УДК 550.34

АНАЛИЗ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЗОН: ОЦЕНКА ЗОН СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

© 2022 г. Т. Я. Маммадли*

Республиканский Центр сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана (НАНА), д. 25, ул. Н. Рафибейли, AZ 1001 Баку, Азербайджан *e-mail: m-tahir@mail.ru Поступила в редакцию 14.07.2021 г. После доработки 05.08.2021 г. Принята к публикации 22.02.2022 г.

Проведен анализ карт сейсмического районирования Азербайджана, составленных с использованием генетического (сейсмотектонического) метода. Рассмотрены особенности данного метода в применении к геологическому разлому на всем его протяжении. В основе генетического метода заложено представление о том, что в каждой точке активного (сейсмогенерирующего) тектонического разлома возможно возникновение землетрясения с магнитудой (M), равной максимальной магнитуде (M_{max}) зафиксированного землетрясения. Для выявления очаговых зон сильных землетрясений автором разработан метод определения сейсмогенерирующих (активных) зон (OC3) глубинных тектонических разломов по слабой сейсмичности. На основе метода OC3 и полученных данных об активности глубинных тектонических разломов проведена оценка сейсмической опасности Азербайджана и прилегающей территории юга России. Установлена высокая дифференциация повторя-емости сейсмических воздействий в определенном интервале 50 лет, — сотрясаемости на поверхности и степень ее проявления в регионе исследования.

Ключевые слова: сейсмотектоника, сейсмическое районирование, активные разломы, метод определения сейсмогенерирующих зон (ОСЗ), аппроксимирующие линии концентрации эпицентров, потенциальные очаговые зоны

DOI: 10.31857/S0016853X22020047

введение

Картирование сейсмоактивных регионов по уровню сейсмической опасности, т.е. сейсмическое районирование территорий, имеет большую социально-экономическую, экологическую значимость и является одной из актуальных проблем современной сейсмологии.

Для составления карты сейсмического районирования главной задачей является определение очаговых зон и максимально возможных магнитуд землетрясений в этих зонах, следовательно, и интенсивности проявления на поверхности земли. Большинство исследователей однозначно принимают, что сильные и разрушительные землетрясения приурочены к зонам разломов, наблюдаемых на поверхности или предполагаемых на глубине [7, 11, 12, 24, 26, 31].

Однако существуют и другие мнения о сейсмогенерирующих зонах. Некоторые исследователи считают, что очаги сильных землетрясений приурочены к морфоструктурным узлам, т.е. к местам пересечения активных разломов [9, 38]. Местоположения таких узлов определяется по методу морфоструктурного районирования [1, 10, 23, 34, 40]. В работе [8] показано, что предположение о приуроченности очагов сильных землетрясений к местам пересечения активных разломов подтверждается статистическим анализом. В работе [27] эти нарушений связываются с ошибками, как в определении параметров землетрясений, так и определении местоположении узлов. Там же отмечаются и другие недостатки метода, к которым относятся необходимость построения схемы морфоструктурных линеаментов и использования обучающей выборки объектов распознавания, а также сравнительная большая площадь получаемой высокосейсмичной области.

Формализованные методы выявления потенциальных очаговых зон, для распознавания которых предлагаются многие параметры, характеризующие особенности сейсмоактивных регионов [6, 13, 22, 36, 41, 42, 43]. К этим параметрам относятся морфометрические показатели рельефа земной поверхности, особенности геометрии сети линеаментов, гравиметрические и другие показатели. Формализованный метод предлагался для оценки сейсмического потенциала "элементарных площадок" на основе сравнения их комплексных геолого-геофизических и сейсмологических данных с данными очаговых зон сильных землетрясений [6]. Формализация связей между геолого-геофизическими и сейсмологическими данными и отсутствия физической основы для этих связей, формализованный метод не применялся на практике.

До настоящего времени для определения очаговых зон в основном использовался генетический (сейсмотектонический) метод [12]. По этому методу вдоль каждого установленного геологогеофизическими методами разлома выделяется узкая квазиоднородная сейсмическая зона с определенной длиной и априори допускается, что каждый разлом является активным (сейсмогенерирующим) на всей своей протяженности. Кроме этого, по данному методу считается, что в каждой точке активного (сейсмогенерирующего) разлома возможно возникновение землетрясения с магнитудой (M), равной магнитуде максимально наблюденному (M_{max}) здесь землетрясению.

Данный метод допускает, что возможно считать все разломы активными и экстраполировать сейсмостатистические данные по всей их протяженности, помимо этого, в зонах разломов, где не наблюдались или не имеются данные о сильных землетрясениях, исключается возможность возникновения таких землетрясений в будущем.

Целью данной статьи является разработка нового подхода к выявлению очаговых зон сильных землетрясений и оценка их сейсмического потенциала.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Кавказ, в том числе и территория Азербайджана, являясь составной частью Альпийско–Гималайской складчатой системы, находится в коллизионной зоне Евразийской и Аравийской плиты, характеризуется достаточно высокой сейсмической активностью и имеет сложное тектоническое строение. Этот мегаблок находится в контурах Черноморской, Анатолийской, Иранской, Южно-Каспийской микроплит и Русской платформы.

Тектоника Азербайджана широко изучена многими исследователями [2, 29, 32, 33]. Характерным для тектонического строения данной территории является наличие здесь структурных комплексов восточной части Большого и Малого Кавказа, а также разделяющих их Куринской депрессии. Наблюдается погружение этих структур в восточном, юго-восточном направлениях.

На территории Большого Кавказа выделяются Тенгинско-Бешбармагское, Шахдаг-Хызынское, Тфанское, Загатало-Говдагское и Вандамское структурные элементы. Этот мегантиклинорий оконтурен Гусаро-Дивичинским (с северо-востока) и Алазано-Агричайским (с юга) прогибами. Структуры с общекавказским направлением, погружаясь в восточном направлении, переходят в Шамахы-Гобустанский синклинорий и Абшеронскую переклинальную зону. Кроме продольных структур, на территории Большого Кавказа выделяются и относительно приподнятые, и опущенные поперечные структуры. Эти поперечные структуры разграничены цепочкой грязевых вулканов и нарушающие линейность продольных структур участками флексурного погружения складчатости. Предполагается, что поперечные структуры, в отличие от продольных, составляющие верх мезо-кайнозойского этажа земной коры, отражают строение более глубоких слоев земной коры.

Куринская депрессия в своем строении делится на Средне-Куринскую и Нижне-Куринскую структуры. Средне-Куринский прогиб является наибольшим и сложным структурным элементом депрессии. В пределах этой структуры выделяются краевые и внутренние зоны с геосинклинальными и платформенными фундаментами мезо-палеогена соответственно.

Нижне-Куринская зона является наиболее глубокой частью Куринской депрессии. Здесь мощность осадочных пород составляет 15 км. Южнее Куринского прогиба расположен мегантиклинорий Малого Кавказа, в восточной части которого выделяются несколько тектонических зон.

Своеобразное развитие крупных структур на территории Азербайджана и осложняющие их структурно-фациальных зон, а также резкие изменения в их строении поперек складчатой системы, указывает на разделение доальпийского фундамента на отдельные блоки, которые в течение всего альпийского цикла или отдельных его стадий были ограничены разломами глубокого заложения и испытывали интенсивные дифференциальные движения, предопределяя современную структуру региона.

Исследования глубинных разломов территории Азербайджана проводили Э.Ш. Шихалибейли, Ф.С. Ахмедбейли, Е.В. Хаиным и другие исследователи [2, 32, 33].

Наряду с Сиязанским, Главным Кавказским, Гайнар-Зангинским, Вандамским, Аджичай-Алятским и Куринским разломами с общекавказским направлением выделяются Гянджа-Алазанский, Арпа-Самурский, Гызылбогаз-Дивичинсий, Западно-Каспийский поперечные (антикавказские) разломы, а также Ящминская флексура.

Махачгала-Красноводский (Туркменбашы) глубинный разлом разделяет Средне-Каспийскую эпигерцинскую платформу и Южно-Каспийский прогиб.

Крупные разломы с общекавказским и антикавказским направлениями, рассекая всю территорию республики, создают очень сложную блоковую тектоническую картину. Следует отметить, что многие из этих глубинных разломов, оказавшие существенное влияние на ранние и средние этапы развития региона, на поздних геологических этапах не проявляются.

СЕЙСМОТЕКТОНИКА И СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

На карте сейсмического районирования территории Азербайджанской ССР 1968 года (СР-68) фоновый уровень сейсмической сотрясаемости территории республики оценивался в M = 7 баллов по шкале MSK-64 [16]. На этом фоне выделялись 8-ми балльные зоны на южном склоне Большого Кавказа, на северном склоне Малого Кавказа и на территории Нахичевани (эксклав Азербайджана).

При составлении карты сейсмического районирования Азербайджанской ССР 1980 года (СР-80) были сделаны некоторые изменения [4]. На данной карте 8-ми балльные зоны были расширены — на Большом Кавказе (в Шеки-Огузском районе) зона разветвляется в сторону Дагестана, на Малом Кавказе узкая зона развивается на север, охватывает Гянджинскую зону и прилегающие районы.

В 7 декабря 1988 года в районе г. Спитак (Армения), который на карте сейсмического районирования СР-80 года выделялся как 7-ми балльная зона, произошло более сильное землетрясение ($M \sim 7.0$, $I_0 = 9-10$ -баллов). События сильных землетрясений произошли в последующие годы [49-51]:

— Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. ($M \sim 6.9 I_0 = 7$ баллов), в Зайсанской впадине (Восточный Казахстан);

— Рача-Джавское землетрясение 29 апреля 1991 г. ($M \sim 7$, $I_0 = 9$ баллов), в г. Они и г. Амбролаури в южных предгорьях Большого Кавказа (Грузия);

— Суусамырское землетрясение 19 августа 1992 г. ($M \sim 7.5$, $I_0 = 9-10$ баллов) у северного подножья Суусамыртау в долине р. Арамсу (Киргизия);

— Нефтегорское землетрясение 28 мая 1995 г. ($M \sim 7.6$, $I_0 = 8-10$ баллов) в г. Нефтегорск на северо-восточном побережье острова Сахалин (Россия). Эти землетрясения также возникли в тех местах, где уровень сейсмической сотрясаемости на карте CP-80 оценивался на 2–3 балла ниже их интенсивности проявления.

В связи с этим, возникла необходимость уточнения и изменения карты CP-80. В 1991 году была составлена "Вре́менная схематическая карта сейсмического районирования Азербайджанской Республики" (ВСР-91) в масштабе 1 : 2500000 [3] (рис. 1). За основу этой карты была взята карта CP-80. Однако методика составления карты ВСР-91 не отличалась от предыдущей карты CP-80, в которую вошли данные об известной сейсмичности в пределах исследуемого региона и которые экстраполировались на другие потенциально сейсмоопасные зоны, выделенные на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных.

Основное отличие ВСР-91 от СР-80 заключается в том, что на карте ВСР-91 фоновый уровень сейсмической сотрясаемости территории Азербайджана оценивался в 8 баллов. На фоновом уровне выделены 9-и балльные зоны на южном склоне Большого Кавказа, на северном склоне Малого Кавказа и в Нахичевани (эксклав Азербайджана). Уровень сейсмической опасности был условно повышен на карте ВСР-91 на один балл относительно 7- и 8-балльных зон карты СР-80.

В настоящее время для оценки сейсмической опасности исследователями применяется вероятностный подход, который, в отличие от других методов, оценивает также вероятность возникновения землетрясения и возможного превышения (обычно 10%, 5%, 1%) различных величин землетрясений в очаговой зоне через каждые 50 лет [35, 37, 39, 46].

Вероятностный подход допускает определение очаговых зон аналогично генетическому методу, где каждый выявленный геолого-геофизическими методами разлом, считается активным (сейсмогенерирующим) по всей своей протяженности и принимается как потенциальная очаговая зона. В данном подходе сейсмический потенциал очаговых зон оценивается по графику повторяемости землетрясений как вероятность возникновения и возможного превышения (обычно 10%, 5%, 1%) различных величин землетрясений в очаговой зоне в течение определенных (50-летних) интервалов времени.

Согласно графику повторяемости землетрясений, уменьшения значений их вероятности возникновения обуславливает высокую магнитуду сейсмического события, что физически невозможно в исследуемых зонах. Это показывает, что вероятностный метод субъективен и недостаточно точно определяет сейсмический потенциал очаговых зон.

97



Рис. 1. Временна́я схематическая карта сейсмического районирования Азербайджана (ВСР –91) (по данным [15], с изменениями). *I*-5 – интенсивность: *I* – 8₁ баллов, *2* – 8₂ баллов, *3* – 9₃ баллов, *4* – 9₂ баллов, *5* – 9₃ баллов



Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений с магнитудой *M* ≥ 3.0 территории Азербайджана за период 2003–2020 гг. Показано: эпицентры землетрясений с магнитудой *M* > 5.0 (кружочки красным); потенциальные очаговые зоны (линии); сейсмические станции (треугольники синим).



Рис. 3. Схема расположения сейсмогенерирующих (очаговых) зон и очагов сильных землетрясений (*M* > 5.0) Азербайджана.

1 – эпицентры; 2 – сейсмогенерирующие зоны

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЗОН (ОСЗ)

Для выявления реальных очаговых зон сильных землетрясений автором данного исследования был разработан метод определения сейсмогенерирующих (активных) зон глубинных разломов (ОСЗ) по слабой сейсмичности [17–19].

В основу метода ОСЗ введены сейсмогенерирующие структуры, которыми являются активные разломы, разграничивающие тектонические структуры с различным тектоническим режимом развития и аккумулирующие все сильные и основную массу слабых и средней силы землетрясения. Согласно предложенному автором методу ОСЗ, выявление сейсмогенерирующих зон проводится на основании разбивки исследуемой территории на равномерные площадки и построения карты эпицентров слабых землетрясений. Для каждой из этих площадок, в пределах которых количество эпицентров не меньше задаваемого порогового числа, строятся аппроксимирующие линии концентрации эпицентров. Предполагается,

ГЕОТЕКТОНИКА № 2 2022

что эти линии соответствуют зонам активных разрывных нарушений.

По авторскому методу ОСЗ на территории Азербайджана, которая характеризуется достаточно высокой сейсмической активностью, были построены аппроксимирующие линии концентрации эпицентров (рис. 2). В результате объединения аппроксимирующих линий с одинаковым направлением линий в сопредельных площадках, на полученной карте выделено множество зон активных разрывных нарушений (сейсмогенерирующих зон) с различной протяженностью и направлением (рис. 3). Данный метод не применялся в юго-западных регионах Азербайджана, т.к. данных о слабых землетрясениях этих регионов были получены в недостаточном объеме.

АКТИВНЫЕ СЕГМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ И ИХ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Анализ показал, что сейсмогенерирующие линии соответствуют отдельным сегментам разломов, выявленных ранее геолого-геофизическими методами [14, 44, 45]. Сейсмогенерирующие линии и эпицентры, произошедших здесь сильных землетрясений (M > 5.0) имеют высокое пространственное совпадение (см. рис. 3).

Длина и направление сейсмогенерирующих линий указывают, что на территории Азербайджана активные сегменты разломов имеют небольшие протяженности (до 70 км). Они, простираясь в продольном и (общекавказском) и поперечном (антикавказском) направлениях, создают сложную мозаичную картину [32, 33].

В сейсмогенерирующих (очаговых) зонах территории Азербайджана, выявленных по слабой сейсмичности, на основе анализа соотношений протяженности очаговых зон (L) и наблюденных магнитуд землетрясений в них, была рассчитана магнитуда максимально возможных землетрясений ($M_{\rm max}$) в очаговых зонах, и установлено следующее соотношение [18]:

$$\lg L_{\rm km} = 0.366, \quad M - 0.883. \tag{1}$$

Зависимость между протяженностью очага (L) и магнитудой землетрясений (M) установлена различными исследователями [11, 25, 47, 48]. Однако протяженности очаговых зон были ими установлены по макросейсмическим и афтершековым данным сильных землетрясений. Выведенная автором исследования формула (1) при сравнении этих соотношений дает достаточно близкие к реальным значениям зависимости протяженности L очага от магнитуды M [18].

Автором было проведено сопоставление пространственного расположения сейсмогенерирующих зон, выявленных предложенным методом, с плановым положением эпицентров землетрясений за период:

М≥6.0 (1427—1900 гг.);

М≥5.5 (1901—1950 гг.);

М≥5.0 (1951-2003 гг.).

Такая дифференциация землетрясений по их магнитуде связана с наилучшей точностью определения эпицентров сильных землетрясений за тот или иной период времени. Оказалось, что распределение очагов сильных землетрясений хорошо согласуется с пространственным расположением расчетных сейсмогенерирующих зон. Это еще раз подтверждает достоверность результатов, полученных расчетным путем при использовании предложенной нами методики выявления сейсмоактивных участков разломов.

Кроме этого, метод выявления очаговых зон сильных землетрясений и оценки их сейсмического потенциала по слабой сейсмичности свободен от недостатков, свойственных генетическому, формализированному и другим известным методам, и может применяться для оценки и уточнения сейсмической опасности сейсмоактивных регионов.

Главными преимуществами этого метода, являются возможность установления места расположения, размеров и направления простирания очаговых зон, а также сейсмического потенциала очаговых зон, независимо от имеющихся тектонических и сейсмостатистических данных.

Автором данного исследования рассчитаны ожидаемые сейсмические эффекты от этих очагов на поверхности Земли с использованием формул Н.В. Шебалина [30] и значениям постоянных параметров уравнений макросейсмического поля, определенных Ф.Т. Кулиевым [15] для горных и депрессионных зон Азербайджана (см. рис. 3, рис. 4).

На полученной карте, как и на карте ВСР-89, фоновый уровень сейсмических сотрясений составляет 8 баллов (см. рис. 4). Наиболее высокая сейсмическая опасность (10 баллов) ожидается в Шамахы-Исмаиллинской зоне. 9-балльные зоны охватывают значительную часть территории Азербайджана (см. рис. 4). Они по конфигурации отличаются от аналогичных зон на карте ВСР-91 [3]. Выделяются на западе и на востоке Азербайджана небольшие зоны с низким уровнем (7 баллов) сейсмической опасности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленная на карте высокая сейсмически опасная-10-и балльная зона привлекает особое внимание. Возможность возникновения сильного 10-балльного землетрясения на территории Азербайджана, точнее в Шамахы-Исмаиллинской зоне, описал А.А. Никонов [5, 20], собрав данные многочисленных исторических рукописей в попытке определить величину (магнитуду) и макросейсмическую площадь землетрясений, которые произошли в окрестностях г. Шемаха в 1667— 69 годах.

А.А. Никонов [5, 20] пришел к заключению, в 1668 года в этой области произошло землетрясение силой 10 баллов, магнитуда которого составила M = 8, очаг землетрясения находился на большой глубине (H = 50-60 км), поэтому землетрясение охватило очень большую площадь — длина 10-балльной зоны составляла 80 км, длина 9-балльной зоны составляла 270 км.

Как указывает Б.А. Борисов [6, 7], к такому заключению могло привести наличие даннных о сильных землетрясениях на территории Дагестана, которые могли быть приняты, как последствия палео-землетрясений в окрестностях г. Шемаха [4, 5, 20].

Б.А. Борисов [6, 7], основываясь на анализе сейсмотектонических условии на Кавказе [5], не



Рис. 4. Карта-схема сейсмической опасности территории Азербайджана, составленная по сейсмогенерирующим зонам, выявленным по слабой сейсмичности (по данным [17]). *1–4* – интенсивность: *1* – 7 баллов, *2* – 8 баллов, *3* – 9 баллов, *4* – 10 баллов; *5* – неисследованные территории

считает возможным возникновение в этом регионе землетрясения с магнитудой >M = 6.0-6.5.

Автор данного исследования полагает, что, если макросейсмические данные о Шамахинском землетрясении 1668 года [5, 20] не совмещаются с данными по территории Дагестана, то землетрясение произошло на нормальной глубине (H = 10-15 км) и в плейстосейстовой зоне оно проявилось с интенсивностью ~10 баллов. Кроме того, автор данного исследования подвергает сомнению обоснованность мнения Б.А. Борисова [6, 7] об отсутствии на Кавказе сейсмотектонических условий для возникновения землетрясений с магнитудой $M \ge 6.0-6.5$.

Данные о Шемахинском 1902 г. и Спитакском 1988 г. землетрясениях, дают основание утверждать, что на Кавказе есть условия возникновенияземлетрясения не только с магнитудой M = 6.0-6.5, но и $M \sim 7.0$ и с интенсивностью I_0 до 10 баллов [21].

На составленной автором исследования карте, восток и запад территории Дагестана, граничащей с Азербайджаном, характеризуется 8-балльной сейсмической опасностью. Степень сейсмической опасности центральной части территории

ГЕОТЕКТОНИКА № 2 2022

Дагестана, расположенной севернее Шеки-Огузской зоны Азербайджана, оценивается в 9 баллов, на фоне которой выделяется небольшая 10-балльная зона.

В.И. Уломов с соавт. [28] разработали комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-2012 г для территории Дагестана. Технология создания этих карт методически базируется на вероятностном анализе сейсмической опасности. Комплект карт ОСР-2012 территории Российской Федерации, состоящий из шести карт, представляет собой следующее поколение - более расширенный и актуализированный набор карт, по сравнению с ОСР-97. С созданием карт ОСР-2012 стало рациональным применение к одним и тем же сооружениям гражданского строительства оценок величин прогнозируемых сейсмических воздействий не по одной карте, как прежде, но по двум и большему числу карт. На основе комплекта карт ОСР-2012 началась проектная разработка карт-схем проектных землетрясений (ПЗ) и максимальных расчетных землетрясений (МРЗ) для практического применения в строительстве. Карты-схемы проектных землетрясений соответствуют нижнему уровню ожидаемых сейсмических воздействий, которые могут

нарушить, но не остановить функционирование объекта строительства. Схемы расчетных землетрясений соответствуют верхнему уровню воздействий, т.е. возможности возникновения более сильного, хотя и редкого, сейсмического события. В этом случае расчет ведется с учетом возможных неупругих деформаций строительного сооружения, способных привести его к неустойчивости, но не допускающих полного разрушения сооружения и гибели людей. Периоды повторяемости во времени сейсмических воздействий для проектных землетрясений и максимальных расчетных землетрясений могут быть выбраны в зависимости от степени сейсмического уровня опасности и типов сооружений.

Все это показывает, что в отличие от нашей карты, составленной по сейсмогенерирующим зонам, выявленным по слабой сейсмичности, на картах сейсмического районирования, построенных на основе вероятностной оценки, уровень сейсмической опасности одной и той же зоны определяется неоднозначно, и меняется в зависимости от назначения проектируемого объекта.

выводы

1. Метод определения сейсмогенерирующих зон (OC3) для выявления очаговых зон сильных землетрясений и оценки их сейсмического потенциала по слабой сейсмичности, разработанный автором исследования, дополнил и развил возможности генетического и формализированного сейсмологических методов, не унаследовав их недостатков, и может применяться для оценки и уточнения сейсмической опасности сейсмоактивных регионов.

2. На основе метода ОСЗ для выявления очаговых зон сильных землетрясений по слабой сейсмичности и зависимости между параметрами протяженности (L) очага и магнитуды землетрясений (M) установлено, что на территории Азербайджана активные сегменты тектонических разломов имеют небольшую протяженность (до 70 км), величина максимально возможной магнитуды сильных землетрясений составляет $M \sim 7.0$, максимальный сейсмический эффект по MSK-64 составляет I₀ = 10 баллов.

3. Карта-схема сейсмической опасности Азербайджана и прилегающей территории юга России, составленная по сейсмогенерирующим зонам, выявленным по слабой сейсмичности, показала, что сейсмическая сотрясаемость на поверхности территории региона исследования характеризуется большой дифференциацией в пространстве и по степени ее проявления.

Благодарности. Во время создания статьи и сбора фактического материала ушел из жизни проф. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН, г. Москва, Рос-

сия), которому автор благодарен за обсуждение и посвящает статью его светлой памяти.

Финансирование. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики – грант № EİF-BGM-4-RFTF-1/2017-21/17/2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевская М.А., Габриэлов А.М., Гвишиани А.Д., Гельфанд И.М., Ранцман Е.Я. Морфоструктурное районирования горных стран по формализованным признакам. – В сб.: Распознавание и спектральный анализ в сейсмологии. – Под ред. В.И. Келис-Борока – М.: Наука, 1977. С. 33–49.
- Ахмедбейли Ф.С. Неотектоника и некоторые аспекты позднеорогенной геодинамики Азербайджана. – Баку: Нафта-Пресс, 2004. 270 с.
- Ахмедбейли Ф.С., Гасанов А.Г., Кулиев Ф.Т., Панахи Б.М. Новые схемы областей возникновения очагов сильнейших землетрясений и сейсморайонирования территории Азербайджана. – В кн.: Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана в 1987 году. – Баку: Элм, 1991. С. 62–68.
- Ахмедбейли Ф.С., Кулиев Ф.Т., Шихалибейли Э.Ш. Сейсмическое районирование территории СССР. Азербайджан. – М.: Наука, 1980. С. 137–147.
- Борисов Б.А. Сильные землетрясения на Восточном Кавказе: интерпретация исторических данных и анализ геологической обстановки // Физика Земли. 1982. № 9. С. 107–122.
- Борисов Б.А., Рейснер Г.И., Шолпо В.Н. Выделение сейсмоопасных зон в альпийской складчатой области (по геологическим данным). – М.: Наука, 1975. 139 с.
- 7. Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений // Бюлл. Совета по сейсмологии. 1955. №1. С.7–14.
- Гвишиани А.Д., Соловьев А.А. О пруроченности эпицентров сильных землетрясений к пересечениям морфоструктурных линеаментов на территории Южной Америки. – В кн.: Методы и алгоритмы интерпретации сейсмических данных. – Под ред. В.И. Кейлис-Борока, А.Л. Левшина – М.: Наука, 1981. С. 46–50. (Сер. Вычислит. сейсмология. 1981. Вып. 13).
- 9. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.Л., Кейлис-Борок В.И. О критериях высокой сейсмичности // Докл. АН СССР. 1972. Т. 202. № 6. С 1317– 1320.
- Горшков А.И. Распознавание мест сильныхземлетрясений в Альпийско-Гималайском поясе. – М.: Наука, 2010. 472 с. (Сер. Вычислит. сейсмология. 2010. Вып. 40).
- Губин И.Е. Геология и землетрясения. В кн.: Сейсмотектоника южных районов СССР. – Под ред. И.Е. Губина – М.: Наука, 1978. С. 5–26.
- *Губин И.Е.* Сейсмотектонический метод сейсмического районирования. М.: Наука, 1950. С. 1—53. (Тр. ГИ АН СССР. 1950. Т. 140. Вып. 13).

- Жидков М.П., Кособоков В.Г. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. – Т. XIII. Пересечения линеаментов востока Средней Азии. – В кн.: Интерпретация данных сейсмологии и тектоники – Под ред. В.И. Кейлис-Борока – М.: Наука, 1978. С. 48–71. (Сер. Вычислит. сейсмология. 1978. Вып. 11).
- Землетрясения в СССР в 1990 г. Под ред. Н.В. Кондорской – М.: ИФЗ РАН, 1996.
- Карта глубинного строения Черноморско-Южно-Каспийской области регионального прогибания. – М-б 1 : 1000000. – Под ред. К.М. Керимова, Э.Ш. Шихалибейли – Баку:, Нафта-Пресс, 1992.
- Кулиев Ф.Т. Уравнение макросейсмического поля для Азербайджана и его геотектонических областей. – В кн.: Сейсмологический бюллетень Кавказа. – Под ред. В.Г. Папалашвили – Тбилиси: Мецниереба, 1987. С. 129–140.
- Кулиев Ф.Т., Рагимов Ш.С., Ахмедбейли Ф.С. Сейсмическое районирование СССР. – Т. V. – Азербайджан. – М.: Наука, 1968. С. 227–241.
- Маммадли Т.Я. Активность глубинных разломов территории Азербайджана. – В кн.: Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана в 2002. – Баку: Элм, 2003.С. 30–41.
- Маммадли Т.Я. Выявление очаговых зон сильных землетрясений Азербайджана и определение их максимальных магнитуд (M_{max}) по слабой сейсмичности Баку // Изв. НАНА. Сер.: Науки о Земле. 2005. № 4. С. 60–64.
- Маммадли Т.Я. Новая методика выявления очаговых зон сильных землетрясений и определение их максимальных магнитуд (M_{max}) по слабой сейсмичности (на примере территории Азербайджана) Мат-лы XVII Всерос. конф. с международным участием 20–24 сентября 2011 года, Воронеж-Москва М.: ИФЗ, 2011. С. 337–341.
- Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Большого Кавказа 14 января 1668 г. // Физика Земли. 1982. № 9. С. 90–106.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина М.: Наука: 1977, 535 с.
- Полякова Т.П. Сейсмичность центральной части Средиземноморского пояса. – М.: Наука, 1985. 160 с.
- 24. *Ранцман Е.А.* Места землетрясений и морфоструктура горных стран. – М.: Наука, 1979. 170 с.
- Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмической опасности на новом рубеже // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1970. № 4. С. 3–14.
- Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент. – В кн.: Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. С. 9–27.
- Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон возникновения сильных внутриконтинентальных землетрясений. — В кн.: Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. — М.: Наука, 1993. С. 217–227.
- Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) 11– 20 августа 1992 г. – Геофизическая служба РАН,

ГЕОТЕКТОНИКА № 2 2022

ЦОМЭ – Обнинск, http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/hp/ seismology.ru/bul_Obninsk.ru.shtml

- 29. Соловьев А.А., Гвишиани А.Д., Горшков А.И., ДобровольскийМ. Н., Новикова О.В. Распознавание мест возможного возникновения землетрясений: методология и анализ результатов. Применение данных по литосферным магнитным аномалиям в задаче распознавание мест возможного возникновения землетрясений // Физика Земли. 2014. № 2. С. 3–20.
- Уломов В.И., Богданов М.И. Новый комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012), 2015, http://seismos-u.ifz.ru/p/ulomov-bogdanov.pdf
- Хаин В.Е., Шарданов А.Н. Геологическая история и строение Куринской впадины. – Баку: АН Азерб. ССР, 1952. 346 с.
- 32. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 53 с.
- Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. Избранные труды. – М.: Академия горных наук, 1997. 542 с.
- Шихалибейли Э.Ш. Некоторые проблемные вопросы геологического строения и тектоники Азербайджана. – Баку: Элм, 1996. 215с.
- Шихалибейли Э.Ш., Гасанов А.Г. Тектоника Куринского межгорного прогиба // Доклады азерб. геологов по проекту "глобальная корреляция эпох тектогенеза". – Баку: АН Азерб. ССР, 1979. С. 46–54.
- Alekseevskaya M.A., Gabrielov A.M., Gvishiani A.D., Gelfand I.M., Ranzman E.Ya. Formal morphostructural zoning of mountian territories // J. Geophys. 1977. Vol. 43. P. 227–233.
- Bazzurro P., Cornell C.A. Disaggration of Seismic Hazard // Bull. Seism. Soc. Am. 1999. Vol. 89. No. 2. P. 501–520.
- Caputo M., Keilis-Borok V., Oficerova E., Ranzman E., Rotwain I., Solovjeff A. Pattern recognition of earthquake-prone areas in Italy // Phys. Earth Planet. Int. 1980. Vol. 21. P. 305–320.
- Danciu L., Şeşetyan K., Demircioglu M., Gülen L., Zare M., Basili R., Elias A., Adamia Sh., Tsereteli N., Yalçın H., Utkucu M., Khan M.A., Sayab M., Hessami Kh., Rovida A.N., Stucchi M., Burg J.-P., Karakhanian A., Babayan H., Avanesyan Mh., Mammadli T., Al-Qaryouti M., Kalafat D., Varazanashvili O., Erdik M., Giardini D. The 2014 earthquake model of the Middle East: Seismogenic sources // Bull. Earthquake Engineer. 2018. Vol. 16. No. 8. P. 3465–3496.
- Gelfand I.M., Guberman Sh., Izvekova M.L., Keilis-Borok V.I., Ranzman E.Ia. Criteria of high seismisity determined by pattern recognition // Tectonophysics. 1972. Vol. 13. No. 1–4. P. 415–422.
- 41. Global seismic hazard assessment program //Annali di Geofizica. 1999. Vol. 42. No. 6. P. 957–1230
- Gorshkov A., Kosobokov V., Soloviev A. Recognition of earthquake-prone areas. – In: Nonlinear Dynamics of the Litosphere and Earthquake Prediction. – Ed. by V.I. Keilis-Borok – Berlin- Heidelberg: Springer, 2003. P. 239–310.

- Gorshkov A.I., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A., Peresan A. Delineation of the geometry of nodes in the Alps: Dinarides hinge zone and recognition of seismogenetic nodes // Terra Nova. 2009. Vol. 21. P. 257–264.
- 44. Gorshkov A.I., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A. Idendification of seismogenetic nodes in the Alps and Dinarides // Bolletino del lasosieta Geolegica Italiana. 2004. Vol. 123. No. 1. P. 3–18.
- 45. Gorshkov A.I., Solovev A.A., Jimenez M. J., Garsia–Fernandez M., Panza G.F. Recognition of earthquakeprone areas ($M \ge 5.0$) in the Iberian Peninsula // Rendiconi Lincei. 2010. Vol. 21. No. 2. P. 131–162.
- 46. Mammadli T.Y., Rogozhin E.A On tectonic character of the connection zones of the Earth's crust in the South Caspian basin and Scythian–Turanian plate based on seismological data // Seismic Instruments. 2017. Vol. 53. No. 2. P. 124–133.
- Mammadli T.Y., Rogozhin E.A. Transverse faults of the Eastern Caucasus and their manifestations in seismicity // Seismic Instruments. 2019. Vol. 55. No. 2. P. 220–228.
- Sesetyan K., Danciu L., Tümsa M.B.D., Giardini D., Erdik M., Akkar S., Gülen L., Zare M., Adamia Sh., Ansari A., Arakelyan A., Askan A., Avanesyan M., Babayan H., Chelidze T., Durgaryan R., Elias A., Hamzehloo H., Hessami Kh., Kalafat D., Kale Ö., Karakhanyan A., Khan M.A., Mammadli T., Al-Qaryouti M., Sayab M., Tsereteli N., Utkucu M., Varazanashvili O., Waseem M., Yalçın H., and Yılmaz M.T. The 2014 seismic hazard model of the Middle East: An overview and results // Bull. Earthquake Engineer. 2018. Vol. 16. No. 8. P. 3535–3566.
- Toksoz M.N., Shakal A.F., Michael A.J. Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian fault zone and seismic gaps // Pure and Appl. Geophys. 1979. Vol. 117. P. 1258–1270.
- Utsi T. A statistical study on the occurrence of aftershocks // Geophys. Magazine. 1961. Vol. 30. No. 4. P. 521–605.
- 51. USGS. Significant Earthquakes of the World 1991, https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php?year=1991 (accessed July 14, 2021).

Using the Method of Determining Seismogenic Zones for Analysis of Seismotectonic Activity of Deep Faults: Assessment of Seismic Hazard (Territory of Azerbaijan)

T. Y. Mammadli*

Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences, Bld. 25, st. N. Rafibeyli, AZ 1001, Baku, Azerbaijan *e-mail: m-tahir@mail.ru

The analysis of maps of seismic zoning of Azerbaijan, compiled using the genetic (seismotectonic) method, has been carried out. The features of this method as applied to a tectonic fault along its entire length are considered. The genetic method is based on the assumption that at each point of an active (seismogenic) tectonic fault, an earthquake with a magnitude (M) equal to the maximum magnitude (M_{max}) of the registered earthquake is possible. To identify source zones of strong earthquakes, the author developed a method for determining seismogenic (active) zones of deep tectonic faults by weak seismicity. Based on the author's method and the obtained data on the activity of deep tectonic faults, an assessment of the seismic hazard of Azerbaijan and the adjacent territory of southern Russia was carried out. A high differentiation in the frequency of seismic impacts in a certain interval of 50 years, shaking on the surface and the degree of its manifestation in the study region were established.

Keywords: seismotectonics, seismic zoning, active faults, seismogenic zones, approximating epicenter concentration lines, potential source zones

104