

УДК 550.530

Геодинамика территории Армении по результатам комплексных наблюдений

2019 г. Р.А. Пашаян¹, Л.В. Арутюнян², К.Г. Товмасын¹

¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения; ²ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Республика Армения

Аннотация. Геодинамика земной коры территории Армении приводится по данным сейсмического режима, деформографическим измерениям, гидрогеодинамическим наблюдениям за уровнем подземных вод и геохимией минеральных вод центральной части региона. Карта эпицентров произошедших землетрясений за последние три года включает напряжённые участки (концентрация эпицентров землетрясений) земной коры с повышенной активностью геодинамических процессов. По результатам регистрации деформаций двух направлений вычислены величины площадной, объёмной и вертикальной деформации. Получены вариации уровня вод в гидрогеодинамических скважинах, вызванные сейсмическими событиями. Амплитуды вариаций зависят от магнитуды произошедшего землетрясения, расстояния от эпицентра и величины расчётной деформации земной коры. Исследуются основные компоненты химического (Cl, HCO₃, SO₄, Mg) и газового (CO₂ и Ph) состава минеральных вод в сопоставлении с сейсмичностью и другими геодинамическими процессами земной коры.

Ключевые слова: геодинамика, геохимия, деформация, вариация, скважина, земная кора, сейсмика, землетрясение, минеральная вода, профиль.

Для цитирования: Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В., Товмасын К.Г. Изменения геодинамики территории Армении по результатам комплексных наблюдений // Российский сейсмологический журнал. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 101–109. doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.10>

Введение

Геодинамика земной коры территории Армении исследуется современными методами гидрогеодинамики, гидрогеохимии, параметрами наклонмерно-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 напряжённо-деформированного состояния среды. Деформации, развивающиеся в верхних частях земной коры, оказывают влияние на уровень и химический состав подземных вод.

В настоящее время в штольне Гарнийской обсерватории Республиканской службы сейсмической защиты (РССЗ) МЧС Республики Армения (РА) установлены цифровые штанговые деформографы, регистрирующие в непрерывном режиме современные движения земной коры по двум направлениям, а также сейсмические колебания больших периодов и движения земной коры приливного характера. Дефор-

мографы, работающие в непрерывном режиме, позволяют исследовать динамику деформирования земной коры, дают непрерывную картину изменений. Деформационные и сейсмические процессы, изучаемые в современной геодинамике, взаимосвязаны с вариациями гидрогеохимических полей и являются индикатором геодинамического процесса.

Основной задачей исследований является всестороннее изучение современных геодинамических процессов в пределах тектонически активных участков земной коры Армении.

Данные по сейсмичности, уровню вод в гидрогеодинамических скважинах и деформационным наблюдениям предоставлены РССЗ МЧС РА.

Текущая сейсмичность

Геолого-тектонические, гидрогеологические и геофизические условия, а также высокая сейсмичность территории Армении дают возможность для исследований геодинамических процессов земной коры и оценки напряжённо-деформированного состояния сейсмоактивных зон [Пашаян, Товмасын, 2017]. Соотношение

числа землетрясений разных магнитуд за 2016–2018 гг. (по данным ежемесячных сейсмологических бюллетеней РССЗ МЧС РА) приводится на круговой диаграмме (рис. 1а), где показано количество местных землетрясений в процентном соотношении от общего числа произошедших сейсмических событий. Наибольший процент (45%) приходится на землетрясения с $M < 1$, 41% – на землетрясения с $M = 1.0–1.9$, составляющие сейсмический фон региона, 13% – на землетрясения с $M = 2.0–2.9$, и лишь 1% составляют землетрясения с $M \geq 3$.

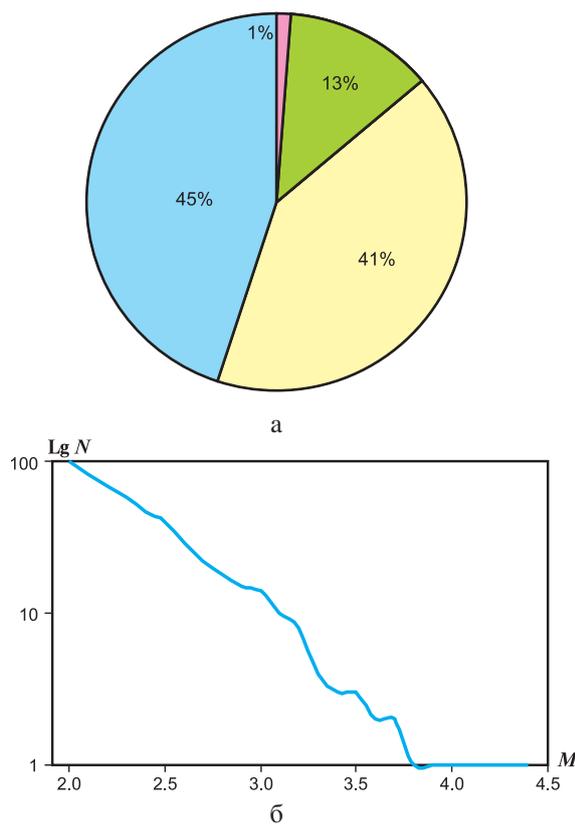


Рис. 1: а – круговая диаграмма распределения числа землетрясений по магнитуде, б – график повторяемости землетрясений за 2016–2018 гг.

Построенный график повторяемости землетрясений за исследуемый период времени (рис. 1б) показывает представительность регистрации землетрясений с $M > 2.3$ на территории Армении и описывается по закону Гутенберга-Рихтера соотношением $\lg N = a - b \times M$. Определены параметры графика повторяемости: $a = 3.1$, $b = 0.7$ [Салтыков, Коновалова, 2008]. Параметр наклона графика повторяемости за исследуемый период времени чуть выше, чем среднее значение ($b = 0.5$) по территории Армении.

Построена карта эпицентров землетрясений с $M < 1$ на территории Армении, которые можно предположительно связать с возникновением

участков повышенных напряжений в результате медленных геодинамических процессов в земной коре типа крипа. Повышенное количество слабых сейсмических событий на территории Армении наблюдается с 2015 г., а их концентрация – в центральной части региона и вдоль глубинных разломов: Базум-Севанского, Гарнийского, Арарат-Севанского и Ереванского (рис. 2а), что, возможно, свидетельствует о повышенном уровне напряжений, вызванном геодинамическими процессами в земной коре этих районов. Карта сейсмичности (рис. 2б) отражает распределение эпицентров землетрясений с $M > 2$, концентрация их наблюдается в Шираке и северном узле Базум-Севанского и Гарнийского разломов, в центральной части и вокруг озера Севан. Землетрясение 06.06.2018 г. с $M = 3.5$ имело место на Джавахетском нагорье, а землетрясение 06.06.2018 г. с $M = 4.4$ – вблизи от глубинного Спитакского разлома.

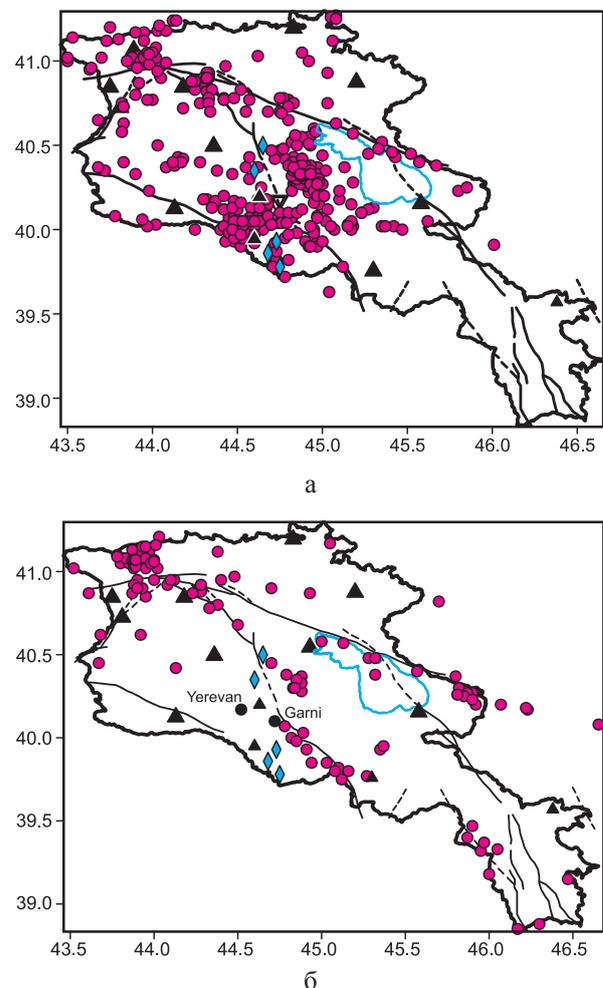


Рис. 2. Карты сейсмичности территории Армении с $M < 1$ (а) и $M > 2$ (б) за 2016–2018 гг.

● – эпицентры землетрясений, ▲ – гидрогеодинамические скважины, ◆ – минеральные источники, — — активные разломы

Деформографические измерения

В настоящее время в штольне обсерватории установлены цифровые штанговые деформографы по двум направлениям. Для обработки и интерпретации данных деформографических измерений необходимо иметь непрерывные, длительные во времени записи, которых пока нет. Предварительные данные получены за несколько месяцев 2017 г., в работе рассмотрены записи деформографических измерений по направлениям С-Ю и В-З после первичной обработки, с шагом дискретизации по времени 30 мин. В качестве примера полученных данных деформографа, на рис. 3 приводится запись изменения деформаций и приливов за сутки 18.06.2017 года.

При сопоставлении вариаций величин деформаций по двум направлениям следует отметить предварительно, что по направлению В-З амплитуда вариаций выше и интенсивнее, чем по направлению С-Ю. Возможно, на записях по направлению В-З наблюдается активация геодинамических процессов земной коры и ослабление их в вертикальном движении земной коры.

На основе имеющихся данных по двум направлениям можно вычислить величину площадной, объёмной и вертикальной деформации [Пашаян, 2012]. Ортогональность осей деформографов позволяет это делать для изотропной среды. Для подобных расчётов использовались соотношения:

$$E_{\text{объём}} = 2/3(E_{\text{С-Ю}} + E_{\text{В-З}}), \quad (1)$$

$$E_{\text{верт.}} = -1/3(E_{\text{С-Ю}} + E_{\text{В-З}}), \quad (2)$$

$$E_{\text{плоч.}} = E_{\text{С-Ю}} + E_{\text{В-З}}. \quad (3)$$

На примере приведённых значений деформаций определена объёмная деформация за сутки 18.06.2017 г.:

$$E_{\text{объём}} = 2/3[(-6.85 \times 10^{-6}) + (-1.03 \times 10^{-5})] = -4.6 \times 10^{-6}. \quad (4)$$

Далее по среднесуточным значениям величин деформаций $E_{\text{объём}}$ вычислялись значения объёмной деформации по данным за 11 месяцев 2017 г. для построения кривой изменения объёмной деформации во времени.

Как видно из рис. 4, кривая изменения величины объёмной деформации во времени в начале года принимает значение 10^{-7} , а в середине года понижается до 10^{-8} , в это время на территории Армении имели место два землетрясения: 15.06.2017 г. с $M=2.6$ и 14.07.2017 г. с $M=3.7$ (табл. 1), затем следует резкое повышение

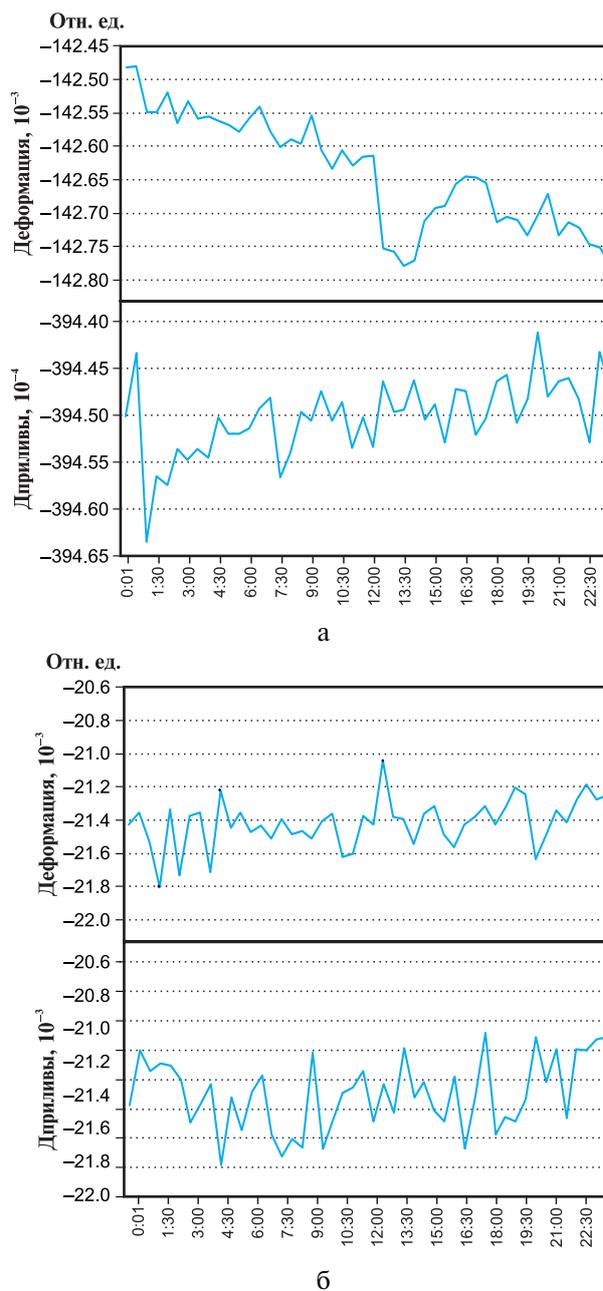


Рис. 3. Графики записи изменения деформаций и приливов по направлениям С-Ю (а) и В-З (б)

величины деформации ближе к 10^{-6} , потом понижение, которое сопровождается слабыми сейсмическими событиями с $M=2.0$ и $M=2.3$ (табл. 1). Изменение величины объёмной деформации от $1.1 \cdot 10^{-7}$ до $1.1 \cdot 10^{-6}$ свидетельствует о наличии в земной коре региона за исследуемый период сильных геодинамических изменений.

Параметры землетрясений, указанных стрелками на графике (рис. 4), приведены в табл. 1. Магнитуда землетрясений имеет значения от $M=2.0$ до $M=3.7$, в таблице также приводятся величины расчётной деформации [Добровольский, 1984], которые должны развиваться на

Таблица 1. Параметры произошедших землетрясений

Дата, дд.мм.гггг	Координаты землетрясений		Эпицент- ральное расстояние Δ , км	Наблюдательные пункты (ГГД*, ГГХ)	Магнитуда M_s	Расчётная деформация
	φ , °N	λ , °E				
15.06.2017	40.45	44.70	20	Арзни	2.6	2.1×10^{-9}
04.07.2017	40.90	43.90	17	11*	3.7	7.4×10^{-8}
03.09.2017	40.62	43.92	17	9*	2.0	6.1×10^{-9}
31.10.2017	40.57	45.13	22	8*	2.3	6.6×10^{-8}

месте расположения наблюдательных пунктов в зависимости от расстояния до эпицентра землетрясения и магнитуды. Как известно, реальные деформации существенно отличаются от расчётных [Деформационные ..., 1989]. Поэтому расчётные величины деформации, включённые в табл. 1, отличаются от реальных значений деформаций по деформографическим измерениям, приведённых на рис. 4. Таким образом, изменения величины деформации земной коры территории Армении, полученные по реальным данным измерений деформографа и данным расчётной деформации свидетельствуют об активации геодинамических процессов в регионе за исследуемый период времени.

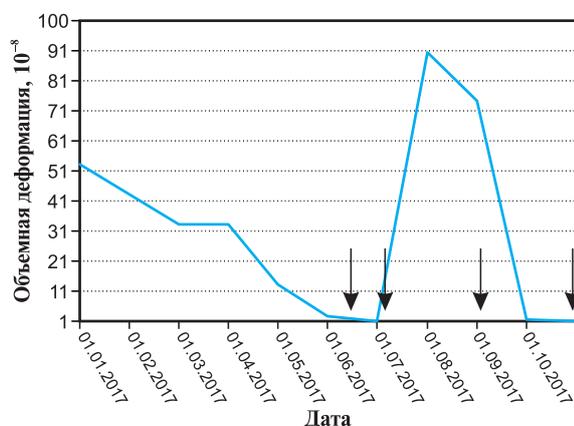


Рис. 4. График изменения величин объёмной деформации во времени.

Стрелками на графике показаны даты землетрясений

Гидрогеодинамические наблюдения

Режимные наблюдения за уровнем подземных вод проводятся по гидрогеодинамическим скважинам, пробуренным на тектонически активных участках территории Армении. Детальное изучение режимобразующих факторов позволило выявить гидрогеодинамические эффекты, вызванные влиянием современных тектонических деформаций. Выявленные гидрогеодина-

мические эффекты, предшествующие изменениям напряжённо-деформированного состояния среды, являются индикаторами современных геодинамических процессов. Наблюдения за вариациями уровня вод ведутся в неглубоких водоносных горизонтах гидрогеодинамических скважин. Рассчитанный нами коэффициент информативности ($K_{инф}$) наблюдательной сети региона Армении равен 0.54 [Киссин, 2015], также рассчитан коэффициент для каждой гидрогеодинамической скважины. Коэффициент информативности каждой скважины зависит от близости скважины к глубинному разлому — чем ближе к разлому, тем выше коэффициент информативности. На рис. 5а, б, в приводятся графики изменения уровня воды в скважинах: № 10 — «Ашоцк» ($K_{инф}=0.5$); № 12 — «Ширакамут» ($K_{инф}=0.7$); № 22 — «Ехегнадзор» ($K_{инф}=0.5$).

Скважина «Ашоцк» пробурена на севере региона на Джавахетском нагорье, за время исследований вокруг скважины произошло десять землетрясений с $2.0 < M \leq 3.5$. Перед землетрясением 06.06.2018 г. с $M=3.5$ наблюдается вариация понижения уровня воды в скважине (рис. 5а), что, вероятно, указывает на то, что в окрестности скважины преобладали деформации растяжения, которые приводили к приросту поровотрещинной ёмкости и повышению проницаемости пласта.

Скважина «Ширакамут» пробурена в зоне активного Спитакского разлома. Землетрясение 06.06.2018 г. с $M=4.4$ произошло недалеко (16 км) от скважины и вызвало ступенчатое изменение уровня воды (рис. 5б), соответствующее деформации сдвига по значению коэффициента Лодена-Надаи (табл. 1). На фоне деформации сдвига проявляется чередование участков с деформацией сжатия с участками 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 чётко выраженного тектонического

блока. Вариации уровня воды в скважине (рис. 5в) перед землетрясением 25.02.2018 г. с $M=3.2$ характеризуют повышение уровня, вызванное сокращением порового трещинного пространства среды, происходящим под действием сжимающих напряжений, т.е. в окрестностях скважины сформирована область деформации сжатия (табл. 2) [Ахвердян и др., 2018].

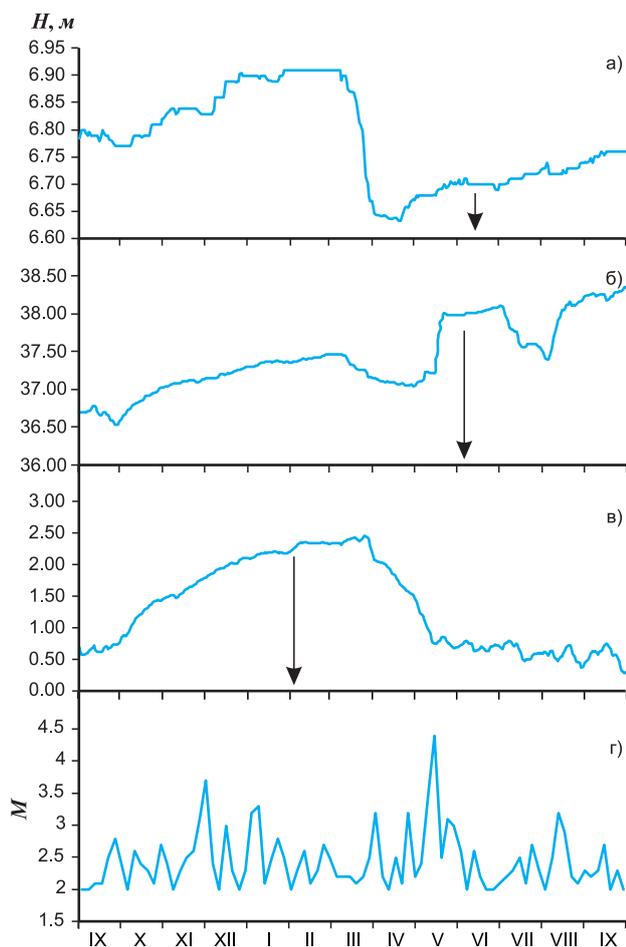


Рис. 5. Вариации уровня вод в гидрогеодинамических скважинах № 10 (а), № 12 (б), № 22 (в), магнитуды произошедших землетрясений (г).
Стрелками указаны даты землетрясений с $M > 3$

Таким образом, по данным гидрогеодинамических скважин выявлены деформационные процессы земной коры в виде растяжения и сжатия.

Гидрогеохимические наблюдения

Гидрогеохимические наблюдения помогают фиксировать изменения напряжённости земной коры за короткие промежутки времени. Сеть гидрогеохимических пунктов наблюдений Института геофизики и инженерной сейсмоло-

гии НАН РА охватывает, в основном, центральную часть территории Армении, минеральные воды источников Бжни, Арзни, Веди и Суренаван (рис. 6).

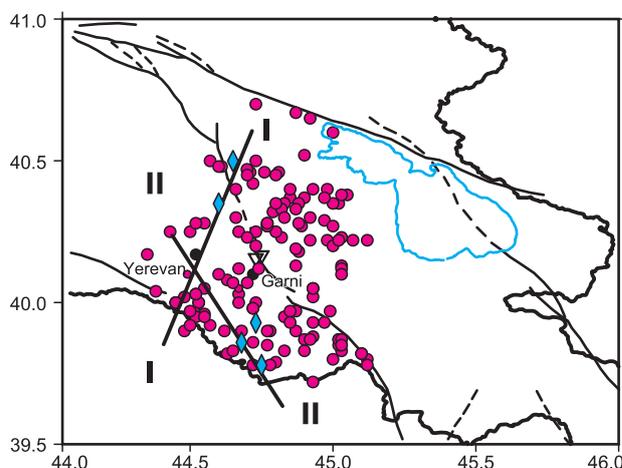


Рис. 6. Карта центральной части территории Армении с нанесением гидрогеохимических профилей (I-I, II-II).

— гидрогеохимические профили I-I и II-II,
♦ — минеральные источники, ● — эпицентры землетрясений

Месторождения минеральных вод приурочены к тектоническим зонам активных глубинных разломов. Геохимическими методами исследуются химический состав вод и реакции катионного и ионного состава на изменение геодинамики земной коры. Месторождения минеральных вод условно разделены по двум гидрогеохимическим профилям. На первом профиле I-I расположены минеральные источники Арзни и Бжни, на втором профиле II-II – Веди и Суренаван (рис. 6). В целях наблюдения распределения гипоцентров очагов землетрясений, произошедших в Центральной Армении, построены сейсмологические разрезы по профилям (рис. 7а, б).

На сейсмологическом разрезе I-I (рис. 7а) видно, что большинство гипоцентров очагов землетрясений лежит плотным рядом по латерали на глубинах 5–10 км, а в интервале глубин 10–18 км отмечается малое число землетрясений и к ЮЗ-СВ наблюдается тенденция к их увеличению. К середине профиля видна активация сейсмичности, концентрация очагов землетрясений.

На втором сейсмологическом разрезе профиля II-II (рис. 7б) наблюдаются те же интервалы глубин у большинства гипоцентров землетрясений, за исключением нескольких поверхностных очагов, и уменьшение их количества к концу профиля. Область активации сейсмичности второго разреза несколько смещена по

латерали на Ю-З от области активации первого разреза. Активация сейсмичности по профилям объясняется пересечением ими зоны глубинных сейсмоактивных разломов — Ереванского, Гарнийского и Арагатского.

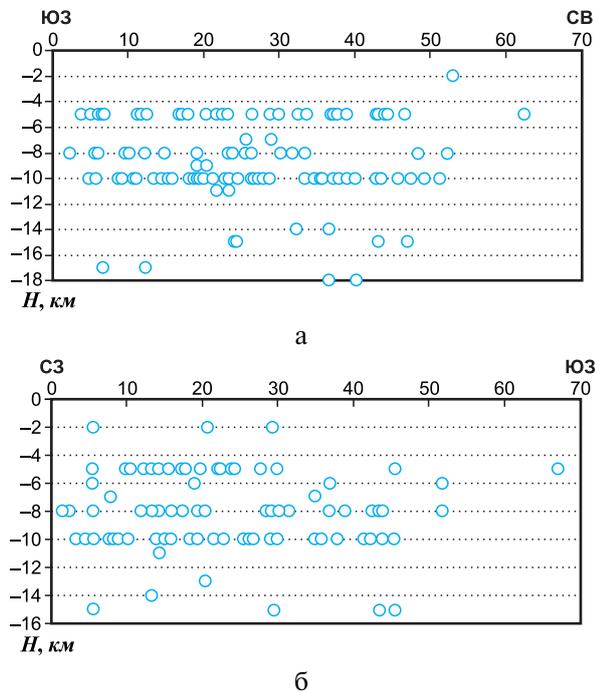


Рис. 7. Сейсмологические разрезы по профилям I-I (а) и II-II (б)

В среде распределения вод минерального источника Суренаван выявлены изменения значений химического элемента Cl. Анион Cl⁻ является одним из глубинных составляющих минеральных вод [Юнга, 1979], геодинамические процессы, происходящие в земной коре, содействуют колебанию содержания хлора в составе воды. Построен график вариации химического элемента в минеральной воде Суренаван (рис. 8).

Как видно из графика (рис. 8), после некоторой флуктуации с повышенной амплитудой значение содержания хлора к концу 2017 г. резко поднялось, далее флуктуация хлора с меньшей амплитудой продолжается на одном уровне до землетрясения с $M=2.3$, далее — повышение значения хлора. Повышение значения хлора, возможно, происходит под действием сжимающих напряжений земной коры, а вокруг вод месторождения по вычисленному значению коэффициента Лоде-Надаи (табл. 2) имеет вид деформации «сжатие». По вариациям химических компонентов минеральных вод выявлены также гидрогеохимические эффекты, предшествовавшие местным и удалённым землетрясениям [Ахвердян, Пашаян, 2001]. Эффекты — это анома-

лии в вариациях химических элементов, предшествующих землетрясениям, которые после обработки временных рядов превышают фоновое значение в 2–3 раза.

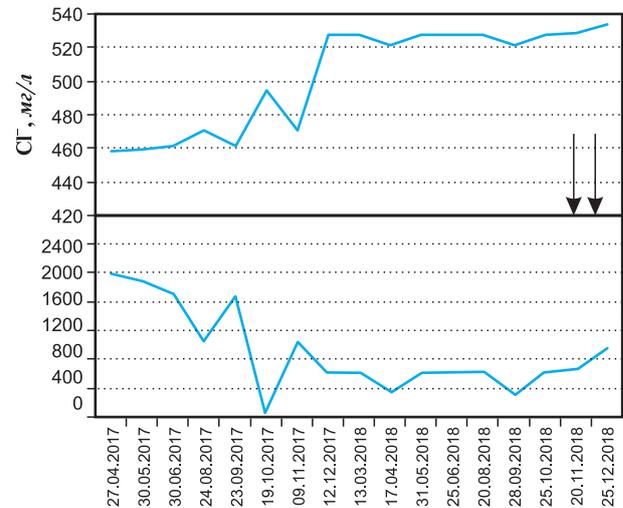


Рис. 8. Вверху — график изменения иона Cl⁻ в воде, внизу — график, полученный при вычитании из исходного ряда квадратичного тренда и сезонных колебаний.

Стрелками указаны даты землетрясений

Напряжённо-деформированное состояние земной коры территории Армении

На основании изучения региональных закономерностей режима подземных вод и обработки данных по уровню вод гидрогеодинамических скважин региона, сейсмического режима и гидрогеохимических наблюдений получена карта деформационного поля земной коры Армении, характеризующая напряжённое состояние среды (рис. 9). Общая картина напряжённо-деформированного состояния территории определялась по вычисленным значениям расчётной деформации вокруг каждой гидрогеодинамической скважины и гидрогеохимического пункта наблюдений, исходя из изменений геодинамики земной коры и количества сейсмических событий, произошедших за это время [Пашаян, Саргсян, 2006]. На основании полученных значений расчётных деформаций с использованием весовых коэффициентов построена карта изолиний равных значений расчётной деформации, которая содержит информацию о состоянии деформационного поля напряжений в пространстве всего региона [Юнга, 1979].

На карте (рис. 9) нанесены условно обозначенные прямоугольниками области структур деформаций (растяжение, сдвиг, сжатие),

Таблица 2. Параметры землетрясений и виды деформации

Дата, дд.мм.гггг	Координаты землетрясения		Наблюдатель- ные пункты (ГГД*, ГГХ)	Магнитуда M_s	Эпицент- ральное расстояние Δ , км	Расчётная дефор- мация	Коэф. Лоде- Надаи μ_e	Вид деформации
	φ , °N	λ , °E						
25.02.2018	39.80	45.16	22*	3.2	16	2.29×10^{-8}	1	сжатие
06.06.2018	40.90	44.27	12*	4.4	11	1.98×10^{-6}	0	сдвиг
06.06.2018	41.07	44.00	10*	3.5	12	1.25×10^{-7}	-1	растяжение
10.07.2018	40.87	44.93	15*	2.2	30	2.06×10^{-9}	-1	растяжение
15.12.2018	39.85	44.94	Суренаван	2.3	20	9.24×10^{-9}	1	сжатие

Примечание – ГГД* – гидрогеодинамические скважины, ГГХ – гидрогеохимический пункт «Суренаван».

образованных в результате напряжённого состояния земной коры региона и выявленных в работе результатами комплексных наблюдений. Выделенные виды деформации напряжённых участков земной коры в регионе на карте соответствуют рассчитанным коэффициентам Лоде-Надаи и приводятся в табл. 2.

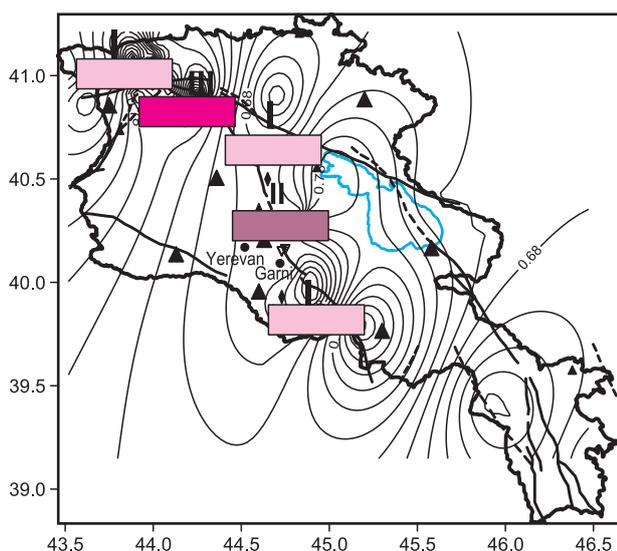


Рис. 9. Карта напряжённо-деформированного состояния земной коры Армении с отмеченными видами деформаций (2016–2018 гг.).

▲ – гидрогеодинамические скважины, ◆ – минеральные источники, ———— – изолинии деформации. Вид деформации: I – растяжение, II – сжатие, III – сдвиг

Обсуждение результатов

По результатам применения комплексных методов исследования геодинамики земной коры территории Армении выявлено, что напряжение среды в Ширакской тектонической зоне вызвало деформацию растяжения, сдвиговую деформацию в приразломной зоне Спитакского

разлома, в центральной части региона – чередование деформации сжатия и растяжения. Общая картина, показанная на составленной карте, отражает геодинамику территории Армении за последние годы.

Поскольку изменения напряжённо-деформированного состояния среды, вызываемые современными геодинамическими процессами, проявляются в вариациях геофизических полей (деформаций, наклонов), гидрогеодинамики и гидрогеохимии, то применение их в комплексе повысит достоверность определения природы геодинамических процессов.

Литература

- Ахвердян Л.А., Пашаян Р.А. Гидрогеодинамические и электроупругие эффекты, предшествующие землетрясениям на территории Армении. – Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2001. – 217 с.
- Ахвердян Л.А., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В. Связь между вариациями напряжённо-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении // Доклады НАН РА. – 2018. – Т. 118, № 3. – С. 260–268.
- Деформационные процессы в период, предшествующий Спитакскому землетрясению / Под ред. И.Л. Нерсеова и Л.А. Латыниной. – М.: ИФЗ АН СССР, 1989. – 100 с.
- Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1991. – 189 с.
- Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. – М.: Наука, 2015. – 328 с.
- Пашаян Р.А. Гидрогеодинамический мониторинг земной коры территории Армении. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – С. 80.
- Пашаян Р.А., Саргсян А.З. Гидрогеодеформационная характеристика земной коры территории Армении (2002–2004 гг.) // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2006. – Т. LLX, № 3. – С. 30–36.

Пашаян Р.А., Товмасын К.Г. Результаты сейсмологических наблюдений на территории Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 264–269.

Салтыков В.А., Коновалова А.А. Мониторинг вариаций наклона графика повторяемости землетря-

сений Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2008. – № 1, вып. 11. – С. 235–238.

Юнга С.Л. О механизме деформирования сейсмоактивного объёма земной коры // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1979. – № 10. – С. 14–23.

Сведения об авторах

Пашаян Ромела Артаваздовна, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр. Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения (ИГИС НАН РА), г. Ереван, Республика Армения. E-mail: romellapashayan@sci.am

Арутюнян Левон Варганович, канд. геол. наук, зав. лаб. Института общей и неорганической химии имени академика Манвеляна М.Г. Национальной академии наук Республики Армения (ИОНХ НАН РА), г. Ереван, Республика Армения. E-mail: levonharutyunyan25@rambler.ru

Товмасын Кристина Гагиковна, инженер ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения. E-mail: romellapashayan@sci.am

Geodynamics of the territory of Armenia based on the results of comprehensive observations

© 2019 R.A. Pashayan¹, L.V. Harutyunyan², K.G. Tovmasyan¹

¹IGES NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia; ²IGIC NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia

Abstract The geodynamics of the earth's crust in the territory of Armenia is given according to seismic data, deformographic measurements, hydro geodynamic observations of the groundwater level and geochemistry of mineral waters in the central part of the region. The map of the epicenters of earthquakes over the past three years includes stressed sections (concentration of earthquake epicenters) of the earth's crust with increased activity geodynamic processes. Based on the results of registration of deformations of two directions, the values of areal, volumetric, and vertical deformations are calculated. Variations in the water level in hydro geodynamic wells were obtained due to seismic events; the amplitudes of the variations depend on the magnitude of the earthquake, the distance from the epicenter and the magnitude of the calculated deformation of the earth's crust. The main components of the chemical composition of mineral waters (CL, HCO₃, SO₄, Mg), gas - CO₂ and Ph in comparison with seismicity and other geodynamic processes of the earth's crust.

Keywords geodynamics, geochemistry, deformation, variation, borehole, earth crust, seismicity, earthquake, mineral water, profile.

For citation Pashayan, R.A., Harutyunyan, L.V., Tovmasyan, K.G. (2019). Changes of geodynamics of the territory of Armenia based on the results of comprehensive observations. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 1(1), 101-109. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.10>

References

- Dobrovolsky, I.P. (1991). *Mekhanika podgotovki tektonicheskogo zemletriaseniia* [Tectonic earthquake preparation mechanics]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 189 p. (In Russ.).
- Hakhverdyan, L.A., & Pashayan, R.A. (2001). *Gidrogeodinamicheskie i elektrouprugie efekty, predshestvuiushchie zemletriaseniam na territorii Armenii* [Hydrogeodynamic and electro elastic effects preceding earthquakes in the Territory of Armenia]. Yerevan, Armenia: Publishing House "Gitutyun" NAS RA, 217 p. (In Russ.).
- Hakhverdyan, L.A., Pashayan, R.A., & Harutyunyan, L.V. (2018). [Connection between variations of stress-strain state of Earth Crust and Seismic Activity in the Territory of Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports NAS RA], 118(3), 260-268. (In Russ.).
- Kissin, I.G. (2015). *Fliuidy v zemnoi kore: geofizicheskie i tektonicheskie aspekty* [Fluids in the Earth's crust: geophysical and tectonic aspects]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 328 p. (In Russ.).
- Nersesov, I.L., & Latynina, L.A. eds. (1989). *Deformatsionnye protsessy v period, predshestvuiushchii Spitakskomu zemletriaseniiu* [Deformation processes in the period preceding the Spitak earthquake]. Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ., 100 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (2012). *Gidrogeodinamicheskii monitoring zemnoi kory territorii Armenii* [Hydrogeodynamic monitoring of Earth crust of the territory of Armenia]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 80 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Sargsyan, A.Z. (2006). [Hydrogeodeformational characteristics of Earth crust of the territory of Armenia (2002-2004)]. *Izvestiia NAN RA. Nauki o Zemle* [Izvestiya NAS RA, Earth Science], LLX(3), 30-36. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Tovmasyan, K.G. (2017). [Results of seismological observations in the territory of Armenia]. In *Materialy XII Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh"*. [Proceedings of the XII International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 264-269). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Saltykov, V.A., & Konovalova, A.A. (2008). [Monitoring of Variation of Inclination of Timetable of Recurrence of Earthquakes in Kamchatka]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Vestnik KRAESC, Earth Sciences], 1(11), 235-238. (In Russ.).
- Yunga, S.L. (1979). [On mechanism of deformation of seismically active volume of Earth crust]. *Izvestiia AN SSSR. Fizika Zemli* [Izv. USSR. Physics of Earth], 10, 14-23. (In Russ.).

Information about authors

Pashayan Romela Artavazdovna, PhD, Senior Researcher of the Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov (IGES NAS RA), Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: romellapashayan@sci.am

Harutyunyan Levon Vartanovich, PhD, Head of Laboratory of the Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan (IGIC NAS RA), Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: levonharutyunyan25@rambler.ru

Tovmasyan Kristina Gagikovna, Engineer of the IGES NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: romellapashayan@sci.am