

УДК 550, 530

Геофизический мониторинг геодинамического режима Центральной Армении

© 2022 г. ¹Р.А. Пашаян, ²Д.К. Карапетян, ³Л.В. Арутюнян, ¹К.Г. Товмасын,
²Р.А. Карамян

¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения; ²ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения;
³ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Республика Армения

Поступила в редакцию 07.02.2022 г.

Аннотация. Геофизический мониторинг геодинамического режима территории Армении включает наблюдения за химическим составом подземных вод, изменениями напряжённо-деформированного состояния земной коры и текущей сейсмичностью. Выявлены гидрогеохимические эффекты изменения напряжённо-деформированного состояния среды как индикатора современных геодинамических процессов. Авторы на основании опубликованных данных предполагают, что характер проявления геохимических аномалий зависит от параметров готовящегося сейсмического события – магнитуды (M) и эпицентрального расстояния (Δ). Составлена карта пространственно-временного распределения деформаций земной коры в результате произошедших землетрясений за последние три года в регионе. Исследуются основные компоненты ионного (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg_2^+ , общая минерализация) и газового (CO_2) состава минеральных вод в сопоставлении с сейсмичностью. Составлена карта распределения эпицентров землетрясений в пространстве и во времени. Показана зависимость магнитуд, произошедших за исследуемый период землетрясений, от глубины их гипоцентров. По каталогу землетрясений построен график повторяемости землетрясений. Статистический анализ данных наблюдений показал, что наиболее информативной прогнозной характеристикой является дисперсия содержания углекислого газа в воде. По временным рядам концентраций химических показателей проведено определение эффектов, сопутствующих геодинамическому режиму земной коры Центральной Армении. Составлена карта распределения деформаций в земной коре центральной Армении с учётом глубин гипоцентров землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, гидрогеохимические наблюдения, сейсмичность, минеральная вода, деформация, гипоцентр, Армения.

Для цитирования: Пашаян Р.А., Карапетян Д.К., Арутюнян Л.В., Товмасын К.Г., Карамян Р.А. Геофизический мониторинг геодинамического режима Центральной Армении // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 41–52. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.03>

Введение

Геофизический мониторинг геодинамического режима земной коры территории Армении включает наблюдения за геохимическими показателями вод минеральных источников центральной части региона, геодинамикой подземных вод в скважинах, текущей сейсмичностью, деформационными изменениями земной коры, коррелируемыми с динамикой подземных вод и химическими компонентами минеральных вод. Наблюдения за геодинамическим режимом Центральной Армении включают работы по изучению напряжённо-деформированного

состояния земной коры во времени и пространстве, и их связи с сейсмической активностью. Сейсмичность является одним из чувствительных показателей активности современных тектонических движений. Активность геотектонических процессов земной коры влияет на динамику и геохимию подземных вод, в частности, на минеральные воды [Пашаян, 2019]. Величины геохимических аномалий, связанные с сейсмичностью, находятся в прямой зависимости от магнитуды землетрясений и в обратной зависимости от эпицентрального расстояния до точки режимных наблюдений [Григорян и др., 2015]. В работе применяется гидрогеохимический

метод для выявления динамики изменения во времени геохимических аномалий в макрокомпонентном составе подземных вод и газов. Обработка продолжительных временных рядов гидрогеохимических компонентов проводилась статистическими методами с целью определения эффектов, сопутствующих геодинамическому режиму земной коры Центральной Армении. В статистическую обработку данных входило определение среднего значения фоновых концентраций химических компонентов, среднеквадратичное отклонение от фонового значения, параметрический корреляционный анализ. Задачей исследований является изучение режима геодинамических процессов активных участков земной коры по аномальным значениям параметров геофизических и геохимических полей.

Текущая сейсмичность

Современные тектонические движения земной коры Центральной Армении обусловлены сейсмическими процессами земной коры и активной геодинамикой глубинных разломов продольного и поперечного простираний: Гарнийского, Ереванского и Азатского. Сейсмоактивными являются тектонические узлы пересечения разломов [Пашаян, 2009]. Геодинамический режим земной коры территории Армении рассмотрен по данным текущей сейсмичности в сопоставлении с результатами гидродинамических и гидрогеохимических наблюдений, наблю-

дательные пункты указаны на рис. 1а. За время исследований (2019–2021 гг.) в регионе произошло 70 землетрясений.

Карта сейсмичности территории Армении (рис. 1б) построена по каталогу землетрясений Европейского средиземноморского сейсмологического центра (EMSC), на ней показано распределение эпицентров произошедших землетрясений во времени и пространстве. Карта сейсмичности территории Армении отражает концентрацию эпицентров землетрясений на севере (Джавахетское нагорье). На рис. 1б этот участок обозначен кривой овальной формы, ограничивающей облако землетрясений, произошедших вблизи населённого пункта Ташир и скважины № 10. В Центральной Армении в отмеченный на карте участок входят минеральные источники № I, II и III (рис. 1а), скважины № 2 и 3, а также произошедшие вокруг них и населённого пункта Арташат землетрясения. Третья группа землетрясений имела место на восточном побережье оз. Севан и населённого пункта Чамбарак. Все остальные сейсмические события, произошедшие за период наблюдений и нанесённые на карту, располагаются в Центральной Армении. На юге и северо-востоке региона сейсмических событий не наблюдалось.

Построен график распределения произошедших землетрясений по магнитуде и глубинам очагов (рис. 2) за исследуемый промежуток времени.

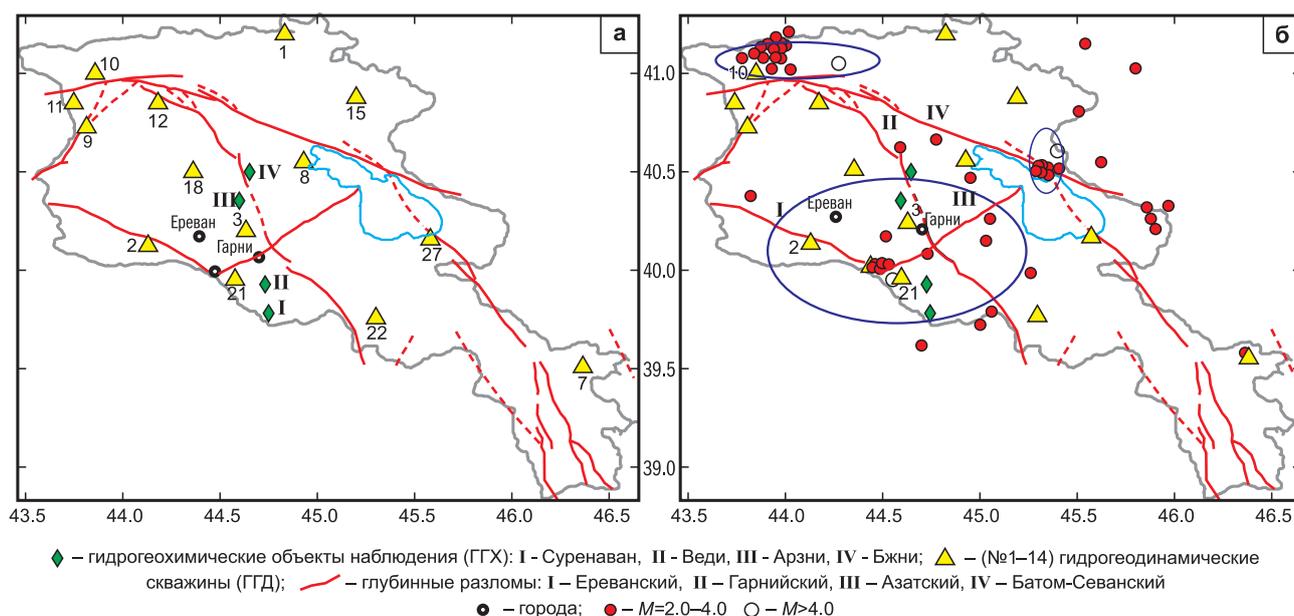


Рис. 1. Карты расположения наблюдательных пунктов (а) и сейсмичности территории Армении за 2019–2021 гг. (б).

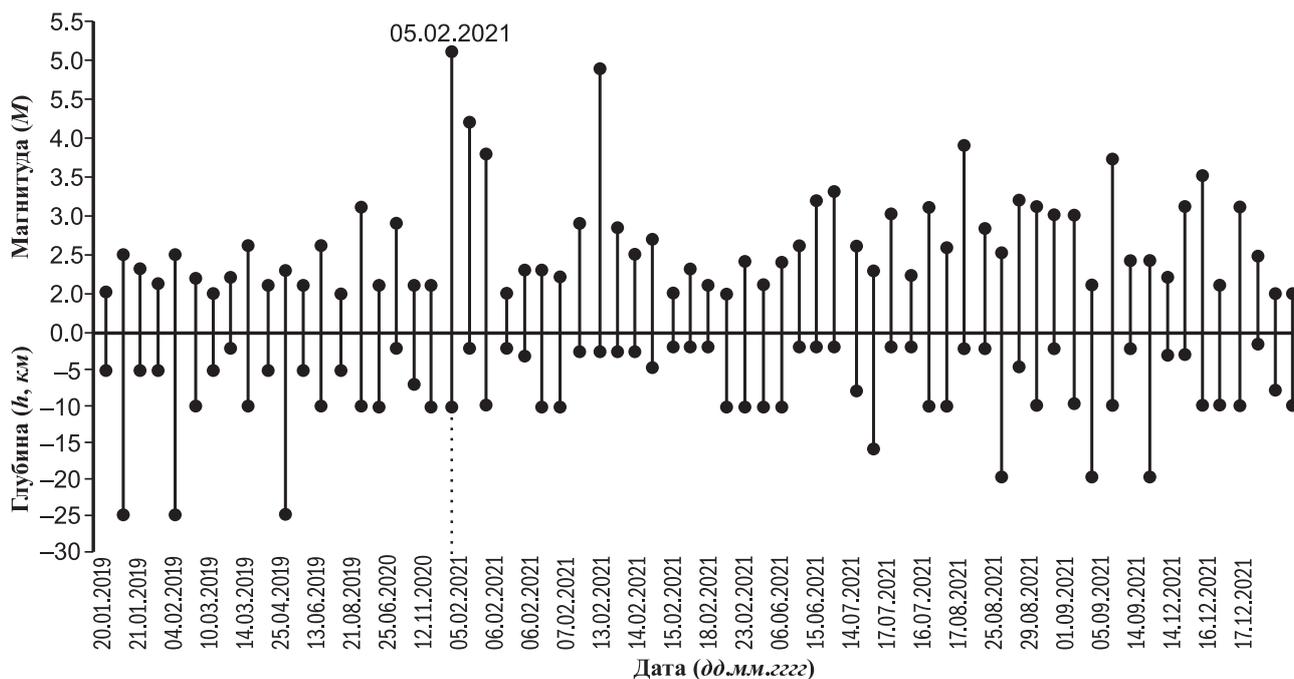


Рис. 2. График распределения землетрясений за 2019–2021 гг. по магнитудам и глубинам очагов

В основном землетрясения имеют значения магнитуд $2 \leq M \leq 4$, за исключением двух землетрясений с $M=5.1$ и 4.9 , а глубина очагов варьирует в интервале $2 \div 10$ км. Эти землетрясения (05.02.2021 г. с $M=5.1$, $h=19$ км; 13.02.2021 г. с $M=4.9$, $h=2$ км) произошли на восточном побережье озера Севан и в Центральной Армении (табл. 1). Глубины очагов указывают на то, что все произошедшие землетрясения – коровые. Данные приведены по каталогу Европейского средиземноморского сейсмологического центра (EMSC) [Earthquake ..., 2022].

На графике повторяемости землетрясений за рассматриваемый промежуток времени (рис. 3) видно, что более представительными являются землетрясения с $M \geq 2$. Наклон графика повто-

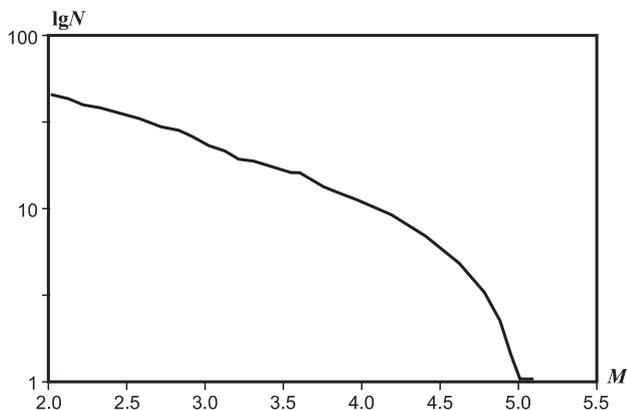


Рис. 3. График повторяемости землетрясений на территории Армении за 2019–2021 гг.

ряемости равен 0.54 , эта величина соответствует среднему значению 0.5 по региону Армении.

Вычисленная суммарная сейсмическая энергия по годам составляет: 2019 г. – $E_{\Sigma}=7.8 \cdot 10^9$ Дж; 2020 г. – $E_{\Sigma}=1.8 \cdot 10^9$ Дж; 2021 г. – $E_{\Sigma}=2.2 \cdot 10^{13}$ Дж. Энергия, выделенная в 2021 г., на порядок выше среднегодового значения сейсмической энергии по региону.

Текущая сейсмичность территории Армении возросла за счёт произошедших в 2021 г. землетрясений: 15 землетрясений на глубинах $1–20$ км вокруг гидрогеодинамической скважины № 10 на Джавахетском нагорье); десять землетрясений на глубинах $1–10$ км в радиусе $10–17$ км вокруг населённого пункта Чамбарак на восточном побережье оз. Севан; четыре сейсмические события на глубине 2 км в центральной части региона вокруг гидрогеодинамической скважины № 21 и г. Арташата (рис. 1б).

В табл. 1 приведены координаты местных землетрясений с $M > 2$ вокруг скважин № 10, 21 и пункта «Чамбарак», а также значения эпицентральных расстояний (Δ), которые выбирались согласно величинам деформационных радиусов землетрясений, вычисляемых по формуле [Добровольский и др., 1980, с. 8]:

$$R=10^{0.43 \cdot M}. \tag{1}$$

Приводятся также вычисленные значения расчётной деформации по формуле [Добровольский, 1984]:

$$D=(R/10^{0.413 \cdot M - 2.66})^{-3}. \tag{2}$$

Таблица 1. Параметры произошедших в 2021 г. землетрясений

Дата, дд.мм.гггг	Координаты землетрясений		Эпицентральное расстояние Δ , км	Магнитуда M_L	Глубина h , км	Расчётная деформация D
	φ , °N	λ , °E				
Скважина № 10 ($\varphi=41.07^\circ\text{N}$, $\lambda=43.89^\circ\text{E}$)						
07.02.2021	41.13	43.95	9.4	2.9	2	$4.9 \cdot 10^{-8}$
18.06.2021	41.16	43.93	10.9	2.6	8	$1.3 \cdot 10^{-8}$
14.07.2021	41.07	43.79	11.1	2.3	16	$5.4 \cdot 10^{-9}$
17.07.2021	41.15	43.99	14.2	2.2	2	$1.9 \cdot 10^{-9}$
16.08.2021	41.08	43.96	7.8	3.1	10	$1.5 \cdot 10^{-7}$
16.08.2021	41.14	44.01	15.4	2.6	10	$4.8 \cdot 10^{-9}$
17.08.2021	41.07	43.88	1.1	2.5	20	$9.6 \cdot 10^{-6}$
17.08.2021	41.15	43.92	9.5	2.8	2	$3.6 \cdot 10^{-8}$
25.08.2021	41.16	43.90	10.1	3.2	5	$9.5 \cdot 10^{-8}$
29.08.2021	41.15	43.93	9.9	3.0	2	$5.6 \cdot 10^{-8}$
30.08.2021	41.13	43.88	6.8	3.0	1	$1.8 \cdot 10^{-7}$
01.09.2021	41.10	43.84	6.5	2.1	20	$1.5 \cdot 10^{-8}$
03.09.2021	41.16	43.90	10.1	3.7	10	$4.0 \cdot 10^{-7}$
08.09.2021	41.04	43.95	7.4	2.4	20	$2.4 \cdot 10^{-8}$
14.09.2021	41.16	43.89	10.0	3.1	2	$7.3 \cdot 10^{-8}$
Пункт «Чамбарак» ($\varphi=40.60^\circ\text{N}$, $\lambda=45.40^\circ\text{E}$)						
05.02.2021	40.51	45.41	10.1	5.1	10	$2.1 \cdot 10^{-5}$
05.02.2021	40.50	45.29	16.5	4.2	2	$3.7 \cdot 10^{-7}$
05.02.2021	40.51	45.33	12.7	3.8	1	$2.6 \cdot 10^{-7}$
06.02.2021	40.52	45.33	11.8	2.3	3	$4.5 \cdot 10^{-9}$
07.02.2021	40.50	45.31	14.9	2.2	10	$1.7 \cdot 10^{-9}$
13.02.2021	40.47	45.37	14.8	2.8	2	$9.5 \cdot 10^{-9}$
14.02.2021	40.51	45.36	10.9	2.7	5	$1.8 \cdot 10^{-8}$
15.02.2021	40.51	45.32	13.4	2.0	2	$1.3 \cdot 10^{-9}$
21.02.2021	40.50	45.33	13.5	2.4	1	$4.0 \cdot 10^{-9}$
07.03.2021	40.52	45.31	13.4	2.4	10	$4.1 \cdot 10^{-9}$
Скважина № 21 ($\varphi=39.95^\circ\text{N}$, $\lambda=44.60^\circ\text{E}$)						
13.02.2021	40.02	44.49	14.5	4.9	2	$4.1 \cdot 10^{-6}$
13.02.2021	40.02	44.53	11.0	2.5	2	$9.9 \cdot 10^{-9}$
15.02.2021	40.01	44.45	17.9	2.3	2	$1.3 \cdot 10^{-9}$
17.02.2021	40.02	44.44	19.4	2.1	2	$5.7 \cdot 10^{-10}$

Таким образом, геодинамические процессы земной коры территории Армении за 2021 г. происходили в верхних слоях земной коры 1÷20 км. При этом наибольшая величина расчётной деформации наблюдалась также в верхних слоях земной коры восточного побережья оз. Севан и в центральной части региона: $D=2.1 \cdot 10^{-5}$ и $4.1 \cdot 10^{-6}$. Здесь следует отметить, что реальные деформации существенно отличаются от расчётных. Так, на примере Спитакского землетрясения (07.12.1988 г., $M=7.0$), реальная деформация, измеренная с помощью лазерного деформографа, установленного в штольне обсерватории «Гарни», составила 10^{-7} , а расчётная деформация – 10^{-5} [Деформационные ..., 1989].

Исходные данные и методика исследований

Сейсмическая сеть Армении состоит из девяти региональных сейсмических цифровых станций, вокруг г. Еревана установлены семь станций телеметрической связи, в обсерватории «Гарни» – станция IRIS, все они находятся в ведомстве Республиканской службы сейсмической защиты (РССЗ МЧС РА). Служба ежемесячно предоставляет Институту геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения (ИГИС НАН РА) данные по сейсмичности в виде каталогов землетрясений.

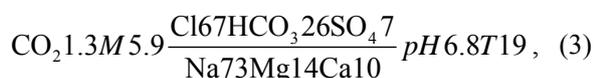
После Спитакского землетрясения сеть наблюдений за уровнем вод в гидрогеодинамических скважинах расширилась, в настоящее время такие наблюдения ведутся в 14 скважинах (рис. 1а). Расположение гидрогеодинамических скважин внутри и на границе блоков позволяет выделять гидрогеологические эффекты, предшествующие тектоническим движениям земной коры Армении [Пашаян, 2008]. Данные наблюдений за уровнем вод в скважинах за каждый месяц текущего года от РССЗ МЧС РА пересылаются в ИГИС НАН РА.

Обработка данных по уровню вод в скважинах проводится в лаборатории по методу гидрогеодинамических предвестников (ГГД) [Киссин, 2015] с целью обнаружения изменений режима подземных вод, которые могут рассматриваться в качестве предвестников тектонических движений земной коры.

Авторами данной статьи ведутся наблюдения за химическим составом минеральных вод месторождений центральной Армении (рис. 1а), начиная с 2006 г. и по настоящий день. Месторождения расположены вдоль основных разломов, близких к общекавказскому простиранию и являющихся основными сейсмоструктурами на территории Центральной Армении [Пашаян, Туманян, 2010]. Работы ведутся в рамках базовой темы лаборатории «Гидрогеодинамика и экологической геофизики» ИГИС НАН РА. Забор проб воды из перечисленных источников производится два раза в месяц, после химического анализа состава вод выполняется статистическая обработка временных рядов. Данные результатов анализа и статистической обработки временных рядов ионного (Cl⁻; SO₄²⁻; HCO₃⁻; Mg²⁺) и газового (CO₂) состава вод, а также общая минерализация сопоставлялись с сейсмическими событиями региона.

Геофизический мониторинг геодинамического режима Центральной Армении проводился по наблюдениям за изменениями химического состава источников минеральных вод, а также растворённого в воде углекислого газа, изменением напряжённого состояния земной коры и их сопоставлением с сейсмичностью.

Круговая диаграмма (рис. 4) отражает процентное содержание катионов и анионов в экв. ионного состава минеральной воды каждого источника по разным сторонам от линии 0 – 100%, проходящей по центру круга. Формула состава минеральной воды источника «Арзни» по М.Г. Курлову [Курлов, 1928] следующая:



поэтому вода – хлоридно-гидрокарбонатно-натриевая.

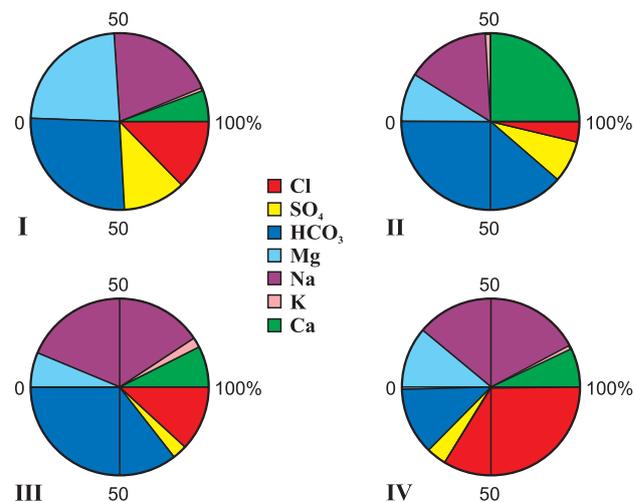


Рис. 4. Круговая диаграмма Н.И. Толстихина [Дзенс-Литовский, Толстихин, 1937] химического состава минеральных вод источников: I – «Суренаван», II – «Веди», III – «Бжни», IV – «Арзни»

Применяемый в работе геохимический метод [Барсуков и др., 1992] основан на выявлении аномальных изменений растворённого в воде углекислого газа и концентраций ионов вод в период, предшествующий землетрясениям. Деформации в результате землетрясений часто приводят к изменению проводимости трещин, которые влияют на соотношение приповерхностной и глубинной составляющих в минеральных водах. В результате происходят изменения показателей минеральных вод, их солевого и газового состава [Киссин, 2015]. Целью гидрогеохимического метода является выявление и изучение гидрогеохимических эффектов изменения напряжённо-деформированного состояния среды как индикаторов современных геодинамических процессов. С этой целью проводилась статистическая обработка рядов гидрогеохимических данных во времени. В статистическую обработку данных входили определение среднего значения фоновых концентраций химических компонентов, среднеквадратического отклонения от фонового значения и изменчивость дисперсии в смежных временных интервалах.

Результаты наблюдений за общей минерализацией вод во времени (2019–2021 гг.) показали наличие тренда, на фоне которого наблюдается повышение минерализации воды пункта «Арзни», и тренд на понижение вариаций общей минерализации воды пункта «Веди» (рис. 5). Среднее значение минерализации в этих пунктах

наблюдений – 8340 и 3652 мг/л. Исходя из полученных данных, можно предположить, что в водовмещающих породах месторождения «Арзни» происходит деформационный процесс растяжения, что указывает на повышенную активность геодинамических движений Ереван-Ордубадского тектонического блока, куда входят месторождения вод «Арзни» и «Веди» (рис. 5).

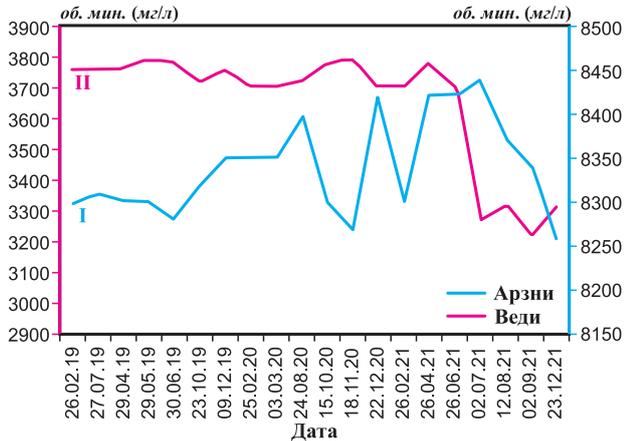


Рис. 5. График вариаций значений общей минерализации вод «Арзни» (I) и «Веди» (II)

Деформация растяжения, сформировавшаяся в земной коре, содействует образованию множества трещин в водосодержащих породах и циркуляции глубинных вод с наибольшей концентрацией растворённых веществ и увеличением общей минерализации. Тренд на понижение общей минерализации воды «Веди» происходит в результате образования деформации сжатия, что приводит к сжатию водовмещающих пород месторождения и замедлению доступа глубинных вод, а также содействует понижению общей минерализации вод «Веди». В данном случае это указывает на геодинамические процессы Ереванского тектонического блока, в котором расположены месторождения «Суренаван» и «Веди» [Ахвердян и др., 2018].

Статистический анализ фактического материала показал, что наиболее информативной характеристикой для получения критериев краткосрочного прогноза сейсмического события является дисперсия содержания углекислого газа в воде на некотором временном интервале. Рассматриваемый метод основан на статистической оценке изменчивости дисперсии углекислого газа в смежных временных интервалах. При этом используется среднее значение дисперсии. Временные ряды химических элементов минеральных вод составлены по данным ежемесячных наблюдений. Среднее значение содер-

жания углекислого газа, растворённого в водах перечисленных пунктов, составляет 1242.13 и 1040.71 мг/л. Список сейсмических событий, имевших место на разном удалении от пунктов наблюдений, представлен в табл. 2. Изменения концентрации углекислого газа приведены по водам двух наблюдательных гидрогеохимических пунктов – «Веди» и «Бжни» (рис. 6, 7). Стрелками показаны моменты землетрясений из табл. 2.

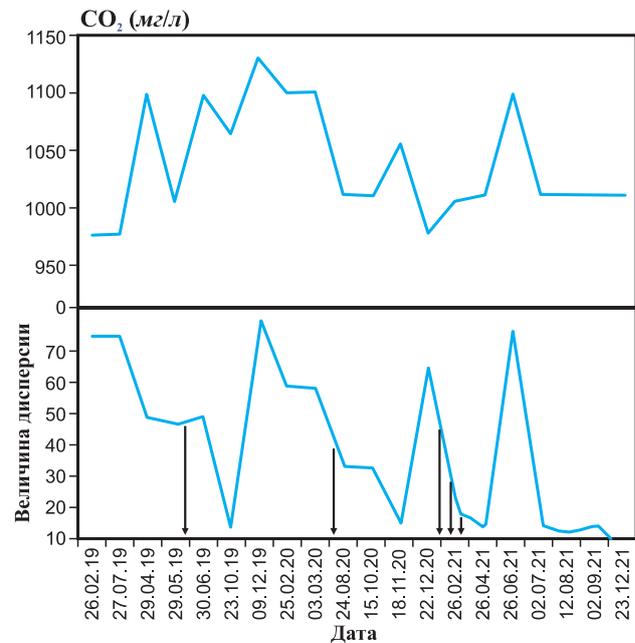


Рис. 6. Дисперсия концентрации углекислого газа (минеральная вода «Веди»)

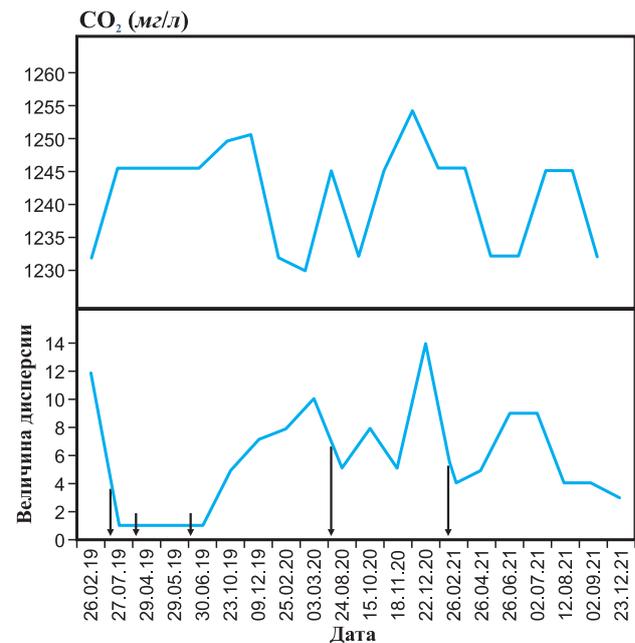


Рис. 7. Дисперсия концентрации углекислого газа (минеральная вода «Бжни»)

Как видно из рис. 6 и 7, отмечаются определённые периоды повышения и соответствующего снижения значений дисперсий, которые сопровождаются землетрясениями. Вначале происходит повышение величины дисперсии, после чего отмечается её скачкообразное снижение. Показано, что дисперсия при переходе от фоновых значений временного ряда к аномальным его величинам изменяется закономерным образом. В промежуточной зоне между аномалией и фоновым значением среднее значение компоненты может оставаться фоновым, в то время как дисперсия принимает аномальное значение [Осика, 1981]. В табл. 2 включены сейсмические события в центральной части региона за 2019–2021 гг. (по данным EMSC). Также показаны эпицентральные расстояния (Δ , км) до наблюдательных пунктов «Веди» и «Бжни» и магнитуды землетрясений M ($M \geq 2$). На рис. 6 можно видеть три периода разной длительности

во временном интервале повышения и снижения величины дисперсии. На рис. 7 отмечаются два периода повышения и снижения величины дисперсии. Чаще всего сейсмические события соответствуют минимальным значениям дисперсии, что можно принять в качестве прогнозного признака.

С целью определения эффектов, сопутствующих геодинамическому режиму земной коры Центральной Армении, по временным рядам концентраций химических компонентов определялось среднее значение фоновых концентраций, среднеквадратичное отклонение от фонового значения и гидрогеохимический эффект по химическим компонентам минеральных вод [Григорян и др., 2015] (табл. 3). Гидрогеохимический эффект – это аномалия значения химического элемента состава воды, выявленная в процессе обработки временного ряда, предшествующая сейсмическому событию.

Таблица 2. Сведения о землетрясениях, отмеченных стрелками на рис. 6, 7

Дата, дд.мм.гггг	Координаты эпицентров		ML	«Веди» Δ , км	«Бжни» Δ , км
	φ , °N	λ , °E			
10.03.2019	41.13	43.98	2.2		33
25.04.2019	40.62	44.59	2.1		15
06.06.2019	39.78	45.07	2.6	41	
13.06.2019	40.68	44.78	2.6		24
06.07.2020	40.03	44.49	2.2	29	55
13.02.2021	40.02	44.49	4.9	28	
15.02.2021	40.01	44.45	2.3	32	
18.02.2021	40.05	44.5	2.0	29	52

Таблица 3. Гидрогеохимические эффекты (ГГХ) компонентов минеральных вод

Параметры землетрясений					ГГХ																
					Mg, мг/л				HCO ₃ , мг/л				Общая минер. мг/л				CO ₃ , мг/л				
Дата, дд.мм.гггг	φ , °N	λ , °E	ML	Δ	\bar{K}	S	δ	A	\bar{K}	S	δ	A	\bar{K}	S	δ	A	\bar{K}	S	δ	A	
Суренаван																					
02.13.2021	40.02	44.49	4.9	39	–	–	–	–	1917	1976	7	98	4075	4080	2	58	356	378	5	228	
08.26.2021	40.15	45.04	3.1	52					1982	1976	2	68	4060	4080	4	208	346	334	3	128	
Веди																					
02.13.2021	40.02	44.49	4.9	28	1042	1005	6	378	2125	2220	9	98	3733	3700	6	338	1042	1110	8	608	
08.26.2021	40.15	45.04	3.1	42	1031	1012	4	198	2030	2171	11	148	3613	3320	17	298	1031	1012	4	198	
Бжни																					
02.13.2021	40.02	44.49	4.9	56	76	82	2	68	2207	2245	6	98	4537	4530	2	78	1240	1245	2	58	
08.26.2021	40.15	45.04	3.1	58	82	86	2	48	2253	2220	6	98	4440	4380	7	608	1239	1245	2	68	
Арзни																					
02.13.2021	40.02	44.49	4.9	38	347	374	5	278	1995	2050	7	78	8348	8300	7	488					
08.26.2021	40.15	45.04	3.1	54					2062	2074	3	128	8395	8370	5	258	1309	1315	2	68	

Примечание: ML – магнитуда, Δ – эпицентральное расстояние, \bar{K} – фоновое значение, S – отклонение от фонового значения, δ – дисперсия, A – гидрогеохимический эффект.

Напряжённо-деформированное состояние земной коры территории Армении

Общая картина напряжённо-деформированного состояния земной коры территории Армении (рис. 8) 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. Построенная карта [Саргсян, 2006] отражает информацию о состоянии деформационного поля в пространстве всего региона.

Деформационные процессы земной коры региона приводят к образованию структуры деформаций сжатия на севере (Джавахетское нагорье), в Центральной Армении (у западной границы) и на восточном побережье озера Севан и отсутствию напряжений на северо-востоке и юге территории. В тектоническом разрезе можно подчеркнуть приуроченность образовавшихся напряжённых участков к Базум-Севанскому, Гарнийскому и Ереванскому разломам. Таким образом, можно отметить активизацию геодинамических процессов Гюмрийского, Ереванского тектонических блоков и по Базум-Севанскому и Гарнийскому глубинным разломам.

Для определения деформации земной коры на глубинах очагов произошедших в Централь-

ной Армении землетрясений производился расчёт по формуле [Добровольский и др., 1984]:

$$D=(R \cdot h / 10^{0.413M-2.66})^{-3}, \quad (4)$$

в которой учитывается глубина (h) очага произошедшего землетрясения. Полученная картина (рис. 9) отражает напряжённо-деформированное состояние земной коры на глубинах распределения гипоцентров землетрясений, при этом следует отметить образование структуры деформации (сжатия) вокруг озера Севан, что, возможно, связано с активизацией геодинамики Севанского тектонического блока.

Обсуждение результатов

По результатам геофизического мониторинга геодинамического режима территории Армении (2019–2021 гг.) выявлена активизация геодинамических процессов в Гюмрийском, Ереван-Ордубатском, Ереванском и Севанском тектонических блоках. А приуроченность очагов многих произошедших землетрясений к Гарнийскому, Базум-Севанскому и Ереванскому глубинным разломам является индикатором повышения активности перечисленных разломов. За исследуемый период наблюдается отсутствие напряжений на юге и северо-востоке территории.

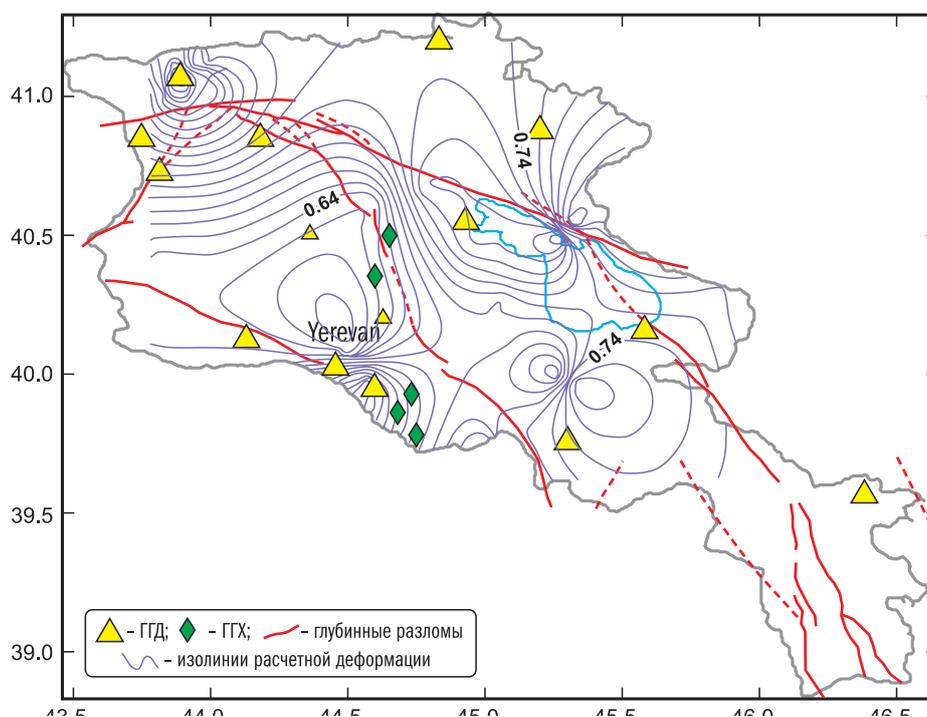


Рис. 8. Карта напряжённо-деформированного состояния земной коры территории Армении (2019–2021 гг.).

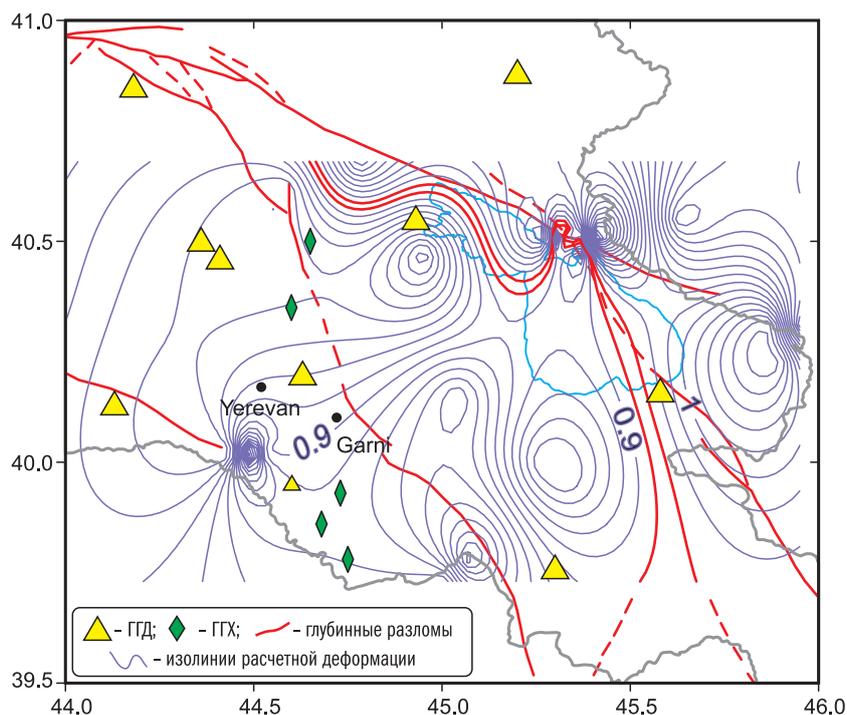


Рис. 9. Карта напряжённо-деформированного состояния земной коры Центральной Армении.

Изменения напряжённо-деформированного состояния среды, вызванные современными геодинамическими процессами, отражаются на химическом составе минеральных вод, в частности, на содержании Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_2 и общей минерализации.

Показана картина напряжённого состояния земной коры на уровне гипоцентров произошедших землетрясений. Определено численное значение суммарного выхода сейсмической энергии с мест концентрации сейсмических событий.

Заключение

Таким образом, по параметрам графика повторяемости землетрясений, произошедших за последние три года, можно придать сейсмическому режиму территории Армении уровень среднего значения.

На карте напряжённо-деформированного состояния земной коры региона (рис. 8) показаны деформационные процессы земной коры региона, приводящие к образованию структуры деформаций сжатия на севере, в Центральной Армении (у западной границы) и на восточном побережье озера Севан.

Выявлено образование структуры деформации (сжатия) вокруг озера Севан, что, возможно, связано с активацией геодинамики Севанского тектонического блока (рис. 9).

На северо-востоке и юге территории Армении наблюдается отсутствие сейсмичности.

Применён метод, основанный на статистической оценке изменчивости в смежных временных интервалах по вариации величины дисперсии содержания углекислого газа в водах минеральных источников – «Бжни» и «Веди».

Дана оценка геодинамического режима территории Центральной Армении по данным геофизического мониторинга.

Литература

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.

Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1992. – 212 с.

Григорян С.В., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В. Гидрогеодинамические и геохимические предвестники землетрясений на территории Армении // Доклады НАН РА. – 2015. – Т. 115, № 1. – С. 50–58.

Деформационные процессы в период, предшествующий Спитакскому землетрясению / Отв. ред. И.Л. Нерсесов, Л.А. Латынина. – М.: ИФЗ АН СССР, 1989. – С. 7–10.

- Дзенс-Литовский А.И., Толстихин Н.И.* Природные минеральные воды и грязи Советского Союза // Природа. – 1937. – № 10. – С. 104–124.
- Добровольский И.П.* Механика подготовки тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1984. – 188 с.
- Добровольский И.П., Зубков С.И., Мячкин В.И.* Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений // Моделирование предвестников землетрясений. – М.: Наука, 1980. – С. 7–44.
- Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре. – М.: Наука, 2015. – 327 с.
- Курлов М.Г.* Классификация сибирских целебных минеральных вод. – Томск: Томский НИИ курортологии, 1928. – 73 с.
- Осика Д.Г.* Флюидный режим сейсмически активных областей. – М.: Наука, 1981. – 204 с.
- Пашаян Р.А.* Гидрогеохимия Араратского геодинамического сейсмополигона // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2008. – Т. LXI, № 3. – С. 39–45.
- Пашаян Р.А.* Минеральные воды Центральной Армении. – Кишинёв: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. – 68 с.
- Пашаян Р.А.* Сейсмоструктура и сейсмический режим Центральной Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 154–158.
- Пашаян Р.А., Туманян Г.А.* Сейсмический режим и тектоника Араратского сейсмопрогностического полигона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 149–154.
- 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.
- Earthquake. Latest data contributions // CSEM EMSC [Site].* – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (дата обращения 10.01.2022).

Сведения об авторах

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

Карапетян Джон Костикович, канд. геол. наук, директор ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения. E-mail: jon_iges@mail.ru

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

Товмасын Кристина Гагиковна, ст. инженер ИГИС НАН РА, г. Ереван, Республика Армения. E-mail: kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Карамян Раффи Араикович, канд. геол. наук, науч. сотр. ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения. E-mail: rafo.karamyan@gmail.com

Geophysical monitoring of the geodynamic regime of Central Armenia

© 2022 R.A. Pashayan¹, D.K. Karapetyan², L.V. Arutyunyan³, K.G. Tovmasyan¹, R.A. Karamyan²

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

³IGIC NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia

Received February 7, 2022

Abstract Geophysical monitoring of the geodynamic regime of the territory of Armenia is carried out including observations of the chemical composition of groundwater, changes in the stress-strained state of the earth's crust and current seismicity. Hydrogeochemical effects of changing the stress-strained state of the medium as indicators of modern geodynamic processes have been revealed. Based on published data, the authors suggest that the nature of the manifestation of geochemical anomalies depends on the parameters of the forthcoming seismic event – magnitude (M) and epicentral distance (Δ). A map of the spatial-temporal distribution of deformations of the earth's crust because of earthquakes over the past three years in the region has been compiled. The main components of ionic (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg_2^+ , total mineralization) and gas (CO_2) composition of mineral waters in comparison with seismicity in the earth's crust are studied. A map of the distribution of earthquake epicenters in space and in time has been compiled. The obtained graph shows the hypocenters dependence of magnitude of earthquakes that occurred during the investigated period on the depth of hypocenters. Earthquake catalogue is using to plot earthquake recurrence. Statistical analysis of observational data showed that the most informative predictive characteristic is the dispersion of carbon dioxide content in water. According to the time series of concentrations of chemical indicators, the effects associated with the geodynamic regime of the earth's crust of Central Armenia were determined. A map of the distribution of deformations in the earth's crust of central Armenia was compiling taking into account the depths of the hypocenters of earthquakes.

Keywords Earthquake, hydrogeochemical observations, seismicity, mineral water, deformation, hypocenter, Armenia.

For citation Pashayan, R.A., Karapetyan, D.K., Arutyunyan, L.V., Tovmasyan, K.G., & Karamyan, R.A. (2022). [Geophysical monitoring of the geodynamic regime of Central Armenia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(1), 41-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.03>

References

- Akhverdyan, L.A., Pashayan, R.A., & Arutyunyan, L.V. (2018). [Relationship between variations in the stress-strain state of the Earth's crust and seismic activity on the territory of Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports NAS RA], 118(3), 260-268. (In Russ.).
- Barsukov, V.L., Belyayev, A.L., Bakaldin, Yu.A., et al. (1992). *Geokhimicheskiye metody prognoza zemletryaseniy* [Geochemical methods for earthquake prediction]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 212 p. (In Russ.).
- CSEM EMSC. (2022). Earthquake. Latest data contributions. Retrieved from: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>
- Dobrovolskiy, I.P., Zubkov, S.I., & Myachkin, V.I. (1980). [On estimating the size of the zone of manifestation of earthquake harbingers]. In *Modelirovaniye predvestnikov zemletryaseniy* [Modeling earthquake precursors] (pp. 7-44). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Dobrovolsky, I.P. (1984). *Mekhanika podgotovki tektonicheskogo zemletriaseniia* [Mechanics of tectonic earthquake preparation]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 188 p. (In Russ.).
- Dzens-Litovsky, A.I., & Tolstikhin, N.I. (1937). [Natural mineral waters and mud of the Soviet Union]. *Priroda* [Nature], 10, 104-124.
- Grigoryan, S.V., Pashayan, R.A., & Arutyunyan, L.V. (2015). [Hydrogeodynamic and geochemical precursors of earthquakes on the territory of Armenia]. *Doklady NAN RA* [Reports NAS RA], 115(1), 50-58. (In Russ.).
- Kissin, I.G. (2015). *Fliuidy v zemnoi kore* [Fluids in the Earth's crust]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 327 p. (In Russ.).
- Kurlov, M.G. (1928). *Klassifikatsiia sibirskikh tselebnykh mineral'nykh vod* [Classification of Siberian healing mineral waters]. Tomsk, Russia: Tomsk Research Institute of Balneology Publ., 73 p. (In Russ.).

- Nersesov, I.L., Latynina, L.A. (Eds.). (1989). *Deformatsionnyye protsessy v period, predshestvuiushchii Spitakskomu zemletriaseniiu* [Deformation processes in the period preceding the Spitak earthquake] (pp. 7-10). Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ. (In Russ.).
- Osika, D.G. (1981). *Flyuidnyy rezhim seysmicheskii aktivnykh oblastey* [Fluid regime of seismically active regions]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 204 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (2008). [Hydrogeochemistry of the Ararat geodynamic seismic polygon]. *Izvestiya NAN RA. Nauki o Zemle* [News of NAS RA. Earth Sciences], LXI(3), 39-45. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (2009). [Seismotectonics and seismic regime of Central Armenia]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh. Materialy Chetvertoy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* [Proceedings of the Fourth International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 154-158). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Pashayan, R.A. (2019). *Mineral'nye vody Tsentral'noi Armenii* [Mineral waters of Central Armenia]. Chisinau, Moldova: LAP Lambert Academic Publishing, 68 p. (In Russ.).
- Pashayan, R.A., & Tumanyan, G.A. (2010). [Seismic regime and tectonics of the Ararat seismic prognostic range]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh. Materialy Piatoi Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* [Proceedings of the Fifth International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 149-154). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Sargsyan, A.Z. (2006). [Hydrogeodeformational characteristics of the earth's crust in the territory of Armenia (2002–2004)]. *Izvestiya NAN RA. Nauki o Zemle* [News of NAS RA. Earth Sciences], LXX(3), 30-36. (In Russ.).

Information about authors

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

Karapetyan John Kostikovich, PhD, Director of the IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia. E-mail: jon_iges@mail.ru

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

Tovmasyan Kristina Gagikovna, Senior Engineer of the IGES NAS RA, Yerevan, Republic of Armenia. E-mail: kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Karamyan Raffi Araikovich, PhD, Researcher of the IGES NAS RA, Gyumri, Republic of Armenia. E-mail: rafo.karamyan@gmail.com