

УДК 550.530

Геодинамика очаговых зон сильных землетрясений Армении

© 2023 г. Р.А. Пашаян¹, Д.К. Карапетян², Л.В. Арутюнян³, К.Г. Товмасын¹

¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения; ²ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения;

³ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Республика Армения

Поступила в редакцию 11.10.2022 г.

Аннотация. Целью представленной работы является определение и оценка изменений геодинамических характеристик зоны очагов сильных землетрясений Джавахетского нагорья и Центральной Армении. Рассмотрена картина распределения гипоцентров землетрясений на территории Армении. Приведена миграция очаговых зон сильных землетрясений. Выявлена определённая закономерность в возникновении разрушительных землетрясений на территории Армянского нагорья. Выделены активные разломы и разломные зоны территории Армении. Изучены очаги сильных землетрясений по данным о сейсмичности: сейсмогеодинамики очаговых зон и их связи с возникновением сильных землетрясений. Геодинамические условия очаговых зон сильных землетрясений оценены по данным сейсмичности этих зон в связи с возникновением сильных тектонических движений и с учётом полей напряжений и деформаций. Рассмотрены периоды сейсмического затишья, особенности изменения уровня подземных вод и их химического состава в связи с подготовкой землетрясений. Исходя из блокового строения земной коры территории Армении, определены динамические параметры блоков земной коры (деформация, напряжённое состояние). Выделена и изучена геодинамика зон очагов сильных землетрясений на севере и в средней части Армении, где наблюдается повышение сейсмической активности за последние годы. Обновлена сейсмическая геодинамика по данным изучения современных движений земной коры и в историческом прошлом, дающим представление о динамике физических процессов, протекающих в очаговых зонах землетрясений. Выделена группа месторождений минеральных вод, которая особо чувствительна к сейсмическим событиям. Дана оценка информативности наблюдательной гидрогеодинамической сети Армении. Выявлена геодинамическая активность зоны очагов сильных землетрясений на Джавахетском нагорье территории Армении. Построен сейсмологический разрез по простиранию пород для определения направления миграции очагов землетрясений в северной части Армении.

Ключевые слова: землетрясения, глубина, эпицентр, деформация, напряжение, сейсмика, гидрогеодинамика, скважина, минеральная вода, гидрогеохимия.

Для цитирования: 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: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.1.05>. – EDN: JGRQUQ

Введение

По представлениям [Бабазаде, 1988], зоны очагов землетрясений – это локальные объёмы в земной коре, характеризующиеся повышенной или избыточной упругой напряжённостью. Накопление упругих напряжений в их пределах происходит в течение длительных промежутков времени, исчисляемых многими годами и даже столетиями. Разрядка в их пределах в виде землетрясений происходит тогда, когда упругие напряжения достигают критической вели-

чины. Чем больше объём зоны очага, тем сильнее может быть ожидаемое землетрясение. Поэтому определив объём очаговой области, можно заранее прогнозировать энергию, либо максимальную магнитуду ожидаемого возможного землетрясения. Геодинамические условия очаговых зон сильных землетрясений оценивались по данным сейсмичности этих зон в связи с возникновением сильных тектонических движений и с учётом полей напряжений и деформаций. Рассматривались периоды сейсмического затишья, особенности изменения уровня подземных

вод и химического и газового состава минеральных вод в связи с подготовкой землетрясений. Целью работы является определение и оценка изменений геодинамических характеристик очаговых зон сильных землетрясений территории Армении. Основной задачей исследований является изучение кинематических параметров очагов сильных землетрясений методом гидрогеодинамических наблюдений, позволяющих выявить гидрогеодинамические и гидрогеохимические эффекты изменения напряжённо-деформированного состояния среды, выявление миграции очагов сильных землетрясений территории Армении после Спитакского землетрясения. Рассмотрена сейсмогеодинамика земной коры Армении до и после сильного Спитакского землетрясения. Приводятся данные по изменению минерализации вод источника Арзни и ряда других минеральных источников территории Армении в связи с произошедшим в Спитаке катастрофическим землетрясением 07.12.1988 г. с $M=7.0$. Приводятся аномальные изменения уровня вод в гидрогеодинамических скважинах. Предметом исследований является изучение режима геодинамических процессов в выявленных зонах очагов сильных землетрясений методами гидрогеодинамических наблюдений и гидрогеохимического мониторинга вод минеральных источников, а также выделение на территории Армении сейсмогенных зон, куда входят сейсмоактивные региональные разломы (РР), разломные узлы и тектонические блоки.

Распределение сейсмичности во времени и пространстве

В пределах Армянского нагорья за последние 2000 лет происходили сильные и разрушительные землетрясения. Сопоставление сейсмичности с тектоникой региона [Назаретян и др., 2015] проводили на базе составленных схем геотектонического районирования и схем расположения разломов территории Армении. Для установления приуроченности эпицентров землетрясений к зонам активных РР (региональные разломы) разломных узлов и блоков сопоставлены схемы разломов и карты относительно точных эпицентров исторических землетрясений с $M \geq 5.5$ (рис. 1).

Основная часть эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$ приурочена к зонам региональных разломов. Наиболее сейсмоактивными являются разломы общекавказского простирания и два разлома северо-восточного простирания (Ахурянский и Арарат-Севанский).

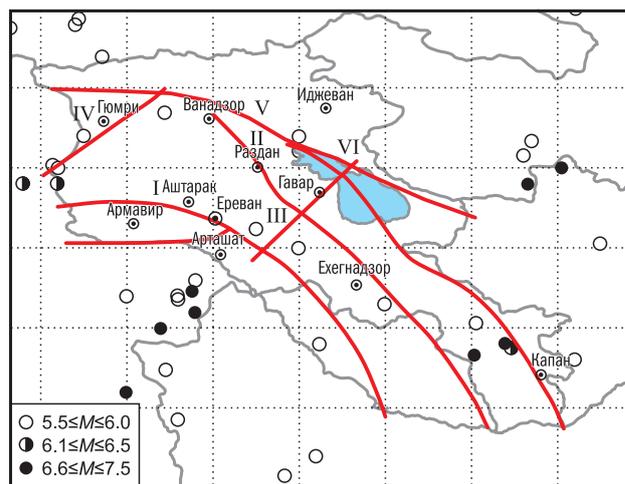


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 5.5$ (каталог землетрясений НССЗ РА за 2013 г.) [Саргсян и др., 2019] и активных разломов на территории Армении, составленная по комплексу геофизических данных (Шахбекян Т.А., 2015 г.).

I – Ереванский разлом, II – Гарнийский разлом, III – Арарат-Севанский разлом, IV – Памбак-Севанский разлом, V – Памбак-Севан-Сюникский разлом, VI – Ахурянский разлом

По сейсмостатистическим данным, особенно высокоактивными являются Памбак-Севанский, Памбак-Севан-Сюникский, Гарнийский и Ахурянский разломы. Наблюдается дифференцированность разломов по сейсмоактивности вдоль их простирания. Высокую сейсмическую активность имеет Ахурянский разлом северо-восточного простирания. С этим разломом связаны Текорское, Анийское и Ленинанские сильные землетрясения, а также слабые и средней силы землетрясения. Сейсмоактивными разломными узлами являются Спитакская, Севанская, Зангезурская и Анийская зоны [Назаретян и др., 2015]. Разломы антикавказского направления – сравнительно молодые и играют важную роль в проявлении сейсмичности [Никольский и др., 1971]. Севано-Амасийский разлом проходит по северо-восточному побережью оз. Севан, на Базумском горсте. В северо-западной части этой зоны разломов тектонические движения связаны с очагами Амасийской и Ахалкалакской групп землетрясений. Более сейсмоактивной является Анкаван-Зангезурская зона разломов. На юге между двумя главными разломами, ограничивающими зону с юго-запада и северо-востока (Дебаклинским и Хуступ-Гиратахским), развита система разрывных нарушений.

Большая амплитуда (3–3.5 км) новейших тектонических движений обусловила сильно

пересечённый горный рельеф и направление речных долин (реки Мармарик, Воротан, Вохчи, Гехи), вдоль которых расположены выходы термальных минеральных вод и эпицентры 7- и 8-балльных землетрясений (Гярд, Татев, Сисиан, Мартуни, Камо). В Среднеараксинской зоне сейсмоактивных разломов выделяются две группы парных разломов корового заложения. Первая группа, состоящая из двух разломов – Ереванского и Эчмиадзинского, – проходит юго-западнее Еревана. Другая пара разломов более глубокого заложения находится в Среднеараксинской впадине и по направлению течения р. Аракс. Со Среднеараксинской зоной разломов связаны эпицентры землетрясений в районах Двина, Арташата, Гарни, Арарата и Еревана. К участкам сочленения этих разломов с разломами общекавказского простирания приурочены очаги наиболее разрушительных землетрясений (Двин, Акори, Гарни, Дигор). Особенно сейсмоактивны тектонические узлы пересечения разрывных нарушений. На территории Армении выделяются следующие основные сейсмогенные узлы: Севанский узел расположен на северо-западе оз. Севан и представляет собой район пересечения глубинных разломов (ГР) двух систем: Севано-Сюникский и Севанский ГР общекавказского простирания и Арзакан-Севанский ГР субширотного простирания. Зангезурский узел образован пересечением Каджаран-Кафанского регионального разлома с Алаверди-Шишкертским (Хуступ-Гиратахским) ГР. За 1900–1969 гг. в зоне Зангезурского сейсмогенного узла произошло шесть землетрясений с $M \geq 5$. Араратский узел – район пересечения Араратской зоны глубинных разломов с Арарат-Севанским и Арарат-Араксинским ГР – расположен на территории Турции. Сильные землетрясения Арарата приурочены к узловой зоне землетрясений, куда входит и Гарнийское землетрясение 1679 года. Двинский узел является районом пересечения разломов трёх систем: общекавказского, антикавказского и субширотного. Эпицентры Двинских землетрясений приурочены к этому тектоническому узлу. В Ленинанканской узловой зоне пересекаются Ани-Ордубадский и Дигор-Степанаванский ГР. Дигор-Степанаванская линейная зона сгущений эпицентров проходит через Ленинанканский узел. К ним относятся землетрясения с $M \geq 5$. Наиболее сильные толчки имели место у городов Кировакан, Степанаван и Спитак. Относительно активными как по силе, так и по частоте землетрясений, являются Зангезурский, Ленинанканский, Араратский и Двинский узлы. Исходя из предыдущих исследований [Карапетян, 1990], чёткой периодичности в деятельно-

сти отдельных очагов не наблюдается. Выявлена определённая закономерность в возникновении разрушительных землетрясений на территории Армянского нагорья. Отдельные очаговые районы рассматриваются как участки концентрации деформирующих кору напряжений, локализующихся в зонах разрывных нарушений. В результате анализа данных по землетрясениям, рассмотренных по каталогу за 1991–2010 гг. и представленных в работе [Пашаян, Туманян, 2011], нами определена некоторая периодичность в деятельности очагов землетрясений с $3.0 < M < 4.0$, произошедших на территории Армении за этот период (рис. 2).

Сейсмоактивный слой земной коры территории Армении включает глубины земной коры, где в основном происходят землетрясения. Часто встречающиеся глубины сильных и средней силы землетрясений – 5–26 км. Толщина сейсмоактивного слоя территории Армении не превышает 35 км. Максимальная магнитуда землетрясений региона [Назаретян и др., 2015] оценивается $M_{\max} = 7.5$. Очаги сильных землетрясений имеют объём величиной до 10000 км^3 , площадь главного разрыва составляет до 1600 км^2 (на примере Спитакского землетрясения). Проведённые исследования по оценке изменения сейсмического режима до и после сильных землетрясений дают основание предполагать, что при региональных тектонических напряжениях в земной коре со сложным блоковым строением в регионе идёт подготовка значительных и сильных землетрясений одновременно в нескольких районах. После сильного землетрясения в регионе, вследствие резкого изменения напряжённого состояния, происходят слабые и значительные землетрясения. Предполагается, что в будущем подготовка нового сильного землетрясения будет происходить именно в одном из этих районов. Вероятно, что все эти районы (зоны разломов и узлов) являются наиболее потенциально опасными участками [Назаретян и др., 2015]. В Армении земная кора сейсмически активна от поверхности до глубины 30 км, при этом наибольшее количество очагов землетрясений (около 80%) сосредоточено в слое глубиной 5–20 км, имеются единичные землетрясения с глубиной 30–50 км. Относительно сильные землетрясения занимают более глубокие слои земной коры, а слабые – ближе к поверхности. При рассмотрении картины распределения гипоцентров землетрясений выясняется, что очаги слабых землетрясений связаны со слоями пониженных скоростей, а сильные – со слоями высоких скоростей [Бабазаде, 1988].

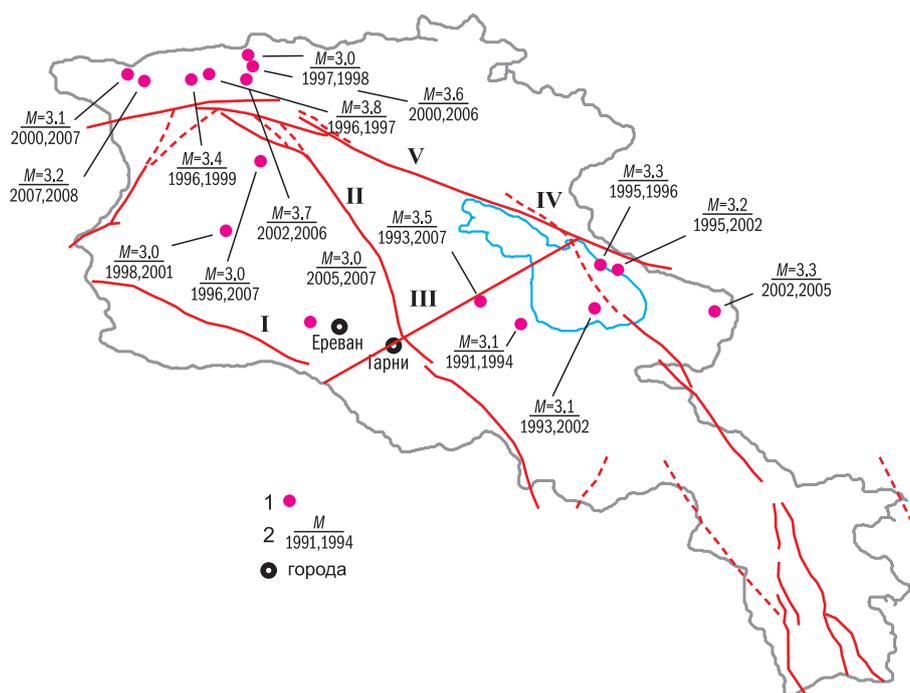


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений за 1991–2010 гг.

1 – эпицентры землетрясений; 2 – числитель – магнитуда землетрясения, знаменатель – годы землетрясений. Глубинные разломы: I – Ереванский, II – Гарнийский, III – Арарат-Севанский, IV – Памбак-Севанский, V – Памбак-Севан-Сюникский

Месторождения минеральных вод

Широкое распространение на территории Армении имеют минеральные воды. В основном они формируются в зонах крупных тектонических разломов. Образование разнообразных минеральных вод [Ананян, 1964] определяется проявлением магматизма третичного периода и активной вспышки четвертичного вулканизма, во время которой сформировался обширный лавовый покров территории республики. Характерной особенностью минеральных вод Армении является большое содержание углекислого газа, а для вод зон разломов глубинного заложения в химическом составе преобладает гидрокарбонат натрия. Режимные наблюдения за минеральными водами Армении велись Управлением Армгеокаптажминвод с 1976 года. Было обращено особое внимание на изменение значений некоторых параметров (дебита, температуры, минерализации) источников минеральных вод под воздействием сильных землетрясений. В работе приводятся данные по изменению режима минеральных вод Армении после Спитакского, Рачинского и Турецкого землетрясений: 07.12.1988 г. с $M=7.0$; 29.04.1991 г. с $M=6.3$; 02.04.1991 г. с $M=4.7$.

Сильно повлияло на минерализацию вод скважин (6/64, 3/62 и 1/62) месторождения «Арзни» Спитакское землетрясение [Пашаян, 1998]. В частности, наблюдалось увеличение минерализации вод по скважинам: 3/62 – с 10.0 до 14.4 г/л, 6/64 – с 7.0 до 13.4 г/л. Флуктуации температуры происходили до 1989 года. Значение дебита резко снизилось с 8.3 до 5.3 л/с. Наблюдались флуктуации значений дебита по скважине 3/62 с декабря по май 1989 года. С 1991 по 1992 г. по скважине 6/64 наблюдались сильные флуктуации дебита уровня вод.

Наблюдались изменения минерализации на Кироваканском месторождении минеральных вод. Режимные наблюдения велись по двум скважинам (Iк и IIк). В начале 1988 г. скважина Iк имела минерализацию 5.4 г/л, скважина IIк – 7.4 г/л. В течение 1988 г. минерализация скважины IIк понизилась на 1 г/л, а скважины Iк – выросла на 0.4 г/л. Минерализация скважины Iк с конца 1992 г. не менялась и только в конце 1992 г. снизилась на 1 г/л. Значение минерализации по скважине IIк после землетрясения 07.12.1988 г. понизилась с 6.2 до 5.2 г/л, далее наблюдались периодические колебания значений минерализации до конца 1989 года. В 1991 г. происходило понижение минерализации с 5.4

до 2.2 г/л, затем – продолжение периодических колебаний до декабря 1991 года. В январе 1992 г. минерализация повышается от 2 до 5.4 г/л. Температурные колебания Кироваканских минеральных вод незначительны.

Режимные наблюдения минеральных вод «Веди» указывают на стабильное значение минерализации, равное 4 г/л. Дебит источника имел резкие флуктуации в течение двух месяцев (с 01.01. до 01.03.1991 г.) и повысился с 0.5 до 1 л/с.

Месторождение «Джермук» содержит углекислые среднеминерализованные гидрокарбонат-сульфатные воды, оно эксплуатируется четырьмя скважинами (30/62, IVк, 2/61 и IIк). Общая минерализация вод за наблюдаемый период практически стабильна. Несмотря на крановый режим эксплуатации месторождения минеральной воды, режимные наблюдения показали, что дебит вод скважины IVк был подвержен колебанию в течение 1988 года. В течение трёх месяцев дебит воды колебался, принимая значения 6, 2.0 и 1.7 л/с. В 1991 г. наблюдалось изменение дебита воды по скважине от 0.5 до 1.5 л/с. Изменения температуры воды незначительны.

Акнахпюрское месторождение минеральных вод приурочено к тектоническому узлу пересечения разломов и характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Подъём глубинной минеральной воды происходит по зонам пересекающихся разнонаправленных разрывных нарушений. В декабре 1988 г. наблюдалось изменение минерализации по эксплуатируемой скважине 8/81 с 4.3 до 4.4 г/л. В 1991 г. происходили небольшие колебания значений минерализации, и далее – стабилизация минерализации на уровне 2.6 г/л.

Анкаванское месторождение представляет водонапорную систему трещинно-жильных вод в пределах зоны Анкаванского разлома. Воды формируются в результате нагрузки трещинно-жильных минеральных вод из глубоких зон разлома и смешения их с грунтовыми водами. На Анкаванском месторождении эксплуатируется вода с гидрокарбонатно-хлоридно-натриевым составом. Минеральные воды Анкаванского месторождения – термальные: скважина Iк – 26°C, скважина IVк – 30°C с минерализацией 7.8–8.5 г/л. В конце 1988 г. наблюдалось небольшое повышение минерализации по скважине IVк, а по скважине Iк – понижение. Наибольшее повышение минерализации вод наблюдалось по обеим скважинам в 1991 г.: скважина Iк – 8.6 г/л, скважина IVк – 8.4 г/л.

Севанское месторождение минеральных вод представляет водонапорную систему пластово-трещинных и пластово-поровых минеральных вод. Воды эксплуатируемых скважин Севанского месторождения характеризуются малой минерализацией – 2.7–3.1 г/л. Температура вод – 17.5–18.1°C. Не наблюдается изменение режима минеральных вод на данном месторождении.

Гидрогеодинамическая сеть наблюдений территории Армении

Работы по наблюдению гидрогеодинамического режима подземных вод Армении проводились в системе Управления геологии Армении с 1966 г. под руководством Г.С. Вартамяна (ВСЕГИНГЕО). Была организована мониторинговая сеть из шести наблюдательных скважин. Изменения колебания уровня подземных вод после первичной обработки сопоставлялись с сейсмической активностью земной коры. Далее полученный материал обрабатывался по методике гидрогеодеформационного поля (ГГД). Гидрогеодеформационное поле характеризует напряжённое состояние недр. Ретроспективный анализ данных позволил получить ГГД поле Спитакского землетрясения, указывающее на локальные точки наращивания деформации [Вартамян, 1992]. После Спитакского землетрясения сеть наблюдений расширилась, и наблюдения за уровнем подземных вод теперь ведутся по 14 скважинам. Для определения коэффициента информативности наблюдательной сети вначале определялся коэффициент информативности по каждой наблюдательной скважине [Киссин и др., 1983]. Затем был рассчитан коэффициент информативности существующей наблюдательной сети территории Армении, он равен 0.54 [Пашаян, 1998]. Коэффициент информативности каждой скважины зависит от близости скважины к глубинному разлому (чем ближе, тем выше коэффициент). Таким образом, выделены информативные скважины № 11, 12, 15 и 27 с $K_{инф} > 0.54$.

Наблюдения и замеры уровня воды в гидрогеодинамических скважинах и исследования по сейсмическому режиму (каталог землетрясений) проводятся в Национальной службе сейсмической защиты Республики Армения (НССЗ РА). На протяжении многих лет данные по наблюдательным скважинам и сейсмике по договору, заключённому между НССЗ РА и Национальной академией наук (НАН) РА, передавались в лабораторию Института геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова (ИГИС) НАН РА.

Гидрогеодинамические предвестники

Исследования данных по ходу уровня подземных вод в лаборатории проводились по методу гидрогеодинамических предвестников начиная с 1987 г. [Пашаян, Ахвердян, 2001]. При реализации метода учитывались данные о гидрогеологическом режиме подземных вод, влияние метеорологических факторов на уровень вод, сведения о геодинамических процессах земной коры территории Армении. Одними из основных факторов являются метеорологические — атмосферные осадки и их инфильтрация, изменение атмосферного давления. В результате были выявлены изменения уровня подземных вод, не связанные с сезонным ходом выпадения атмосферных осадков на наблюдательных гидрогеодинамических скважинах № 9, 11 и 18, расположенных на северном (скважина № 9) и южном (скважина № 11) краях Ширакской котловины, слагающей северную часть Гюмрийского тектонического блока, а скважина № 18 — на юге восточной части Апаран-Анкаванского тектонического блока. Сезонные колебания уровня подземных вод наблюдаются в скважинах № 12, 22 и 27. Остальные наблюдательные скважины отличаются друг от друга амплитудами сезонных изменений уровня вод. Скважины № 2, 3 и 8 характеризуются малой амплитудой сезонных изменений уровня вод, что объясняется большими размерами бассейнов подземных вод. Скважина № 7 отличается слабыми вариациями уровня вод, это объясняется литологическими особенностями горисской толщи, т.е. сильно глинистыми, слабо водопроницаемыми вулканогенно-обломочными образованиями. Здесь в условиях затруднённого водообмена сезонные изменения уровня вод полностью отсутствуют. Наблюдательные скважины № 1 и 15 имеют большую амплитуду сезонных изменений уровня вод, что объясняется сильной трещиноватостью водовмещающих пород и карстовых образований. Полученные результаты показали, что влияние инфильтрации атмосферных осадков на уровень подземных вод выражается чаще всего в смещении на 1.2 месяца сезонного хода изменения уровня вод.

Обработка материалов наблюдений за уровнем подземных вод проводится в зависимости от задачи, поставленной перед гидрогеодинамическими исследованиями [Киссин, Савин, 1986]. Любой из компонентов, слагающих временной ряд хода уровня подземных вод, может быть либо полезным сигналом, либо помехой. Предполагались известными приблизительные

параметры помех (амплитуда, частотный состав) и неизвестными — параметры сигналов. Исходя из гидрогеологической обстановки исследуемого региона, основные помехи делились на две группы — долгопериодные и короткопериодные. К долгопериодным относятся: изменения уровня вод, связанные с нарушением режима подземных вод, и сезонные колебания уровня. Короткопериодные — это малоамплитудные вариации уровня, обусловленные изменениями атмосферного давления, атмосферных осадков и приливообразующих сил. Для фильтрации помех применялись статистические методы обработки временных рядов: корреляционный анализ, выявление скрытых периодичностей и цифровая фильтрация [Киссин и др., 1983; Добровольский и др., 1980]. Изучение режимобразующих факторов позволило выявить гидрогеодинамические эффекты (вариации уровня подземных вод, приливной эффективности), вызванные влиянием современных тектонических деформаций [Мельхиор, 1968].

Гидрогеодинамические наблюдения

Применительно к решению поставленных задач, важное место принадлежит методу гидрогеодинамических наблюдений. По их результатам выявлены различия в характере деформационных процессов на различных участках. Гидрогеодинамические наблюдения позволяют также определять влияние тектонических движений земной коры на химический и газовый состав минеральных вод. Нами на протяжении многих лет проводится гидрогеохимический мониторинг вод минеральных источников центральной Армении [Пашаян, 2019]. Для определения геодинамики тектонических движений земной коры рассчитывались гидрогеодинамические показатели (вариации уровня, амплитуда, длительность) вод наблюдательных скважин и химических компонентов, а также растворённого в воде углекислого газа в зависимости от расстояний до эпицентра и магнитуды землетрясения. Целью представленной работы является определение и оценка изменений геодинамических характеристик очаговых зон сильных землетрясений территории Армении методом гидрогеодинамических наблюдений.

Для визуального представления пространственного распределения сейсмичности региона Армении построены карты сейсмичности за 1988–1994 и 1994–2022 гг. (рис. 3а,б). Карта сейсмичности (рис. 3а) включает эпицентр Спитакского землетрясения (07.12.1988 г., $M=7.0$)

и отражает повышенную концентрацию эпицентров землетрясений вокруг сеймотектонического узла Анатолийского и Памбак-Севанского разломов. Повышение активности геодинамических процессов земной коры этого участка связано с повышением взаимосвязи между землетрясениями и разломами (Спитакский, Желтореченск-Сарикамышский, Гарни-Елпинский, Ахурянский) [Трифонов и др., 1989]. Изменения геодинамических характеристик очагов сильных землетрясений (Спитак, Турция, Рача), как описано выше, соответствовали аномальным изменениям динамики подземных вод гидрогеодинамических скважин на севере и в средней части региона, а также на юго-востоке оз. Севан.

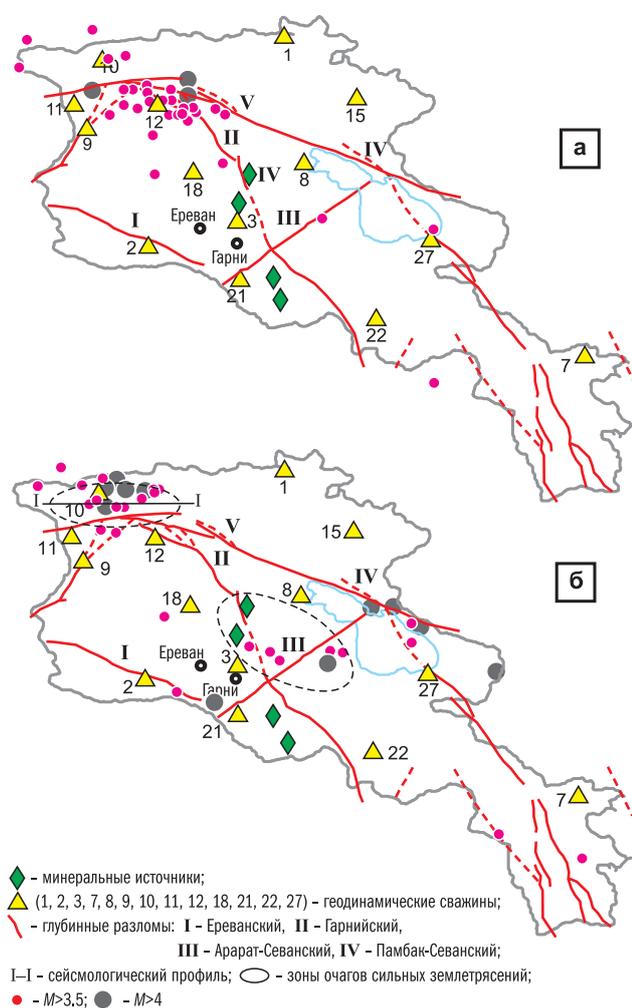


Рис. 3. Карта эпицентров очагов сильных землетрясений территории Армении: а – за 1988–1994 гг.; б – за 1994–2022 гг.

Для изучения очагов сильных землетрясений Армении был рассмотрен сейсмический режим территории Армении за 1994–2022 гг., построена карта эпицентров средних и сильных местных землетрясений с $M > 3.5$, произошедших

в регионе после Спитакского землетрясения по настоящее время (рис. 3б). Большая концентрация эпицентров землетрясений наблюдается на севере (Джавахетия), в средней части региона эпицентры землетрясений разбросаны вдоль Гарнийского, Арарат-Севанского и Ереванского глубинных разломов. На восточном побережье оз. Севан эпицентры землетрясений приурочены к Памбак-Севанскому разлому. Значительное убывание сейсмичности наблюдается на северо-востоке и юге региона. На карте (рис. 3б) отмечены предполагаемые зоны очагов сильных землетрясений на Джавахетском нагорье и в средней части Армении. При сопоставлении с картой сейсмичности за 1988–1994 гг. (рис. 3а) создается впечатление, что облако землетрясений по разлому локализовалось и мигрировало почти зеркально на противоположную сторону Памбак-Севанского разлома.

Общая картина деформационно-напряжённого состояния земной коры территории определялась по вычисленным значениям деформации вокруг каждой гидрогеодинамической скважины исходя из количества сейсмических событий, произошедших за это время (табл.). На основании полученных значений расчётных деформаций с использованием весовых коэффициентов строилась карта изолиний равных значений деформаций. Построенная карта напряжённо-деформированного состояния земной коры территории Армении (рис. 4) отражает геодинамические движения земной коры в виде локальных напряжённых точек (сжатия и растяжения) по всей территории Армении [Пашаян и др., 2006].

Как видно из рис. 4, деформация сжатия наблюдается на Джавахетском нагорье, на западе Центральной Армении и на восточном побережье оз. Севан.

При сопоставлении с сейсмичностью региона (табл.) данных гидрогеодинамических наблюдений по скважинам, расположенным в отмеченных зонах очагов сильных землетрясений, построены графики вариаций уровня вод за последние десять лет.

Исходя из мест расположения гидрогеодинамических скважин, сделана попытка группировать их по тектоническим блокам [Пашаян и др., 2011]. В зоне активного Спитакского разлома и в пределах Спитакского тектонического блока была пробурена скважина № 12. К отмеченной зоне землетрясений примыкают скважины № 11 и 10, пробурённые в поперечной Транскавказской зоне Гюмрийского тектонического блока. Аномальные изменения уровня воды в скважинах № 12, 10 и 11 с амплитудой от 30 до 80 см

Таблица. Параметры сильных землетрясений, произошедших вокруг гидрогеодинамических скважин и минеральных источников

Дата, дд.мм.гггг	Координаты землетрясения		Магнитуда M_S	H , км	Эпицентральное расстояние Δ , км	Расчётная деформация
	φ , °N	λ , °E				
Скважина № 10						
27.09.2011	41.25	44.00	4.3	10	23	$1.73 \cdot 10^{-7}$
08.02.2013	41.03	43.90	4.0	8	27	$4.99 \cdot 10^{-8}$
07.12.2016	41.37	44.04	4.8	10	37	$1.80 \cdot 10^{-7}$
09.10.2019	41.10	43.92	4.7	10	10	$6.50 \cdot 10^{-6}$
Скважина № 11						
26.05.2014	41.08	44.13	4.0	13	49	$7.89 \cdot 10^{-9}$
09.10.2019	41.10	43.92	4.7	10	33	$1.84 \cdot 10^{-7}$
Скважина № 12						
08.02.2013	41.03	43.90	4.0	8	37	$1.88 \cdot 10^{-8}$
26.05.2014	41.08	44.13	4.0	13	26	$5.31 \cdot 10^{-8}$
06.06.2018	40.90	44.27	4.4	8	11	$1.98 \cdot 10^{-6}$
09.10.2019	41.10	43.92	4.7	10	37	$1.09 \cdot 10^{-7}$
Скважина № 18						
14.10.2011	40.27	44.77	3.6	10	27	$4.72 \cdot 10^{-9}$
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	55	$7.33 \cdot 10^{-8}$
Скважина № 3						
14.10.2011	40.27	44.77	3.6	10	17	$5.76 \cdot 10^{-8}$
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	25	$7.61 \cdot 10^{-7}$
Скважина № 21						
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	2	14	$4.07 \cdot 10^{-6}$
Скважина № 27						
02.05.2021	40.50	45.29	4.2	2	49	$1.37 \cdot 10^{-8}$
04.13.2021	40.18	45.93	4.0	5	27	$1.67 \cdot 10^{-7}$
«Арзни»						
14.10.2011	40.30	44.66	3.6	10	9	$4.64 \cdot 10^{-7}$
04.06.2015	40.22	45.07	4.1	2	52	$8.49 \cdot 10^{-9}$
06.06.2018	40.90	44.27	4.4	8	76	$6.75 \cdot 10^{-9}$
«Бжни»						
14.10.2011	40.30	44.66	3.6	10	29	$1.27 \cdot 10^{-8}$
04.06.2015	40.22	45.07	4.1	2	53	$8.20 \cdot 10^{-9}$
06.06.2018	40.90	44.27	4.4	8	64	$1.08 \cdot 10^{-8}$

наблюдались перед сейсмическими событиями с $M=3.5 \div 5.0$ за 1990–1994 гг. Зона очагов землетрясений, отмеченная в центральной части Армении (рис. 3б), характеризуется данными по уровню вод скважин № 3, 18 и 21. Скважина № 3 пробурена в Ереванском тектоническом блоке, находится вблизи разрывного нарушения северо-восток–юго-восточного простирания и проходит по диагонали отмеченного тектонического блока. Скважина № 18 расположена на юго-западе Апаран-Анкаванского блока, скважина № 21 – на юго-востоке Ереванского тектонического блока. В перечисленных скважи-

нах наблюдалось ступенчатое поднятие уровня вод с амплитудой от 10 до 50 см перед сейсмическими событиями с $M=4.5 \div 6.0$ в 1990–1994 гг. Гидрогеодинамические скважины № 8 и 27 расположены северо-восточнее и юго-восточнее Севанского тектонического блока. По уровню вод в скважинах последнего наблюдались бухтообразные и ступенчатые аномальные изменения, при этом особенности имели как положительный, так и отрицательный знак [Пашаян и др., 2022]. Амплитуда аномалии варьировала в интервале 10÷40 см, $M=4.0 \div 6.6$ за период 1991–1993 гг.

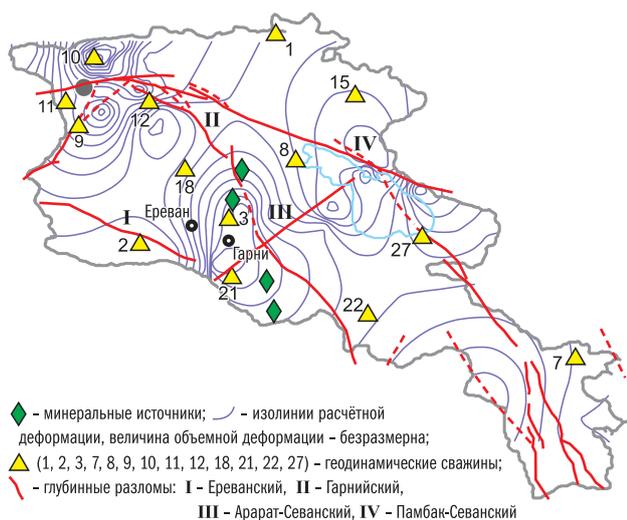


Рис. 4. Карта напряжённо-деформированного состояния земной коры за 1994–2022 гг.

По уровню вод в скважине № 11 выделены малоамплитудные периодические вариации уровня, вызванные пилообразными колебаниями, которые связаны с медленным подъёмом уровня и резким его спадом. Пилообразные колебания вод указывают на наличие деформаций земной коры или являются отражением физико-химических процессов в системе «скважина-водоносный пласт». Повышенная резуль-

тативность скважин указывает на активизацию геодинамических процессов земной коры Транскавказской зоны Гюмрийского блока. Подъём уровня вод в приведённых на рис. 5 гидрогеодинамических скважинах происходит в связи с деформацией сжатия, имевшей место за исследуемый период вокруг отмеченных скважин (рис. 5, скважины № 10, 11, 12). В Ереванском блоке, как видно из карты (рис. 4), происходит деформация растяжения, а ближе к Ереванскому разлому – сжатия (скважины № 18, 3, 21).

Отмеченная нами на карте сейсмичности (рис. 3б) зона очагов сильных землетрясений на севере региона включает Спитакский и Гюмрийский тектонические блоки. Как видно на карте деформации (рис. 4), в Спитакском тектоническом блоке отражена деформация растяжения, в зоне Гюмрийского тектонического блока – деформация сжатия. Значение расчётной деформации вокруг скважин составляет $6.67 \cdot 10^{-0.5}$, что свидетельствует о повышении геодинамики очагов землетрясений Гюмрийского блока. С целью слежения за возможной миграцией очагов землетрясений рассматриваемой зоны построен сейсмологический разрез по направлению с северо-запада (СЗ) на северо-восток (СВ) по профилю I-I (рис. 6) [Пашаян и др., 2019].

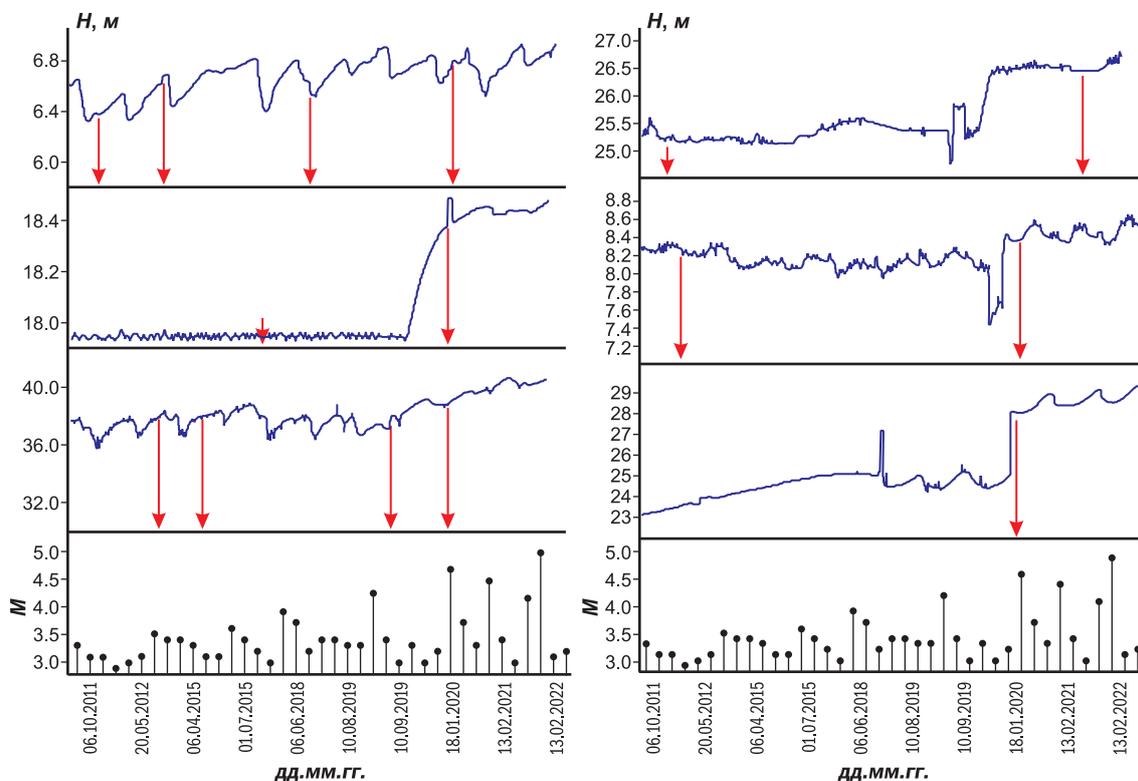


Рис. 5. Вариации уровня вод в гидрогеодинамических скважинах № 10, 11, 12, 18, 3, 21.

Стрелками указаны моменты землетрясений (табл.)

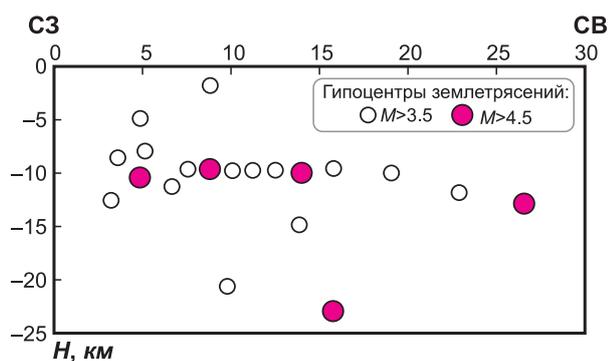


Рис. 6. Сейсмологический разрез по профилю I–I

На сейсмологическом разрезе (рис. 6) видно, что большинство очагов землетрясений расположено по латерали на глубине 10 км. На глубинах 5–10 км несколько очагов отмечается по вертикали, остальные расположены на глубинах 13–25 км. По сейсмологическому разрезу можно отметить, что возможная миграция очагов землетрясений будет происходить не по простиранию разреза, если учитывать погружение очагов с глубиной на юго-восток.

Зона очагов сильных землетрясений средней части Армении включает Ереванский тектонический блок, сейсмогеодинамика которого интерпретируется с данными изменения уровня вод в гидрогеодинамических скважинах № 3, 18 и 21 (рис. 5) и результатами анализа ионного состава вод минеральных источников «Арзни» и «Бжни», приуроченных к активному глубинному Гарнийскому разлому. Перечисленные гидрогеодинамические скважины пробурены в центре и на юго-востоке Ереванского блока, а скважина № 18 – на юго-западе Апаран-Анкаванского блока. Построенная карта напряжённо-деформированного состояния земной коры Армении отражает деформацию растяжения, а ближе к Ереванскому разлому – деформацию сжатия, напряжение концентрируется ближе к Ереванскому разлому. Очаги сильных землетрясений приурочены к Ереванскому и Азат-Севанскому разломам. Численное значение величины деформации, имевшее место в этой зоне, примерно равно $\varepsilon=10^{-6}$ [Григорян и др., 2015].

В работе рассмотрены вариации значений общей минерализации по водам источников месторождений «Бжни» и «Арзни», расположенных в Ереван-Ордубадском тектоническом блоке, за последние десять лет. В результате выявлено, что по вариациям значений общей минерализации вод «Арзни» наблюдается тренд на повышение, а по уровню вод «Бжни» – тренд на

понижение минерализации. Реакция вод источников на произошедшие за исследуемый период сильные землетрясения почти аналогична за исключением того, что кривая вариации величины минерализации воды «Арзни» более результативна. Возможно, это связано с повышенной тензочувствительностью места расположения источника «Арзни». Как отмечалось выше, на карте напряжённо-деформированного состояния земной коры (рис. 4) Центральной Армении наблюдается деформация растяжения и сжатия. Вариации величины аниона Cl^- , являющегося одним из глубинных составляющих минеральных вод «Арзни» и «Бжни», в водах «Арзни» представляются в форме импульса разного знака на произошедшие землетрясения. По вариациям Cl^- в воде источника «Бжни» изменения наблюдаются в форме колебаний с малой амплитудой. Исходя из значений расчётных величин деформаций, приведённых в таблице, можно отметить, что наибольшая деформация имела место вокруг источника вод «Арзни».

Начиная с 2018 г. наблюдается повышение сейсмичности вокруг оз. Севана. На восточном побережье оз. Севан 5 февраля 2021 г. произошли три землетрясения с $M=5.1$, $M=4.2$, $M=4.8$, эпицентры землетрясений расположены вдоль Базум-Севанского разлома (см. рис. 3б). Таким образом, возможная активизация Базум-Севанского глубинного разлома приводит к усилению геодинамических процессов Севанского тектонического блока. Напряжение, создаваемое деформацией сжатия на востоке оз. Севан, составило $\varepsilon=10^{-7}$ (табл.).

По результатам гидрогеодинамических наблюдений современных тектонических процессов земной коры территории Армении, на составленной карте напряжённо-деформированного состояния земной коры отражены участки деформаций разного знака. На севере в Гюмрийском тектоническом блоке имеет место деформация сжатия, сдвиговая деформация определена в приразломной зоне глубинного Спитакского разлома, в Центральной Армении наблюдается чередование деформаций сжатия и растяжения. В целом вырисовывается общая картина, отражающая активацию геодинамики территории Армении.

Выводы

В результате исследования пространственно-временного распределения землетрясений на территории Армении установлено, что землетрясения в основном имеют глубину до 35 км, магнитуда

известных землетрясений не превышает 7.5. Большинство очагов сильных и средних землетрясений приурочено к активным региональным разломам.

По месторождениям минеральных вод Армении выявлено, что некоторые показатели режима (минерализация, температура, дебит) неоднозначно реагируют на сильные землетрясения, в результате выделена группа месторождений – «Арзни», «Акнахпюр», «Джермук» и «Бжни», – которая особо чувствительна к сейсмическим событиям.

В результате анализа режима подземных вод и выявления его связи с сейсмичностью дана оценка информативности наблюдательной сети Армении.

Одними из основных факторов, влияющих на формирование режима подземных вод, являются метеорологические: атмосферные осадки и их инфильтрация.

Геодинамика зон очагов сильных землетрясений в северной и центральной частях территории Армении характеризуется концентрацией эпицентров произошедших землетрясений с $M=3.5\div 5.1$ в Гюмрийском тектоническом блоке (на севере) и в приразломных частях Гарнийского и Арарат-Севанского региональных разломов. Повышенная геодинамика перечисленных зон очагов сильных землетрясений также отмечается регистрацией аномальных значений деформационных, геохимических и гидрогеодинамических данных в зонах очагов.

Деформационные и сейсмические процессы взаимосвязаны с вариациями гидрогеодинамических, гидрогеохимических и геофизических полей и являются индикатором геодинамической активности.

В результате проведённых исследований выявлено, что геодинамика зоны очагов сильных землетрясений северной части региона выше и активнее таковой в средней части территории Армении.

Следует отметить, что возможная миграция очагов сильных землетрясений на севере региона (Спитакский, Гюмрийский тектонические блоки) будет происходить не по простираанию пород разреза.

Литература

Ананян А.Л. Минеральные воды Армянской ССР // Сборник трудов ИГН АН АрмССР. – Ереван: Изд-во ИГН АН АрмССР, 1964. – С. 178–190.

Бабазаде О.Б. Сейсмогеодинамика очаговых зон и их связь с возникновением сильных землетрясе-

ний // Современная динамика литосферы континентов: тезисы докладов совещания. Москва, 1988, 11–15 июня / Отв. ред. В.С. Хромовских. – Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1988. – С. 90–92.

Вартанян Г.С. Гидрогеодеформационное поле при Спитакском и Калифорнийском землетрясениях // Советская геология. – 1992. – № 1. – С. 3–9.

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

Добровольский И.Г., Зубков С.И., Мячкин В.И. Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений // Моделирование предвестников землетрясений. – М.: Наука, 1980. – С. 7–43.

Карпетян Н.К. Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1990. – 263 с.

Киссин И.Г., Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Марков В.М., Худзинский Л.Л. Опыт исследования режима подземных вод для выделения гидрогеодинамических предвестников землетрясений // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. – 1983. – № 6. – С. 74–86.

Киссин И.Г., Савин И.В. (отв. сост.). Методические рекомендации по наблюдениям для выявления гидрогеодинамических предвестников землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – 51 с.

Мельхиор П. Земные приливы / Пер. с англ. С.Н. Барсенкова и др.; под ред. Н.Н. Парийского. – М.: Мир, 1968. – 482 с.

Назаретян С.Н., Дурганян Р.Р., Шахбеньян Т.А. и др. Региональные разломы территории Армении по геофизическим данным и их сейсмичность. – Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2015. – 183 с.

Никольский Ю.И. и др. Некоторые черты тектоники и истории геологического развития территории Армении по данным геофизики. Вып. 12. – Л.: Недра, 1971. – С. 76–91.

Пашаян Р.А. Исследования гидрогеодинамических эффектов как предвестников землетрясений на территории Армении: дисс. на соиск. уч. степ. канд. мин. наук. – Ереван: НАН РА, 1998. – 163 с.

Пашаян Р.А. Минеральные воды Центральной Армении. – Кишинёв: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. – 68 с.

Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В. Современные изменения геодинамики земной коры территории Армении // Доклады НАН РА. – 2019. – Т. 119, № 3. – С. 249–257.

Пашаян Р.А., Ахвердян Л.А. Гидрогеодинамические и электроупругие эффекты, предшествующие землетрясениям на территории Армении. – Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2001. – 217 с.

Пашаян Р.А., Карапетян Д.К., Арутюнян Л.В., Товмасын К.Г., Карамян Р.А. Геофизический мониторинг геодинамического режима центральной Армении // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 41–52. DOI: 10.35540/2686-7907.2022.1.03. – EDN: WKMRYY

Пашаян Р.А., Саргсян А.З. Гидрогеодеформационная характеристика земной коры территории Армении (2002–2004 гг.) // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2006. – Т. LLX, № 3. – С. 30–36.

Пашаян Р.А., Туманян А.А. Проявления периодичности в геодинамических процессах земной коры региона Армении по данным гидрогеоди-

намических скважин // 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.

Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Гонян А.А., Мугнецян Э.А. Каталог землетрясений Армении за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. Приложение на CD.

Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И. Активные разломы и сейсмичность // Природа. – 1989. – № 12. – С. 32–39.

Сведения об авторах

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

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

Арутюнян Левон Вартанович, 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

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

Geodynamics of source zones of strong earthquakes in Armenia

© 2023 R.A. Pashayan¹, J.K. Karapetyan², L.V. Arutyunyan³, K.G. Tovmasyan¹

¹IGES NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia; ²IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia;

³IGIC NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia

Received October 11, 2022

Abstract The purpose of the presented work is to determine and evaluate changes in the geodynamic characteristics of the strong earthquake source zone in the Javakheti highlands and central Armenia. The migration of source zones of strong earthquakes is given. A certain pattern has been revealed in the occurrence of destructive earthquakes in the territory of the Armenian Highlands. Active faults and fault zones of the territory of Armenia have been identified. The sources of strong earthquakes are studied according to seismicity data: seismogeodynamics of source zones and their relationship with the occurrence of strong earthquakes. The geodynamic conditions of source zones of strong earthquakes are estimated from the seismicity data of these zones in connection with the occurrence of strong tectonic movements and taking into account stress and strain fields. The periods of seismic calm, the features of changes in the level of groundwater and chemical composition in connection with the preparation of earthquakes are considered. Based on the block structure of the earth's crust of the territory of Armenia, the dynamic parameters of the blocks of the earth's crust (deformation, stress state) are determined. The geodynamics of strong earthquake source zones in the north and in the middle parts of Armenia, where an increase in seismic activity of these parts of the region has been observed in recent years, has been identified and studied. The seismic geodynamics is substantiated on the basis of data from the study of modern movements of the earth's crust and in the historical past, which gives an idea of the dynamics of physical processes occurring in the source zones of earthquakes. A group of mineral water deposits, which is particularly sensitive to seismic events, has been identified. An estimate of the information content of the observational hydrogeodynamic network of Armenia is given. The geodynamic activity of the zone of sources of strong earthquakes in the Javakheti Highlands of the territory of Armenia has been revealed. A seismological section was built along the strike of rocks in order to determine the direction of migration of earthquake sources in the northern part of the region of Armenia.

Keywords Earthquakes, depth, epicenter, deformation, stress, seismic, hydrogeodynamics, well, mineral water, hydrogeochemistry.

For citation 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: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.1.05>. EDN: JGRQUQ

References

- Ananyan, A.L. (1964). [Mineral waters of the Armenian SSR]. In *Sbornik trudov IGN AN Arm.SSR* [Collection of works of the IGN AS Arm. SSR] (pp. 178-190). Yerevan, Armenia: IGN AS Arm. SSR Publ. (In Russ.).
- Babazade, O.B. (1988). [Seismogeodynamics of focal zones and their relation to the occurrence of strong earthquakes]. In *Sovremennaiia dinamika litosfery kontinentov: tezisy dokladov soveshchaniia. Moskva, 1988, 11–15 iunია. Otv. red. V.S. Khromovskikh* [Modern dynamics of the lithosphere of continents: abstracts of the meeting reports. Moscow, 1988, June 11-15. Ed. by V.S. Khromovskikh] (pp. 90-92). Irkutsk, Russia: IEC SB AS USSR Publ. (In Russ.).
- Dobrovol'skij, I.G., Zubkov, S.I., & Myachkin, V.I. (1980). [On the assessment of the size of the zone of manifestation of earthquake precursors]. In *Modelirovanie predvestnikov zemletriasenii* [Modeling of earthquake precursors] (pp. 7-43). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Grigoryan, S.V., Pashayan, R.A., & Arutyunyan, L.V. (2015). [Hydrogeodynamic and geochemical precursors of earthquakes on the territory of Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports NAS RA], 115(1), 50-58. (In Russ.).
- Karapetyan, N.K. (1990). *Seismogeodinamika i mekhanizm vozniknoveniya zemletryasenij Armyanskogo nagor'ya* [Seismogeodynamics and mechanism of occurrence of earthquakes in the Armenian Highlands]. Yerevan, Armenia: AS Arm. SSR Publ., 263 p. (In Russ.).

- Kissin, I.G., & Savin, I.V. (rev. comp.). (1986). *Metodicheskie rekomendatsii po nabliudeniim dlia vyivleniia gidrogeodinamicheskikh predvestnikov zemletriasenii* [Methodological recommendations on observations to identify hydrogeodynamic precursors of earthquakes]. Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ., 51 p. (In Russ.).
- Kissin, I.G., Barabanov, V.L., Grinevskij, A.O., Markov, V.M., & Hudzinskij, L.L. (1983). [The experience of studying the regime of groundwater for the isolation of hydrogeodynamic precursors of earthquakes]. *Izvestiia AN SSSR. Seriya Fizika Zemli* [Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Solid Earth], 6, 74-86. (In Russ.).
- Melchior, P. (1968). *Zemnye prilivy* [The Earth tides]. Moscow, Russia: Mir Publ. (In Russ.), 482 p. (In Russ.).
- Nazaretyan, S.N., Durganyan, R.R., Shahbenyan, T.A., et al. (2015). *Regional'nye razlomy territorii Armenii po geofizicheskim dannymi ih seismichnost'* [Regional faults of the territory of Armenia according to geophysical data and their seismicity]. Yerevan, Armenia: Publ. House "Gitutyun" NAS RA, 183 p. (In Russ.).
- Nikol'skij, Yu.I., et al. (1971). *Nekotorye cherty tektoniki i istorii geologicheskogo razvitiya territorii Armenii po dannym geofiziki. Vyp. 12* [Some features of the tectonics and history of the geological development of the territory of Armenia according to geophysics. Iss. 12] (pp. 76-91). Leningrad, USSR: Nedra Publ. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (1998). [Studies of hydrodynamic effects as precursors of earthquakes in Armenia. PhD mineral. sci. diss.]. Yerevan, Armenia: NAS RA Publ., 163 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (2019). *Mineral'nye vody Tsentral'noi Armenii* [Mineral waters of Central Armenia]. Chisinau, Moldova: LAP Lambert Academic Publishing, 68 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Ahverdyan, L.A. (2000). *Gidrogeodinamicheskie i elektrouprugie efekty, predshestvuyushchie zemletrchseniyam na territorii Armenii* [Hydrogeodynamic and electroelastic effects preceding earthquakes on the territory of Armenia]. Yerevan, Armenia: Publ. House "Gitutyun" NAS RA, 217 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Arutyunyan, L.V. (2019). [Modern changes in the geodynamics of the Earth's crust of the territory of Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports NAS RA], 119(3), 249-257. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Sargsyan, A.Z. (2006). [Hydrogeodeformational characteristics of Earth crust of the territory of Armenia (2002-2004)]. *Izvestiia NAN RA. Nauki o Zemle* [Izvestiya NAS RA, Earth Science], LLX(3), 30-36. (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 konferencii, 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.).
- Pashayan, R.A., Karapetyan, D.K., Arutyunyan, L.V., Tovmasyan, K.G., & Karamyan, R.A. (2022). [Geophysical monitoring of the geodynamic regime of Central Armenia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(1), 41-52. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2022.1.03. EDN: WKMRYY
- Sargsyan, G.V. (rev. comp.), Abgaryan, G.R., Ohanyan, A.A., & Mugnetsyan, E.A. (2019). [Catalogue of earthquakes of Armenia for 2013]. *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of the Northern Eurasia], 22(2013). Application on CD (In Russ.).
- Trifonov, V.G., Karahanyan, A.S., & Kozhurin, A.I. (1989). [Active faults and seismicity]. *Priroda* [Nature], 12, 32-39. (In Russ.).
- Vartanyan, G.S. (1992). [Hydrogeodeformation field during the Spitak and California earthquakes]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet Geology], 1, 3-9. (In Russ.).

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

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