2 U 3 U U S U U 5 9 F S П F Ø 3 П F U 10 F U 4 U 7 E U F U

 Н А Ц И О Н А Л Б Н А Я АКАДЕМИЯ НА УК АРМЕНИИ

 N A T I O N A L A C A D E M Y O F S C I E N C E S O F A R M E N I A

 Д О К Л А Д Ы
 2 E Y Π F 8 3 U 5 C

Հատոր Том 117 Volume

2017

ГЕОФИЗИКА

<u>№</u> 3

УДК 550.530

Академик Л. А. Агаловян¹, Л. А. Ахвердян², Р. А Пашаян², Л. В. Арутюнян³

О результатах измерений наклонов и деформаций земной поверхности в Гарнийской геофизической обсерватории

(Представлено 26/V 2017)

Ключевые слова: *геодинамика, наклономер, деформограф, земная кора, сейсмичность, деформация.*

Введение. При изучении геодинамических процессов в земной коре важное место среди геофизических методов занимают наклономерные и деформационные наблюдения. Аномальные поверхностные наклоны и деформации земной коры представляют собой проявление действия тектонических сил и могут служить признаком сейсмической активности района. В отличие от сейсмической аппаратуры наклономеры и деформографы, работающие в непрерывном режиме, фиксируют медленные процессы движения земной коры [1] и позволяют исследовать динамику ее деформирования. Анализ приливной составляющей наклонов и деформаций позволяет определить параметры, характеризующие упругость приповерхностных слоев Земли. Целью статьи является изучение современных движений земной коры, вертикальных сдвиговых деформаций и сейсмической активизации региона.

Аппаратура. В настоящее время в Гарнийской геофизической обсерватории, расположенной в 40 км от Еревана, установлен наклономер (Чехия), суть конструкции которого состоит в том, что подвес маятника крепится в верхней части горной выработки, а в нижней на бетонном постаменте помещена система регистрации – цифровая веб-камера и микроскоп. Система регистраци каждые 10 с фиксирует изображение специального микрорастра, закрепленного на нижнем конце маятника. Это изображение обрабатывается в компьютере с помощью программ обработки изображений и определяется смещение микрорастра относительно предыдущего положения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Таким образом, определяется наклон-смещение точки подвеса маятника относительно точки крепления измерительно-регистрирующей системы. Точность измерения относительной линейной деформации до 10^{-8} , наклонов – до 0.001 с дуги. Высокая чувствительность обеспечивается за счет при-

менения оптического увеличителя и чувствительности микроскопа. Аппаратура работает в непрерывном режиме, фиксирует медленные процессы и позволяет исследовать динамику деформаций земной коры.

Измерение деформации проводится кварцевым штанговым деформографом (ДШ) в штольне обсерватории с общей длиной 375 м, установленным перпендикулярно простиранию Вохчабердской толщи, имеет направление С-Ю, В-З и под 45⁰ пересекает ствол шахты. Одно плечо ДШ установлено строго на С-Ю от портала штольни на расстояние 150 м с базой 43 м, а второе, длиной 47 м, – строго на В-З на расстояние 200 м, Они находятся на глубине 67 м от поверхности. На концах штанги выведены бетонные постаменты, надежно связанные с породой. В деформографе применялся индуктивный датчик смещений [2], позволяющий измерять деформации с точностью 10^{-6} - 10^{-8} , а также дающий возможность проводить замеры до 10^{-10} , 10^{-11} , т.е. длиннопериодные колебания, связанные с сильными сейсмическими событиями. Чувствительность прибора прямой регистрации по смещениям 0,25 мк на 1 мм, по деформациям 10^{-8} на 1 мм. Пороговая величина регистрируемых смещений - 0.05 мк.

Наклономерно-деформографические наблюдения выполняются в штольне Гарнийской геофизической обсерватории (40⁰,12 с.ш., 44⁰,72 в.д.). К косвенным эффектам относятся диапазон наклона и деформации земной поверхности, вызванные сезонными и суточными изменениями в регионе температуры, атмосферного давления, атмосферных осадков, уровня грунтовых вод [3]. При установке наблюдений в Гарнийской обсерватории были учтены следующие природные факторы:

нахождение обсерватории вблизи активного сейсмогенного Гарнийского глубинного разлома не является благоприятным фактором для наклономерно-деформографических измерений, однако это обстоятельство способствует изучению геодинамических процессов и интерпретации данных измерений;

обсерватория удалена от побережья оз. Севан на достаточное расстояние, чтобы исключить воздействие так называемых «морских эффектов», тем не менее при сильных озерных штормах наблюдаются микросейсмы, вызванные подобным явлением;

географическая широта также определяет ту или иную группу приливных волн, так как их амплитуда достаточно велика и предпочтительна для измерений;

нахождение в районе обсерватории глыбовых сильно трещиноватых пород Вохчабердской толщи способствует распространению интенсивных температурных колебаний на большую глубину [4]. Во избежание воздействия подобного эффекта наклономер установлен в конце штольни на глубине 67 м от поверхности и удален по осевой линии портала штольни на расстояние 200 м. В штольне обсерватории круглогодично сохраняется температура воздуха 14^{0} С, а суточные колебания температуры воздуха не превышают 0.5^{0} С, давление в штольне не превышает 0.1 мбр. Завышение влажности в штольне недопустимо.

Наклономерные наблюдения. Фактический материал наклонномерных наблюдений представляется в виде суточных временных рядов нак-

лона в направлении С-Ю и В-З, рядов приливов обоих направлений и базовых значений прибора, с шагом дискретизации по времени 60 и 30 мин.

Суточный наклон V, представлен в виде уравнения $V = A \sin \theta$ $\left(\frac{2\pi}{24}t+\varphi\right)$. Далее, после подстановки в это уравнение среднемесячных по-

часовых значений суточного наклона V_t, полученных из фактического материала наблюдений, составляется система из 24 уравнений, решение которой дает возможность определить параметр суточного хода наклонов амплитуду А в секундах дуги и сдвиг фазы φ относительно 0 ч по гринвичскому времени. Сдвиг фазы задается в уравнения через каждые 15⁰ $(\varphi \leq 180^{\circ}).$

По материалам наблюдений в Гарнийской геофизической обсерватории за 2015-2016 гг. по каждой составляющей наклономерной установки для каждого календарного месяца описанным способом вычислен параметр суточного хода наклонов – амплитуда А. Амплитуда суточного хода от месяца к месяцу меняется. Особенности в ходе изменения амплитуды суточного наклона в общем виде проявляются на всех составляющих и имеют сезонный характер с значительным увеличением в весенне-летние месяцы, затем уменьшением до минимума в сентябре. По данным A и ϕ рассчитываются и строятся диаграммы суточного хода наклонов для каждого месяца, которые отражают картину суточного хода наклонного процесса, рассматривая их от месяца к месяцу. Выявлены некоторые закономерности сезонных изменений этого процесса. Векторные диаграммы суточных ходов наклонов имеют форму эллипсов, величины осей которых и их соотношение меняются от месяца к месяцу. В этих изменениях отмечается сезонная цикличность. В весенне-летние месяцы оси эллипсов увеличиваются (май-июнь), эллипсы наименьших размеров наблюдаются в октябре.

Отметим, что, имея данные наклономеров и других измерительных приборов, а также данные о строении земной коры исследуемой местности (толщина, плотность, постоянные упругости и теплопроводности слоев), можно определить напряженно-деформированное состояние этого участка земной коры и проследить за его изменением во времени [5].

Результаты наклономерных измерений и их корреляция с сейсмичностью. Общепринятой формой представления информации являются график хода наклонов и деформации по отдельным составляющим во времени, графики приливов по составляющим, а также векторная диаграмма хода наклона [6]. В работе [6] рассмотрены данные наклономерных измерений за 2015-2016 гг., по которым построены суточные, среднесуточные графики наклонов соответствующих направлений. Данные по наклономерным и деформографическим наблюдениям приводятся на рис. 1-3. На рис.2 видно, что график суточного хода наклонов, построенный по программе наименьших квадратов (линия 2), хорошо совпадает с графиком суточного хода, полученным непосредственно из данных наблюдений



Рис. 1. Данные наклономера, установленного в Гарнийской геофизической обсерватории (показана вариация по направлениям В-3 и С-Ю с 23.07.2015 по 22.08.2015).



Рис. 2. Суточный ход наклономера: 1 – исходный ряд; 2 – ряд, обработанный методом наименьших квадратов

(линия 1). Таким образом, суточный ход наклона земной поверхности, полученный на выходе, необходимо аппроксимировать в кривую, близкую к синусоиде с экстремальными точками: 6 ч утра и 18 ч вечера.

На рис. 3 показан ход деформации в направлении С-Ю и В-3 в Гарнийской обсерватории за период с мая по сентябрь 2016 г. Максимальное смещение по компоненту С-Ю (а) 37 мк. В течение первых трех месяцев с начала регистрации наблюдается более высокая скорость изменения деформации по сравнению с последующим временем Можно предположить,



Рис. 3. Запись деформации в направлении С-Ю (а), В-3 (б).

что это связано с процессами стабилизации в опорных постаментах. Последние два месяца (август-сентябрь) наблюдается резкое падение, и скорость смещения доходит до 15 мк. Кривая б отражает ход деформации во времени в направлении В-3. Отмечается, хоть и неотчетливо и, как видно из графика (б), уже начиная с 25 июня до 10 июля сбой, с 15 июля по 25 сентября – разброс с достаточными амплитудами, доходящими от 49 до 64 мк, а начиная с15.09 до 20.09, по-видимому, компонент В-3 не работает. Можно предположить, что причина заключается в повышении влажности в штольне.

Для сопоставления полученных данных с сейсмичностью региона построены карта сейсмичности и карта напряженно-деформационного состояния земной коры территории РА за исследуемый период (рис. 4, 5). На карту сейсмичности нанесены эпицентры землетрясений с М>2. Скопление землетрясений наблюдается на Джавахетском нагорье, по Гарнийскому разлому и в центральной части региона. По карте деформации струк-





Рис. 4. Карта сейсмичности Армении.

• –эпицентры землетрясений.

табл. 1

Рис. 5 Карта деформации земной коры. (Гг – изолинии деформации.

тура сжатия отражается на севере и в центральной части региона. Землетрясения с М>4 произошли на севере региона и в районе оз. Севан. Для корреляции наклономерно-деформографических наблюдений в Гарнийской обсерватории и параметров произошедших землетрясений составлена

Таблица1

Дата землетря- сения	Координаты зелмлетря- сений		Маг- ни- туда,	Эпицент- ральное расстояние	Наблю- дательный пункт	Расчетная деформа- ция, <i>Е</i>
	φ	λ	М	Δ , км		
03.03.2015	39.86	44.72	2.2	28.80	Гарни	2.33 10 ⁻¹⁰
03.24.2015	41.04	43.87	3.8	139.32	- //-	1.98 10 ⁻¹⁰
04.06.2015	40.27	45.15	3.6	50.25	- //-	2.38 10 ⁻⁹
04.06.2015	40.22	45.07	4.1	40.09	- //-	1.95 10 ⁻⁸
04.19.2015	40.10	44.49	2.3	25.96	- //-	4.23 10 ⁻¹⁰
06.15.2016	40	44.82	1.7	17.07	- //-	2.6910 ⁻¹⁰
07.12.2016	41.37	44.04	48	158.18	- //-	2.34 10-9
07.21.2016	39.98	44.85	2.1	20.92	- //-	4.57 10 ⁻¹⁰

В таблицу включены сейсмические события, которые проявляются на записях наклонов земной поверхности; приводятся величины расчетной деформации \mathcal{E} земной коры в районе Гарни. Хотелось бы отметить, что величина расчетной деформации на два порядка выше реальной [7]. Корреляция полученных данных показала, что чем выше магнитуда (М) произошедшего землетрясения, тем значительнее величина деформации и на большее эпицентральное расстояние (Δ) распределяется деформация. На рис. 6 показан график суточного хода наклона земной поверхности, который построен с шагом дискретизации по времени 1 ч, за 24 марта 2015 г, стрелкой указано землетрясение. График среднесуточного хода наклономера за март 2015 г. показан на рис. 7.



Рис. 6 Запись наклонов земной поверхности в направлении С-Ю (а) и В-З (б).



Рис. 7. График хода наклона земной поверхности в направлении С-Ю (ряд 1) и В-3 (ряд 2), стрелкой указано землетрясение 24.03.15 г., М=3.8.

Запись среднесуточного хода наклономера отражает вариации составляющих в соответствующих направлениях. Вариации по составляющей В-3 более значительны по сравнению с составляющей С-Ю, но аномалия, соответствующая дате 24.03.15, наблюдается в записи обоих рядов (рис.7). Возможно, аномалия вызвана землетрясением, произошедшим в это время (табл. 1).

Таким образом, для дальнейшей обработки данных и получения результатов по наклономерным и деформографическим измерениям необходимы создание пакетов программ, мониторинговых наблюдений и интерпретация их, с целью выявления метода изучения геодинамических процессов земной коры и прогноза землетрясений.

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

Изучение параметров суточного хода наклона земной поверхности и вычисление значений амплитуды А и фазы смешения φ для каждого календарного месяца позволят построить векторные диаграммы наклонов.

В дальнейшем наблюдения над горизонтальными деформациями приливного характера позволят определить упругие константы Земли: число Лява h и число Шида L с учетом рельефа поверхности, так как изучение приливных деформаций и определение локальных значений упругих констант дают возможность вносить поправки, связанные с особенностями строения участка, где проводятся наклономерно-деформографические наблюдения.

¹Президиум НАН РА ²Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА ³Институт общей и неорганической химии им. М.Манвеляна НАН РА

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

О результатах измерений наклонов и деформаций земной поверхности в Гарнийской геофизической обсерватории

Приводятся данные по наклономерно-деформационным наблюдениям, проведенным в штольне Гарнийской геофизической обсерватории за 2015-2016 гг., по которым построены графики суточных и среднесуточных смещений земной коры по направлениям С-Ю и В-3. В результате сопоставления с сейсмичностью региона выявлены возможные современные движения земной коры территории Армении.

Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Լ. Ա. Հախվերդյան, Ռ. Ա. Փաշայան, Լ.Վ. Հարությունյան

Գառնիի երկրաֆիզիկական դիտարանում երկրային մակերևույթի թեքությունների և դեֆորմացիաների չափման արդյունքները

Ներկայացվել են Գառնիի երկրաֆիզիկական դիտարանի հորատանցքում 2015-2016 թվականներին ստացված թեքաչափական-դեֆորմացիոն դիտարկումների տվյալները։ Կատարվել է դիտարկումների մշակում, որի նպատակն է ստեղծել երկրակեղևի օրական և միջին օրական տեղաշարժերի գծապատկերները հյուսիս-հարավ և արևելքարևմուտք ուղղություններով։ Տարածաշրջանի սեյսմիկության հետ համեմատության արդյունքում բացահայտվել են ՀՀ տարածքում երկրակեղևի այժմեական հավանական շարժումները։

Academician L. A. Agalovyan, L. A. Hakhverdyan, R. A Pashayan, L.V. Harutyunyan

Results of Measurement of Tiles and Deformations of the Earth Surface in the Garni Geophysical Observatory

The data on tiltmeter-deformational observations carried out in the adit of Garni Geophysical Observatory were given for the period of 2015-2016. The primary processing of tiltmeter-deformational observations aiming to create charts of daily and average daily movements of earth crust in the N-S and E-W direction is done. Potential modern movements of earth crust in the territory of Armenia were revealed as a result of correlation with seismicity of the region.

Литература

- 1. Бончковский В.Ф., Кармалеева Р. М. Изв.АН СССР. 1957. N 8. С.1061-1069.
- Островский А. Е. Деформация земной поверхности по наблюдениям наклонов. М. Наука. 1978.184 с.
- 3. *Иванова М. В., Перцев Б. П.* В кн.: Методика измерений земных приливов и медленных деформаций земной поверхности. М. 1970. С. 113-121.
- 4. Попов В. В. Изв.АН СССР. Физика Земли. 1961. N 7. С.3-10.
- Агаловян Л. А. В кн.: Материалы X1 Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 2016. Обнинск. С. 19-23.
- Тимофеев В. Ю., Гриднев Д. Г., Сарычева Ю. К. и др. Исследования по созданию научных основ прогноза землетрясений в Сибири (Оперативная инф., вып.4). Иркутск. ИЗК СОАН. 1990. С.43-48.
- Киссин И. Г. Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты М. Наука. 2015. 328 с.