновых значений; взаимная корреляция.

### Геологическая характеристика месторождений минеральных источников

Месторождение минеральных вод «Веди» приурочено к зоне тектонического нарушения, пересекающего верхнемеловые отложения близмеридианального направления. В динамике минеральных вод месторождения большую роль играет смешивание с грунтовыми водами, что приводит к изменению общей минерализации в вертикальном разрезе.

Месторождение «Сурунаван» находится в пределах Приараксинской зоны.

Месторождение «Бжни» расположено в ядре Арзаканской складки, сложенной метаморфическими сланцами, прерванными гранитами. В пределах месторождения ядро складки разорвано крупным тектоническим нарушением постэоценового возраста – Разданским.

Месторождение минеральных вод «Арзни» приурочено к средней части Разданской впадины тектонического происхождения [Гидрогеология ..., 1968].

### Полученные результаты

Исходя из результатов анализа сейсмичности территории Армении, выявлена повышенная сейсмическая активность зоны ГР. Изучалось пространственно-временное развитие сейсмогеодинамических процессов вдоль активного ГР.

Рассматривались данные каталога сейсмических событий за 2004–2024 гг. для выборки землетрясений, имевших место в зоне разлома (табл. 2). В направлении с севера на юг глубинный ГР пересекает тектонические блоки Спитакский, Апаран-Анкаванский, Ереванский и Вайский. По активным геодинамическим процессам земной коры перечисленных тектонических блоков выявлена современная геодинамика отдельных сегментов ГР, поскольку известно, что блоки являются основными концентратами тектонических напряжений в земной коре, в то время как разломы являются местами их разгрузки.

**Таблица 2.** Землетрясения, произошедшие в зоне Гарнийского разлома за 2004–2024 гг. с  $M > 3.0$

Дата землетрясения, дд.мм.гггг	Координаты условных точек Гарнийского разлома		Координаты очага землетрясения		Эпицентральное расстояние до Гарнийского разлома (км)	Магнитуда $M$	Безразмерная величина деформация объёмная $D$
	φ, °N	λ, °E	φ, °N	λ, °E			
19.06.2004	39.90	45.00	39.80	44.92	14.2	3.2	$3.36 \cdot 10^{-8}$
18.04.2008	40.10	44.80	40.07	44.80	3.3	3.3	$3.48 \cdot 10^{-6}$
18.06.2009	40.20	44.72	40.23	44.82	11.6	3.8	$3.44 \cdot 10^{-7}$
17.01.2010	40.30	44.70	40.27	44.73	4.7	3.2	$9.25 \cdot 10^{-7}$
16.09.2010	39.60	45.21	39.62	45.20	2.5	3.3	$8.40 \cdot 10^{-6}$
14.10.2011	40.30	44.70	40.30	44.80	8.5	3.6	$5.00 \cdot 10^{-7}$
24.06.2013	40.85	44.30	40.77	44.20	14.2	3.0	$1.90 \cdot 10^{-8}$
06.07.2014	40.80	44.39	40.78	44.37	3.1	3.0	$1.76 \cdot 10^{-6}$
07.07.2014	40.80	44.44	40.75	44.47	6.5	3.0	$2.01 \cdot 10^{-7}$
31.12.2014	40.80	44.39	40.75	44.33	8.7	3.2	$1.48 \cdot 10^{-7}$
25.02.2018	39.80	45.10	39.80	45.08	2.2	3.2	$8.83 \cdot 10^{-6}$
25.02.2018	39.80	45.10	39.80	45.16	6.7	3.2	$3.27 \cdot 10^{-7}$
06.06.2018	40.90	44.22	40.92	44.28	7.0	3.0	$1.58 \cdot 10^{-7}$
06.06.2018	40.90	44.22	40.90	44.27	5.6	4.4	$1.73 \cdot 10^{-5}$
19.01.2020	40.90	44.22	41.01	44.22	12.2	3.2	$5.30 \cdot 10^{-8}$
26.08.2021	39.90	45.00	40.12	45.03	24.6	3.1	$4.85 \cdot 10^{-9}$
18.09.2022	40.85	44.30	40.81	44.31	4.6	3.0	$5.69 \cdot 10^{-7}$
06.02.2023*	39.80	45.10	37.17	37.08	937	7.8	$5.88 \cdot 10^{-8}$
<b>06.02.2023*</b>	<b>39.70</b>	<b>45.20</b>	<b>37.17</b>	<b>37.08</b>	<b>944</b>	<b>7.8</b>	<b><math>5.74 \cdot 10^{-8}</math></b>
26.03.2023	40.85	44.30	40.85	44.32	2.2	3.0	$4.99 \cdot 10^{-7}$
23.04.2024	40.70	44.43	40.68	44.47	5.0	3.0	$4.46 \cdot 10^{-7}$
08.03.2025	40.12	44.80	40.93	44.27	6.0	5.2	$1.07 \cdot 10^{-4}$
12.03.2025	40.12	44.80	40.13	44.59	23.0	2.9	$3.23 \cdot 10^{-9}$

Примечание: \* – турецкое землетрясение 2023 г.

Согласно составленной карте (рис. 3), распределение эпицентров произошедших землетрясений по секторам ГР неравномерно. Таким образом, в северном секторе разлома землетрясения произошло больше, чем на среднем и южном секторах разлома. В табл. 2 приведены координаты этих землетрясений, магнитуда, эпицентральное расстояние и значения объёмной деформации, включая сильнейшее турецкое землетрясение 6 февраля 2023 г. с  $M=7.8$  (выделено полужирным начертанием), произошедшее на расстоянии 944 км от Гарнийской зоны разлома в юго-восточном направлении [Геодакян и др., 2023]. По значениям деформации – от  $10^{-8}$  до  $10^{-5}$  (табл. 2) – напряжение в северном секторе разлома выше, чем в среднем и южном секторах разлома, где величина деформации от  $10^{-9}$  до  $10^{-6}$ . Отсутствие напряжения наблюдалось в Апаран-Анкаванском тектоническом блоке, по которому проходит средняя часть ГР. Далее следует отметить повышенную геодинамическую активность северного, центрального и южного сегментов ГР.

Зависимость числа землетрясений от значений энергетического класса, рассмотренных

в разломной зоне ГР за исследуемый интервал времени, показана на графике повторяемости землетрясений (рис. 4), который построен по уравнению:

$$\lg N = a - \gamma \cdot K,$$

где  $a$  и  $\gamma$  – постоянные коэффициенты, соответствующие региону;  $a$  – сейсмичность,  $\gamma$  – угол наклона графика [Рихтер, 1963]. Все энергетические классы  $K$  пересчитаны из магнитуд  $M$  по формуле [Раутиан, 1960]:

$$K = 1.8 \cdot M + 4.$$

Численные значения коэффициентов –  $a=5.7$ ,  $\gamma=0.4$ , из чего следует, что угол наклона графика занижен по отношению к среднему значению по региону –  $\gamma=0.5$  [Абгарян и др., 2024]. График повторяемости землетрясений (рис. 4) отражает сейсмическую активность зоны разлома, а также предполагает, что используемая выборка землетрясений представительна для землетрясений от 8.0 до 12.5.

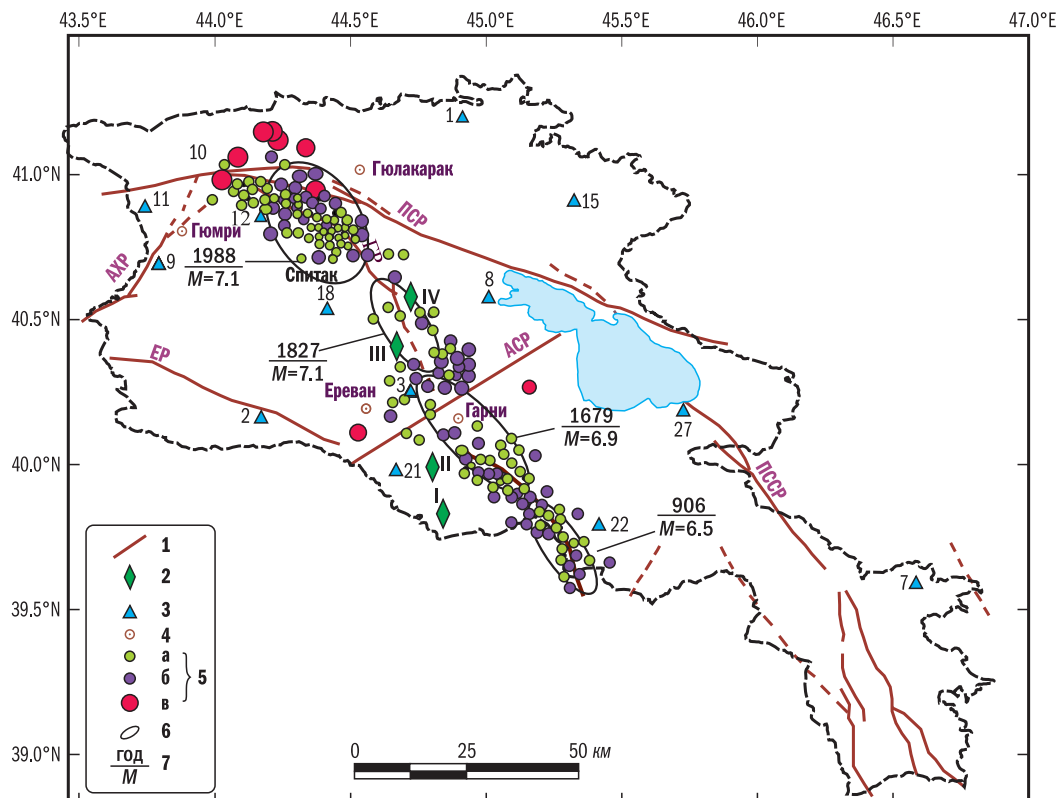
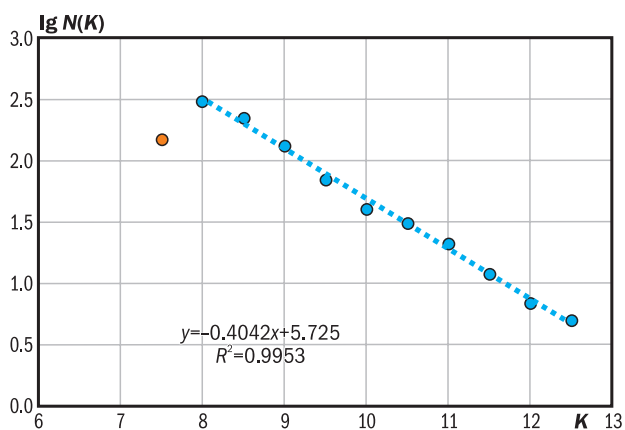


Рис. 3. Карта распределения эпицентров землетрясений, произошедших в зоне ( $R=50$  км) ГР за 2004–2024 гг.

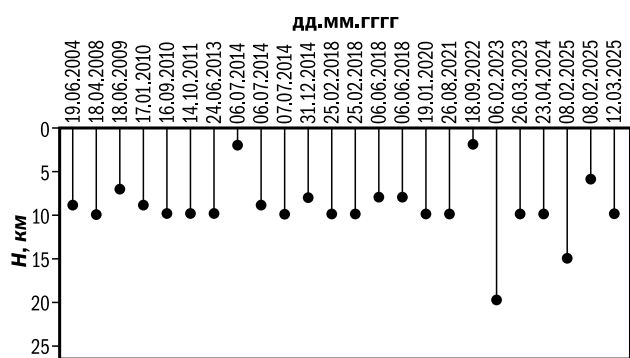
1 – глубинные разломы (ЕР, ГР, АСР, ПСР, ПССР, АХР); 2 – минеральные источники; 3 – гидрогеодинамические скважины; 4 – города; 5 – землетрясения: а –  $M < 2.0$ , б –  $2.0 \leq M < 4.0$ , в –  $M \geq 4.0$ ; 6 – сегмент ГР; 7 – историческая сейсмичность приводится по работе [Karakhanian et al., 2004]



**Рис. 4.** График повторяемости землетрясений, произошедших в зоне ГР.

*N* – количество произошедших землетрясений,  
*K* – энергетический класс землетрясений

Построен график распределения очагов землетрясений по глубинам в зоне ГР (рис. 5). Доминирующая глубина очагов землетрясений – 10 км, что, возможно, соответствует сейсмоактивным слоям земной коры Гарнийской разломной зоны до глубины 10 км [Wang et al., 2024].



**Рис. 5.** График распределения по глубине гипоцентров землетрясений в зоне ГР

Карта сейсмичности с нанесением слабых землетрясений с  $M < 2.0$  (рис. 3) отражает наибольшее скопление их на границе второго и третьего сегмента, в третьем сегменте и на границе четвертого сегмента ГР. В настоящее время они интерпретируются в качестве показателей крипа, создающих медленные подвижки по разлому [Kocharyan, Shatunov, 2024]. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии подвижек по активному глубинному ГР.

Для выделения зон наращивания напряжений в зоне ГР была составлена карта ГГД-поля земной коры (рис. 6). Карта построена по дан-

ными изменения УПВ скважин, расположенных в радиусе 50 км от разлома (табл. 1) изучаемой территории. Далее полученный материал обрабатывался по методике ГГД-поля [Вартанян, Куликов, 1982]. Элементарными ячейками этого поля являются коротко живущие структуры деформации. Поле характеризует напряжённое состояние недр, при этом величина вариации во времени гидрогеодинамических аномалий служит мерой изменения проницаемости породы, мерой её деформации.

Карта ГГД-поля земной коры зоны Гарнийского разлома (рис. 6) отражает деформацию (сжатия) северного сегмента ГР, при этом значение деформаций составило от  $10^{-7}$  до  $10^{-6}$ . Между вторым и третьим сегментами разлома наблюдается объёмная деформация сжатия с численным значением от  $10^{-6}$  до  $10^{-8}$ , вызванная повышенной динамикой Ереванского тектонического разлома. Вайский тектонический блок примыкает к четвёртому сегменту ГР.

Графики на рис. 7 отражают флуктуации УПВ в скважинах, расположенных в зоне ГР (табл. 1), в сопоставлении с величинами объёмной деформации перед землетрясениями [Копылова и др., 2020].

Продолжительные малоамплитудные изменения уровня воды в скв. № 12 являются показателем активности Спитакского тектонического блока. Резкий скачок колебания уровня воды на графике произошёл перед землетрясением 8 марта 2025 г. с  $M=5.2$  на эпицентральной расстоянии 13 км от скважины. Очаг данного землетрясения тяготеет к ГР и находится на расстоянии 6 км от него. Наблюдается тренд на повышение УПВ в скважинах № 18, 3, 21, что является отражением длиннопериодного изменения напряжённо-деформированного состояния, соответствующего деформации земной коры Ереванского тектонического блока. Скачкообразные изменения уровня вод в скв. № 22, возможно, отражают наличие тектонических подвижек на границе Ереванского и Вайского блоков.

Параллельно с графиками изменения динамики вод в скважинах на рис. 7б показаны графики вариации величины минерализации в источниках. При этом на графиках изменения величины минерализации вод «Бжни», «Веди» и «Суренаван» наблюдается тренд на её понижение, приводящий к сжатию водонасыщенных пород. Эти процессы происходят при изменении напряжённо-деформированного состояния земной коры и развитии упругих деформаций пород [Киссин, 2009; Челидзе, Мачарашвили, 2003].

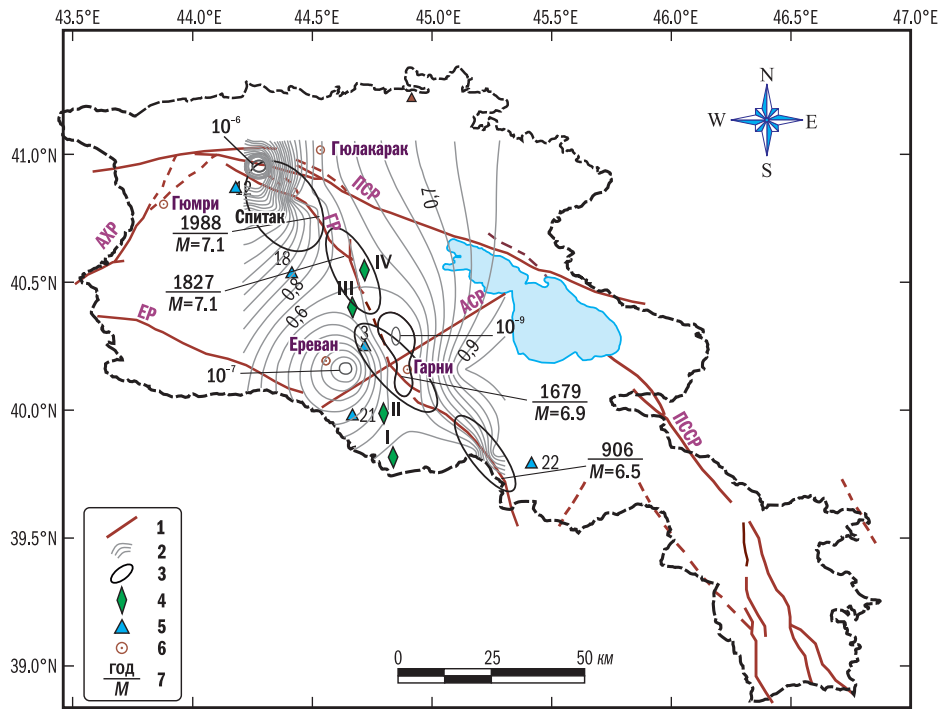


Рис. 6. Карта ГГД-поля земной коры зоны ГР за 2004–2024 гг.

1 – глубинные разломы (ЕР, ГР, АСР, ПСР, ПССР, АХР); 2 – изолинии деформаций; 3 – сегмент ГР; 4 – минеральные источники; 5 – гидрогеодинамические скважины; 6 – города; 7 – исторические землетрясения

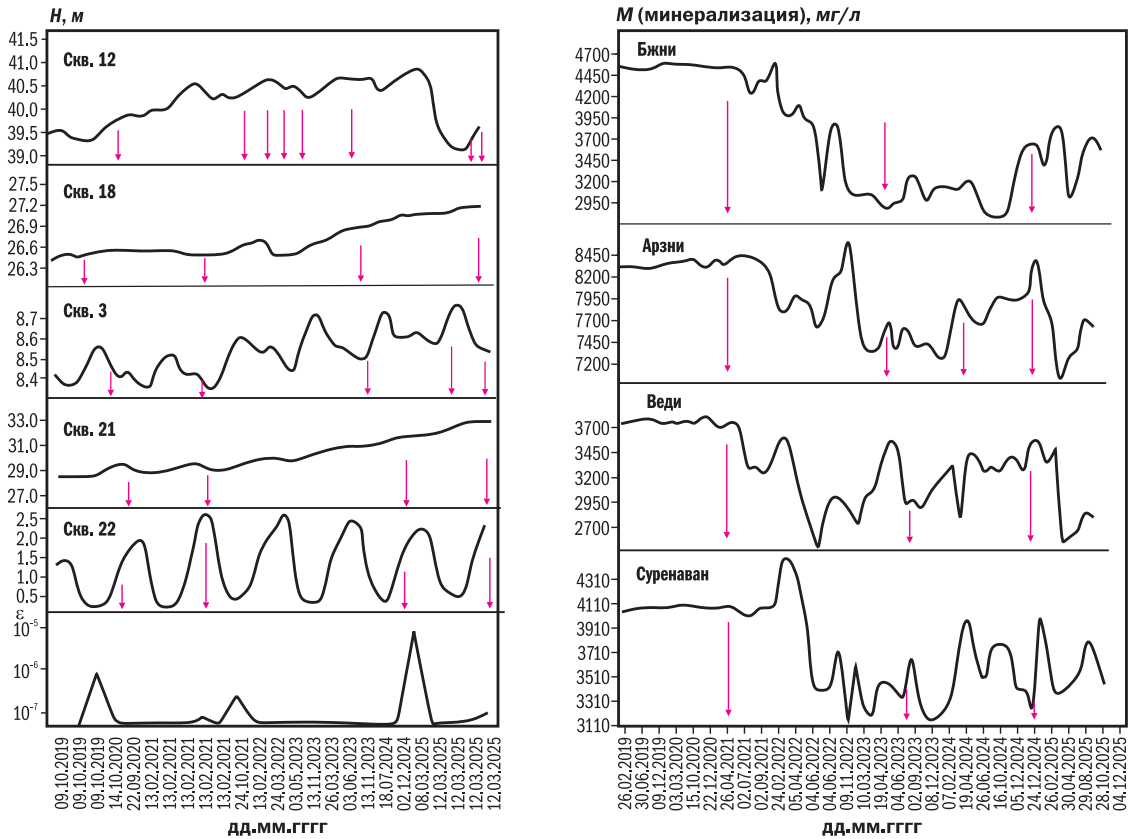


Рис. 7. Вариации уровня вод в гидрогеодинамических скважинах (а) и величины параметра общей минерализации источников (б).

Стрелками указаны землетрясения, произошедшие за последние пять лет, параметры которых приводятся в табл. 3

**Таблица 3.** Параметры землетрясений и величины расчётной деформации, которые повлияли на динамику УПВ в скважинах и на изменение минерализации вод источников

Дата землетрясения, дд.мм.гггг	Параметры очага землетрясения			Эпицентрально- ное расстояние, км	Деформа- ция <i>D</i>	
	Координаты		Магнитуда <i>M</i>			Глубина <i>h</i> , км
	φ, °N	λ, °E				
Скв. № 12 (40.85°N, 44.18°E)						
24.10.2021	41.12	43.97	3.9	10	38	1.30·10 <sup>-8</sup>
13.02.2022	41.14	43.99	5.4	10	39	2.01·10 <sup>-7</sup>
24.03.2022	41.11	43.92	3.6	10	40	4.45·10 <sup>-9</sup>
11.07.2022	41.17	43.95	4.4	14	44	3.54·10 <sup>-8</sup>
26.03.2023	40.85	44.32	3.0	10	15	1.45·10 <sup>-8</sup>
02.12.2024	41.06	44.27	3.4	10	25	1.05·10 <sup>-8</sup>
08.03.2025	40.93	44.27	5.2	15	13	1.22·10 <sup>-5</sup>
Скв. № 18 (40.55°N, 44.93°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	55	7.34·10 <sup>-8</sup>
03.05.2023	40.18	44.59	3.0	10	21	4.22·10 <sup>-9</sup>
12.03.2025	40.13	44.59	4.0	10	56	5.45·10 <sup>-9</sup>
Скв. № 3 (40.20°N, 44.63°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	25	7.61·10 <sup>-7</sup>
03.05.2023	40.18	44.51	3.0	10	13	1.67·10 <sup>-8</sup>
18.07.2024	40.04	44.46	3.4	5	26	9.82·10 <sup>-9</sup>
12.03.2025	40.13	44.59	4.0	10	9	1.32·10 <sup>-6</sup>
Скв. № 21 (39.95°N, 44.60°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	14	4.07·10 <sup>-6</sup>
13.11.2023	39.48	44.62	4.3	10	52	1.56·10 <sup>-8</sup>
12.03.2025	40.18	44.59	4.0	10	26	5.67·10 <sup>-8</sup>
Скв. № 22 (39.76°N, 45.30°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	39	2.04·10 <sup>-7</sup>
13.11.2023	39.48	44.62	4.3	10	81	4.09·10 <sup>-9</sup>
12.03.2025	40.18	44.59	4.0	10	92	1.23·10 <sup>-9</sup>
«Бжни» (40.50°N, 44.65°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	57	6.96·10 <sup>-8</sup>
03.05.2023	40.18	44.59	3.0	10	39	1.16·10 <sup>-9</sup>
12.03.2025	40.18	44.59	4.0	10	19	1.40·10 <sup>-7</sup>
«Арзни» (40.35°N, 44.60°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	38	2.14·10 <sup>-7</sup>
03.05.2023	40.18	44.51	3.0	10	21	5.61·10 <sup>-9</sup>
18.07.2024	40.04	44.46	3.4	5	38	1.17·10 <sup>-9</sup>
12.03.2025	40.13	44.59	4.0	10	24	6.48·10 <sup>-8</sup>
«Веди» (39.93°N, 44.73°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	28	5.36·10 <sup>-7</sup>
13.11.2023	39.48	44.62	4.3	10	51	1.64·10 <sup>-8</sup>
12.03.2025	40.18	44.59	4.0	10	32	2.94·10 <sup>-8</sup>
«Суренаван» (39.78°N, 44.75°E)						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	39	2.04·10 <sup>-7</sup>
13.11.2023	39.48	44.62	4.3	10	36	4.66·10 <sup>-8</sup>
12.03.2025	40.18	44.59	4.0	10	48	8.65·10 <sup>-9</sup>

### Заключение

Анализ гидрогеологической информации, полученной при исследовании современной геодинамики ГР, позволяет определять характер вариаций УПВ в наблюдательных скважинах. В качестве индикаторов активизации зон глубинных разломов выявлены гидрогеологические показатели по форме краткосрочных и пилообразных изменений.

Анализ данных химического состава минеральных вод разломной зоны позволяет выявлять импульсный характер изменения параметров вод, при этом, учитывая высокую тензочувствительность разломных зон выхода минеральных вод Армении, следует считать их показателями напряжённо-деформированного состояния земной коры разломной зоны Гарни.

### Выводы

Определён уровень сейсмической активности по составленной карте эпицентров землетрясений. Глубина сейсмоактивного слоя зоны ГР составляет 10 км.

Оценка данных гидрогеодинамических наблюдений позволила выделить краткосрочные гидрогеологические эффекты, которые являются индикаторами геодинамических процессов. Определена связь краткосрочных вариаций и пилообразных колебаний подземных вод с сейсмическими событиями, проведено сопоставление времени проявлений рассматриваемых эффектов и землетрясений.

По характеру вариаций уровня подземных вод и колебаниям химического состава минеральных вод в зоне ГР выделены участки с высокой степенью подвижности и участки с кратковременными подвижками.

Дана оценка современной геодинамической активности ГР по сегментам. Выделен северный сегмент разлома в качестве сейсмогенерирующего участка, в котором накапливаемые тектонические напряжения реализуются через сильные землетрясения. Два южных сегмента относятся к сейсмоактивным участкам разлома, где происходят активные деформационные процессы, связанные с подготовкой землетрясений. Часть разлома между северным и южными сегментами характеризуется слабой сейсмической активностью.

Определена взаимосвязь геодинамических процессов сеймотектонических блоков: Спитакский, Апаран-Анкаванский, Ереванский и Вайский с зоной ГР.

По данным изменения УПВ на сети скважин территории Армении составлена карта напряжённо-деформированного состояния земной коры зоны ГР.

Карта ГГД-поля зоны ГР отражает наращивание напряжённости в виде структуры деформации (сжатия) на северном секторе (Спитакский блок) и на границе второго и третьего секторов разлома. Проявление напряжённости вызвано повышенной динамикой Ереванского тектонического блока.

### Литература

Абгарян Г.Р., Саргсян Г.В., Геворгян А.А., Петрова Н.В. Сейсмичность Армении и прилегающих территорий в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 60–68. – DOI: 10.35540/1818-6254.2024.27.05. – EDN: DGRSUO

Будков А.М., Кочарян Г.Г. Формирование зоны нарушенного материала в окрестности динамического сдвига по разлому в кристаллическом массиве горных пород // Физическая мезомеханика. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 102–116. – DOI: 10.55652/1683-805X\_2024\_27\_1\_102-116. – EDN: BCBIKQ

Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // Доклады Академии наук СССР. – 1982. – Т. 262, № 2. – С. 310–314.

Геодакян Э.Г., Карапетян Д.К., Заалишвили В.Б., Саакян Б.В., Оганесян С.М., Мкртчян М.А., Мкртчян Г.А. Региональная сеймотектоника очаговых зон восточно-турецких землетрясений 06 февраля 2023 г. и геодинамическая модель очага сильнейшего землетрясения ( $M_w=7.8$ ) // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 42–55. – DOI: 10.46698/VNC.2023.57.90.004. – EDN: PUXDJA

Гидрогеология СССР. Т. XI. Армянская ССР. – М.: Недра, 1968. – 351 с.

Григорян С.В., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В. Гидрогеодинамические и гидрогеохимические предвестники землетрясений на территории Армении // Доклады НАН РА. – 2015. – Т. 115, № 1. – С. 50–58.

Гусев А.П. Индикаторы активных разломов (на примере Гомельской структурной переемычки) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 1. – С. 35–44. – DOI: 10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44. – EDN: ERCDKG

Казарян К.С., Саргсян Р.С. Общие закономерности сейсмической активности Северной Армении в связи с блоковым строением и тектонической активностью территории // Геодинамика и тектоно-

физика. — 2022. — Т. 11, № 3. — С. 595–605. — DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0493. — EDN: QRPJHI

*Караханян А.С.* Активные разломы и сильные землетрясения Анатолийско-Малокавказского орогена: автореферат дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. — М.: ОИФЗ РАН, 1995. — 45 с.

*Киссин И.Г.* Гидрогеологический мониторинг земной коры // Физика Земли. — 1993. — № 8. — С. 58–69.

*Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. — М.: Наука, 2009. — 328 с. — EDN: QKIMFN

*Копылова Г.Н., Юсупов Ш.С., Серафимова Ю.К., Шин Л.Ю., Болдина С.В.* Гидрогеохимические предвестники землетрясений (на примере районов полуострова Камчатка, Россия, и Республики Узбекистан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2020. — № 4 (вып. 48). — С. 5–20. — DOI: 10.31431/1816-5524-2020-4-48-5-20. — EDN: TAMPSE

*Кочарян Г.Г.* От землетрясения — к крипу: единство противоположностей // Динамические процессы в геосфере. — 2015. — № 7. — С. 10–15. — EDN: XDTVET

*Пашаян Р.А.* Гидрогеодинамические предвестники землетрясений и оценка информативности наблюдательной сети Армении // Научная конференция, посвящённая памяти к.г.-м.н. А.Г. Бабаджаняна. Сборник научных трудов. — Гюмри, 1999. — С. 230–238.

*Пашаян Р.А.* Исследование режима подземных вод для выделения геодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям // Доклады НАН РА. — 1995. — Т. 95, № 3. — С. 171–173.

*Пашаян Р.А., Карапетян Д.К., Арутюнян Л.В., Маргарян С.С., Геворкян А.А., Карамян Р.А., Товмасын К.Г.* Сейсмотектоническая активность очаговых зон землетрясений Северной и Центральной Армении за период 2019–2023 гг. // Российский сейсмологический журнал. — 2024. — Т. 6, № 1. — С. 65–79. — DOI: 10.35540/2686-7907.2024.1.04. — EDN: MCFXUI

*Пашаян Р.А., Карапетян Д.К., Арутюнян Л.В., Товмасын К.Г.* Геодинамика очаговых зон сильных землетрясений Армении // Российский сейсмологический журнал. — 2023. — Т. 5, № 1. — С. 75–88. — DOI: 10.35540/2686-7907.2023.1.05. — EDN: JGRQUQ

*Пашаян Р.А., Туманян Г.А.* Краткосрочные гидрогеологические эффекты, связанные с современными движениями земной коры на территории Республики Армения // Известия НАН РА. Науки о Земле. — 1997. — Т. 50, № 1-2. — С. 74–80.

*Пашаян Р.А., Туманян А.А.* Проявления периодичности в геодинамических процессах земной коры

региона Армении по данным гидрогеодинамических скважин // Современные задачи геофизики и инженерной сейсмологии. Сборник научных трудов конференции, посвящённой 50-летию основания Института геофизики и инженерной сейсмологии им. академика А. Назарова НАН РА. — Гюмри: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2011. — С. 166–181.

*Раутиан Т.Г.* Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР, № 9(176)). — М.: ИФЗ АН СССР, 1960. — С. 75–114.

*Рихтер Ч.Ф.* Элементарная сейсмология. — М.: Иностранная литература, 1963. — 334 с.

*Саргсян Р.С., Казарян К.С., Бурмин В.Ю.* Сейсмотектоника Армении: основные проблемы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2021. — Т. 66, № 3. — С. 616–633. — DOI: 10.21638/spbu07.2021.310. — EDN: OXGCXO

*Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В.* Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. — 2006. — № 4. — С. 34–42. — EDN: HVKXCL

*Челидзе Т.Л., Мачарашвили Т.И.* Анализ сложности природных объектов и процессов — вызов геофизике XXI века // Проблемы геофизики XXI века. Кн. 1. — М.: Наука, 2003. — С. 142–159. — EDN: QKDXBB

*Karakhanyan A.S.* Active faults of Armenian upland // Proceedings of Scientific Meeting on the Seismic Protection, 12–13 July, 1993, Venice. — Venice, 1993. — P. 88–93.

*Karakhanyan A.S., Trifonov V.G., Philip H., Avagan A., Hessami Kh., Jamali F., Bayraktutan M.S., Bagdassarian H., Arakelian S., Davtian V., Adilkhanyan A.* Active faulting and natural hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-Western Iran // Tectonophysics. — 2004. — V. 380, N. 3–4. — P. 189–219. — DOI: 10.1016/j.tecto.2003.09.020

*Kocharyan G.G., Shatunov I.V.* Topical issues in hydrogeology of seismogenic fault zones // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2024. — V. 60, N 4. — P. 681–703. — DOI: 10.1134/S1069351324700575. — EDN: AGLIVG

*Trifonov V.G., Kozhurin A.I.* Study of active faults: Theoretical and applied implications // Geotectonics. — 2010. — V. 44, N 6. — P. 510–528. — DOI: 10.1134/S0016852110060051. — EDN: OHNTNX

*Um J., Thurber C.* A fast algorithm for two-point seismic ray tracing // Bulletin of the Seismological Society of America. — 1987. — V. 77, N. 3. — P. 972–986. — DOI: 10.1785/BSSA0770030972

Wang M., Wei Z., Long F., Chen H., Li S. Fault geometry and kinematics at the intersection of the Zemuhe, Daliangshan and Xiaojiang faults // *Frontiers in Earth Science*. – 2024. – V. 12. – 1433148. – DOI: 10.3389/feart.2024.1433148

### Сведения об авторах

**Пашаян Ромела Артаваздовна**, канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. Института геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения (ИГИС НАН РА), г. Ереван, Республика Армения. E-mail: romellapashayan@sci.am

**Карапетян Джон Костикович**, канд. геол. наук, директор ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения. E-mail: jon\_iges@mail.ru

**Арутюнян Левон Варганович**, канд. геол. наук, зав. лаб. Института общей и неорганической химии имени М.Г. Манвеляна Национальной академии наук Республики Армения (ИОНХ НАН РА), г. Ереван, Республика Армения. E-mail: levonharutyunyan35@mail.ru

**Мкртчян Гоарик Артаваздовна**, канд. геол. наук, уч. секретарь ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения. E-mail: mgoar56@mail.ru

**Товмасын Кристина Гагиковна**, ст. инженер ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения. E-mail: kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

## Contemporary geodynamics of the Garni deep fault in Armenia

© 2026 R.A. Pashayan<sup>1</sup>, J.K. Karapetyan<sup>1</sup>, L.V. Harutyunyan<sup>2</sup>, G.A. Mkrtchyan<sup>1</sup>,  
K.G. Tovmasyan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia; <sup>2</sup>IGIC NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia

Received February 24, 2026

**Abstract** Based on the results of hydrogeodynamic and hydrogeochemical observations, an assessment of changes in the stress-strain state of the earth's crust in Armenia was made in time and space. An analysis of the seismic regime of the Garni fault (GF) and the entire territory of Armenia was conducted. The depth of the seismically active layer of the earth's crust was determined based on the distribution of earthquake hypocenters over the studied period and amounted to 10 km. Graphs of water level variations in hydrogeodynamic wells in connection with seismic events and crustal deformation in Armenia were obtained. A map of the hydrogeodeformation field of the earth's crust in Armenia was compiled. The seismotectonic activity of the GF by segments was identified. Weak earthquakes constituting the geodynamic background of the GF zone were identified. When studying the geodynamics of this zone using a combination of methods, the stress of tectonic crustal blocks adjacent to the GF was taken into account. The distribution of seismicity along the conventionally marked fault segments indicates its unevenness. By comparing the obtained information with the stress measurements of each adjacent tectonic crustal block, it becomes possible to identify areas of increased geodynamic activity on the fault.

**Keywords** Geodynamics, fault, Earth's crust, seismotectonics, well, earthquake, deformation, stress, seismicity, segment, tectonic block.

**For citation** Pashayan, R.A., Karapetyan, J.K., Harutyunyan, L.V., Mkrtchyan, G.A., & Tovmasyan, K.G. (2026). [Contemporary geodynamics of the Garni deep fault in Armenia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 8(2), 63-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.2.05>. EDN: NEUQTE

### References

- Abgaryan, G.R., Sargsyan, G.V., Gevorgyan, A.A., & Petrova, N.V. (2024). [Seismicity of Armenia and adjacent territories in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 27(2020), 60-68. (In Russ.). DOI: [10.35540/1818-6254.2024.27.05](https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.05). EDN: DGRSUO
- Budkov, A.M., & Kocharyan, G.G. (2024). [Formation of the near-fault damage zone during dynamic rupture in a crystalline rock mass]. *Fizicheskaiia mezomekhanika* [Physical Mesomechanics], 27(1), 102-116. (In Russ.). DOI: [10.55652/1683-805X\\_2024\\_27\\_1\\_102-116](https://doi.org/10.55652/1683-805X_2024_27_1_102-116). EDN: BCBIKG
- Chelidze, T.L., & Macharashvili, T.I. (2003). [Complexity analysis of natural objects and processes – a challenge to geophysics of the 21st century]. In *Problemy geofiziki XXI veka. Kn. 1* [Problems of Geophysics of the 21st Century. Book 1] (pp. 142-159). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.). EDN: QKDXBB
- Geodakyan, E.G., Karapetyan, Jh.K., Zaalishvili, V.B., Sahakyan, B.V., Hovhannisyanyan, S.M., Mkrtchyan, M.A., & Mkrtchyan, G.A. (2023). [Regional seismotectonics of focal zones of the East Turkey earthquakes on 06 February 2023 and geodynamic model of the source of the strongest earthquake (M<sub>w</sub>=7.8)]. *Geologiya i geofizika Iuga Rossii* [Geology and Geophysics of Southern Russia], 13(4), 42-55. (In Russ.). DOI: [10.46698/VNC.2023.57.90.004](https://doi.org/10.46698/VNC.2023.57.90.004). EDN: PUXDJA
- Gidrogeologiya SSSR. T. 11. Armianskaia SSR* [Hydrogeology of the USSR. Vol. 11. Armenian SSR]. (1968). Moscow, Russia: Nedra Publ., 351 p. (In Russ.).
- Grigoryan, S.V., Pashayan, R.A., & Arutyunyan, L.V. (2015). [Hydrogeodynamic and geochemical earthquake precursors in Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia], 115(1), 50-58. (In Russ.).
- Gusev, A.P. (2024). [Indicators of active faults (case study of the Gomel structural saddle)]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 66(1), 35-44. (In Russ.). DOI: [10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44). EDN: ERCDKG

- Karakhanyan, A.S. (1993). Active faults of the Armenian Upland. In *Proceedings of Scientific Meeting on the Seismic Protection*, 12–13 July, Venice, 88–93.
- Karakhanyan, A.S. (1995). [Active faults and strong earthquakes of the Anatolian-Lesser Caucasus orogen. Dr. geol.-min. sci. diss.]. Moscow, Russia: UIPE RAS Publ., 45 p. (In Russ.).
- Karakhanyan, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, Kh., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V., & Adilkhanyan, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-Western Iran. *Tectonophysics*, 380(3-4), 189–219. DOI: 10.1016/j.tecto.2003.09.020
- Kazaryan, K.S., & Sargsyan, R.S. (2022). [General regularities of seismic activity of Northern Armenia in connection with block structure and tectonic activity]. *Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics & Tectonophysics]*, 11(3), 595–605. (In Russ.). DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0493. EDN: QPPJHI
- Khatkevich, Yu.M., & Ryabinin, G.V. (2006). [Geochemical and ground-water studies in Kamchatka in the search for earthquake precursors]. *Vulkanologiya i seismologiya [Volcanology and Seismology]*, (4), 34–42. (In Russ.). EDN: HVKXCL
- Kissin, I.G. (1993). [Hydrogeological monitoring of the Earth's crust]. *Fizika Zemli [Physics of the Solid Earth]*, (8), 58–69. (In Russ.).
- Kissin, I.G. (2009). *Fliuidy v zemnoi kore: geofizicheskie i tektonicheskie aspekty [Fluids in the Earth's crust: geophysical and tectonic aspects]*. Moscow, Russia: Nauka Publ., 328 p. (In Russ.). EDN: QKIMFN
- Kocharyan, G.G. (2015). [From earthquake to creep: unity of opposites]. *Dinamicheskie protsessy v geosferakh [Dynamic Processes in the Geosphere]*, (7), 10–15. (In Russ.). EDN: XDTBET
- Kocharyan, G.G., & Shatunov, I.V. (2024). Topical issues in hydrogeology of seismogenic fault zones. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 60(4), 681–703. DOI: 10.1134/S1069351324700575. EDN: AGLIVG
- Kopylova, G.N., Yusupov, Sh.S., Serafimova, Yu.K., Shin, L.Yu., & Boldina, S.V. (2020). [Hydrogeochemical earthquake precursors (On the example of areas of the Kamchatka peninsula, Russia, and the Republic of Uzbekistan)]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle [KRAUNTS Bulletin. Earth Sciences]*, (4(48)). (In Russ.). DOI: 10.31431/1816-5524-2020-4-48-5-20. EDN: TAMPSE
- Pashayan, R.A. (1995). [Study of groundwater regime for identifying geodynamic effects preceding earthquakes]. *Doklady NAN RA [Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia]*, 95(3), 171–173. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (1999). [Hydrogeodynamic earthquake precursors and assessment of the informativeness of the observation network of Armenia]. In *Sbornik nauchnykh trudov, nauchnaia konferentsiia, posviashchennaia pamiati k.g.-m.n. A.G. Babadzian [Scientific conference dedicated to the memory of PhD A.G. Babadzian. Collection of scientific papers]* (pp. 230–238). Gyumri, Armenia. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., Karapetyan, J.K., Arutyunyan, L.V., & Tovmasyan, K.G. (2023). [Geodynamics of source zones of strong earthquakes in Armenia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal [Russian Journal of Seismology]*, 5(1), 75–88. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2023.1.05. EDN: JGRQUQ
- Pashayan, R.A., Karapetyan, J.K., Harutyunyan, L.V., Margaryan, S.S., Gevorgyan, A.A., Karamyan, R.A., & Tovmasyan, K.G. (2024). [Seismotectonic activity of source zones of earthquakes in Northern and Central Armenia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal [Russian Journal of Seismology]*, 6(1), 65–79. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.1.04. EDN: MCFXUI
- Pashayan, R.A., & Tumanyan, G.A. (1997). [Short-term geological effects associated with modern crustal movements in the Republic of Armenia]. *Izvestiia NAN RA. Nauki o Zemle [News of the National Academy of Sciences of the Russian Federation. Earth Sciences]*, 50(1-2), 74–80. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Tumanyan, A.A. (2011). [Manifestations of periodicity in geodynamic processes of the Earth's crust of the Armenian region according to hydrogeodynamic wells]. In: *Sbornik nauchnykh trudov konferentsii, posvyashchennoj 50-letiyu osnovaniya Instituta geofiziki i inzhenernoj seismologii im. akademika A. Nazarova NAN RA [Collection of scientific papers of the conference dedicated to the 50th anniversary of the founding of the Institute of Geophysics and Engineering Seismology named after Ac. A. Nazarov of the NAS RA]* (pp. 166–181). Gyumri, Armenia: Publ. house “Gitutyun” NAS RA. (In Russ.).
- Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti. Trudy IFZ AN SSSR*, 9(176). [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IPE AS USSR N 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ. (In Russ.).
- Richter, Ch.F. (1963). *Elementarnaia seismologiya [Elementary seismology]* (p. 334). Moscow, Russia: “Foreign Literature” Publ. (In Russ.).
- Sargsyan, R.S., Ghazaryan, K.S., & Burmin, V.Yu. (2021). [Seismotectonics of Armenia: Main problems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle [Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences]*, 66(3), 616–633. (In Russ.). DOI: 10.21638/spbu07.2021.310. EDN: OXGCXO
- Trifonov, V.G., & Kozhurin, A.I. (2010). Study of active faults: Theoretical and applied implications.

- Geotectonics*, 44(6), 510-528. DOI: 10.1134/S0016852110060051. EDN: OHNTNX
- Um, J., & Thurber, C. (1987). A fast algorithm for two-point seismic ray tracing. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(3), 972-986. DOI: 10.1785/BSSA0770030972
- Vartanian, G.S., & Kulikov, G.V. (1982). [Hydrodeformation field of the Earth]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 262(2), 310-314. (In Russ.).
- Wang, M., Wei, Z., Long, F., Chen, H., & Li, S. (2024). Fault geometry and kinematics at the intersection of the Zemuhe, Daliangshan and Xiaojiang Faults. *Frontiers in Earth Science*, 12:1433148. – DOI: 10.3389/feart.2024.1433148

### Information about authors

**Pashayan Romela Artavazdovna**, PhD, Leading Researcher of the Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of the National Academy of Sciences of Republic of Armenia (IGES NAS RA), Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: romellapashayan@sci.am

**Karapetyan John Kostikovych**, PhD, Director of the IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia. E-mail: jon\_iges@mail.ru

**Harutyunyan Levon Vartanovich**, PhD, Head of Laboratory of the Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan of the National Academy of Sciences of Republic of Armenia (IGIC NAS RA), Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: levonharutyunyan35@mail.ru

**Mkrtchyan Goarik Artavazdovna**, PhD, Scientific Secretary of the IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia. E-mail: mgoar56@mail.ru

**Tovmasyan Kristina Gagikovna**, Senior Engineer of the IGES NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: kristina.tovmasyan.2020@mail.ru