НАШИ ГОСТИ

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2018.2.14359

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ СЛОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОРОГЕНАХ БОЛЬШОГО И МАЛОГО КАВКАЗА

© 2018 Б.В. Саакян

Институт Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Сарксяна, 5, e-mail: sahakyan_
babken@mail.ru

В работе исследуется пространственно-временное распределение сейсмических событий за период (1900–2000 гг.) по крупному сейсмическому линейamentу Эрзрум-Боржом-Казбек (ЭБК) в геодинамике орогенов Большого и Малого Кавказа, а также установление его связи с выявленными геодезическими и морфоструктурными данными современных движений этих орогенов. Показано, что выявленные по сейсмологическим данным периоды сейсмических активизаций и заключенные между ними временные интервалы относительных сейсмических затиший, адекватно отображают выявленные по геодезическим данным кратковременные эпохи опускания и поднятия орогенов Малого и Большого Кавказа. Полученные результаты позволяют использовать сейсмологические данные для реконструкции современных движений, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения.

Ключевые слова: сейсмические события, кумулятивный график Беньофа, геодинамическая эпоха, сейсмический линейament, сеймотектонические деформации.

Горные сооружения Большого и Малого Кавказа расположены в зоне коллизии Аравийской и Скифской литосферных плит и подвергаются воздействию сложных геодинамических процессов, происходящих в земной коре этого региона. Многочисленные исследования геотектонического строения данного региона указывают, что Аравийская плита по двум основным шовным зонам с относительной скоростью $v = 25 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ вклинивается в структуры Малого и Большого Кавказа, раздвигая Восточно-Черноморскую и Анатолийскую мезоплиты к западу, Южно-Каспийскую и Иранскую мезоплиты к востоку, а расположенные в передовой зоне Аравийской плиты Южно-Армянский и Закавказский блоки подвергаются воздействию близмеридианально направленных сжимающих напряжений [Габриеляни др., 1981; Габриелянц и др., 2002; Cisternas, Philip, 1996]. Этими процессами обусловлены структуры региональных разломов, образующих систему выпуклых к северу дуг. Анализы стереограмм механизмов очагов сильных землетрясений указывают, что в вершинах дуг наблюдаются движения взбросо-сдвигового типа, а соответственно западные и восточные фланги разломов представляют собой левосторонние и правосторонние сдвиги [Jackson, Ambraseys, 1996] (рис. 1).

Приведенные на карте глубинных разломов эпицентры сильных землетрясений, а также многочисленные инструментальные данные более слабых сейсмических событий, происходящих на территории Кавказа, указывают на то, что на современном этапе вся эта система глубинных разломов обладает высокой сейсмической активностью, отражающая сложные современные геодинамические процессы, происходящие в глубинных горизонтах земной коры. Детальные исследования современных тектонических движений на исследуемой территории по комплексам геодезических и геоморфологических наблюдений проведены Лилиенбергом и Ященко, в связи с изучением процессов подготовки Спитакского катастрофического землетрясения, которые выявили ряд характерных особенностей проявления геодинамических процессов в Кавказском регионе. На основе данных многократных циклических высококласных региональных нивелировок ими было выявлено, что на фоне общей инверсии геодинамики в орогене Малого Кавказа наблюдаются короткопериодные (20–30 лет) вариации вертикальных тектонических движений, приуроченных к шовным зонам морфоструктурных блоков разного порядка. Аналогичный механизм и его взаимосвязь с вариациями сейсмичности наблюдается также для горной системы Большого Кавказа. Показано, что в пространственно-временном отношении современные вертикальные движения в этих крупных орогенах находятся как бы в противофазе: эпоха активизации сжатия и поднятия Большого Кавказа соответствует эпохе растяжения и опускания Малого Кавказа и наоборот [Балаян и др., 1989; Горшков и др., 1991; Лилиенберг, Ященко, 1991]. Этот важный геодинамический вывод авторы связывают с наличием одновременно действующих в регионе сменяющихся во времени механизмами сжимающих и растягивающих тектонических напряжений. Показано, что наиболее интенсивные современные вертикальные движения наблюдаются в орогене Малого Кавказа, которые происходят со скоростями – 7–12 мм/год [Ященко, Ямбаев, 2007]. В орогене Малого Кавказа установлены эпоха опускания (1911/1929–1940/1953 гг.) и эпоха поднятия (1940/1953–1972/1974 гг.).

В настоящей работе нами была поставлена цель выявить, как отражаются эти сложные геодинамические процессы в пространственно-временном распределении сильных землетрясений в этих крупных орогенах. Для этой цели рассматривался пространственно-временной ход сейсмичности по сейсмическому линеamentу Эрзрум-Боржом-Казбек (ЭБК), представляющий собой северную шовную зону взаимодействия Аравийской и Скифской литосферных плит (рис. 1).

Географически этот линеament простирается от крупного Эрзрумского сейсмотектонического узла по направлению северо-восток, последовательно пересекая ороген Малого Кавказа, Рионо-Куринскую депрессию с выходом на ороген Большого Кавказа к району горы Казбек [Габриелянц и др., 2002].

Для изучения взаимосвязи вышеизложенных сложных геодинамических процессов в орогенах Большого и Малого Кавказа с сейсмичностью рассматривалось развитие сейсмических событий в зоне динамического влияния этого крупного сейсмического линеamenta, за период циклических геодезических наблюдений (1900–1995 гг.).

В качестве исходных данных были выбраны из мировых и региональных каталогов землетрясения с магнитудами величиной $M > 5$. Таким образом, принята такая граница магнитуд, которая с одной стороны является нижним уровнем представительности сейсмичности для данного района, а с другой стороны учитывалось то

Рис. 1. Основные плитотектонические элементы Армении и сопредельных регионов
 1 – направления движений литосферных плит; 2 – взбросовые и сбросовые подвижки; 3 – сдвиговые подвижки; 4 – активные глубинные разломы: североанатолийский разлом (САР) и восточноанатолийский разлом (ВАР); 5 – эпицентры землетрясений с магнитудами $M > 5$; 6 – стереограммы известных фокальных механизмов очагов землетрясений; 7 – зона динамического влияния сейсмического линеймента Эрзрум-Боржом-Казбек.

обстоятельство, что накопление тектонических напряжений и деформация в очаговых зонах таких землетрясений обусловлены непрерывно протекающими в земной коре сложными региональными геодинамическими процессами.

Анализ развития во времени сейсмических процессов проводился методом Бенъофа, позволяющим рассматривать временной ход сейсмичности через процессы накопления и разрядки сеймотектонических напряжений в очагах каждого из этих землетрясений. Кумулятивный график Бенъофа, отображающий эти процессы, представлен на рисунке 2 [Пшеников, 1965].

На этом графике четко выделяются два периода сейсмической активизации, соответствующие интервалам 1899–1947 гг. и 1978–1992 гг. Временной период 1947–1978 гг., в котором количество землетрясений значительно уступает двум периодам активизации, принимается как период относительного сейсмического затишья.

Первый этап сейсмической активизации, 1899–1947 гг., характеризуется большим количеством землетрясений в диапазоне магнитуд $M = 5–6,3$. Пространственно эпицентры этих землетрясений расположены в основном в орогене Малого Кавказа. В отличие от этого, второй период активизации 1978–1992 гг. характеризуется высвобождением накопленной сейсмической энергии за счет более сильных землетрясений, последовательно возникавших на всем протяжении сейсмического лине-

Рис. 2. Графики Беньофа и современных движений земной коры

амента, который завершается двумя сильными землетрясениями (Рачинское 1991 г. $M = 7$, Барисахское 1992 г. $M = 6,4$) в орогене Большого Кавказа.

По данным кумулятивного графика Беньофа для всего интервала наблюдения, а также отдельных периодов сейсмической активизации и затишья, были рассчитаны скорости относительных сейсмотектонических деформаций, численные значения которых составляют соответственно $\dot{\epsilon}_{\text{век}} \approx 0,85 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $\dot{\epsilon}_I \approx 0,95 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $\dot{\epsilon}_{II} \approx 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $\dot{\epsilon}_{\text{зат}} \approx 0,15 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$.

Анализ численных значений указывает, что процессы накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций на этом сейсмическом линейменте протекает не монотонно. Численное значение скоростей относительных деформаций за первый период сейсмической активизации соизмеримо со значением скорости относительной деформации векового хода $\dot{\epsilon}_{\text{век}} \approx \dot{\epsilon}_I$.

Наряду с этим, выделяются отдельные интервалы, соответствующие второму периоду сейсмической активизации и относительному сейсмическому затишью, где скорость относительных деформаций на один порядок выше ($\dot{\epsilon}_{II}$) и ниже ($\dot{\epsilon}_{\text{зат}}$) скорости относительных деформаций векового хода. Особо следует отметить, что накопление и разрядка сейсмотектонических деформаций на первом этапе проявляются в локальном масштабе, охватывающем в основном ороген Малого Кавказа.

Иная картина наблюдается во втором периоде сейсмической активизации, в котором процессы накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций, протекающие на региональном уровне, охватывают, как выше было указано, весь сейсмический линеймент. Анализ временного хода сейсмичности на всем протяжении линеймента показывает, что начало обоих этапов процесса сейсмической активизации

ции формируется в орогене Малого Кавказа (Ахалкалакское 1899 г. $M = 6,3$, Дманисское 1978 г. $M = 5,2$) и оба завершаются в орогене Большого Кавказа (Гудамарское 1947 г. $M = 5,2$, Барисахское 1992 г. $M = 6,4$).

Исходя из этого, можно прийти к заключению, что относительно малый по размеру и соответственно более раздробленный относительно орогена Большого Кавказа ороген Малого Кавказа чувствительно реагирует на сложные региональные глубинные геодинамические процессы, происходящие в этих орогенах.

Полученные сейсмологические данные проанализированы совместно геодезическими и морфоструктурными данными, а также сложными геодинамическими процессами, происходящими в орогене Большого и Малого Кавказа.

Для этой цели короткопериодные вариации вертикальных тектонических движений, выраженные периодами поднятий и опусканий, были сопоставлены с пространственно-временным ходом сейсмичности Бенъофа (рис. 2). На графике Бенъофа четко прослеживается корреляция этапов сейсмической активизации с эпохами поднятия и опускания земной коры орогена Малого Кавказа. Первый этап сейсмической активизации (1899–1947 гг.) совпадает с эпохой опускания (1911/1929–1940/1953 гг.) в области орогена Малого Кавказа. Второй этап сейсмической активизации (1978–1992 гг.), наблюдаемый на всем протяжении сейсмического линейамента, связан с эпохой одновременного поднятия орогена Малого Кавказа и опускания орогена Большого Кавказа. Выделенный на графике Бенъофа временной период относительного сейсмического затишья обусловлен процессом перехода от эпохи опускания к эпохе поднятия земной коры Малого Кавказа.

Анализ результатов работ [Геодакян, Саакян, 2014; Ященко, Ямбаев, 2007] и количественные значения современных движений земной коры в исследуемых областях показывают, что во время эпох опускания и поднятия вертикальные движения происходят с разными скоростями. Эти данные были сопоставлены с расчетными значениями относительных скоростей сейсмотектонических деформаций для этих эпох. Установлено, что эти два процесса происходят синхронно, однако в период опускания ($\dot{\epsilon}_I \approx 0,95 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $v_I = -7 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$) как скорости современных движений, так и скорости относительных деформаций, на порядок меньше соответствующих значений эпохи поднятия ($\dot{\epsilon}_{II} \approx 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $v_{II} = 12 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$).

Наряду с этим, скорость относительной сейсмотектонической деформации в интервале сейсмического затишья, полученная по сейсмологическим данным, соответственно на один и два порядка меньше, чем скорости относительных сейсмотектонических деформаций при первом и втором этапах сейсмических активизаций. Учитывая, что этот интервал соответствует процессу перехода от эпохи опускания к эпохе поднятия можно утверждать, что в этом интервале земная кора восстанавливает состояние неустойчивого равновесия, при котором линейная скорость вертикальных современных движений должна быть относительно незначительной. Вместе с этим, по результатам повторных нивелировок, проведенных в 1978–1981 гг. по локальным профилям, пересекающим территорию Северной Армении и Джавахетского нагорья, в эпоху общего поднятия орогена Малого Кавказа установлено, что в очаговых областях подготовки Параванского (1986 г.) и Спитакского (1988 г.) сильных землетрясений возникают аномальные кратковременные, резкие разнонаправленные изменения современных вертикальных движений. При этом на локальном участке очаговая область Параванского землетрясения опускалась с относительной скоростью – $11,3 \text{ мм/год}^{-1}$, в то время как область подготовки ката-

строфического Спитакского землетрясения сдвинулась по высоте почти на один метр, начиная с 1972 по 1988 гг. [Гоцадзе, 1984; Гоцадзе и др., 1991; Лилиенберг, Яценко, 1991; Яценко, Ямбаев, 2007]. Земная кора северо-западной части орогена Малого Кавказа, в котором расположены очаги этих землетрясений, относительно более раздроблена, состоит из разномасштабных микроблоков. Известные фокальные механизмы очагов землетрясений в этих микроблоках показывают, что под воздействием региональных тектонических напряжений эти микроблоки испытывают различные по величине и направлению вертикальные смещения.

Обобщая результаты вышеприведенного, приходим к заключению, что возникновение сильных землетрясений и их пространственно-временное распределение на сейсмическом линеаменте, несмотря на их дискретность, адекватны геодезическим и морфоструктурным данным наблюдений эпох опускания и поднятия современных движений в орогенах Большого и Малого Кавказа.

Полученные по сейсмологическим данным, характерные особенности проявления современных движений на линеаменте ЭБК позволяют использовать их для реконструкции этих движений в периоды отсутствия геодезических и морфоструктурных данных, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения на этом важном региональном сейсмическом линеаменте.

Литература

1. Балян С.П., Лилиенберг Д.А., Милановский Е.Е. Новейшая и современная тектоника сейсмоактивных орогенов Армении и района Спитакского землетрясения // Геоморфология. – 1989. – №4. – С. 3–15.
2. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР. – Ереван: Изд-во Ереван. ун-та, 1981. – 284с.
3. Габриелянц Г.А., Клешев К.А., Шеин В.С. Возможно нефтегазоносные бассейны Армении и их углеводородный потенциал // Геология нефти и газа. – 2002. – №1. – С. 21–30.
4. Геодакян Э.Г., Саакян Б.В. Сейсмогеодинамические процессы на территории Северной Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы девятой международной сейсмологической школы. Республика Армения, 8–12 сентября 2014 г. Обнинск-2014. – С. 122–126.
5. Горшков А.И., Жидков М.П., Ранзман Е.Я., Тумаркин А.Г. Морфоструктура Малого Кавказа и места возможных землетрясений ($M \geq 5,5$) // Физика Земли. – 1991. – №6. – С.30–36.
6. Гоцадзе О.Д. Построение сейсмических линеаментов и оценка основных эффектов сейсмичности Кавказа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Тбилиси. – 1984. – С.38.
7. Гоцадзе О.Д., Джибладзе Э.А., Папалашвили В.Г., Геодакян Э.Г. и др. Параванское землетрясение 13 мая 1986 г. – М.: Наука, 1991. – С.122.
8. Лилиенберг Д.А., Яценко В.Р. Анализ геодезических и морфоструктурных данных района катастрофического землетрясения в Армении // Геоморфология. – 1991. – №3. – С.23–28.
9. Пшеников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. – М.: Наука, 1965. – 87с.

10. Ященко В.Р., Ямбаев Х.К. Геодезический мониторинг движений земной коры (по материалам Кавказского региона). – М.: Изд-во МИИГАиК, 2007. – 208с.

11. Cisternas A., Philip H. Seismotectonics of the Mediterranean region and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp.313–333.

12. Jackson J.A., Ambraseys N.N. Convergence between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp.79–91.

DOI: 10.23671/VNC.2018.2.14359

SEISMIC REFLECTION OF COMPLEX GEODYNAMIC PROCESSES IN THE OROGENES OF THE GREATER AND LESSER CAUCASUS

© 2018 B.V. Sahakyan

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA,
Republic of Armenia, 3115, Gyumri, V. Sarkisyan Str., 5, e-mail:sahakyan_babken@mail.ru

Within the following paper reflections of the space-time development of seismicity for the period (1900–2000) on the large Erzurum-Borzhomi-Kazbeki (EBK) seismic lineament in the geodynamics of the orogenes of the Greater and Lesser Caucasus are considered, as well as its relation to the identified geodetic and morphostructural data of modern movements of these orogens. Seismic activation periods obtained through seismological data and the time intervals of relative seismic calm concluded between them adequately reflect the short-term epochs of lowering and raising the orogens of the Lesser and Greater Caucasus, identified by geodetic data. The obtained results allow using seismological data for the reconstruction of modern movements, as well as in studies aimed at solving the problem of long-term earthquake prediction.

Keywords: seismic events, cumulative graph of Benioff, geodynamic epoch, seismic lineament, seismic deformities.

References

1. Baljan S.P., Lilienberg D.A., Milanovskij E.E. Novejshaja i sovremennaja tektonika sejsmoaktivnyh orogenov Armenii i rajona Spitakskogo zemletrjasenija // Geomorfologija. – 1989. – №4. – S. 3–15.
2. Gabrieljan A.A., Sarkisjan O.A., Simonjan G.P. Sejsmotektonika Armjanskoj SSR. – Erevan: Izd-vo Erevan. un-ta, 1981. – 284 s.
3. Gabrieljanc G.A., Kleshev K.A., Shein V.S. Vozmozhnoneftegazonosnye bassejny Armenii i ih uglevodorodnyj potencial // Geologija neftiigaza. – 2002. – №1. – S. 21–30.
4. Geodakjan Je.G., Saakjan B.V. Sejsmogeodinamicheskie processy na territorii Severnoj Armenii // Sovremennye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskikhannyh. Materialy

devjatoj mezhdunarodnoj sejsmologicheskoj shkoly. Respublika Armenija, 8–12 sentjabrja 2014 g. Obninsk – 2014. – S. 122–126.

5. Gorshkov A.I., Zhidkov M.P., Ranzman E.Ja., Tumarkin A.G. Morfostruktura Malogo Kavkaza i mesta vozmozhnyh zemletrjasenij ($M \geq 5,5$) // Fizika Zemli. – 1991. – №6. – S. 30–36.

6. Gocadze O.D. Postroenie sejsmicheskikh lineamentov i ocenka osnovnyh jeffektov sejsmichnosti Kavkaza // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora fiziko-matematicheskikh nauk. – Tbilisi. – 1984. – S. 38.

7. Gocadze O.D., Dzhibladze Je.A., Papalashvili V.G., Geodakjan Je.G. i dr. Paravanskoe zemletrjasenie 13 maja 1986 g. – M.: Nauka, 1991. – S. 122.

8. Lilienberg D.A., Jashhenko V.R. Analiz geodezicheskikh i morfostrukturnyh dannyh rajona katastroficheskogo zemletrjasenija v Armenii // Geomorfologija. – 1991. – №3. – S. 23–28.

9. Pshenikov K.V. Mehanizm vzniknovenija aftershokov i neuprugie svojstva zemnoj kory. – M.: Nauka, 1965. – 87s.

10. Jashhenko V.R., Jambaev H.K. Geodezicheskij monitoring dvizhenij zemnoj kory (po materialam Kavkazskogo regiona). – M.: Izd-vo MIIGAiK, 2007. – 208 s.

11. Cisternas A., Philip H. Seismotectonics of the Mediterranean region and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp. 313–333.

12. Jackson J.A., Ambraseys N.N. Convergence between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus// NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp. 79–91.