

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.530

Р. А. Пашаян¹, Л. В. Арутюнян²

Современные изменения геодинамики земной коры территории Армении

(Представлено академиком Б. К. Карапетяном 27/VI 2019)

Ключевые слова: *напряжение, деформация, сейсмичность, гидрогеохимия, геодинамика, вариации.*

Введение. Современная геодинамика – часть общей геодинамики, изучающая движения земных недр и причины, их вызывающие. Геодинамика земной коры территории Армении исследуется современными методами гидрогеодинамики, гидрогеохимии, параметрами наклономерно-деформационных измерений и текущей сейсмичностью. Важное место принадлежит методу гидрогеодинамических наблюдений, перспективность которого доказана при поисках предвестников землетрясений в сейсмоактивных регионах. Гидрогеодинамические показатели весьма чувствительны к изменениям напряженно-деформированного состояния среды. Деформации, развивающиеся в верхних частях земной коры, оказывают влияние на уровень и химический состав подземных вод. Наклонометры и деформографы, работающие в непрерывном режиме, фиксируют медленные процессы. Они позволяют исследовать динамику деформирования земной коры, дают непрерывную картину изменений. Деформационные и сейсмические процессы, изучаемые в современной геодинамике, взаимосвязаны с вариациями геофизических и гидрогеохимических полей, и являются индикатором геодинамического процесса. Основной задачей исследований является всестороннее изучение современных геодинамических процессов в пределах тектонически активных участков земной коры территории Армении. Анализ деформационно-напряженного состояния земной коры, исследуемый во времени и пространстве позволяет изучать динамику геодинамических процессов по всему региону.

В статье рассмотрены данные по сейсмичности, уровню вод в гидрогеодинамических скважинах и наклономерно-деформографическим наблюдениям за последние годы, предоставленным Республиканской службой сейсмической защиты МЧС РА.

Результаты наблюдений. Территория Армении характеризуется зональным строением, обусловленным разграничивающими ее четырьмя разломами глубокого заложения: Лалвар-Мравская, Базумо-Севанская, Анкаван-Сюникская и Ереванская зоны разломов [1]. В гидрогеологическом отношении территория Армении представляет собой высоко приподнятую область дренажа и относится к зоне интенсивного водообмена с направлением стока поверхностных вод от складчатого сооружения в сторону Куринской и Среднеараксинской депрессий [2]. Сейсмотектонические процессы, участвующие в формировании активных геодинамических участков региона, рассмотрены по каталогу землетрясений. Построена карта сейсмичности за 2018 г. по координатам произошедших землетрясений с $M > 2$ (рис. 1,а).

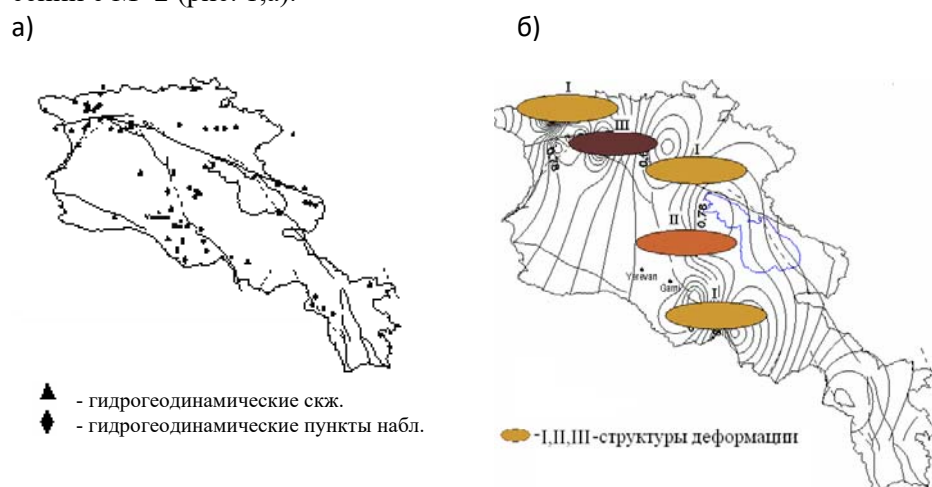


Рис. 1. а – Карты сейсмичности; б – напряженно-деформируемое состояние территории Армении с указанными структурами деформаций:

На карте сейсмичности указана сеть гидрогеодинамических и гидрогеохимических пунктов наблюдений, карта отражает концентрацию эпицентров землетрясений на Джавахетском нагорье, по Базум-Севанскому глубинному разлому, в центральной части региона и несколько эпицентров на ЮЗ территории Армении. Определялись эпицентральные расстояния от эпицентров землетрясений до пунктов наблюдений (ГГД, ГГХ) для определения величин расчетных деформаций [3], по которым строилась карта напряженно-деформированного состояния земной коры региона (рис. 2,б). Карта отражает полученные структуры деформации в виде сжатия и растяжения в результате создавшегося напряжения в сейсмоактивной среде земной коры под воздействием сил, вызывающих деформации. Коэффициент Лоде – Надаи, введенный в сейсмологическую практику в работе [4], определяет вид деформации (сжатие, растяжение, сдвиг). Величина коэффициента меняется от 1 до -1. При $\mu_e = 1$ имеют место деформации сжатия; при $\mu_e = -1$ – растяжения, при $\mu_e = 0$ – сдвига. В таблице

приводятся рассчитанные значения коэффициента деформаций Лоде – Надаи, вызванных сейсмотектоническими процессами в земной коре территории Армении (рис. 1,а,б)

Координаты землетрясения		Наблюдательные пункты (ГГД*, ГГХ)	Глубина Н	Магнитуда М	Эпицентральное расстояние Δ , км	Расчетная деформация, $\mathcal{E}$	Коэффициент Лоде – Надаи $\mu_{\mathcal{E}}$	Вид деформации
φ	λ							
41,07	44,00	10*	10	3,5	12	1,25E-07	-1	Растяжение
40,90	44,27	12*	8	4,4	11	1,98E-06	0	Сдвиг
39,80	45,16	22*	10	3,2	16	2,29E-08	1	Сжатие
40,87	44,93	15*	10	2,2	30	2,06-09	-1	Растяжение
39,85	44,94	Суренаван	10	2,3	20	9,24E-09	1	Сжатие

Исходя из полученных результатов общую картину деформирования земной коры региона (рис. 1,б) можно охарактеризовать следующим образом. Деформации в пределах Джавахетского нагорья за счет произошедших слабых ($M=2.5-3.5$) землетрясений являются деформациями растяжения. На участке Базум-Севанского узла разломов при землетрясениях с $M=2.2-4.4$ характер деформации сдвиговой, в центральной части региона имеет место деформация растяжения, на ЮЗ региона близ сейсмоактивного Гарнийского разлома при землетрясениях с $M=2.2-3.2$ – деформация сжатия. Анализ результатов указывает на геодинамическую активность деформированных участков региона в приразломных зонах с сейсмотектоническими процессами. Таким образом, становится очевидным, что современная геодинамика недр непосредственно связана с повышением активности разломных зон.

Гидрогеодинамические и гидрогеохимические исследования. На тектонически активных участках территории Армении проведены режимные наблюдения за уровнем подземных вод. Детальное изучение режимобразующих факторов позволило выявить гидрогеодинамические эффекты, вызванные влиянием современных тектонических деформаций. Гидрогеодинамические эффекты изменения напряженно-деформируемого состояния среды являются индикатором современных геодинамических процессов. Наблюдения ведутся за неглубокими водоносными горизонтами гидрогеодинамических скважин, пробуренных на сейсмоактивных участках территории Армении. Коэффициент информативности наблюдательной сети региона Армении равен 0.54 [5]. Коэффициент информативности каждой скважины зависит от близости скважины к глубинному разлому –

чем ближе к разлому, тем выше коэффициент информативности. На рис. 2, а-в приводятся графики изменения уровня воды в скважинах (Ашоцк – 10, Ширакамут – 12, Ехегнадзор – 22).

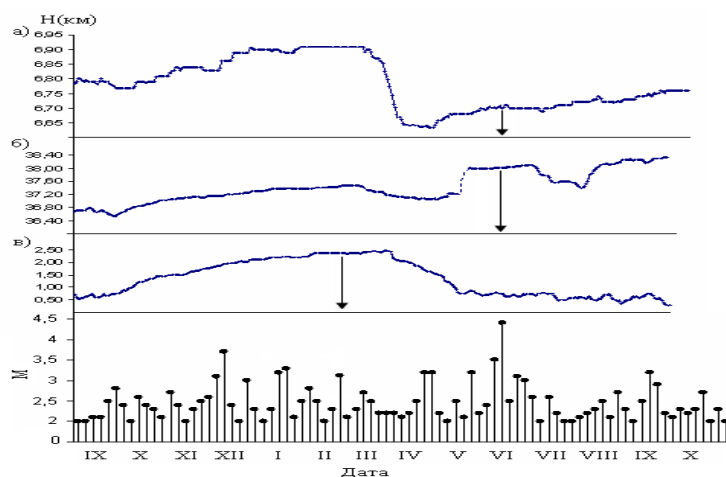
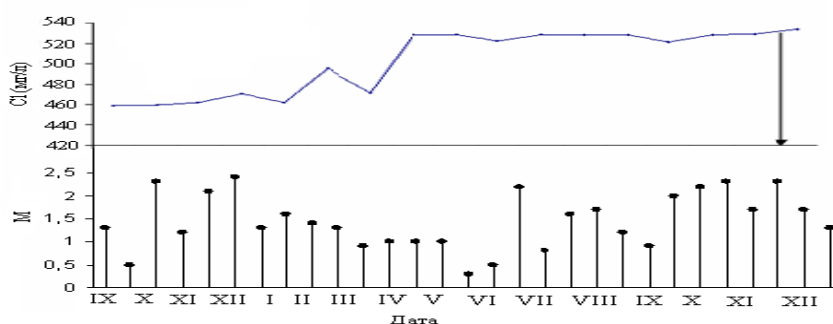


Рис. 2. Вариации уровня вод в гидрогеодинамических скважинах 12 (а), 10 (б), 22 (в); на последней диаграмме вертикальными линиями изображены моменты землетрясений в величинах магнитуд.

Скважина Ашоцк пробурена на севере региона на Джавахетском нагорье, где имеет место активность сейсмотектонических процессов. За время исследований вокруг скважины произошло 10 землетрясений с $2 < M \leq 3.5$. Перед землетрясением 06.06.2018, $M=3.5$, наблюдалась вариация понижения уровня воды в скважине (рис. 2,а), что, вероятно, указывает на то, что в окрестности скважины преобладали деформации растяжения, которые приводили к приросту порово-трещинной емкости и повышению проницаемости пласта. Скважина Ширакамут пробурена в зоне активного Спитакского разлома и в пределах Спитакского тектонического блока Транскавказского поперечного поднятия. Сейсмотектоническая активность места расположения скважины складывается из двух факторов: геодинамики глубинного разлома (подвижки вдоль разлома) и произошедших землетрясений. Землетрясение 06.06.2018, $M=4.4$, произошло недалеко (16 км) от скважины и вызвало ступенчатое изменение уровня воды (рис. 2,б), соответствующее деформации сдвига по значению коэффициента Лоде – На-даи (таблица). На фоне деформации сдвига проявляется чередование участков с деформацией сжатия и участков с деформацией растяжения. Чередование ступенчатых вариаций уровня воды проявляется на фоне повышения уровня воды (тренд) в скважине, что указывает на наличие периодически слабых деформаций земной коры. Скважина Ехегнадзор расположена в пределах Вайкского четко выраженного тектонического блока. Вариации уровня воды в скважине (рис. 2,в) перед землетрясением 25.02.2018, $M=3.2$, характеризуют повышение уровня, вызванное сокра-

щением порового трещинного пространства среды, происходящим под действием сжимающих напряжений; в окрестностях скважины сформирована деформация сжатия (таблица). Таким образом, по гидрогеодинамическим данным выявлены различия в характере деформационных процессов на различных участках земной коры территории Армении.

Гидрогеохимические методы также помогают фиксировать изменения напряженности земной коры во времени и пространстве. Сеть гидрогеохимических пунктов наблюдений института Геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА охватывает в основном центральную часть территории Армении, минеральные воды источников Бжни, Арзни, Веди и Суренаван (рис. 1,а). Месторождения минеральных вод приурочены к тектоническим зонам активных глубинных разломов. Геохимическими методами исследуются химический состав вод и реакция катионного и анионного состава на изменение геодинамики земной коры. Исходя из активации сейсмотектонических процессов в центральной части региона, в частности, в области распределения вод минерального источника Суренаван выявлены изменения значений химического элемента Cl. Анион Cl⁻ является одним из глубинных составляющих минеральных вод, а геодинамические процессы, происходящие в земной коре, содействуют колебанию содержания хлора в составе воды. Построен график вариации химического элемента в минеральной воде источника Суренаван (рис. 3).



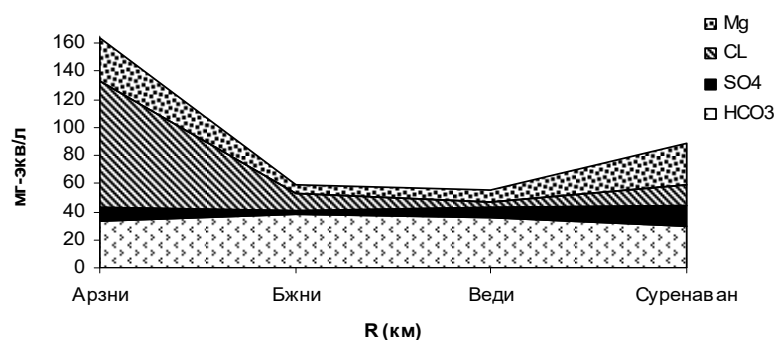


Рис. 4. Гидрогеохимический профиль минеральных вод центральной части Армении.

По горизонтальной оси профиля отложены расстояния между минеральными источниками отбора проб воды, по вертикали – содержание ионов в мг-экв/л. Гидрохимический профиль позволяет проследить изменение химического состава минеральных вод по определенному направлению, а также дать количественную характеристику химических компонентов в любой точке по створу скважины. Таким образом, полученные данные по гидрогеохимии минеральных вод, вариации химических компонентов и количественному составу сопоставляются с изменениями напряженно-деформированного состояния земной коры Армении

Наклономерно-деформографические исследования. Комплексом непрерывных наклономерно-деформографических измерений, проводимых в Гарнийской геофизической обсерватории РСС МЧС РА, получены данные для изучения современных движений земной коры региона и проявлений сейсмической активации района. Для этого необходимы длительные непрерывные ряды измерений наклонов, деформаций и приливов. По имеющимся на сегодняшний день данным определено, что современные движения земной коры в регионе отражаются в ежесуточных наклономерных измерениях по двум направлениям: СЮ-ВЗ [7]. Процессы сейсмической активации проявляются по среднесуточным вариациям на записях наклономерно-деформационных измерений. Графики, построенные по среднесуточным значениям деформационных измерений, приводятся на рис. 5. Кривые среднесуточных вариаций деформации по направлениям С-Ю и В-З одного знака, деформация в направлении С-Ю (рис. 5,а) показана на первом графике в виде выпуклой кривой с медленным убыванием величины деформации, а кривая деформации в направлении В-З (рис. 5,б) имеет форму резких спадов и подъемов величин деформации. Возможно, это связано с тем, что по латерали исследуемого участка имеет место деформация сжатия.

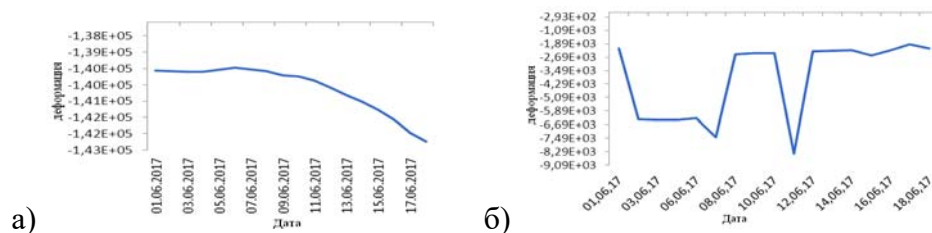


Рис. 5. Графики среднесуточных вариаций значений деформации за 1-18.06.2017: а – кривая значений деформации в направлении С-Ю, б – кривая значений деформации в направлении В-З.

Объемная деформация за сутки рассчитывалась по формуле $D_{об} = 2/3 D_{сн} + D_{вз}$. Таким образом, рассчитана посуточная объемная деформация за тот же период времени, что были построены графики среднесуточных вариаций деформации по направлениям С-Ю и В-З. Вариации объемной деформации исследуемого участка земной коры приведены на рис. 6.

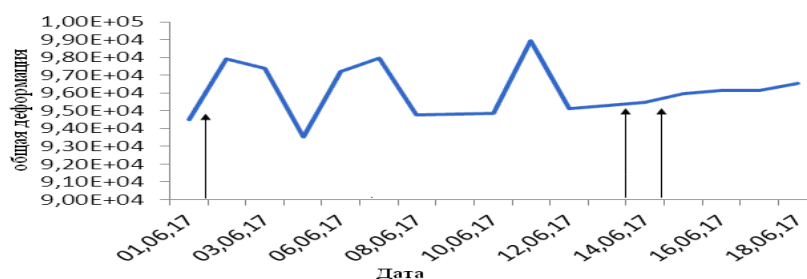


Рис. 6. График изменения объемной деформации за тот же период, что были составлены среднесуточные вариации деформаций; стрелками указаны землетрясения.

Исходя из полученного графика вариации общей деформации по характеру колебаний соответствуют среднесуточным изменениям деформации в направлении В-З, т.е. именно в этом направлении имеет место изменение напряженно-деформированного состояния земной коры региона. Возможно, одной из причин отмеченного выше изменения явились несколько местных землетрясений с $M > 2$ в радиусе 30 км от Гарнийской геофизической обсерватории, в штольне которой проводятся деформографические измерения, другой причиной, возможно, была близость пункта деформографических измерений от активного Гарнийского глубинного разлома.

Таким образом, по результатам примененных методов изучения современных геодинамических процессов составлена карта напряженно-деформированного состояния земной коры территории Армении (рис. 1,б), на которую нанесены участки деформаций разного знака. В Ширакской зоне выявлена деформация сжатия (таблица), в приразломной зоне глубинного Спитакского разлома определена сдвиговая деформация, а в цен-

тральной части региона наблюдается чередование деформаций сжатия и растяжения. В целом вырисовывается общая картина, отражающая геодинамику территории Армении.

Выводы. Внедрение гидрогеологических наблюдений в практику геодинамических исследований позволяет оценить влияние современных геодинамических процессов на подземные воды.

По гидрогеодинамическим данным выявляются различия в характере деформационных процессов на различных участках.

Геохимические методы помогают производить реконструкцию напряженности земной коры за короткие промежутки времени.

Развитие сети наклономерно-деформографических станций дает возможность изучать поведение не только отдельных участков земной коры территории Армении, но и движений тектонических участков относительно друг друга и смещений по разломам.

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

²Институт общей и неорганической химии им. М. Манвеляна НАН РА
e.mail: romellapashayan@sci.am

Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян

Современные изменения геодинамики земной коры территории Армении

Проведено изучение современных изменений геодинамики земной коры территории Армении гидрогеодинамическими, гидрогеохимическими и наклономерно-деформографическими методами. Результаты сопоставлены с текущей сейсмичностью региона за исследуемый период времени. Построена карта напряженно-деформированного состояния земной коры региона с указанием деформированных участков территории. Определен вид образующейся деформации (сжатие, растяжение, сдвиг). На составленной карте сейсмичности выделены активные сейсмотектонические участки.

Ռ. Ա. Փաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան

Երկրային ընդերքի երկրադինամիկայի ժամանակակից փոփոխությունները Հայաստանի տարածքում

Հայաստանի տարածքում Երկրի ընդերքի երկրադինամիկայում ընթացիկ փոփոխությունների ուսումնասիրությունն իրականացվել է հիդրոերկրադինամիկ, հիդրոերկրաքիմիական և թափանցիկ-դեֆորմոգրաֆիկ մեթոդներով: Օգտագործվող մեթոդների արդյունքները համեմատվել են ժամանակի սեյսմիկության հետ ուսումնասիրված ժամանակաշրջանի համար: Ստացված տվյալների վերլուծությունը թույլ է տալիս մեզ կառուցել տարածաշրջանի երկրային լարվածադեֆորմացիոն վիճակի քարտեզը՝ նշելով տարածքների դեֆորմացված մասերը: Սահմանված ձևավորման ձևը (սեղմում,

լարվածություն, խաչմերուկ) որոշվում է: Ակտիվ սեյսմատեկտոնային տարածքները կարևորվում են կազմված սեյսմիկ քարտեզի վրա:

R. A. Pashayan, L. V. Harutyunyan

Modern Changes in the Geodynamics of the Earth's Crust in Armenia

The study of the current changes in the geodynamics of the Earth's crust in the territory of Armenia was carried out by hydrogeodynamic, hydrogeochemical, and tilt-dimensional-deformographic methods. The results of the applied methods were compared with the current seismicity of the region for the studied period of time. The analysis of the obtained data allowed us to construct a map of the stress-strain state of the earth's crust in the region, indicating the deformed parts of the territory. The type of the formed deformation (compression, tension, shear) is determined. The active seismotectonic areas are highlighted on the compiled seismic map.

Литература

1. *Асланян А. Т.* Региональная геология Армении. Ереван. Айпетрат. 1968. 408 с.
2. Геология Армянской ССР. Т. IX, Минеральные воды. Ереван. Изд-во АН АрмССР. 1969. 523 с.
3. *Добровольский И. П., Зубков С. И., Мячкин В. И.* В сб.: Моделирование предвестников землетрясений. М. Наука. 1980. С. 7-43.
4. *Юнга С. Л.* – Изв.АН СССР. Физика Земли. 1979. № 10.С. 14-23.
5. *Пашаян Р. А.* Изменения гидрогеодинамических эффектов как предвестники землетрясений на территории Армении. Канд. дис. Ереван. 1989. 120 с.
6. *Бродский А. А.* Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. М. Недра. 1964. 258 с.
7. *Ахвердян Л. А., Пашаян Р. А., Арутюнян Л. В.* – Доклады НАН РА. 2018. Т. 118. № 3. С. 260-267.