

УДК 551.24/550.34

АНАЛИЗ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ($M < 4,0$) ТЕРРИТОРИИ РА
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ
ЗА ПЕРИОД 01.01.2004–23.10.2011

В. С. БАЛАСАНЯН *

Кафедра геофизики ЕГУ, Армения

Армянское нагорье характеризуется наличием потенциально сейсмоактивных зон, которые влияют и формируют уровень сейсмической опасности территории РА. В частности, Ванское землетрясение ($M=7,2$) 23.10.2011 проявилось в г. Ереване сейсмическими колебаниями с $J=5-6$ баллов. В статье представлен анализ сейсмогеодинамической обстановки исследуемой территории в период подготовки данного сильного землетрясения. Первый этап анализа посвящен исследованию слабой сейсмичности ($M < 4,0$) региона с координатами ($\varphi^{\circ}N$ 38,0–42,0; $\lambda^{\circ}E$ 42,0–48,0) за временной период 2004–2011 гг. Для 2-х групп базовых данных – сейсмических событий с $M < 2,5$ и $2,0 \leq M < 4,0$ – были построены годовые карты пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений за период 2004–2011 гг. Выяснилось, что в ЮЗ части исследуемой территории (Ванская очаговая зона) слабые землетрясения ($M < 4,0$) в 2004–2009 гг. не регистрировались. Их количество резко увеличилось за период 01.01.2010–23.10.2011.

Keywords: seismic shaking, low seismicity, seismological data, seismic focus, strong earthquake preparation.

Введение. Армянское нагорье и сопредельные территории являются важнейшими сеймотектоническими конструкциями зоны коллизии Кавказского сегмента Альп-Гималайского сейсмоактивного пояса [1–4]. Район наших исследований определен в рамках координатной сетки ($\varphi^{\circ}N$ 38,0–42,0; $\lambda^{\circ}E$ 42,0–48,0), где только по инструментальным записям землетрясений фиксируется достаточно высокий сейсмический потенциал ($M \leq 7,5$). Одной из наиболее высокосейсмичных зон исследуемого региона является Ванская очаговая группа, находящаяся в ЮЗ части региона. По историческим сведениям разрушительные землетрясения здесь датируются с XII века н.э.: зимой 1111 г. ($J=9$ б.); 1281 г. ($J=8$ б.); летом 1441 г. извержение вулкана Немрут ($J=8-9$ б.); 02.04.1646 ($J=8$ б.); 30.05.1881 ($J=8$ б.) [2, 5]. В период 1900–1950 гг. произошло 8 сейсмических событий с $M=5,0-5,5$, а во второй половине XX в. – еще 4 сильных землетрясения. Такие сильные 8–9-балльные землетрясения могут иметь большие площади сильных воздействий [3, 5]. В частности, Ванское землетрясение 23.10.2011 ($M=7,2$) проявилось в г. Ереване (РА), сейсмическими колебаниями с $J=5-6$ баллов. Поэтому с точки зрения форми-

* E-mail: vsb2005@mail.ru

рования уровня сейсмической опасности территории РА представляет интерес анализ сейсмогеодинамической обстановки региона в период подготовки данного сильного землетрясения.

Следует также отметить, что представленные на рисунках основные тектонические структуры Армянского нагорья были откартированы из современной базовой модели, представленной в работах [6, 7].

Цель и методика исследований. Общей целью данного ретроспективного исследования было выявление особенностей развития сейсмического процесса на территории Армянского нагорья и сопредельных областей. Исследование проводилось последовательно в два этапа. Задача 1-го этапа была сфокусирована на проведении анализа пространственно-временного хода слабой сейсмичности ($M < 4,0$) за период 01.01.2004–23.10.2011, который выявил некоторые интересные особенности в сейсмогеодинамике двух подгрупп слабых землетрясений, отличающихся своей энергией: первая с $M < 2,5$ и вторая в диапазоне магнитуд $2,5 \leq M < 4,0$. Следует отметить, что качественный анализ и достоверные результаты ожидалось от второй подгруппы, в то время как в первой анализ данных носит чисто количественный характер.

Результаты исследований. Ниже приведем общий сравнительный анализ пространственного распределения всех эпицентров слабых землетрясений, имеющих в базах данных двух выделенных подгрупп. Несмотря на то, что в период 01.01.2004–23.10.2011 общее количество сейсмических толчков с $M < 2,5$ больше, чем с $2,5 \leq M < 4,0$, в их пространственном расположении наблюдаются некоторые особенности:

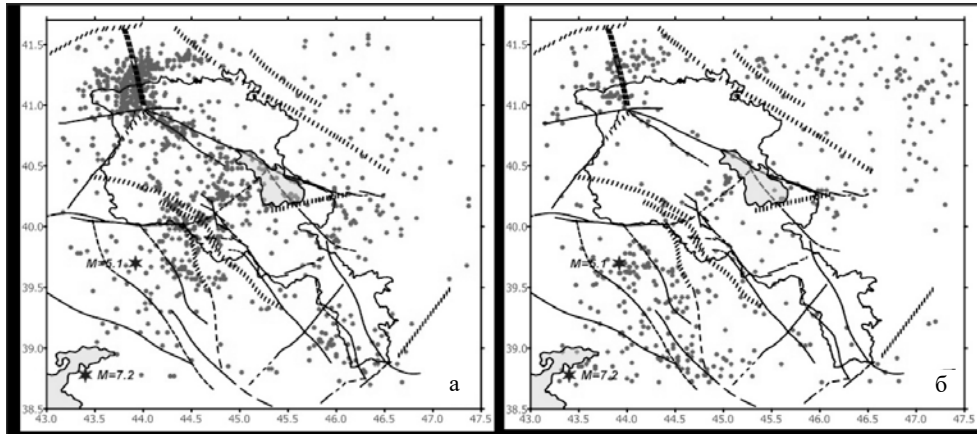
1. Землетрясения с $M < 2,5$ в Джавахетской зоне многочисленны и расположены очень кучно, при этом большое количество их эпицентров мигрирует: а) по Памбак-Севанской тектонической структуре на ЮВ – в центральную часть РА; б) вдоль армяно-грузинской границы – на восток; в) на ЮЗ вдоль Ахурянского разлома. Землетрясения из подгруппы с $2,5 \leq M < 4,0$ на Памбак-Севанской и Ахурянской структурах очень малочисленны.

2. Землетрясения с $M < 2,5$ в Приараксинской зоне многочисленны и также расположены очень кучно. Одновременно наблюдается расширение облака эпицентров по азимуту Азат-Севанского разлома на СВ к Цовагюху и на ЮЗ к Игдирскому очагу. Для Приараксинской зоны эпицентры подгруппы с $2,5 \leq M < 4,0$ практически отсутствуют, но при этом Азат-Севанский и Игдирский сегменты поредели, но сохранились.

3. В южной части региона, в территориально соседних Нахиджеван-Сюникской, Капутанской и Ванской зонах наблюдается следующая картина. Для базы данных с $M < 2,5$ – много землетрясений в Нахиджеван-Сюникской и очень мало – в Ванской и Капутанской зонах. Для сейсмических событий с $2,5 \leq M < 4,0$ за тот же период наблюдений все меняется с точностью до наоборот – в Ванской и Капутанской зонах фиксируется многократное увеличение эпицентров, а в Нахиджеван-Сюникской области – резкое уменьшение (рис. 1).

4. С другой стороны, практически одинаково ведут себя Закальская, Карвачарская и Нахиджеван-Сюникская зоны – для базы с $M < 2,5$ зафиксировано много землетрясений во всех трех зонах. Причем Закальская и Кельбаджарская зоны практически соединились с Нахиджеван-Сюникской, образуя единое облако эпицентров вертикальной направленности. Для сейсмических событий с $2,5 \leq M < 4,0$ за тот же период Нахиджеван-Сюникская зона практи-

чески исчезла, Карвачарская – уменьшилась, а Закаतालская – и уменьшилась и уплотнилась в пределах Аджаро-Триалетской тектонической структуры.



а) 2004–2011.10.23 ($M < 2.5$)

б) 2004–2011.10.23 ($2.5 \leq M < 4.0$)

Рис. 1. Пространственное распределение всех эпицентров слабых землетрясений, имеющих в базах данных двух выделенных магнитудных подгрупп.

Следует отметить, что до Ванского сейсмического события 23.10.2011 ($M=7.2$; $H=16$ км) в исследуемом регионе был зарегистрирован всего один толчок с $M \geq 5.0$ – Игдирское землетрясение 01.07.2004 ($M=5.1$; $H=10$ км). Необходимо отдельное рассмотрение временного периода 2004–2005 гг. из-за наложения афтершокового процесса землетрясения 01.07.2004 на обще-региональную сейсмическую активность.

На рис. 2 а, б представлены годовые региональные карты 2004–2005 гг. пространственно-временного распределения эпицентров слабых землетрясений ($M < 4.0$) по энергетическим подгруппам $M < 2.5$ и $2.5 \leq M < 4.0$.

В 2004–2005 гг. сейсмические события с $M < 2.5$ распределены по площади региона следующим образом: афтершоковое облако Игдирского землетрясения 01.07.2004 ($M=5.1$) достаточно компактное и плотное в 2004 г., в 2005 г. разуплотняется и опускается на ЮВ по тектоническим структурам. Из других сейсмических очагов региона в 2004–2005 гг. активность проявляет лишь Джавахетская зона. Очень мало землетрясений было зарегистрировано в Закаतालской зоне. При этом на территории РА немало эпицентров с $M < 2.5$ почти равномерно распределены по всей площади с СЗ на ЮВ. Лишь в Сюникской зоне в 2004 г. наблюдается интересное уплотнение эпицентров, которое полностью исчезает в 2005 г. В 2005 г. на территории РА эпицентры с $M < 2.5$ сохраняются в Приараксинской области, находящейся в непосредственной близости к очагу Игдирского землетрясения 01.07.2004, и на СЗ республики, концентрируясь в приосевых зонах Памбак-Севанского и Ахурянского разломов (рис. 2, а).

В 2004–2005 гг. сейсмические события с $2.5 \leq M < 4.0$ распределены по площади региона следующим образом: активность проявляется лишь в Закаतालской зоне. На территории РА количество эпицентров с $2.5 \leq M < 4.0$ резко уменьшается, сохраняясь в 2004 г. лишь в Приараксинской зоне; а в 2005 г. регистрируются всего несколько слабых событий в приграничной полосе восточного берега оз. Севан (рис. 2, б). Что касается афтершокового процесса

Игдирского землетрясения 01.07.2004, то он в основном повторяет сценарий пространственно-временного распределения эпицентров с $M < 2,5$. Существенной разницей является то, что в 2004 г. хвостовая часть афтершоков с $2,5 \leq M < 4,0$ коррелируется с слабыми землетрясениями Ванской очаговой зоны. Такая же территориальная коррекция наблюдается в 2005 г. (рис. 2, б).

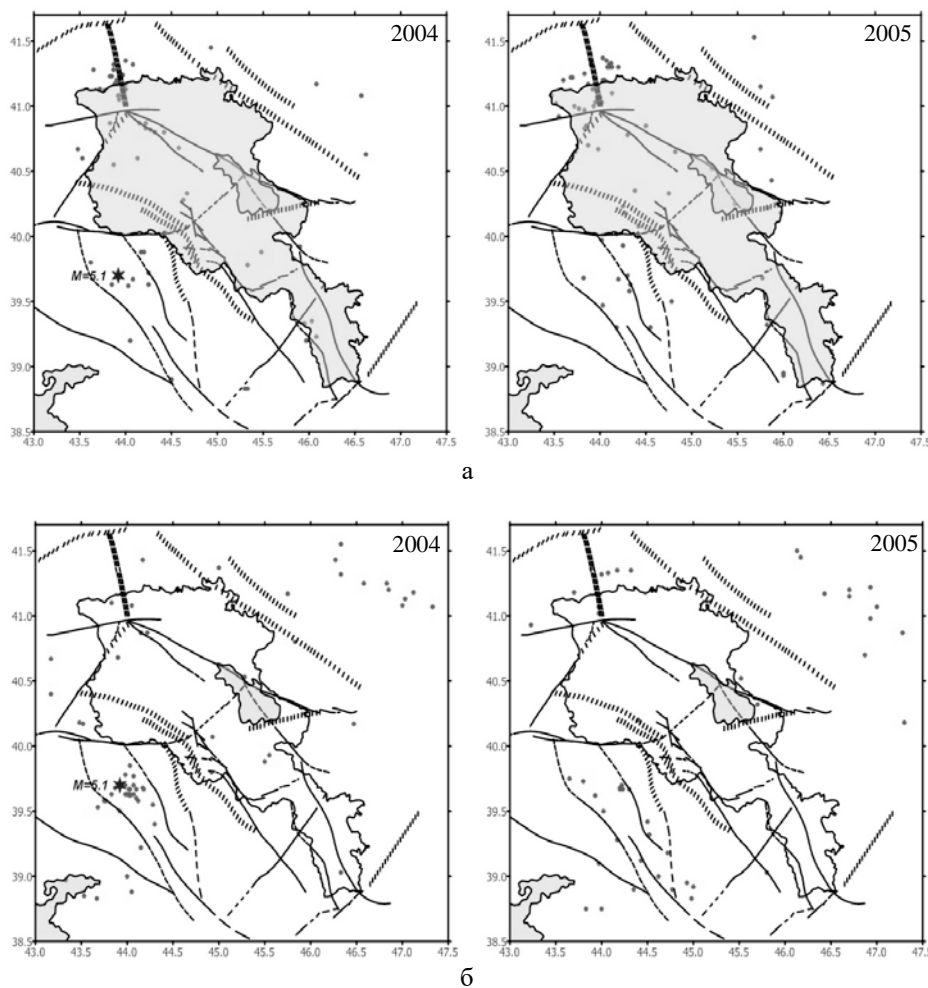


Рис. 2. Погодовые региональные карты 2004–2005 гг. пространственно-временного распределения эпицентров слабых землетрясений ($M < 4,0$) по энергетическим подгруппам: а) $M < 2,5$; б) $2,5 \leq M < 4,0$.

Далее приводится более подробный сравнительный пространственно-временной анализ погодовых карт эпицентров слабых землетрясений для баз данных во временном интервале 2006–23.10.2011 и в магнитудных диапазонах $M < 2,5$ и $2,5 \leq M < 4,0$.

Одной из самых интересных особенностей, выявленных при анализе слабой сейсмичности ($M < 4,0$) территории РА и сопредельных районов Армянского нагорья, является пространственно-временная миграция эпицентров слабых землетрясений в пределах крупных сейсмоактивных тектонических структур.

Тренд миграции землетрясений по Памбак-Севанскому и Ахурянскому разломам обеспечивается эпицентрами с $M < 2,5$. В 2004–2005 гг. процесс протекает хаотично, в 2006 г. – концентрируется в узле пересечения пяти активных разломов на СЗ РА (рис. 3). Затем, с 2007 г. на Памбак-Севанском разломе начинается сейсмическая активизация в диапазоне $M < 2,5$, которая с нарастанием продлилась до 23.10.2010. В зоне Ахурянского разлома землетрясения с $M < 2,5$ наиболее часто регистрируются в 2007 и 2011 гг. Для подгруппы эпицентров с $2,5 \leq M < 4,0$ миграции по Памбак-Севанской и Ахурянской тектоническим структурам практически не наблюдается (рис. 4).

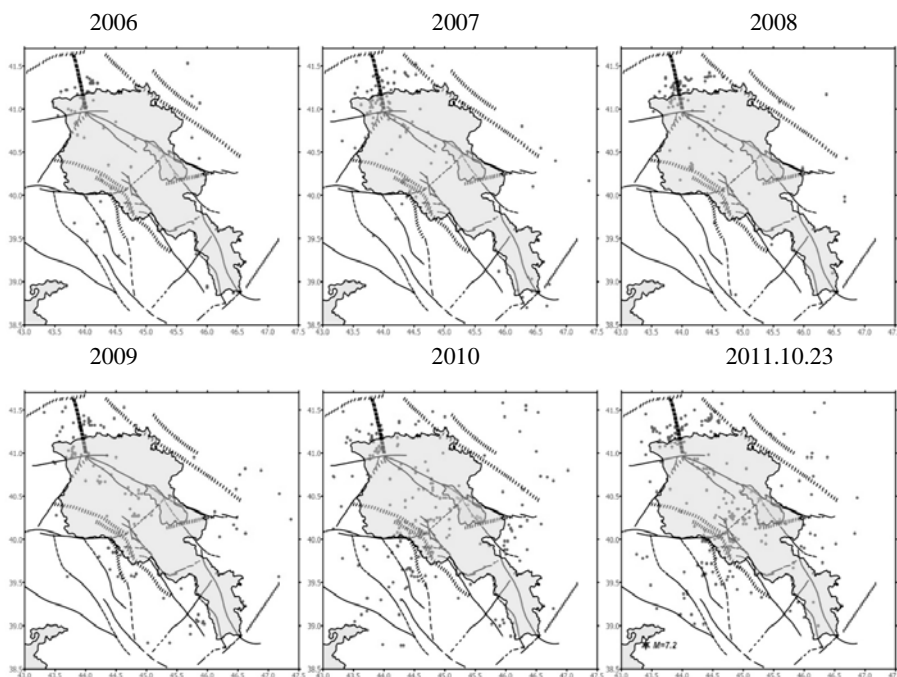


Рис. 3. Погодовые региональные карты 2006–2011 гг. пространственно-временного распределения эпицентров слабых землетрясений ($M < 4,0$) по энергетической подгруппе $M < 2,5$.

Несколько другим выглядит процесс миграции слабой сейсмичности от Джавахетского очага вдоль армяно-грузинской границы на восток. Также, как в случае с Памбак-Севанским и Ахурянским разломами, миграция здесь обеспечивается в основном эпицентрами с $M < 2,5$ в временной период 2007–23.10.2011 (рис. 3). Однако, в этой полосе зарегистрировано немало землетрясений подгруппы с $2,5 \leq M < 4,0$, особенно в период 2010–23.10.2011 (рис. 4).

Еще одной интересной особенностью, зафиксированной при анализе слабой сейсмичности ($M < 4,0$) территории РА и сопредельных районов Армянского нагорья, является “сейсмическое поведение” Ванской очаговой зоны. Так, за временной период 2004–2009 гг. здесь не было сейсмических толчков с $M < 2,5$.

В 2010 г. зарегистрировано 5–6 слабых событий, а затем весь 2011 г. до 23 октября (дата катастрофического землетрясения) снова затишье. Другая картина наблюдается в подгруппе с $2,5 \leq M < 4,0$. С 2004–2009 гг. здесь регистрировалось минимум одно сейсмическое событие в год. В 2010 г. число землетрясений увеличилось до 4–5, а в период 01.2011–23.10.2011 в каталогах зафикс-

сировано около 10 сейсмических толчков, эпицентры которых достаточно плотно располагаются в области эпицентра одного из сильнейших землетрясений исследуемого региона (рис. 4).

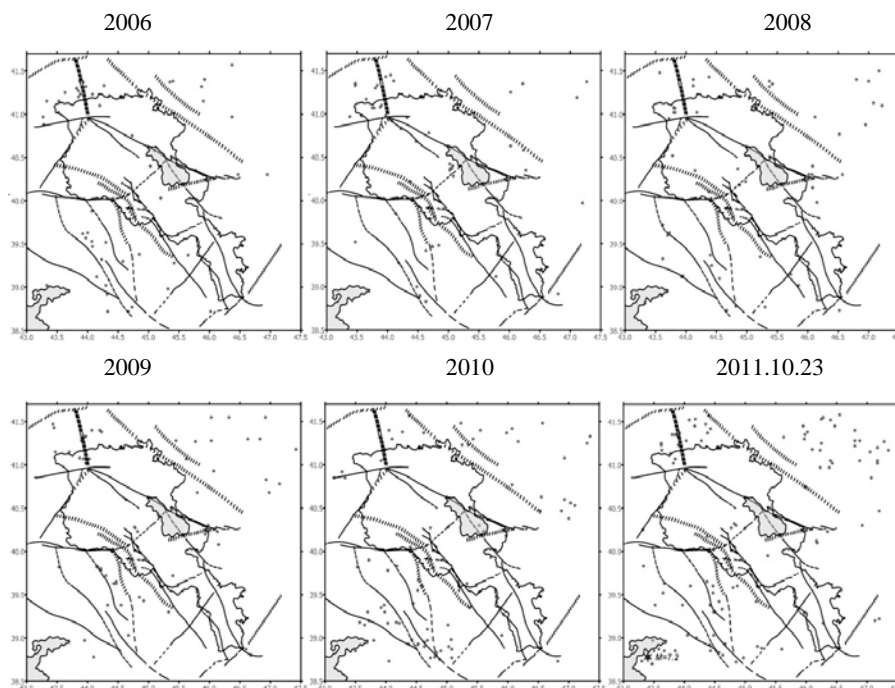


Рис. 4. Погодовые региональные карты 2006–2011 гг. пространственно-временного распределения эпицентров слабых землетрясений ($M < 4,0$) по энергетической подгруппе $2,5 \leq M < 4,0$.

Заключение. Армянское нагорье, являясь одной из наиболее важных геотектонических структур зоны коллизии Кавказского сегмента Средиземно-морско-Азиатского сейсмоактивного пояса, активно влияет и формирует уровень сейсмической опасности на территории РА. Исследования и анализ сейсмогеодинамической обстановки этого региона, в том числе и в период, предшествующий сильному сейсмическому событию, весьма актуальны. На наш взгляд, одной из наиболее востребованных тем для данного региона является ретроисследование, посвященное подготовке сильнейшего 23.10.2011 г. Ванского землетрясения ($M=7,2$). В статье представлены результаты 1-го этапа исследования.

Поступила 30.06.2020

Получена с рецензии 13.07.2020

Утверждена 20.07.2020

ЛИТЕРАТУРА

1. Казарян А.Э. Анализ сейсмического состояния территории Армении, как одного из факторов оценки текущей сейсмической опасности. *Изв. НАН РА. Науки о Земле* 2 (2011), 29–42.
2. Карапетян Н.К. *Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья*. Ер., Изд. АН Арм. ССР (1986), 21–70, 228.
3. Ризниченко Ю.В. *Проблемы сейсмологии: избранные труды*. М., Наука (1985), 408 с.
4. Шебалин Н.В. *Сейсмичность как тектонический процесс. Современная тектоническая активность Земли и проблемы сейсмичности*. М., Наука (1987), 22–37.
5. Шебалин Н.В. *Сильные землетрясения: избранные труды*. М., Изд-во АГН (1997), 542 с.

6. Avagyan A., Sosson M., Karakhanian A., Philip H., Rolland Y., Melkonyan R., Davtyan V. Recent Stress-field Evolution in the Lesser Caucasus and Adjacent Regions. In: *Geol. Soc. of London, Special Volume on Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform* (eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenko) (2009).
7. Karakhanian A., Trifonov V., Philip H., Avagyan A., Hessami K., Jamali F., Bayraktutan M. S., Bagdassarian H., Arakelian S., Davtian V., Adilkhanyan A. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-Western Iran. *Tectonophysics* **380** (2004), 189–219.

Վ. Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

ՀՀ ԵՎ ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԼԵՌՆԱՇԽԱՐՀԻ ՀԱՐԱԿԻՑ ՏԱՐԱԾՔՆԵՐԻ 01.01.2004–23.10.2011 ԹՈՒՅԼ ՍԵՅՍՄԻԿՈՒԹՅԱՆ ($M < 4.0$) ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո մ

Հայկական բարձրավանդակը բնութագրվում է ուժեղ սեյսմաակտիվ գոտիների առկայությամբ, որոնց ակտիվությունը անշուշտ ձևավորում է ՀՀ տարածքի սեյսմիկ վտանգի մակարդակը: Մասնավորապես, 23.10.2011 թ. Վանի երկրաշարժը ($M=7.2$) ուժեղ սեյսմիկ ցնցումներ առաջացրեց Երևանում ($J=5-6$ բալ): Այս հողվածում ներկայացվում է սեյսմագեոդինամիկական իրավիճակի վերլուծությունը այդ երկրաշարժի նախապատրաստման ժամանակահատվածում: Վերլուծության առաջին փուլը նվիրված է ($\varphi^{\circ}N$ 38,0–42,0; $\lambda^{\circ}E$ 42,0–48,0) ռեգիոնի թույլ սեյսմիկության ($M < 4.0$) ուսումնասիրությանը 2004–2011 թթ. ժամանակահատվածում: Տրոհելով սեյսմիկ տվյալների բազան 2 խմբի՝ ցնցումներ ($M < 2.5$) և ($2.5 \leq M < 4.0$) սահմաններում, կառուցվել են երկրաշարժերի էպիկենտրոնների տարածաժամանակային բաշխվածության քարտեզներ ըստ տարիների (2004–2011 թթ.): Առավել կարևոր հետևությունը կայանում է նրանում, որ ուսումնասիրվող տարածքի հարավարևմտյան հատվածում (Վանի օջախային գոտի) 2004–2009 թթ. թույլ երկրաշարժերը ($M < 4.0$) չեն փաստագրվում: Գրանցումները կտրուկ ավելանում են 01.01.2010–23.10.2011 թթ. ժամանակահատվածում:

V. S. BALASANYAN

ANALYSIS OF LOW SEISMICITY ($M < 4.0$) OF THE TERRITORY OF RA AND THE ADJACENT AREAS OF THE ARMENIAN HIGHLANDS FOR THE PERIOD OF 01.01.2004–10.23.2011

Summary

The Armenian highlands are characterized by the presence of potentially seismic zones that form the level of seismic hazard in the territory of the RA. In particular, the Van earthquake ($M=7.2$) in October 23, 2011 manifested in Yerevan by seismic shaking ($J=5-6$ points). The article presents the analysis of the seismic-geodynamic situation of the study area during the preparation of this strong earthquake. The first stage of the analysis is devoted to the study of low seismicity ($M < 4.0$) of the region with coordinates ($\varphi^{\circ}N$ 38.0–42.0; $\lambda^{\circ}E$ 42.0–48.0) for the time period 2004–2011. Year-to-year maps of the spatio-temporal distribution of earthquake epicenters for the period 2004–2011 were built for 2 groups of basic data – seismic events with ($M < 2.5$) and ($2.5 \leq M < 4.0$). It turned out that in the southwestern part of the study area (Van focal zone), weak earthquakes ($M < 4.0$) in 2004–2009 were not recorded. Their number increased sharply in the period of 01.01.2010–23.10.2011.