

УДК 551.24/550.34

АНАЛИЗ АФТЕРШОКОВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ($M \geq 4,0$)
ВАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 23.10.2011 ($M = 7,2$)
ЗА ПЕРИОД 23.10.2011–30.11.2012

В. С. БАЛАСАНЯН *

Кафедра геофизики ЕГУ, Армения

Армянское нагорье характеризуется наличием очагов сильных землетрясений, которые также влияют на уровень сейсмической опасности территории Армении. В частности, Ванское землетрясение (23.10.2011, $M = 7,2$) проявилось во многих областях интенсивными сейсмическими колебаниями. Поэтому очень важное значение имеет всесторонний анализ активной фазы (23.10.2011–30.11.2012) афтершокового процесса этого землетрясения с точки зрения его возможного влияния на сейсмогеодинамику других потенциально опасных зон исследуемого региона. Исследование пространственно-временного распределения афтершоков с магнитудой $M \geq 4,0$ позволило в частности выделить определенную взаимосвязь сейсмогеодинамических процессов некоторых тектонических структур и очаговых зон Армянского нагорья.

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2021.55.2.096>

Keywords: aftershock seismicity, seismic focal zone, seismogeodynamics, spatio-temporal distribution of earthquake epicenters, Armenian highlands, seismological data, tectonic structure, main seismic shock..

Введение. Армянское нагорье и сопредельные территории ($\varphi^{\circ}N$ 38,0–42,0; $\lambda^{\circ}E$ 42,0–48,0) являются важнейшими сеймотектоническими конструкциями зоны коллизии Кавказского сегмента Альп-Гималайского сейсмоактивного пояса [1–4]. Отметим также, что основные тектонические структуры Армянского нагорья были взяты из современной базовой модели, представленной в работах [2, 5, 6]. При этом общий высокий сейсмический потенциал этого региона не в последнюю очередь определяется поведением Ванской очаговой зоны ($\varphi^{\circ}N$ 38,0–39,5; $\lambda^{\circ}E$ 42,0–44,0), находящейся в ЮЗ части обследуемой территории. Ранее нами были проанализированы материалы исследований сейсмичности за период 01.01.2000–23.10.2011. Был проведен сравнительный анализ пространственно-временного хода сейсмичности в следующих диапазонах магнитуд: $M < 4,0$ и $M \geq 4,0$, выявивший некоторые интересные особенности в сейсмогеодинамике этих энергетических подгрупп

* E-mail: vsb2005@mail.am

[7, 8]. В настоящей статье представлены результаты анализа пространственно-временного хода афтершоковой сейсмичности после Ванского землетрясения 23.10.2011 за временной период 23.10.2011–30.11.2012.

Цель и методика исследований. Общей целью данного ретроспективного исследования было выявление особенностей развития афтершокового процесса Ванского землетрясения 23.10.2011 на территории Армянского нагорья и сопредельных областей. Основной методический подход основывался на сравнительном анализе поведения афтершоковой сейсмичности в разных магнитудных диапазонах в период разрядки Ванского очага. Таким образом, поставленные задачи сводятся к изучению и оценке основных параметров сейсмических событий региона исследований (φ° N 38,0–42,0; λ° E 42,0–48,0).

Результаты исследований. По официальным сведениям, из обсерватории Кандилли и Института исследования землетрясений (KOERI), после основного толчка Ванского землетрясения 23.10.2011 было зарегистрировано не менее 1300 афтершоков, что предопределило наше решение ограничить энергетический уровень участвующих в анализе сейсмических событий магнитудами $M \geq 4,0$. Поэтому в качестве основной базы сейсмологических данных была принята такая выборка из регионального каталога землетрясений: а) для территории Армянского нагорья (φ° N 38,0–42,0; λ° E 42,0–48,0); б) для временного периода 23.10.2011–30.11.2012; в) для магнитуд $M \geq 4,0$.

В общей сложности, за период 23.10.2011–30.11.2012 было зарегистрировано 267 афтершоков с $M \geq 4,0$. Из них 55 землетрясений в интервале магнитуд $4,5 \leq M < 4,9$. Зафиксированы также, достаточно сильные землетрясения: 3 толчка с $M = 4,9$ и 22 события с $5,0 \leq M < 6,5$. Таким образом, рабочая выборка из базового каталога землетрясений НССЗ РА (267 афтершоков с магнитудой $M \geq 4,0$) является достаточно представительной для проведения всестороннего и подробного статистического анализа афтершоковой активности [3, 4, 9] Ванского землетрясения 23.10.2011 за период 23.10.2011–30.11.2012. При проведении исследований следует учитывать еще одно важное обстоятельство – в течение 2012 г. проявили высокую сейсмическую активность еще две очаговые зоны Армянского нагорья: 1) в Закапальской очаговой зоне 07.05.2012 с интервалом в 9,5 ч регистрируются 2 сильных землетрясения с магнитудами 5,7 и 5,4; 2) в Тавризской очаговой зоне 11.08.2012 с интервалом в 11 мин регистрируются 2 сильных землетрясения с магнитудами 6,4 и 6,2.

Следовательно, на афтершоковую активность Ванского землетрясения неизбежно накладываются сейсмогеодинамические процессы еще двух очаговых зон исследуемого нами региона. Поэтому получение корректных результатов анализа напрямую связано с постулированием следующих принципов данного исследования:

1) анализ афтершоковой активности Ванского землетрясения 23.10.2011 может считаться корректным и научно обоснованным только во временном интервале 23.10.2011–07.05.2012;

2) далее и до конца 2012 г. сейсмогеодинамические взаимосвязи 3-х очаговых зон (Ванской, Закапальской и Тавризской) возможно могут быть выявлены в области более высоких магнитуд – $M \geq 4,5$.

Вначале представим результаты количественного анализа сейсмологических параметров афтершоков Ванского землетрясения 23.10.2011 за начальный временной отрезок 23.10.2011–1.12.2011.

В магнитудном интервале 4,0–5,0 произошло 171 афтершоков с глубинами очага в интервале: $1 \text{ км} \leq H \leq 23 \text{ км}$. При этом 29 сейсмических толчков в интервале магнитуд 4,0–4,8 располагаются на глубинах 1–5 км. Из 171 землетрясения 40 событий относятся к интервалу $M = 4,5–4,9$. Отметим также, что до конца 2011 г. было зафиксировано 12 афтершоков с $M \geq 5,0$. При этом сразу после основного толчка 23.10.2011 (10:41, $M=7,2$) до 21:00 непосредственно в Ванской очаговой зоне было зарегистрировано 4 землетрясения с $M \geq 5,0$ и один сильнейший афтершок с $M = 5,9$ ($\varphi = 38,64$; $\lambda = 43,13$; $H = 7 \text{ км}$). Помесячное пространственное расположение эпицентров афтершоков ($M \geq 4,0$) Ванского землетрясения 23.10.2011 за период 23.10.2011–31.12.2011, зарегистрированных в исследуемом регионе, представлено на рис. 1.

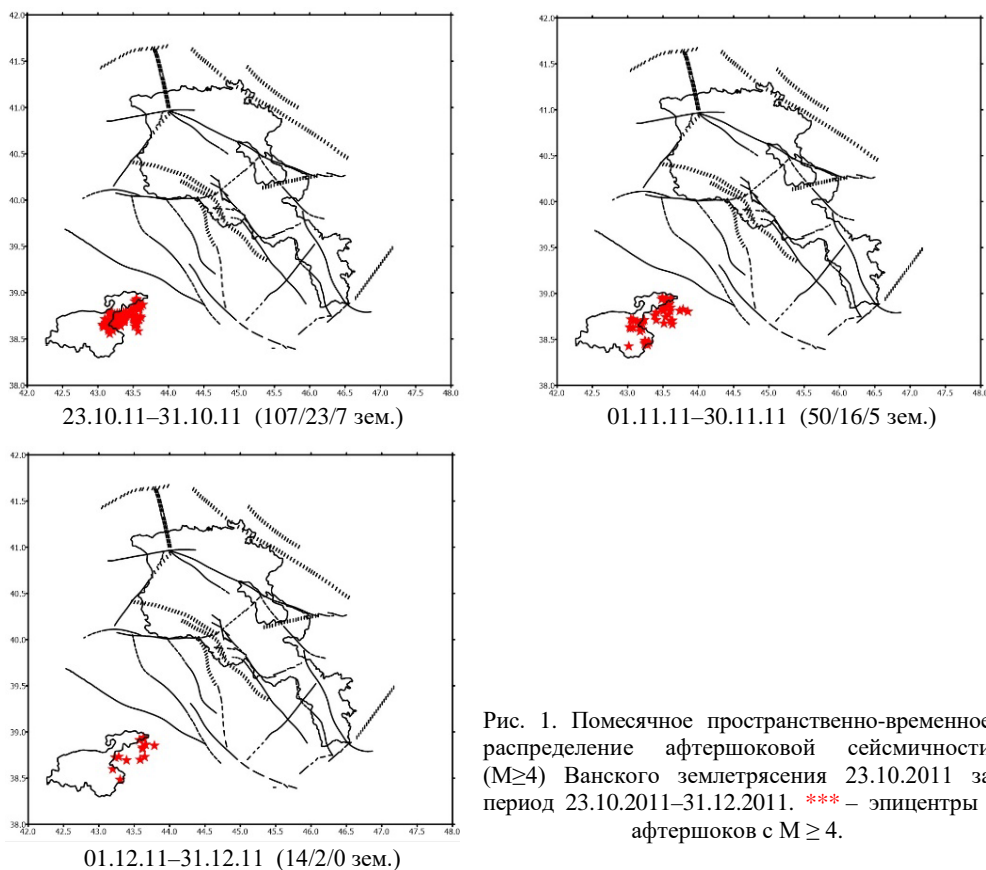


Рис. 1. Помесячное пространственно-временное распределение афтершоковой сейсмичности ($M \geq 4$) Ванского землетрясения 23.10.2011 за период 23.10.2011–31.12.2011. *** – эпицентры афтершоков с $M \geq 4$.

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать следующие промежуточные выводы:

1) только за 9 дней октября 2011 г. произошла большая часть всех афтершоков, зарегистрированных за весь период 23.10.2011–31.12.2011 – около 2/3 (107 зем.) от общего числа (171 зем.); больше 1/2 (23 зем.) с $M = 4,5–4,9$, а также больше 1/2 (7 зем.) из наиболее сильных афтершоков с $M \geq 5,0$;

2) в течение всего периода 23.10.2011–31.12.2011 эпицентры всех 171 афтершоков с $M \geq 4,0$ достаточно компактно располагаются в области эпицентра основного толчка Ванского землетрясения 23.10.2011;

3) следует отметить, что при общем помесечном уменьшении количества афтершоков в диапазоне магнитуд 4,0–5,0 в декабре 2011 г. не зарегистрировано ни одного сейсмического события с $M \geq 5,0$.

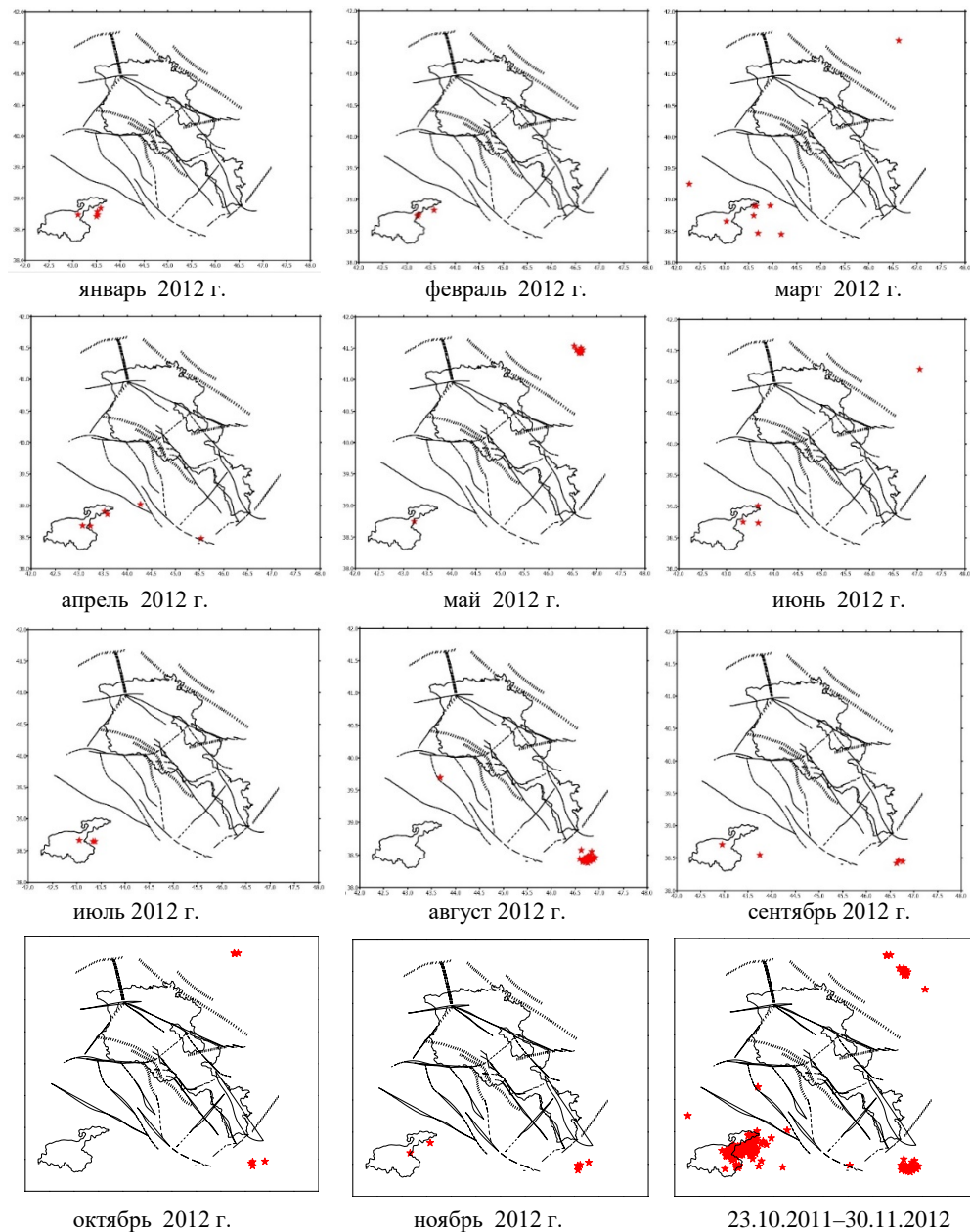


Рис. 2. Помесячное пространственно-временное распределение афтершоковой сейсмичности ($M \geq 4$) Ванского землетрясения 23.10.2011 за период 01.01.2012–30.11.2012 и общая карта всех афтершоков ($M \geq 4$) за весь период наблюдений (23.10.2011–30.11.2012). *** – эпицентры афтершоков с $M \geq 4$.

На рис. 2 представлены результаты количественного анализа сейсмологических параметров афтершоков Ванского землетрясения за временной период 01.01.2012–30.11.2012 с учетом его разбивки на 3 подпериода:

- а) до активизации Закаतालской зоны – 01.01.2012–07.05.2012;
- б) время между Закаतालской и Таврической активизациями – 07.05.2012–11.08.2012;
- в) время после активизации Таврической очаговой зоны до конца 2012 г. – 11.08.2012–30.11.2012.

Для 1-го подпериода 01.01–07.05 в магнитудном интервале 4,0–5,0 произошло 24 афтершока с глубинами очага в интервале $H = 6–23$ км. Из 24 землетрясений 3 события относятся к $M = 4,5–4,9$. Отметим также что, с 01.01 до 07.05 был зафиксирован всего 1 афтершок с $M = 5,0$.

Для 2-го подпериода 07.05–11.08 с $4,0 \leq M < 5,0$ произошло 14 афтершоков с глубинами очага $H = 5–24$ км. Из 14 землетрясений 3 события относятся к интервалу $M = 4,5–4,9$. Отметим также, что от основного толчка в Закаतालской очаговой зоне 07.05 ($M_{\max} = 5,7$) до 11.08 было зафиксировано еще 2 афтершока с $M \geq 5,0$.

Для 3-го подпериода 11.08–30.11 с $4,0 \leq M < 5,0$ произошло 54 афтершока с глубинами очага в интервале 4–19 км. При этом 28 (больше 1/2 всех афтершоков) сейсмических толчков во всем интервале магнитуд 4,0–4,9 располагаются на глубинах 4–5 км. Из 54 землетрясений 11 событий относятся к интервалу $M = 4,5–4,9$. Отметим также что, с 11.08 до 30.11 было зафиксировано 4 афтершока с $M = 5,0–5,6$ ($H = 4–10$ км). При этом главный сейсмический удар в Таврической очаговой зоне состоял из 2-х субтолчков ($M = 6,4$, $H = 10$ км; и $M = 6,2$, $H = 10$ км), произошедших в течение 11 мин.

Сравнительный анализ помесечных карт пространственного расположения эпицентров афтершоков Ванского землетрясения 23.10.2011 с $M \geq 4,0$ за период 01.01.2012–30.11.2012 позволяет сделать следующие выводы (рис. 2):

1) при продолжающемся помесечном уменьшении количества афтершоков в диапазоне магнитуд 4,0–4,6 в течение января и февраля 2012 г. также не зарегистрировано ни одного сейсмического события с $M \geq 5,0$. При этом все имеющиеся в наличии толчки (5 и 4 зем.) продолжают достаточно компактно располагаться в области эпицентра главного толчка Ванского землетрясения 23.10.2011.

2) В течение марта 2012 г. происходит 9 афтершоков (в предыдущие 2 месяца было столько же суммарно). При этом диапазон магнитуд опять понижился – $4,0 \leq M \leq 4,4$. Принципиальным является то, что до этого компактное (4,5 месяца) афтершоковое облако начинает расплываться по азимуту СЗ–ЮВ, совпадающему с направлением наиболее близкого к Ванскому очагу Чалдыран-Таврического разлома. Миграция афтершоков в основном идет в ЮВ направлении. Однако, в конце месяца (26 марта) на СЗ окраине Ванской очаговой зоны был зарегистрирован сильный афтершок с $M = 5,0$ (впервые после почти четырех месяцев). Но затем, в апреле 2012 г., энергетический уровень 6 сейсмических событий не превышал отметку $M \leq 4,4$. Пространственное расположение этих землетрясений таково: 4 толчка находятся в области эпицентра основного

Ванского землетрясения, 2 других приурочены к Чалдыран-Тавризскому разлому. На наш взгляд немаловажно, что последний афтершок апреля (29.04.12; $M = 4,1$) приурочен к ЮВ сегменту сопряжения Чалдыран-Тавризского и Гайлату-Хойского разломов и пространственно расположен недалеко от области собственно Тавризской сейсмоочаговой зоны.

3) После такой “прелюдии” в начале мая (07.05.2012, $M = 5,7$) начинается сейсмическая активизация сначала Закатальской, а затем Ванской очаговых зон, которая длится до конца июля 2012 г. (17 толчков с $M \geq 4,0$) и включает в себя 5 землетрясений с $M \geq 4,6$, из которых три с $M \geq 5,0$. Эпицентр одного из этих трех сильных афтершоков (24.06.12; $M = 5,0$) и далее в июле следующие за ним 6 более слабых толчков (с $M \leq 4,3$) пространственно располагаются в области Ванской очаговой зоны. Такое пространственно-временное распределение афтершоковой активности напоминает процесс цепочечной “передачи” сейсмической активности от одной очаговой зоны Армянского нагорья к другой, где так или иначе задействован Ванский очаг, с которого начинается и на котором заканчивается большинство хронологических цепочек-последовательностей [8].

4) Во второй трети августа 11.08.2012 ($M_1 = 6,4$ и $M_2 = 6,2$) начинается сейсмическая активизация сначала Тавризской, а затем Ванской очаговых зон, которая длится до конца ноября 2012 г. и заканчивается 24.11.2012 землетрясением с $M = 4,5$ в Ванской очаговой зоне. Анализ августовской активизации осложняется тем, что в классическом Тавризо-Ванском процессе афтершоковой активности (август–сентябрь) появляется дополнительный компонент Тавризо-Закатальского сейсмогеодинамического взаимодействия без прямого участия Ванской очаговой зоны (октябрь), который после последовательности двух сильных афтершоков – 14.10.12 в Закатальской зоне ($M = 5,3$) и 07.11.12 в Тавризской зоне ($M = 5,6$) – по не совсем понятным причинам перестает функционировать и вновь активизирует Тавризо-Ванский процесс афтершоковой сейсмичности.

5) Если судить по характерным типовым признакам механизма образования в процессе цепочечной “передачи” сейсмической активности от одной очаговой зоны Армянского нагорья к другой, то в случае майской сейсмической активизации мы имеем дело с фигурами-последовательностями группы 1-го типа – характеризуются тем, что переход сейсмической активности ($M \geq 4,0$) осуществляется только в одну из любых очаговых зон исследуемого региона и снова возвращается в Ванский очаг [8]. В случае августовской сейсмической активизации скорее всего надо рассматривать фигуры-последовательности группы 2-го типа – характеризуются тем, что переход сейсмической активности ($M \geq 4,0$) может осуществляться последовательно в несколько разных очаговых зон исследуемого региона и затем снова возвращаться в Ванский очаг [8].

6) В нижней крайней правой ячейке рис. 2 представлено общее пространственное расположение эпицентров всех афтершоков ($M > 4,0$) Ванского землетрясения 23.10.2011, зарегистрированных в исследуемом регионе за весь период наблюдений 23.10.2011–30.11.2012. Визуальный анализ четко фиксирует те две

очаговые зоны (Закатальскую и Тавризскую), которые проявили серьезную сейсмическую активность в исследуемый нами период афтершоковой сейсмичности.

Поступила 04.06.2021

Получена с рецензии 06.07.2021

Утверждена 07.07.2021

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян Н.К. *Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья*. Ереван, изд-во АН Арм. ССР (1990), 264 с.
2. Назаретян С.Н. и др. *Региональные разломы территории Армении по геофизическим данным и их сейсмичность*. Ереван, изд-во Гитутюн НАН РА (2015), 184 с.
3. Шебалин Н.В. *Сейсмичность как тектонический процесс. Современная тектоническая активность Земли и проблемы сейсмичности*. Москва, Наука (1987), 22–37.
4. Шебалин Н.В. *Сильные землетрясения: избранные труды*. Москва, изд-во Академии горных наук (1997), 542 с.
5. Avagyan, A., Sosson, M., et al. *Recent Stress-Field Evolution in the Lesser Caucasus and Adjacent Regions*. In Book: *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) (2010).
6. Karakhanian A., Trifonov V., et al. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-Western Iran. *Tectonophysics* **380** (2004), 189–219.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.020>
7. Баласаян В.С. Анализ слабой сейсмичности ($M < 4,0$) территории РА и сопредельных районов Армянского нагорья за период 01.01.2004–23.10.2011. *Ученые записки ЕГУ. Геология и география* **54** : 2, (2020) с. 81–88.
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2020.54.2.081>
8. Баласаян В.С. Анализ сейсмичности ($M \geq 4,0$) Армянского нагорья за период 01.01.2000–23.10.2011. *Ученые записки ЕГУ. Геология и география* **54** : 3 (2020) 155–161.
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2020.54.3.155>
9. Ризниченко Ю.В. *Проблемы сейсмологии: избранные труды*. Москва, Наука (1985), 408 с.

Վ. Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

23.10.2011 ՎԱՆԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ($M=7,2$) ՀԵՏՅՆՑՈՒՄԱՅԻՆ
ՄԵՅՍՄԻԿՈՒԹՅԱՆ ($M \geq 4,0$) ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ
23.10.2011–30.11.2012 ԺԱՄԱՆԱԿԱՀԱՏՎԱԾԻ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Հայկական լեռնաշխարհը բնութագրվում է ուժեղ երկրաշարժերի օջախների առկայությամբ, որոնք ազդում են նաև Հայաստանի տարածքում սեյսմիկ վտանգի մակարդակի վրա: Մասնավորապես, Վանի երկրաշարժը (23.10.2011, $M = 7.2$) շատ տարածքներում դրսևորվեց ուժեղ սեյսմիկ ցնցումներով: Հետևաբար, շատ կարևոր նշանակություն ունի այս երկրաշարժի հետցնցումային գործընթացի ակտիվ փուլի (23.10.2011–30.11.2012) համապարփակ վերլուծությունն՝ ուսումնասիրվող տարածաշրջանի մյուս պոտենցիալ վտանգավոր գոտիների սեյսմագեոդինամիկայի վրա դրա հնարավոր ազդե-

ցության տեսանկյունից: $M \geq 4,0$ մագնիտուդով հետցնցումների տարածա-
ժամանակային բաշխման ուսումնասիրությունը հնարավորություն տվեց,
մասնավորապես, որոշակի կապ հաստատել Հայկական լեռնաշխարհի մի
քանի տեկտոնական կառույցների և օջախային գոտիների սեյսմագեոդինա-
միկական գործընթացների միջև:

V. S. BALASANYAN

ANALYSIS OF AFTERSHOCK SEISMICITY ($M \geq 4.0$)
OF THE VAN EARTHQUAKE OF 23.10.2011 ($M = 7.2$)
FOR THE PERIOD 23.10.2011– 30.11.2012

Summary

The Armenian Highlands are characterized by the presence of sources of strong earthquakes, which also affect the level of seismic hazard in the territory of Armenia. In particular, the Van earthquake (23.10.2011, $M = 7,2$) manifested itself in many areas by intense seismic vibrations. Therefore, a comprehensive analysis of the active phase (23.10.2011–30.11.2012) of the aftershock process of this earthquake from the point of view of its possible impact on the seismic geodynamics of other potentially dangerous zones of the region under study is very important. The study of the spatio-temporal distribution of aftershocks with a magnitude of $M \geq 4,0$ made it possible, in particular, to identify a certain relationship between seismic-geodynamic processes of some tectonic structures and focal zones of the Armenian Highlands.