

Сейсмогеотектоника Армении: основные проблемы

Р. С. Саргсян¹, К. С. Казарян², В. Ю. Бурмин³

¹ Ширакский государственный университет им. М. Налбандяна, Республика Армения, 3126, Гюмри, ул. П. Севака, 4

² Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения, Республика Армения, 3115, Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5

³ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Российская Федерация, 123242, Москва, Большая Грузинская ул., 10

Для цитирования: Саргсян, Р. С., Казарян, К. С., Бурмин, В. Ю. (2021). Сейсмогеотектоника Армении: основные проблемы. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 66 (3), 616–633. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.310>

В статье изложены основные проблемы в существующих на сегодняшний день исследованиях по сейсмогеотектонике территории Армении. Проведен обзор по отдельным вопросам, касающимся точности исходных сейсмологических данных, проблем выделения возможных очаговых зон сильных землетрясений и вероятностной оценке сейсмической опасности территории Армении. Как показывают результаты многочисленных исследований, исходные сейсмологические данные из каталогов и бюллетеней выделяются своей неоднородностью. Разные системы наблюдений и разные методы обработки сейсмологической информации привели к тому, что при визуализации пространственного распределения эпицентров землетрясений на территории Армении за инструментальный период наблюдений получается искусственно решетчатая сеть эпицентров, которая никак не согласуется с разломной тектоникой территории. При изучении распределения гипоцентров землетрясений по глубине выявлен дискретный характер их распределения. В области выделения очаговых зон сильных землетрясений также существует ряд недостатков. Основная часть проведенных исследований базировалась на данных по ранее зафиксированным сильным сейсмическим событиям, а также на данных об исторических землетрясениях, вследствие чего по большей части изучаемой территории, по сути, исследований не было проведено. Кроме того, возникают вопросы относительно примененной в этих исследованиях тектонической основы. Последняя группа проблем касается вероятностной оценки сейсмической опасности территории Армении. Показано, что в имеющихся работах существует довольно много необоснованных допущений. На основе проведенного анализа сделан вывод о том, что в сфере сейсмогеотектонических исследований территории Армении существует ряд актуальных задач, которые требуют первоочередного решения.

Ключевые слова: сейсмогеотектоника, исходные сейсмологические данные, очаговые зоны, тектонические схемы, Армения.

1. Введение

Исследования сейсмогеотектоники территории Армении являются ключевыми, поскольку направлены на обеспечение безопасности жизнедеятельности населения в больших масштабах. Высокая сейсмоактивность и сейсмоопасность территории Армении делают проблемы в этой сфере наиболее актуальными.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2021

Настоящая статья, по сути, является обзорной. В ней предпринята попытка привести итоги ранее проведенных исследований разных авторов, выявить существующие в них противоречия и явные недостатки. В первом приближении часть этих вопросов была отражена в работе (Саргсян и Казарян, 2020). Затронутые в настоящей статье проблемы касаются качества существующих сейсмологических данных, выделения очаговых зон сильных землетрясений и вероятностной оценки сейсмической опасности территории Армении. Исходя из этого структура настоящей статьи разбита на соответствующие разделы.

В науках о Земле и особенно в сфере сейсмотектоники качество проведенных исследований и надежность конечных результатов зависят от нескольких факторов: примененной тектонической основы, точности исходных сейсмологических данных, надежности методики и интерпретации.

В связи с существующими схемами по тектонике Армении нами ранее была опубликована статья (Karapetyan et al., 2020), где были подчеркнуты основные противоречия в существующих схемах, в частности необходимость создания единой тектонической схемы, на которой будут базироваться дальнейшие сейсмотектонические исследования. Кроме разломных схем, существует целый ряд схем по блоковому строению территории, однако, как справедливо указывается в работе (Шахбекян, 2013), в этих схемах также много противоречий.

2. Обсуждение

Качество исходных сейсмологических данных является ключевым элементом при проведении разного рода сейсмологических исследований. Анализ качества сейсмологических данных территории Армении, чему посвящены многие исследования (Аветисян и др., 2015; 2018; Бурмин и др., 2016; 2018), выявил ряд проблем, связанных с точностью определения координат эпицентров землетрясений.

Результаты этих исследований показали, что сейсмологические данные из каталогов по изучаемой территории являются неоднородными. Неоднородность в большинстве случаев связана с количественным и пространственным изменением сейсмических сетей во времени. Известно, что с развитием сейсмологической сети представительность землетрясений может меняться (Бурмин и др., 2013). Необходимо отметить, что каталоги, публикуемые в сборниках «Землетрясения в СССР», начиная с 1967 г., ограничивались уровнем энергетического класса $K \geq 9$ и округлялись по целому значению класса для ряда лет. После Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. на территории Республики Армения увеличилось количество сейсмических станций, и представительность землетрясений стала $K \geq 8$. При изучении сейсмической активности основной предпосылкой является анализ каталога землетрясений исследуемой территории: каталог землетрясений в Армении в основном включает в себя инструментальные данные и перечень исторических землетрясений. В процессе сбора каталогов следует иметь в виду, что сейсмологические данные в разные временные интервалы часто имеют различные уровни надежности из-за отличающихся процедур сбора, методов анализа данных и доступной информации. Для землетрясений, зарегистрированных в период инструментальных наблюдений, составление сейсмических каталогов имеет разные

уровни целостности во времени и пространстве из-за изменений плотности сети в изучаемом временном интервале.

Для исследования пространственно-временного распределения гипоцентров землетрясений и анализа достоверности данных каталогов землетрясений территории Армении временной интервал был разбит на два этапа: 1962–1990 и 1991–2018 гг. В качестве исходных данных были использованы данные бюллетеней сейсмических станций Кавказа и данные из фондов ГС РАН (Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа, 1973, 1974; Сейсмический бюллетень Кавказа, 1973–1990; Сейсмологический бюллетень Армении, 1987–2015; *isc.ac.uk*, n. d.). Исторические данные о сильных землетрясениях взяты из базы данных каталога землетрясений Кавказа с $M \geq 4.0$ с древнейших времен до инструментального периода (Годзиковская, 1999).

На рис. 1 показано пространственное распределение эпицентров землетрясений территории Армении и прилегающих районов за период 1962–1990 гг. и исторических сильных землетрясений. Как видно из рис. 1, эпицентры землетрясений за указанный временной период равномерно распределены практически по всей исследуемой территории, за исключением северо-западной части Армении и Джавахетского нагорья. Использование таких данных при изучении приуроченности очагов к определенным геологическим структурам и выявлении пространственных

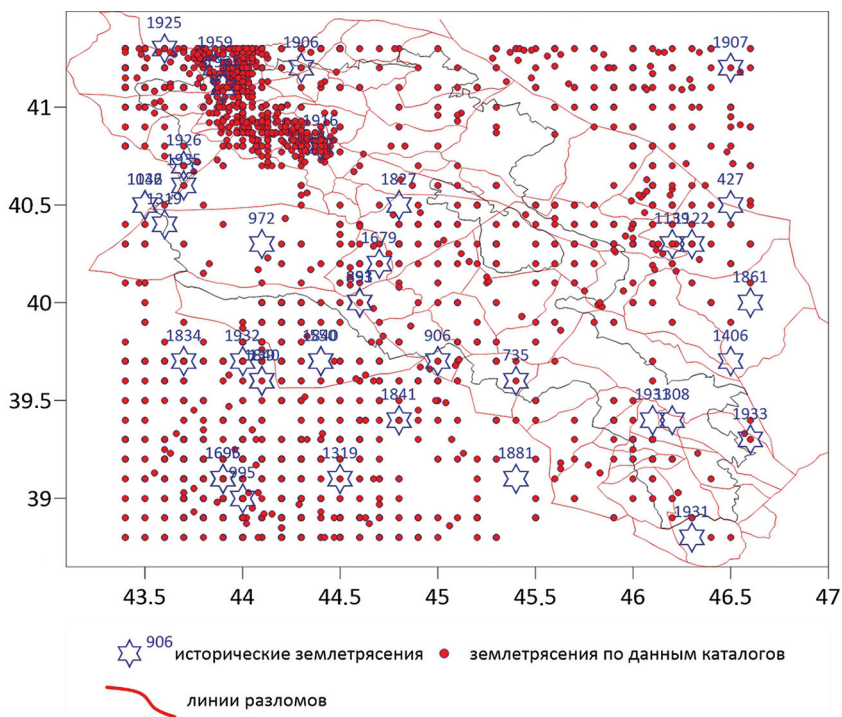


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений территории Армении и сопредельных областей за период 1962–1990 гг. и за исторический период (Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа, 1973, 1974; Годзиковская, 1999; Сейсмический бюллетень Кавказа, 1973–1990; Сейсмологический бюллетень Армении, 1987–2015; *isc.ac.uk*, n. d.)

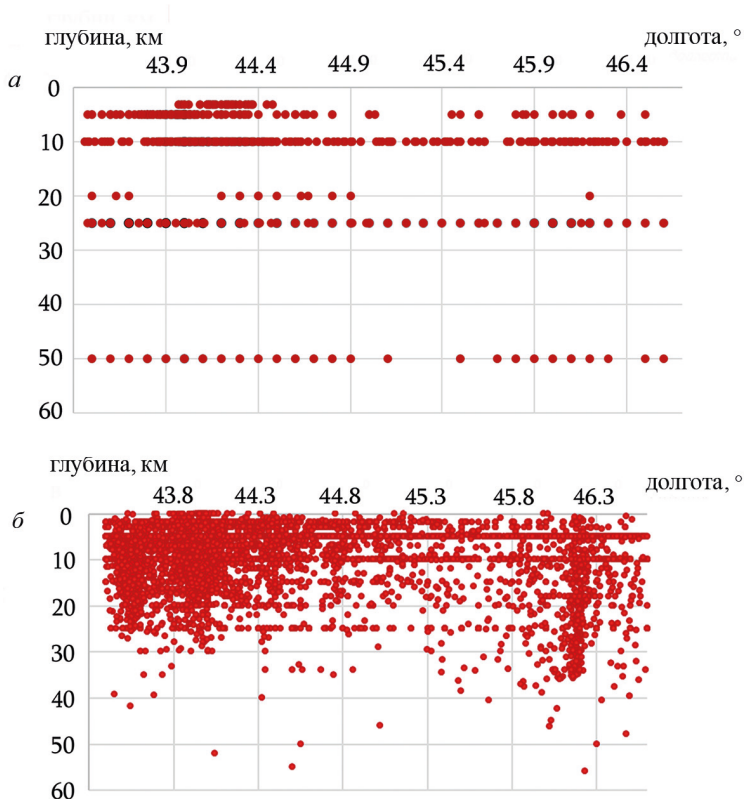


Рис. 2. Распределение гипоцентров землетрясений территории Армении и сопредельных областей за 1962–1990 гг. (а) и 1991–2018 гг. (б) до переопределения координат (Бурмин и др., 2016; 2018). Красные точки обозначают землетрясения по данным каталогов

закономерностей распределений эпицентров землетрясений не позволит получить фундаментальные результаты. По такому распределению эпицентров можно предположить отсутствие на территории Армении блоковых структур, что противоречит результатам многочисленных исследований о структуре верхней части земной коры в этом регионе.

Некоторые вопросы вызывает также распределение эпицентров исторических землетрясений. В частности, как видно из карты (рис. 1), с 851 по 893 г. в центральной части Армении произошли Двинские землетрясения с магнитудами от 5.2 до 6.4, координаты эпицентров которых расположены в одной и той же точке, что и с тектонической позиции, и при изучении статистических данных не является возможным, и таких примеров несколько. Следовательно, локализация эпицентров исторических землетрясений проводилась с большими приближениями.

На рис. 2, а, б, представлено распределение гипоцентров по долготе за период 1962–1990 и 1991–2018 гг.

Как видно из рис. 2, а, глубины очагов землетрясений исследуемой территории определялись приближенно, поскольку они выражены преимущественно дискрет-

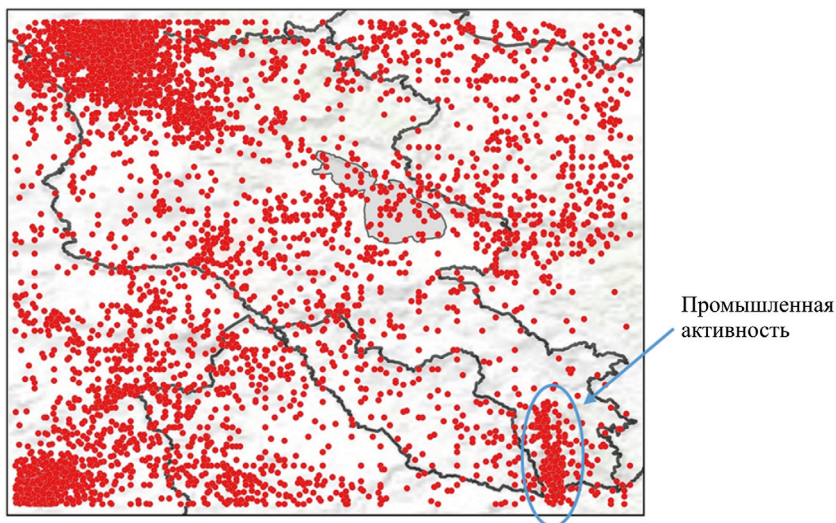


Рис. 3. Пространственное распределение эпицентров землетрясений территории Армении и прилегающих районов за период 1991–2018 гг. (Бурмин и др., 2016; 2018). Красные точки обозначают землетрясения по данным каталогов, серые линии — линии разломов

ными значениями 5, 10, 20, 25 и 50 км. Это обстоятельство объясняется тем, что обработка сейсмологического материала осуществлялась с применением годографа Левицкой — Лебедевой, построенного для землетрясений Закавказья, и методом палеток изохрон Я.В. Ризниченко, построенных по годографам А.Саакяна для глубин очагов $H = 5, 10, 15, 20, 25$ км (Левицкая и Лебедева, 1953), следовательно, именно такие приближенные значения и приведены в каталогах землетрясений. Как видно из рис. 2, б, глубины очагов землетрясений не превышают 60 км и опять существуют приближенные значения 5, 10, 25 км.

На рис. 3 показано пространственное распределение эпицентров землетрясений территории Армении и прилегающих районов за период 1991–2018 гг. Изучив данные каталогов за указанный период, необходимо отметить, что искусственный решетчатый вид эпицентров продолжается до 2000-х гг. Начиная с 2006 г. появляются другие проблемы, которые влияют на достоверный статистический анализ. Как отмечается в работе (Артемова и Михайлова, 2014), в каталогах землетрясений территории Армении выявлены промышленные взрывы. В связи с этим объем информации в каталогах землетрясений резко возрос и составил $N = 1306, 1901$ и 1667 сейсмических событий соответственно в 2006, 2007 и 2008 гг., в то время как в 2004 и 2005 гг. было зафиксировано соответственно 560 и 546 землетрясений. Все события представлены авторами каталогов в качестве землетрясений. Столь резкое увеличение количества событий заслуживает специального рассмотрения и имеет важное значение для правильной оценки пространственно-временной динамики сейсмических процессов на территории Армении.

2.1. Проблема выделения возможных очаговых зон сильных землетрясений территории Армении

Проблема выделения возможных очаговых зон (ВОЗ) является по сей день наиболее актуальной в сфере сейсмотектоники Армении, поскольку ряд разрушительных сейсмических событий, инструментально зафиксированных и упомянутых во многих исторических летописях, показывает, что сильные землетрясения на территории Армении могут произойти в самых разных ее частях, тем самым представляя собой реальную угрозу для жизнедеятельности населения. Последним таким событием является Спитакское разрушительное землетрясение 7 декабря 1988 г. с $M=7.1$. Следовательно, проблема ВОЗ и ее надежное решение могут обеспечить необходимую основу для объективной и точной оценки вероятностной сейсмической опасности.

На сегодняшний день по проблеме ВОЗ для территории Армении существует ряд работ, которые, однако, не сильно отличаются друг от друга по примененному научному подходу. Дело в том, что в большинстве случаев для решения проблемы ВОЗ ключевую роль играли сейсмологические данные о сильных землетрясениях. Данное обстоятельство, по сути, вводит искусственные разграничения, поскольку в качестве ВОЗ выделялись те сейсмогенные структуры, где в инструментальном периоде наблюдений или в исторических летописях существовали данные или упоминания о сильных землетрясениях. Естественно, что в этой связи не уделялось должного внимания структурам, для которых не имелось подобной информации. Это самый главный пробел в исследованиях по выделению ВОЗ Армении, который можно проследить практически во всех имеющихся работах.

Первые работы по выделению ВОЗ на территории Армении были проведены еще во времена СССР. Наиболее яркой из них является книга (Габриелян и др., 1981). В этой книге авторы, применяя схему геотектонического районирования территории Армении (Габриелян, 1974), по имеющимся в то время сейсмологическим данным провели пространственный анализ сейсмичности и пришли к выводу, что «более сейсмоактивны районы, характеризующиеся дифференцированными и контрастными типами новейших движений. Чем больше изменение знака и скорости новейших и современных движений по простиранию и во времени, т.е. чем больше их градиент, тем выше сейсмоактивность» (Габриелян и др., 1981, с. 122). Далее в той же работе авторы распространяют это заключение на основные геотектонические зоны территории Армении. Основным «недостатком» здесь нужно считать масштаб проведения исследования, который в основном был 1:200 000 и меньше, что, вследствие довольно сложной тектонической структуры территории Армении, предоставило возможность составить только обобщенное представление об ее сейсмотектонических характеристиках на уровне геотектонических зон.

В постсоветское время основная часть исследований по выделению ВОЗ территории Армении была проведена в Институте геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) НАН РА. В этих работах на первый план выходили геофизические данные и методы в совокупности с сейсмологическими данными.

Одним из этих исследований, проводившимся на основе гравитационной модели сейсмоактивного слоя территории Армении в масштабе 1:200 000, является работа (Оганесян и др., 2008). В ней для территории Армении впервые было выдвинуто

нито понятие о сейсмоактивном слое и его блоковом строении. Согласно данному исследованию, сейсмоактивный слой включает самую верхнюю часть земной коры территории Армении с мощностью в среднем 20 км. Блоковое строение территории было выделено путем анализа гравитационного поля, в результате чего, по сравнению с условно принятой глубиной 20 км, блоки территории были подразделены на две категории: блоки, приподнятые над этим уровнем, и блоки, опущенные относительно этого уровня.

Выбор мощности сейсмоактивного слоя обусловлен значениями глубин очагов землетрясений, а в роли источников исходных данных выступали каталоги и бюллетени. Однако, как было отмечено в предыдущем разделе, в связи с дискретным по глубине распределением очагов землетрясений невозможно однозначным образом характеризовать основные структурные черты сейсмоактивного слоя. Надежность такого исследования и полученных результатов вообще ставится под вопрос при рассмотрении пространственного распределения очагов землетрясений территории Армении (см. рис. 4, а), составленного после перепределения координат гипоцентров. В частности, из рисунка следует, что гипоцентры землетрясений в земной коре имеют не горизонтальное (см. рис. 4, б), а вертикальное распределение, что с геолого-тектонической позиции более приемлемо и логично, исходя из современных представлений о структуре разломных зон (Кочарян, 2016; Шерман и Семинский, 2010; Шерман и Сорокин, 2016). Далее в той же работе авторами предпринята попытка выделить ВОЗ с указанием возможных максимальных значений магнитуд. Здесь также можно наблюдать некоторые критические моменты, с которыми трудно согласиться. Главным из них является то, что оценка сейсмотектонического потенциала (возможных максимальных значений магнитуд — M_{max}) разломов производилась только на основе ранее зафиксированных сейсмических событий. Авторы уделяют некоторое внимание геолого-тектоническим характеристикам сейсмогенных зон, в частности их длине, размеру взаимодействующих блоков, эпицентральному расстоянию сильных землетрясений и т. д. Однако все же главным показателем для выделения ВОЗ выступают имеющиеся сейсмологические данные. В результате такого подхода сегменты разломов, где за инструментальный период не было зафиксировано сильных сейсмических событий, искусственно получили низкие значения M_{max} , а те, на которых сильные землетрясения наблюдались, получили, наоборот, высокие значения M_{max} . Кроме того, авторами не приводится четкое обоснование тому, почему приподнятые над глубинным уровнем 20 км блоки считаются сейсмоактивными, а опущенные — пассивными.

В последние годы в ИГИС НАН РА стала использоваться концепция «очаг — объем» (Bath and Duda, 1964), которая нашла свое применение в работах (Гаспарян и др., 2019а; 2019б). Исходя из идеологии данной концепции, показателями для оценки возможных значений M_{max} служат геометрические характеристики блоков, главным образом их объем. Стоит подчеркнуть, что в вышеперечисленных исследованиях была применена та же гравитационная модель блокового строения сейсмоактивного слоя Армении, что и в предыдущих работах (Оганесян и др., 2008). На рис. 5 представлены максимально возможные магнитуды для блоков, подсчитанные именно по указанному подходу. Главным вопросом в связи с полученными результатами данного исследования является следующее: если значение M_{max}

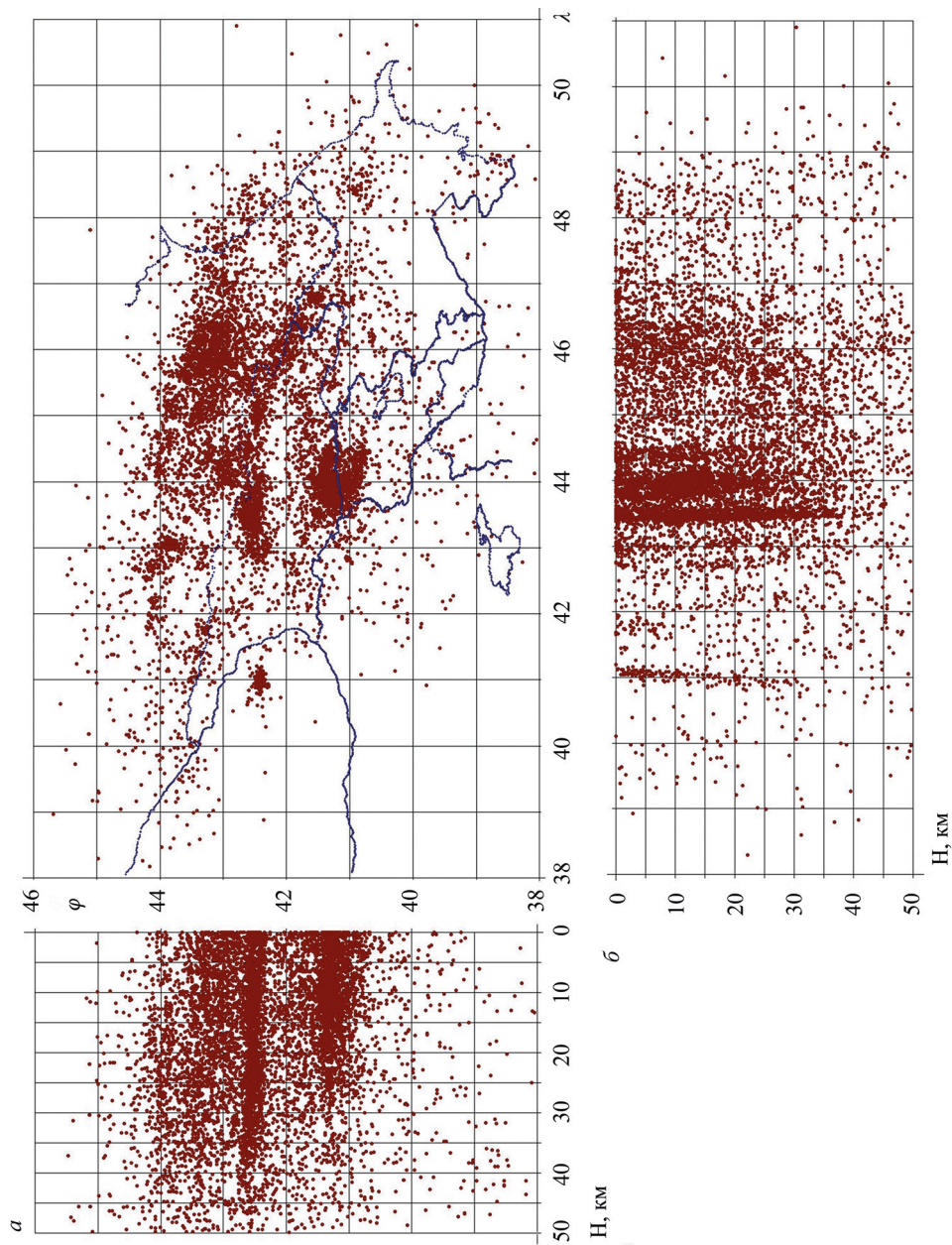


Рис. 4. Пространственное распределение эпицентров и гипоцентров землетрясений Кавказского региона после переопределения координат землетрясений (Бурмин и др., 2016; 2018). Красные точки обозначают землетрясения по данным каталогов, синие линии — линии разломов

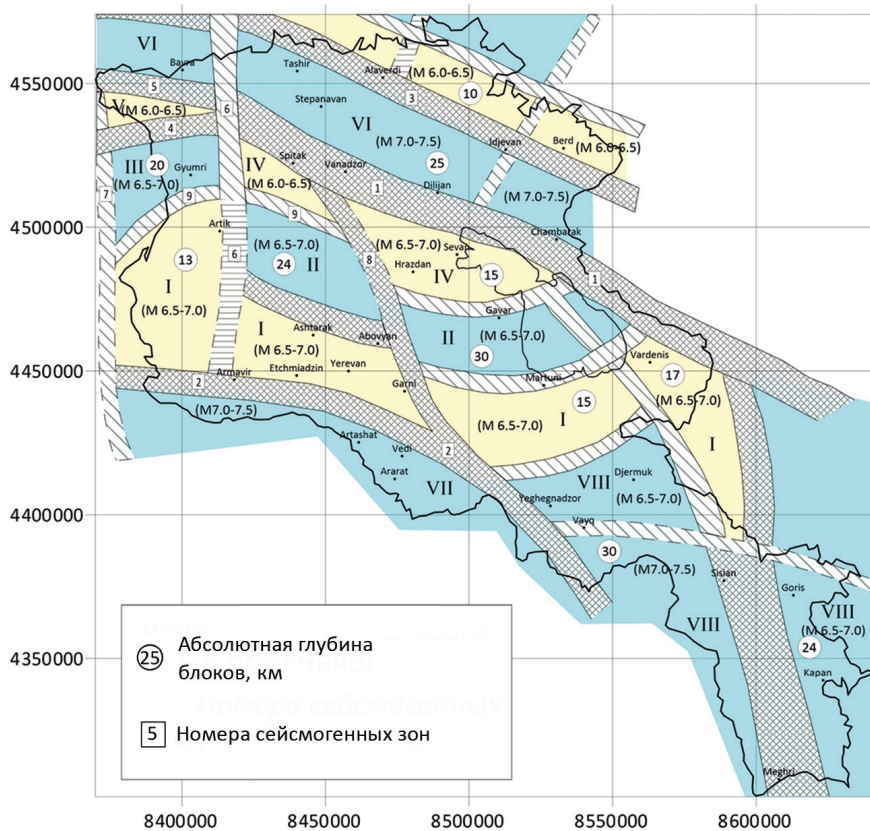


Рис. 5. Структурно-динамическая модель сейсмоактивного слоя территории Армении и возможный сейсмотектонический потенциал по (Оганесян и др., 2008).

Разломы: 1 — Памбак-Севанский, 2 — Ереванский, 3 — Ниноцминда-Мецаванский, 4 — Вардапюр-Амасийский, 5 — Арпи-Вардапюрский, 6 — Арагац-Джавахетский, 7 — Транскавказский шов, 8 — Гарни-Спитакский, 9 — Ани-Баяндур-Алагезский. Координаты карты — СК-42

характеризует весь блок, то почему сильные землетрясения за исторический и инструментальные периоды наблюдений были зафиксированы не по всему контуру блоков, а только в определенных местах их взаимодействия? Это означает, что анализ тектонических ситуаций в зонах взаимодействия блоков в этих исследованиях не проводился.

Авторами настоящей статьи, исходя из выводов, сделанных в работе (Габриелян и др., 1981), было проведено исследование пространственных закономерностей сейсмической активности разных частей территории Армении в контексте с неотектонической (неоген-четвертичной) активностью блоков (Казарян и Саргсян, 2020; 2021). В этих исследованиях была применена крупномасштабная схема морфоструктурного районирования территории Армении, в детальности отражающая ее блоковое строение (Саргсян, 2020). Была проведена классификация блоков по степени тектонической активности, в результате чего блоки были подразделены на три группы: высокой, средней и низкой активности. Пространственное распре-

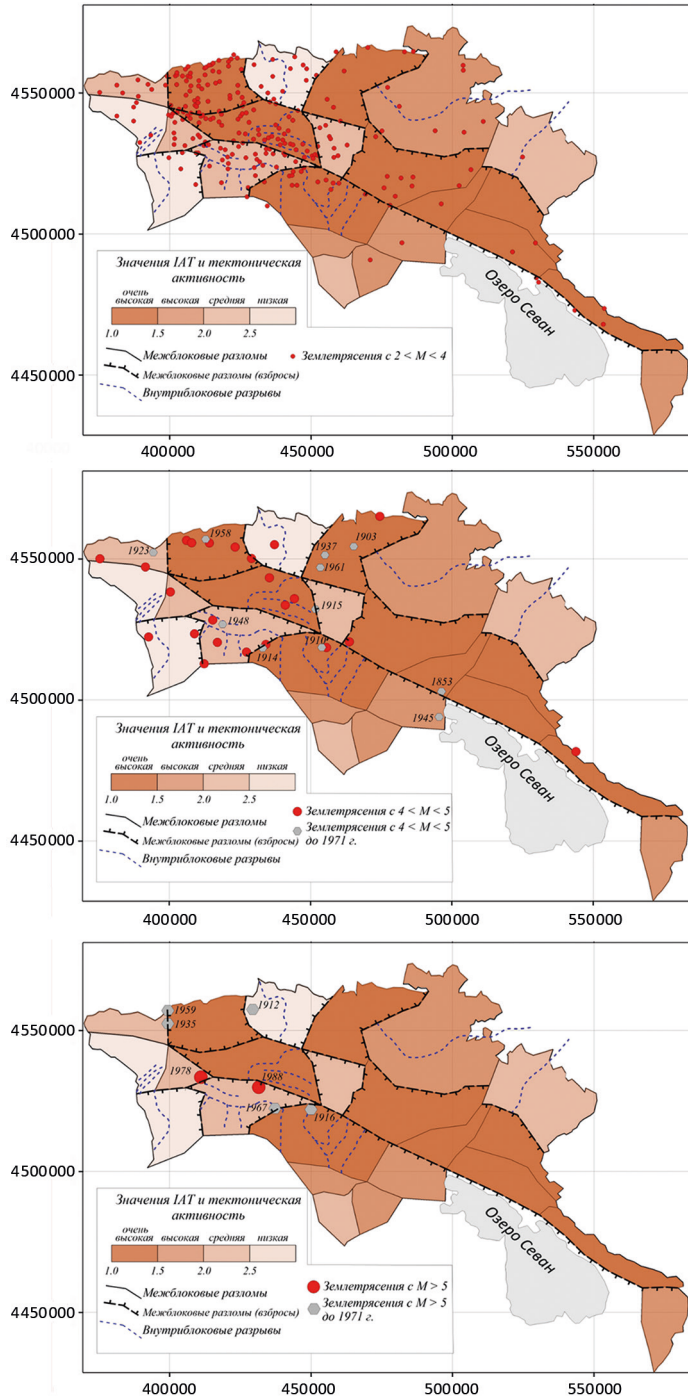


Рис. 6. Пространственное распределение эпицентров землетрясений разной мощности в Северной Армении в контексте новейшей тектонической активности блоков (Казарян и Саргсян, 2020)

деление гипоцентров землетрясений показало, что сейсмические события разной мощности наблюдаются в определенных тектонических ситуациях — в зонах взаимодействия блоков с разной степенью активности (рис. 6). Это позволило авторам работы выделить возможные места возникновения сильных землетрясений, в том числе такие, для которых отсутствуют данные о сильных землетрясениях. Это, по сути, является важным шагом, который позволяет при выделении ВОЗ на территории Армении отталкиваться не от имеющихся сейсмологических данных, а от изучения геодинамических характеристик блоков земной коры. Стоит отметить, что и по сей день авторами ведутся исследования, направленные на выявление новых факторов, благоприятствующих возникновению сильных землетрясений на территории Армении.

Исходя из имеющихся исследований по выделению ВОЗ территории Армении и обобщая существующие в них проблемы, можно заключить, что эта группа сейсмотектонических задач по-прежнему сохраняет свою актуальность и является весьма перспективной для изучения.

2.2. Проблема вероятностной оценки сейсмической опасности территории Армении

Существующие карты сейсмического районирования и имеющиеся в них отличия довольно детально рассмотрены в работе (Григорян и др., 2019). В работе сопоставлены составленные в разные периоды карты сейсмической опасности территории Армении, проведен их сравнительный анализ. В качестве заключения авторами было подчеркнuto, что существует много противоречий в имеющихся картах, однако их качество со временем стало только повышаться. В той же работе была предложена вероятностная карта сейсмического районирования в масштабе 1:500 000 (ИГИС НАН РА), которая представляла собой генерализованную версию карты масштаба 1:200 000. Обе карты были составлены на основе ранее выделенных в работе (Гаспарян и др., 1999) сейсмогенных зон территории Армении, где также была проведена оценка возможных максимальных магнитуд M_{max} . В связи с этим стоит подчеркнуть, что статья (Гаспарян и др., 1999), по сути, является предшественником работы (Оганесян и др., 2008), где применены аналогичные научные подходы, схожий фактический материал и, что самое главное, исходные сейсмологические данные, о которых детально говорилось в первом разделе статьи. Следовательно, замечания и недостатки, которые были указаны для вышеперечисленных работ, в свою очередь, касаются статьи (Григорян и др., 2019).

В направлении оценки вероятностной сейсмической опасности территории Армении немало работ было проведено также в Институте геологических наук (ИГН) НАН РА (Philip et al., 2001; Karakhanian et al., 2004). По своей сути эти работы во многом отличались от вышеупомянутых. Все они практически базировались на т. н. схеме активной тектоники Армении (Karakhanian, 1993), где были выделены основные активные разломы территории Армении. Как обоснование термина «активный разлом» было принято только то обстоятельство, что эти геологические элементы, по мнению авторов, проявляли геологическую активность за последние 100 тыс. лет. Ввиду того, что существует множество трактовок термина «активный разлом», о чем детально говорится в работе (Лунина, 2010), считаем, что актив-

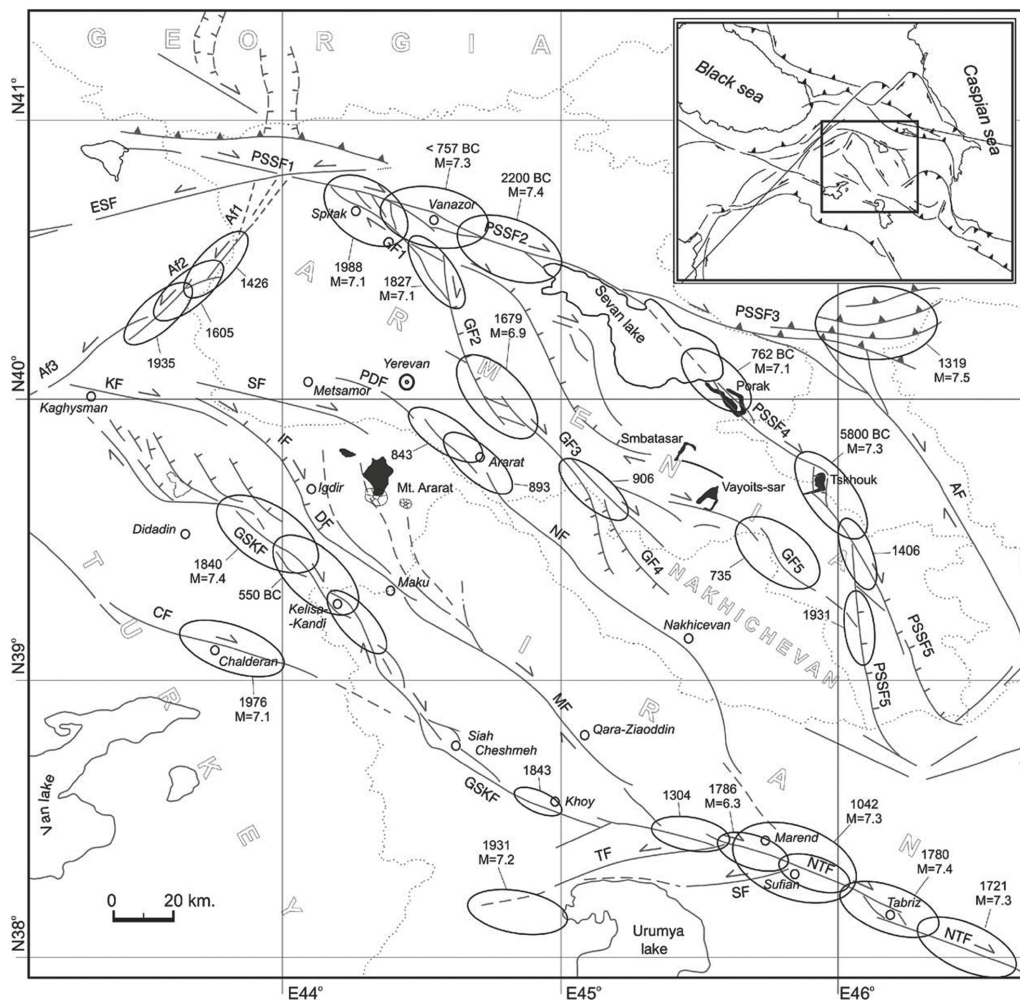


Рис. 7. Схематическая карта активных разломов территории Армении, по А.Караханяну (Karakhanyan et al., 2004)

ность разломов территории Армении, тем более их классификация на «активные» и «неактивные», до сих пор является проблемой открытой, требующей дальнейших исследований. Еще одним важным моментом, о котором следует упомянуть, является то, что в отличие от работ ИГИС НАН РА, в проведенных здесь исследованиях разломы представляются в виде одномерных линий — линеаментов. Кроме того, практически не упоминается о масштабе исследований.

Тем не менее работы, проведенные в ИГН НАН РА, кроме сейсмологических данных из каталогов, базируются также на палеосейсмологических исследованиях, на подсчете современных скоростей горизонтальных подвижек по станциям GPS и долгосрочных горизонтальных подвижек (long-term slip rates) (рис. 7). Для оценки вероятностной сейсмической опасности территории Армении были применены эмпирические зависимости и методы, предложенные в работах (Wells and Coppersmith, 1994; McCalpin, 1996).

Основные существующие вопросы по этим исследованиям, кроме выборки разломов, касаются прежде всего их сегментации. Выделение отдельных разломных сегментов, по сути, базировалось только на показателе их азимута простирания, и тем самым не было обращено внимания на блоковое строение территории. По нашему мнению, это довольно серьезный пробел, так как степень активности и геометрические параметры разломов во многом обусловлены именно аналогичными характеристиками блоков земной коры, и рассмотрение разломов вне зависимости от блокового строения территории ошибочно. Кроме того, общепринято, что блоки являются основными концентраторами тектонических напряжений в земной коре, в то время как разломы являются местами разгрузки этих напряжений, и, следовательно, оценка сейсмоопасности разломов вне зависимости от блоков во многом является искусственной.

Важное научное значение этих работ связано, в первую очередь, с палеосейсмологическими исследованиями, которые предоставили возможность выявить более десяти палеоземлетрясений на территории Армении с $M > 6$ (Karakhanyan et al., 2016) и тем самым дополнить каталог сильных землетрясений территории Армении. Однако такого рода научные открытия приводят к появлению новых научных проблем, исследование которых также является немаловажной задачей. В данном конкретном случае возникают вопросы о том, почему землетрясения такой величины более не наблюдались в тех же местах и каким является временной интервал их повторения. Одновременно возникает необходимость реконструкции палеотектонических обстановок, при которых стало возможным возникновение этих землетрясений, с целью прогноза их возможного повторения в будущем.

3. Заключение

В результате проведенного анализа существующих исследований по сейсмологии и сеймотектонике Армении представляется возможным сделать следующие выводы.

Для территории Армении как для сейсмоактивного региона принципиально важное научно-практическое значение имеет создание единой сеймотектонической основы, на базе которой будут проводиться основные исследования в данной области.

Применение уточненных сейсмологических данных предоставит возможность для проведения более обоснованных и надежных исследований по изучению пространственно-временных особенностей сейсмической активности территории.

Проблемы по выделению очаговых зон сильных землетрясений и оценки сейсмической опасности территории Армении продолжают сохранять свою актуальность и, по сути, являются проблемами открытыми, подлежащими дальнейшему детальному изучению.

Литература

Аветисян, А. М., Бурмин, В. Ю., Карапетян, Дж. К., Казарян, К. С. (2018). Анализ результатов определения глубин афтершоков Спитакского землетрясения. *Доклады Национальной академии наук Армении*, 118 (4), 321–330.

- Аветисян, А. М., Бурмин, В. Ю., Оганесян, А. О., Казарян, К. С. (2015). Анализ исходных данных и результатов обработки сейсмологической информации на территории Армении. *Известия НАН РА, Науки о Земле*, 68 (2), 31–43.
- Артемова, Е. В., Михайлова, Р. С. (2014). Возможные взрывы в каталоге землетрясений Республики Армения за 2006–2008 гг. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. В: *Материалы Девятой международной сейсмологической школы*. Обнинск, 49–53.
- Бурмин, В. Ю., Аветисян, А. М., Сергеева, Н. А., Казарян, К. С. (2013). Некоторые закономерности проявления современной сейсмичности Кавказа. *Сейсмические приборы*, 49, 11–17.
- Бурмин, В. Ю., Шемелева, И. Б., Флейфель, Л. Д., Аветисян, А. М., Казарян, К. С. (2018). Пространственное распределение коровых землетрясений Кавказа. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 45 (1), 39–48. <https://doi.org/10.21455/VIS2018.1-4>
- Бурмин, В. Ю., Шемелева, И. Б., Флейфель, Л. Д., Аветисян, А. М., Казарян, К. С. (2016). Результаты обработки сейсмологических данных для территории Армении. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 43 (1), 29–39.
- Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа*. (1973, 1974). [ежегодник] Тбилиси: Мецниереба.
- Габриелян, А. А. (1974). Геотектоническое районирование территории Армянской ССР. *Известия АН АрмССР. Науки о Земле*, 4, 3–21.
- Габриелян, А. А., Саркисян, О. А., Симонян, Г. П. (1981). *Сейсмотектоника Армянской ССР*. Ереван: Изд-во Ереванского университета.
- Гаспарян, Г. С., Оганесян, А. О., Геодакян, Э. Г., Фиданян, Ф. М. (1999). Сейсмогенные зоны территории Армении и оценка максимально возможных ожидаемых землетрясений. В: *Сборник научных трудов*. Гюмри: Гитутюн, 120–130.
- Гаспарян, Г. С., Оганесян, А. О., Казарян, К. С., Саргсян, Р. С., Авдалян, А. Г. (20196). О потенциальной сейсмичности геоструктурных элементов земной коры территории Армении. В: *Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии*. Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 23–28.
- Гаспарян, Г. С., Оганесян, А. О., Саргсян, Р. С. (2019а). Об уровне сейсмотектонического потенциала Анатолийско-Кавказско-Иранского региона Средиземноморско-Тихоокеанского пояса. В: *Проблемы тектоники континентов и океанов, материалы LI Тектонического совещания*. Т. 1. Москва: ГЕОС, 135–140.
- Годзиковская, А. А. (сост.) (1999). *База Данных «Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) с древнейших времен по 2000 г.»*. [online] Доступно на: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/catrudat.html> [Дата доступа 29.07.2021].
- Григорян, В. Г., Карапетян, Дж. К., Казарян, К. С., Саргсян, Р. С. (2019). Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР. *Геология и геофизика Юга России*, 9 (1), 71–83.
- Казарян, К. С., Саргсян, Р. С. (2020). Общие закономерности сейсмической активности северной Армении в связи с блоковым строением и тектонической активностью территории. *Геодинамика и тектонофизика*, 11 (3), 595–605. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0493>
- Казарян, К. С., Саргсян, Р. С. (2021). Сейсмотектонический анализ Вирайойц-Карабахской зоны территории Армении и прилегающих частей Малого Кавказа. *Геодинамика и тектонофизика*, 12 (1), 157–165. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0519>
- Кочарян, Г. Г. (2016). *Геомеханика разломов*. Москва: ГЕОС.
- Левицкая, А. Я., Лебедева, Т. М. (1953). Годограф сейсмических волн Кавказа. В: *Квартальный сейсмический бюллетень*, XXI (1–4), 51–59.
- Лунина, О. В. (2010). Формализованная оценка степени активности разломов в плиоцен-четвертичное время. *Геология и геофизика*, 51 (4), 525–539.
- Оганесян, С. М., Оганесян, А. О., Геодакян, Э. Г., Гаспарян, Г. С. (2008). Выделение зон возникновения очагов землетрясений на основе сейсмологической идентификации и параметризации основных элементов структурно-динамической модели земной коры Армении. *Известия НАН РА, Науки о Земле*, LXI (1), 39–43.
- Саргсян, Р. С. (2020). Выделение и оценка неотектонической активности блоковых структур территории Армении и сопредельных частей Малого Кавказа на основе ГИС анализа цифровых моделей рельефа и тектоно-геоморфологических индексов. *Геоинформатика*, (2), 20–26.

- Саргсян, Р.С., Казарян, К.С. (2020). Современное состояние и пути решения задач по выделению очаговых зон сильных землетрясений и оценки сейсмотектонического потенциала территории Армении. В: *Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики, материалы ЛII Тектонического совещания*. Т. 2. Москва: ГЕОС, 281–286.
- Сейсмический бюллетень Кавказа*. (1973–1990). [ежегодник] Тбилиси: Мецниереба.
- Сейсмологический бюллетень Армении*. (1987–2015). [ежегодник] Фонды Национальной службы сейсмической защиты Республики Армении.
- Шахбекян, Т.А. (2013). О блоковом строении территории Армении. *Ученые записки ЕГУ, Геология и география*, (3), 9–14.
- Шерман, С.И., Семинский, К.Ж. (2010). Тектонофизические исследования в институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи. *Геодинамика и тектонофизика*, 1 (1), 4–23.
- Шерман, С.И., Сорокин, А.П. (2016). Первичная делимость протолитосферы и современная тектоническая делимость блоков литосферы: новые реконструкции. *Доклады Академии наук*, 470 (4), 440–444.
- Bath, M. and Duda, S.J. (1964). Earthquake volume, fault plan area, seismic energy, strain, deformation and related quantities. *Ann. Geophysics*, 17 (3), 353–368.
- isc.ac.uk. (n. d.). *Международный сейсмологический центр*. [online] Доступно на: <http://www.isc.ac.uk/> [Дата доступа 30.07.2021].
- Karakhanian, A. S., Trifonov, V. G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Salih Bayraktutan, M., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V. and Adilkhanian, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 189–219.
- 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., Arakelyan, A., Avagyan, A. and Sadoyan, T. (2016). Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. In: R. Sorkhabi, ed., *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper. Vol. 525*, 445–475. [https://doi.org/10.1130/2016.2525\(14\)](https://doi.org/10.1130/2016.2525(14))
- Karapetyan, J., Sargsyan, R., Ghazaryan, K., Dzeranov, B., Dzeboev, B. and Karapetyan, R. (2020). Current state of exploration and actual problems of tectonics, seismology and seismotectonics of Armenia. *Russian Journal of Earth Sciences*, 20, ES2005. <https://doi.org/10.2205/2020ES000709>
- McCalpin, J.P. (1996). *Paleoseismology*. London: Academic Press.
- Philip, H., Avagyan, A., Karakhanyan, A., Ritz, J.-F. and Rebai, S. (2001). Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak — Sevan — Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, 343, 205–232. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00258-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00258-X)
- Wells, D. and Coppersmith, K. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4), 974–1002.

Статья поступила в редакцию 9 сентября 2020 г.
Статья рекомендована в печать 18 июня 2021 г.

Контактная информация:

Саргсян Рудольф Суменович — rudolf-sargsyan@mail.ru
Казарян Карлен Суменович — g.karlen90@bk.ru
Бурмин Валерий Юрьевич — burmin@ifz.ru

Seismotectonics of Armenia: main problems

R. S. Sargsyan¹, K. S. Ghazaryan², V. Yu. Burmin³

¹ Shirak State University named after M. Nalbandyan,
4, ul. P. Sevaka, Gyumri, 3126, Armenia

² Institute of Geophysics and Engineering Seismology
named after A. Nazarov of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia,
5, ul. V. Sargsyana, Gyumri, 3115, Armenia

³ Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
10, Bolshaya Gruzinskaya ul., Moscow, 123242, Russian Federation

For citation: Sargsyan, R. S., Ghazaryan, K. S., Burmin, V. Yu. (2021). Seismotectonics of Armenia: main problems. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 66 (3), 616–633. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.310> (In Russian)

The article describes the main problems in the existing research on the seismotectonics of the territory of Armenia. A review was conducted on certain issues related to the accuracy of the initial seismological data, the problem of identifying possible focal zones of strong earthquakes, and the probabilistic assessment of the seismic hazard of the territory of Armenia. As the results of numerous studies show, the initial seismological data from catalogs and bulletins are characterized by their heterogeneity. Different observation systems and different methods of seismological data processing have led to the fact that when visualizing the spatial distribution of earthquake epicenters on the territory of Armenia, during the instrumental period of observations, an artificially lattice network of epicenters is obtained, which does not agree in any way with the fault tectonics of the territory. While studying the distribution of earthquake hypocenters by depth, the discrete nature of their distribution was revealed. There is also a number of disadvantages in the area of allocation of focal zones of strong earthquakes. The main part of the conducted research was primarily based on data from previously recorded strong seismic events, as well as on data on historical earthquakes. As a result, for the most part of the studied territory, in fact, no research was conducted. In addition, there are relevant questions about the tectonic basis used in these studies. The last group of problems concerns the probabilistic assessment of the seismic hazard of the territory of Armenia. It is shown that in the existing works there are quite a few unsubstantiated assumptions. Based on the analysis, it is concluded that in the field of seismotectonic studies of the territory of Armenia, there are a number of urgent tasks that require priority solutions.

Keywords: seismotectonics, initial seismological data, prone zones, tectonic schemes, Armenia.

References

- Artemova, E. V. and Mikhailova, R. S. (2014). Possible explosions in the catalog of earthquakes of the Republic of Armenia for 2006–2008. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. In: *Proceedings of the Ninth International Seismological School*. Obninsk, 49–53. (In Russian)
- Avetisyan, A. M., Burmin, V. Yu., Hovhansyan, H. H. and Kazaryan, K. S. (2015). Analysis of the initial data and results of processing of seismological information of the territory of Armenia. *Proceedings of NAS RA, Earth Sciences*, 68 (2), 31–43. (In Russian)
- Avetisyan, A. M., Burmin, V. Yu., Karapetyan, J. K. and Kazaryan, K. S. (2018). Analysis of results of definition of depths of Spitak earthquake aftershocks. *Reports of NAS RA*, 118 (4), 321–330. (In Russian)
- Bath, M. and Duda, S. J. (1964). Earthquake volume, fault plan area, seismic energy, strain, deformation and related quantities. *Ann. Geophysics*, 17 (3), 353–368.
- Burmin, V. Yu., Avetisyan, A. M., Sergeeva, N. A. and Kazaryan, K. S. (2013). Some regularities on modern seismicity of Caucasus. *Seismological Instruments*, 49, 11–17. (In Russian)

- Burmin, V. Yu., Shemeleva, I. B., Fleyfel, L. D., Avetisyan, A. M. and Kazaryan, K. S. (2018). Spatial distribution of crustal earthquakes of Caucasus. *Problems of Engineering Seismology*, 45 (1), 39–48. <https://doi.org/10.21445/VIS2018.1-4> (In Russian)
- Burmin, V. Yu., Shemeleva, I. B., Fleyfel, L. D., Avetisyan, A. M. and Kazaryan, K. S. (2016). The results of processing of seismological data for the territory of Armenia. *Problems of Engineering Seismology*, 43 (1), 29–39. (In Russian)
- Gabrielyan, A. H. (1974). Geotectonic zoning of the territory of Armenian SSR. *Proceedings of AS ArmSSR, Earth Sciences*, 4, 3–21. (In Russian)
- Gabrielyan, A. H., Sarkisyan, H. H. and Simonyan, G. P. (1981). *Seismotectonics of Armenian SSR*. Yerevan: Yerevan University Press. (In Russian)
- Gasparyan, H. S., Hovhannisyan, H. H. and Sargsyan, R. S. (2019). On the level of seismotectonic potential of Anatolia-Caucasus-Iranian region of Pacific-Mediterranean belt. In: *Problems of Tectonics of Continents and Oceans, materials of LI Tectonic Meeting. Vol. 1*. Moscow: GEOS Publ., 135–140. (In Russian)
- Gasparyan, H. S., Hovhannisyan, H. H., Geodakyan, E. G. and Fidanyan, F. M. (1999). Seismogenic zones of the territory of Armenia and assessment of maximal probable earthquakes. In: *Materials of Scientific Papers*. Gyumri: Gitutyun Publ., 120–130. (In Russian)
- Gasparyan, H. S., Hovhannisyan, H. H., Ghazaryan, K. S., Sargsyan, R. S. and Avdalyan, A. H. (2019). On the potential seismicity of Geostructural elements of the earth's crust in the territory of Armenia. In: *Dangerous natural and technogenic processes in mountain regions: models, systems, technologies*. Vladikavkaz: GFI VNC RAS Publ., 23–28. (In Russian)
- Ghazaryan, K. S. and Sargsyan, R. S. (2020). General regularities of seismic activity of Northern Armenia in connection with block structure and tectonic activity. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11 (3), 595–605. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0493> (In Russian)
- Ghazaryan, K. S. and Sargsyan, R. S. (2021). Seismotectonic analysis of Virayots-Karabakh zone of the territory of Armenia and adjacent parts of Lesser Caucasus. *Geodynamics & Tectonophysics*, 12 (1), 157–165. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0519> (In Russian)
- Godzikovskaya, A. A. (comp.) (1999). *Database "Earthquake catalogue for the Caucasus with $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) from ancient times to the year 2000"*. [online] Available at: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/catrudat.html> [Accessed 29 July 2021]. (In Russian)
- Grigoryan, V. G., Karapetyan, J. K., Kazaryan, K. S. and Sargsyan, R. S. (2019). Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 9 (1), 71–83. (In Russian)
- Hovhannisyan, S., Hovhannisyan, H., Geodakyan, E. and Gasparyan, H. (2008). Identification of zones of occurrence of earthquake sources on the basis of seismological identification and parameterization of the main elements of the structural-dynamic model of the earth's crust of Armenia. *Izvestiya NAS RA, Earth sciences*, LXI (1), 39–43. (In Russian)
- isc.ac.uk. (n. d.). *International Seismological Centre*. [online] Available at: <http://www.isc.ac.uk/> [Accessed 30 Jul. 2021].
- Karakhanian, A. S., Trifonov, V. G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Salih Bayraktutan, M., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V. and Adilkhanian, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 189–219.
- Karakhanian, A. S. (1993). Active faults of the Armenian Upland. In: *Proceedings of Scientific Meeting on the Seismic Protection*, 12–13 July, Venice, 88–93.
- Karakhanian, A., Arakelyan, A., Avagyan, A. and Sadoyan, T. (2016). Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. In: R. Sorkhabi, ed., *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper. Vol. 525*, 445–475. [https://doi.org/10.1130/2016.2525\(14\)](https://doi.org/10.1130/2016.2525(14))
- Karapetyan, J., Sargsyan, R., Ghazaryan, K., Dzeranov, B., Dzeboev, B. and Karapetyan, R. (2020). Current state of exploration and actual problems of tectonics, seismology and seismotectonics of Armenia. *Russian Journal of Earth Sciences*, 20, ES2005. <https://doi.org/10.2205/2020ES000709>
- Kocharyan, G. H. (2016). *Faults Geomechanics*. Moscow: GEOS Publ. (In Russian)
- Levitskaya, A. Ya. and Lebedeva, T. M. (1953). Hodograph of seismic waves of the Caucasus. In: *Kvartal'nyi seismicheskii biulleten'*, XXI (1–4), 51–59. (In Russian)

- Lunina, O. V. (2010). Activity rating of Pliocene-Quaternary faults: A formalized approach (example of the Baikal Rift System). *Geology and Geophysics*, 51 (4), 525–539. (In Russian)
- McCalpin, J. P. (1996). *Paleoseismology*. London: Academic Press.
- Philip, H., Avagyan, A., Karakhanyan, A., Ritz, J.-F. and Rebai, S. (2001). Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak — Sevan — Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, 343, 205–232. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00258-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00258-X)
- Sargsyan, R. S. (2020). Highlighting and assessment of Neotectonic activity of block structures of the territory of Armenia and adjacent parts of Lesser Caucasus on the basis of GIS analysis of digital elevation models and tectonic-geomorphological indices. *Geoinformatika*, (2), 20–26. (In Russian)
- Sargsyan, R. S. and Ghazaryan, K. S. (2020). Current state and ways of solving of problems related to reveal of strong earthquake prone-zones and assessment of seismotectonic potential of the territory of Armenia. In: *Fundamental problems of tectonics and geodynamics, materials of LII Tectonic Meeting. V.2*. Moscow, 281–286. (In Russian)
- Seismic stations bulletin of Caucasus*. (1973, 1974). [annual] Tbilisi: Metzniereba Publ. (In Russian)
- Seismological Bulletin of Armenia*. (1987–2015). [annual] Foundations of the National Seismic Protection Service of the Republic of Armenia. (In Russian)
- Seismological bulletin of the Caucasus*. (1973–1990). [annual] Tbilisi: Metzniereba Publ. (In Russian)
- Shahbekyan, T. H. (2013). About block structure of territory of RA. *Proceedings of YSU, Geology and Geography*, (3), 9–14. (In Armenian)
- Sherman, S. I. and Seminskiy, K. J. (2010). Tectonophysics research at the Institute of the earth's crust SB RAS: principal achievements and current challenges. *Geodynamics & Tectonophysics*, 1 (1), 4–23. (In Russian)
- Sherman, S. I. and Sorokin, A. P. (2016). Primary divisibility of protolithosphere and modern tectonic divisibility of the units of the lithosphere: a new reconstruction. *Doklady Akademii Nauk*, 470 (4), 440–444. (In Russian)
- Wells, D. and Coppersmith, K. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4), 974–1002.

Received: September 9, 2020

Accepted: June 18, 2021

Contact information:

Rudolf S. Sargsyan — rudolf-sargsyan@mail.ru

Karlen S. Ghazaryan — g.karlen90@bk.ru

Valeriy Yu. Burmin — burmin@ifz.ru