

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 45° 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 ($40^{\circ},12$ с.ш., $44^{\circ},72$ 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°C , а суточные колебания температуры воздуха не превышают 0.5°C , 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 на-

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_t представлен в виде уравнения $V_t = A \sin \left(\frac{2\pi}{24} t + \varphi \right)$. Далее, после подстановки в это уравнение среднемесячных почасовых 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 A в секундах дуги и сдвиг фазы φ относительно 0 ч по гринвичскому времени. Сдвиг фазы задается в уравнения через каждые 15° ($\varphi \leq 180^\circ$).

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 A . 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

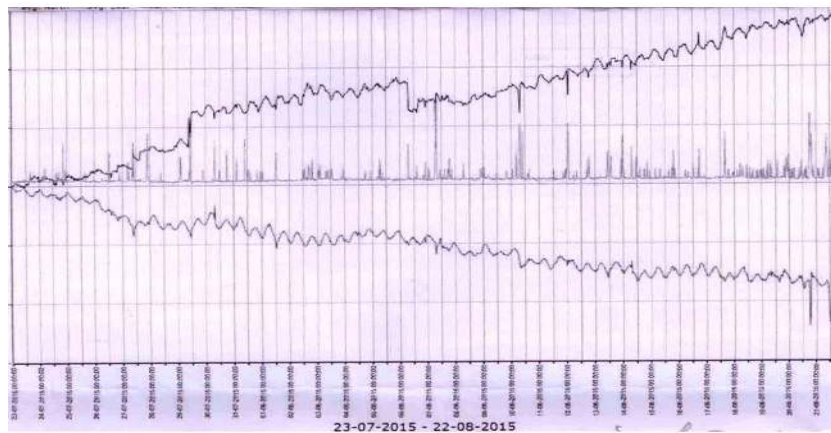


Рис. 1. Данные накломера, установленного в Гарнийской геофизической обсерватории (показана вариация по направлениям В-З и С-Ю с 23.07.2015 по 22.08.2015).

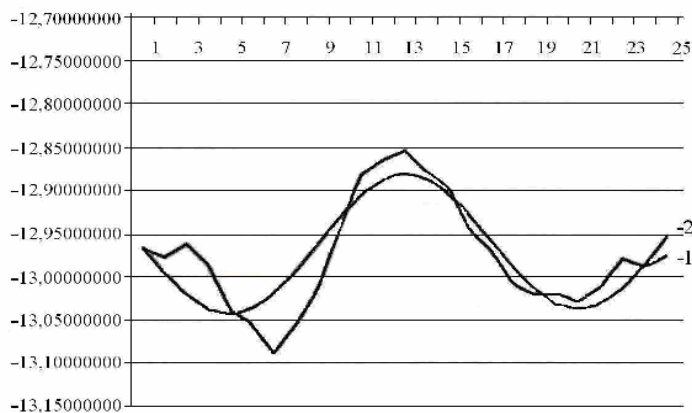


Рис. 2. Суточный ход накломера: 1 – исходный ряд; 2 – ряд, обработанный методом наименьших квадратов

(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-З 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,

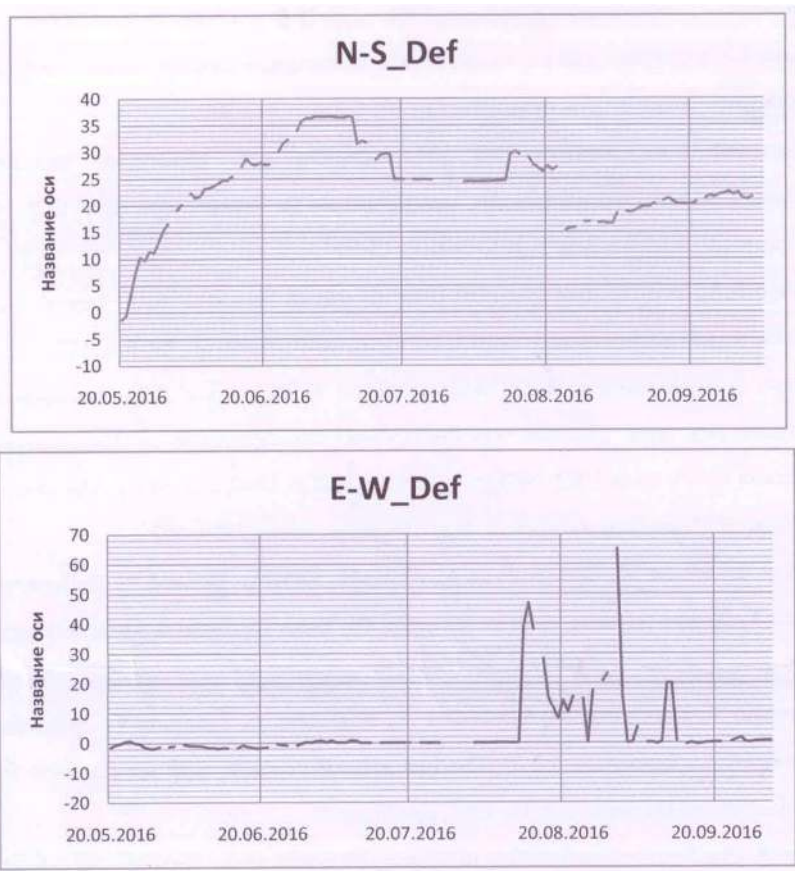


Рис. 3. Запись деформации в направлении С-Ю (а), В-З (б).

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-З. 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, достигающими от 49 до 64 мк, а начиная с 15.09 до 20.09, по-видимому, компонент В-З 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 $M > 2$. Скопление землетрясений наблюдается на Джавахетском нагорье, по Гарнийско-разлому и в центральной части региона. По карте деформации струк-

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.

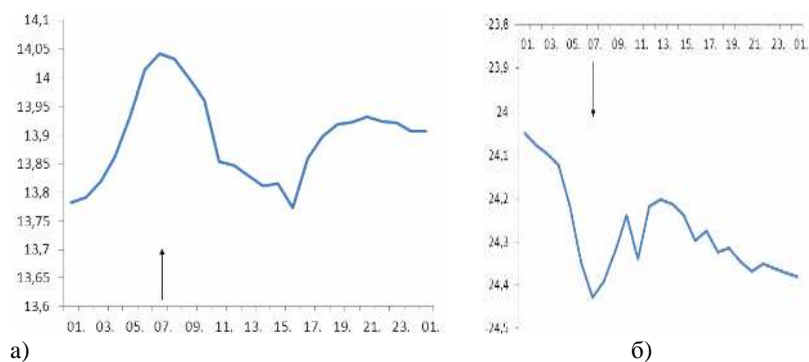


Рис. 6 Запись наклонов земной поверхности в направлении С-Ю (а) и В-З (б).

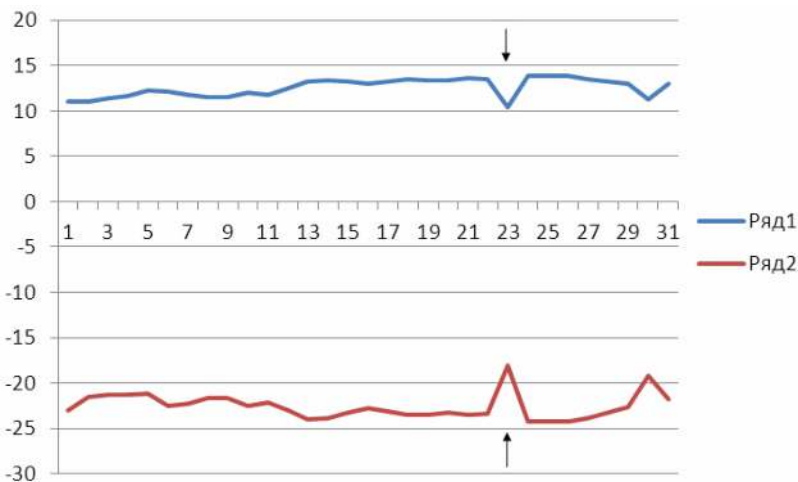


Рис. 7. График хода наклона земной поверхности в направлении С-Ю (ряд 1) и В-З (ряд 2), стрелкой указано землетрясение 24.03.15 г., $M=3.8$.

Запись среднесуточного хода наклономера отражает вариации составляющих в соответствующих направлениях. Вариации по составляющей В-З 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 необхо-

димы 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 A и фазы смещения 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-З. 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 արևելք-արևմուտք 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., Кармалева Р. М.* – Изв.АН СССР. 1957. N 8. С.1061-1069.
2. *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.
5. *Агаловян Л. А.* В кн.: Материалы XI Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 2016. Обнинск. С. 19-23.
6. *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.
7. *Киссин И. Г.* Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты М. Наука. 2015. 328 с.