

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.530

Л. А. Ахвердян¹, Р. А. Пашаян¹, Л. В. Арутюнян²

Связь между вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении

(Представлено академиком Б. К. Карапетяном 13/VII 2018)

Ключевые слова: *деформация, земная кора, сейсмичность, землетрясение, наклоны земной поверхности.*

Введение. Изучение геодинамических процессов земной коры проводится в лаборатории геофизических обсерваторных наблюдений посредством комплекса гидрогеодинамических мониторинговых и непрерывных наклономерно-деформографических измерений. Основными задачами измерений являются изучение вариаций напряженно-деформированного состояния земной коры, изучение физических проявлений сейсмической активации региона и определение прогностических признаков. Мониторинговые наблюдения гидрогеодинамики подземных вод региона и гидрогеохимии состава вод минеральных источников Центральной Армении включают работы по изучению геодинамики напряженно-деформированного состояния земной коры во времени и пространстве и их связь с сейсмической активностью. Наклономерно-деформографический аппаратный комплекс состоит из кварцевого штангового деформографа и наклономера. Точность измерения относительной линейной деформации 10^{-10} , наклонов – до 0.001 сек. дуги. Работы включают мониторинг современных движений земной коры методами наклонометрии и деформографии, анализ поведения во времени физических параметров и выявление характеристик, коррелирующих с состоянием сейсмичности. Сейсмичность является одним из чувствительных показателей интенсивности современных тектонических движений, поэтому данные, характеризующие сейсмичность изучаемого района, используются для изучения современных движений земной коры. Данные по сейсмичности, уровню вод гидрогеодинамических скважин и наклономерно-деформографических измерений предоставлены Национальной службой сейсмической защиты РА.

Результаты мониторинговых наблюдений. Сейсмический режим территории Армении за последние годы характеризуется слабой сейсмичностью в 2016 г. и повышенной – в 2017г.; это касается и количества произошедших сейсмических событий (рис. 1), и величин их магнитуд (рис. 2).

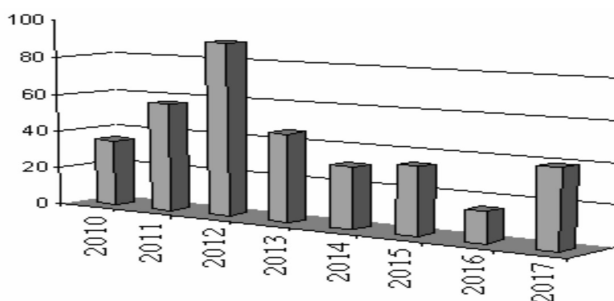


Рис. 1. Гистограмма количества сейсмических событий с $M > 2$, произошедших на территории Армении за последние годы.

Исходя из рис.2 магнитуда землетрясений находится $2 < M < 4.5$. Глубины гипоцентров большинства землетрясений находятся между 5-15 км, что свидетельствует о повышенной геодинамике верхних слоев земной коры. По составленному графику повторяемости землетрясений определены параметр сейсмической активности **a** и параметр наклона графика **b**. Оба параметра в регионе по численному значению за последние десять лет ниже средних значений: $a=3.63$, $b=0.98$, что характеризует среднюю сейсмичность территории за последние годы.

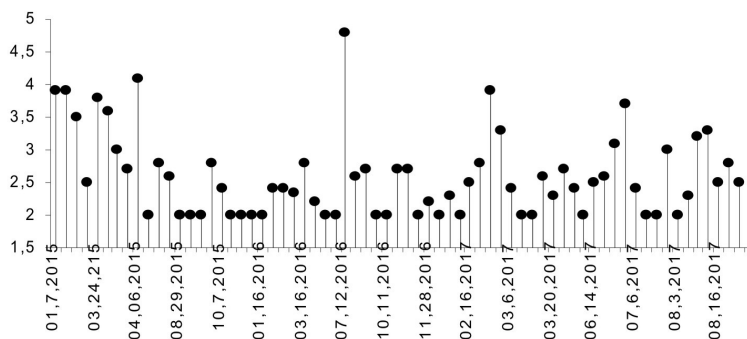


Рис. 2. График распределения произошедших землетрясений по магнитуде.

По данным каталога землетрясений построена карта сейсмичности территории Армении за последние годы (рис. 3) с нанесением эпицентров землетрясений с $M > 2$.

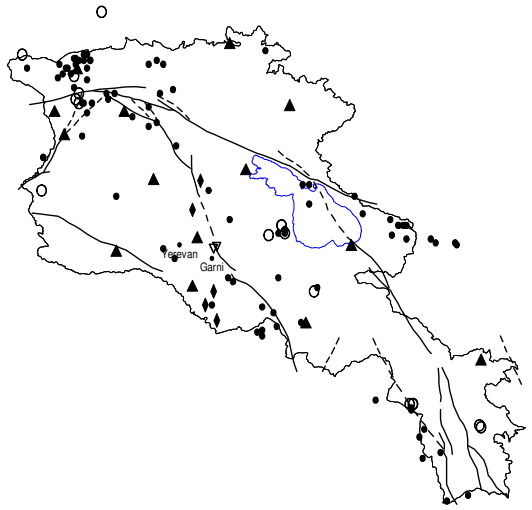


Рис. 3. Карты сейсмичности территории Армении: $M > 2$; \blacktriangle – гидрогеодинамические скважины; \blacklozenge – минеральные источники; эпицентры землетрясений: \bullet – $M > 2$; \circ – $M > 3$.

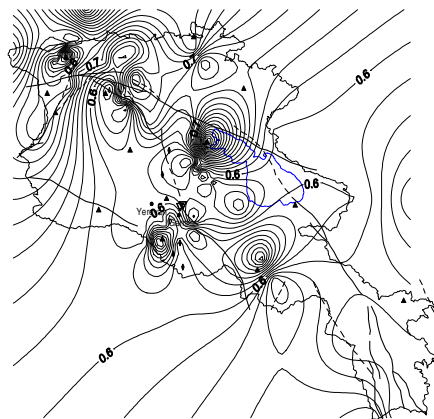
Общая картина сейсмичности территории Армении отражает концентрацию эпицентров землетрясений на Джавахетском нагорье и вдоль глубинных разломов: Ереванского, Гарнийского, Арарат-Севанского – и частично на ЮЗ региона.

Землетрясения с $M > 3$ имели место: $M=3.9$, 07.01.2015 на юге РА; $M=3.6$, 06.04.2015 на ЮЗ побережье оз.Севана; $M=3.8$, 24.03.2015, $M=4.8$, 12.07.2016, $M=3.3$, 15.08.2017, $M=3.7$, 04.07.2017 на Джавахетском нагорье, $M=3.9$, 28.02.2017 в Зангезуре (юг РА); $M=3.0$, 24.07.2017 в Ехегнадзоре и $M=3.1$, 29.06.2017 на СЗ РА.

Вариации напряженно-деформированного состояния сейсмоактивных участков земной коры региона. Сопоставление результатов анализа сейсмичности региона с вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры выявило корреляционную связь между ними. Карта напряженно-деформированного состояния земной коры (рис. 4) составляется по вариациям параметров гидрогеодинамических и гидрогеохимических пунктов наблюдений. Этими параметрами являются уровни подземных вод в скважинах и компоненты химического состава минеральных вод, представляющие собой индикаторы сейсмичности и других геодинамических процессов земной коры [3].

При сопоставлении с картой эпицентров землетрясений (рис.3б), и описания динамики сейсмичности, карта напряженно-деформированного состояния земной коры территории Армении отражает распределение деформации в сейсмоактивных участках земной коры региона [7]. Структура деформационного сжатия (сгущения изолиний величин расчетной деформации) сформирована: на Джавахетском нагорье, на границе с Грузией, западном побережье оз.Севан, в центральной части и

на ЮЗ территории Армении. Структура растяжения и ослабления напряженности земной коры наблюдается на СВ и юге республики (рис. 4).





 – изолинии деформации
 – активные разломы

Рис. 4. Карта напряженно-деформированного состояния земной коры территории Армении 2016-2017 гг.).

Наклономерно-деформографические измерения земной поверхности. Измерения наклонов земной поверхности проводятся в штольне Гарнийской обсерватории где установлен наклономер. Наклономер работает в непрерывном режиме, фиксирует медленные процессы и позволяет исследовать динамику деформаций земной коры. Результатами измерений являются бюллетени значений суточного хода наклонов земной поверхности по отдельным составляющим с получасовым и часовым интервалом во времени и значения поправок за лунно-солнечные приливы. Построены графики суточного хода наклонов по составляющим (рис. 5,а,б).

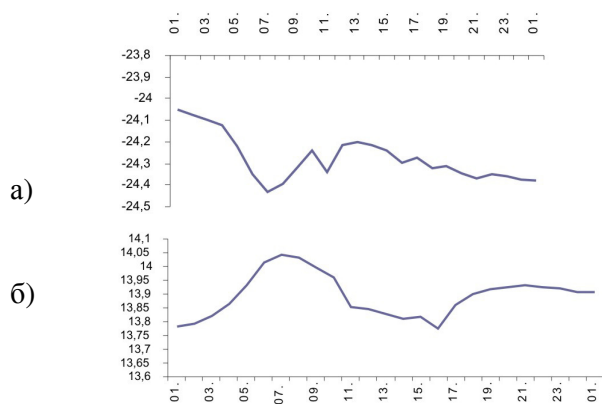


Рис. 5. Суточный ход наклона за 24.03.2015 г.: а – по направлению СЮ; б – по направлению ВЗ.

Наблюдаемый суточный ход наклонов аппроксимируется синусоидой по формуле [1, 6]: $Vt = A \sin(\frac{2\pi}{24}t + \varphi)$. Совпадение вычисленных и наблюдаемых ходов суточных наклонов возможно, за исключением случайных погрешностей.

По полученным бюллетеням хода наклонов по составляющим, помимо графика хода наклонов, строится векторная диаграмма хода наклона по отдельным составляющим наклона. В работе построена векторная диаграмма хода наклона на первый час каждого суток на протяжении 2015 г. (рис. 6). Стрелками на диаграмме и на графиках отмечены моменты землетрясений.

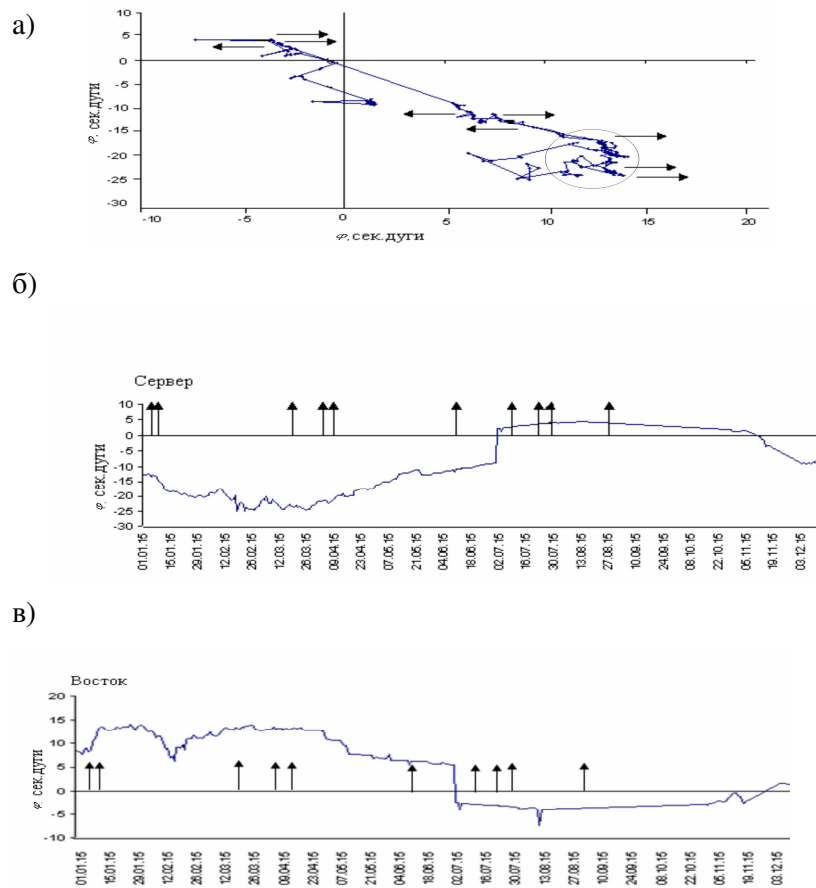


Рис. 6. Записи хода наклона в штольне обсерватории «Гарни»: а – векторная диаграмма хода наклонов, построенная по ежесуточным данным (на 0 ч) с 01.01.15 по 31.12.15; б, в – график вариации хода наклона (сек. дуги) компоненты: север-юг (б) и восток-запад (в).

Векторная диаграмма хода наклонов земной поверхности показывает циклический характер деформирования процессов земной коры, а также изменение направления и скорости в периоды региональных землетрясений (рис.6,а). За период с 10.02.15 по 2.05.15 зафиксирована деформация-сжатие, равная $8.34 \cdot 10^{-6}$, которая на векторной диаграмме отмечена в виде круга. Параметры произошедших землетрясений, указанных на графиках, приводятся в таблице.

| Дата землетрясения | Координаты землетрясений | | Пункт наблюдения | Эпицентральное расстояние Δ , км | Магнитуда, М | Расчетная деформация, ϵ |
|--------------------|--------------------------|-------|------------------|---|--------------|----------------------------------|
| | у | х | | | | |
| 7.01.2015 | 39.35 | 45.96 | Гарни | 52.63 | 3.9 | 4.88E-09 |
| 8.01.2015 | 41.15 | 43.55 | -//- | 38.77 | 3.5 | 3.90E-09 |
| 24.03.2015 | 41.04 | 43.87 | -//- | 4.00 | 3.8 | 8.34E-06 |
| 6.04.2015 | 40.27 | 45.15 | -//- | 39.53 | 3.6 | 4.89E-09 |
| 13.04.2015 | 40.23 | 45.17 | -//- | 44.40 | 3 | 6.24E-10 |
| 10.06.2015 | 41.02 | 43.95 | -//- | 8.7 | 2 | 4.83E-09 |
| 11.07.2015 | 40.42 | 45.6 | -//- | 28.9 | 2.1 | 1.73E-10 |
| 18.07.2015 | 39.72 | 45 | -//- | 36.6 | 2.8 | 6.27E-10 |
| 19.07.2015 | 39.73 | 45.03 | -//- | 38.8 | 2.6 | 2.98E-10 |
| 29.08.2015 | 40.98 | 43.87 | -//- | 10.2 | 2 | 2.94E-09 |

В таблицу включены те значения эпицентральных расстояний (Δ), которые выбирались согласно величинам деформационных радиусов землетрясений, вычисляемые по известной формуле: $R=10^{0.43M}$ [4] и местные землетрясения с $M>2$.

В дальнейшем будут получены амплитудный и фазовый спектры месячного хода наклона, что позволит наблюдать смещение от месяца к месяцу фаз и амплитуд суточного наклона по составляющим для выявления сезонных изменений [8] и сопоставления с сейсмичностью.

Выводы. Сейсмический режим Армении указывает на повышение сейсмической активности на севере региона и по Базум-Севанскому и Гарнийскому разломам. Насыщенный сейсмический фон Центральной Армении является индикатором активации динамических процессов земной коры. По результатам наблюдений геодинамических процессов земной коры Армении выявлено, что за последние годы повысилась геодинамическая активность земной коры Ширакского тектонического блока, Центрально-Армянского тектонического комплекса.

Метод наклономерных измерений позволяет получать информацию о характере современных движений земной коры в регионе, а также отражает процессы сейсмической активации.

Наблюдения за многолетними вариациями хода наклонов (периоды от 3 до 20 лет) позволят отразить сейсмический процесс региона. Векторная диаграмма хода наклонов земной поверхности показывает циклический характер деформирования.

¹Институт геофизики и инженерной сейсмологии
им. А. Назарова НАН РА

²Институт общей и неорганической химии им. М. Манвеляна НАН РА

Л. А. Ахвердян, Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян

Связь между вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении

Приводятся результаты обработки данных мониторинговых наблюдений территории РА, проводимых с целью выявления современных движений земной коры. Мониторинг наблюдения включает изучение сейсмического режима, данных по уровню вод гидрогеодинамических скважин, химического состава минеральных вод, данных по измерению наклонов и деформации земной поверхности в штольне обсерватории «Гарни». Выявлены геодинамические процессы по вариации уровня подземных вод и химических компонентов минеральных вод. Отмечены наклоны и деформации земной поверхности, коррелируемые с сейсмической активностью.

Լ. Ա. Հախվերդյան, Ռ. Ա. Պաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան

Հայաստանի տարածքի երկրակեղևի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վարիացիաների և սեյսմիկաակտիվության միջև կապը

Բերվում են ՀՀ տարածքի մոնիթորինգային դիտարկումների տվյալների մշակման արդյունքները, որոնք իրականացվել են՝ բացահայտելու երկրակեղևի ժամանակակից շարժումները: Դիտարկումների մոնիթորինգն ընդգրկում է սեյսմիկ ռեժիմի ուսումնասիրությունը ըստ հիդրոերկրադինամիկական հորատանցքերի ջրի մակարդակի տվյալների, ինչպես նաև հանքային ջրերի քիմիական բաղադրության ուսումնասիրությունն ըստ Գառնիի դիտարանի հանքաբովի մակերեսի թեքության և դեֆորմացիաների չափման տվյալների: Բացահայտվել են երկրադինամիկական գործընթացներ՝ ըստ ստորգետնյա ջրերի վարիացիաների և հանքային ջրերի քիմիական բաղադրիչների: Վեր են հանվել երկրի մակերեսի դեֆորմացիաներ և թեքություններ, որոնք հարաբերակցվում են սեյսմիկ ակտիվության հետ:

L. A. Akhverdyan, R. A. Pashayan, L. V. Arutyunyan

The Relationship between Variations in the Stress-Strain State of the Earth's Crust and Seismic Activity in Armenia

Current article provides the results of processing of monitoring data of the territory of RA. The aim of the monitoring was to reveal the modern movements of earth crust. The monitoring includes the study of seismic regime, the data of the water level of hydrogeodynamic boreholes, the chemical composition of mineral water, data of the measurement of earth surface tilt in the adit of Garni Observatory. Geodynamic processes were revealed based on the variations of underground water level and chemical components of mineral water. The tilts of earth surface which are related with seismic activity were observed.

Литература

1. *Бончковский В. Ф., Кармалеева Р. М.* – Изв.АН СССР. 1957. № 8. С.1061-1069.
2. *Григорян С. В., Пашаян Р. А., Арутюнян Л. В.* – Доклады НАН РА. 2015. Т. 115. № 1. С. 50-59.
3. *Григорян С. В., Пашаян Р. А., Арутюнян Л. В.* – Доклады НАН РА. 2016, Т. 116. № 2. С. 141-148.
4. *Добровольский И. Г., Зубков С. И., Мячкин В. И.* В сб.: Моделирование предвестников землетрясений. М. Наука. 1980. С. 7-43.
5. Матер. XII Междунар. сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 2017. Обнинск. С. 264-269.
6. *Островский А. Е.* Деформация земной поверхности по наблюдениям наклонов. М. Наука. 1978. 184 с.
7. *Пашаян Р. А., Саргсян А. З., Островский А. Е.* – Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2006. Т. 59. № 2. С. 30-36.
8. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. М. Мир. 1978. 849 с.